

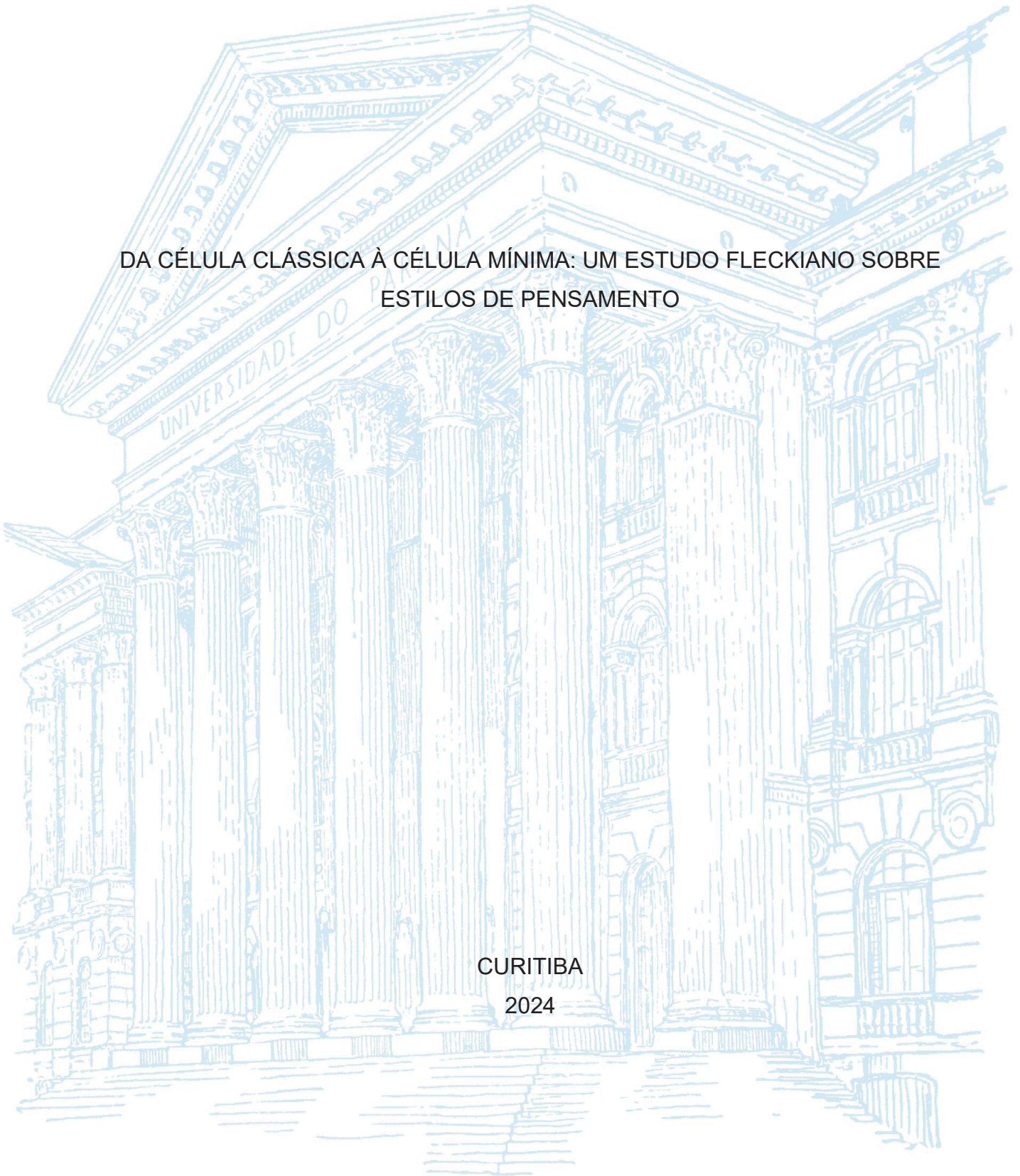
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ELDA CRISTINA CARNEIRO DA SILVA

DA CÉLULA CLÁSSICA À CÉLULA MÍNIMA: UM ESTUDO FLECKIANO SOBRE
ESTILOS DE PENSAMENTO

CURITIBA

2024



ELDA CRISTINA CARNEIRO DA SILVA

DA CÉLULA CLÁSSICA À CÉLULA MÍNIMA: UM ESTUDO FLECKIANO SOBRE
ESTILOS DE PENSAMENTO

Tese apresentada ao curso de Pós-Graduação em Educação em Ciências e em Matemática, Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Educação em Ciências e em Matemática.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Joanez Aparecida Aires

CURITIBA

2024

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Silva, Elda Cristina Carneiro da

Da célula clássica à célula mínima: um estudo fleckiano sobre estilos de pensamento / Elda Cristina Carneiro da Silva. – Curitiba, 2024.

1 recurso on-line : PDF.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e em Matemática.

Orientador: Joanez Aparecida Aires

1. Epistemologia. 2. Fleck, Ludwik, 1896-1961. 3. Células. I. Universidade Federal do Paraná. II. Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e em Matemática. III. Aires, Joanez Aparecida. IV . Título.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS EXATAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EDUCAÇÃO EM
CIÊNCIAS E EM MATEMÁTICA - 40001016068P7

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS E EM MATEMÁTICA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **ELDA CRISTINA CARNEIRO DA SILVA** intitulada: **DA CÉLULA CLÁSSICA À CÉLULA MÍNIMA: UM ESTUDO FLECKIANO SOBRE ESTILOS DE PENSAMENTO**, sob orientação da Profa. Dra. JOANEZ APARECIDA AIRES, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de doutora está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 16 de Agosto de 2024.

Assinatura Eletrônica
28/08/2024 17:52:35.0
JOANEZ APARECIDA AIRES
Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica
29/08/2024 10:34:21.0
CARLOS ALBERTO MOURTHÉ JUNIOR
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS)

Assinatura Eletrônica
27/08/2024 22:16:42.0
MARCELO VALERIO
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica
28/08/2024 19:25:15.0
MARIA ELICE BRZEZINSKI PRESTES
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO)

Assinatura Eletrônica
28/08/2024 09:51:11.0
DANISLEI BERTONI
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus em oração...

À minha querida orientadora Professora Dr^a Joanez Aparecida Aires, pelo excelente trabalho de orientação, pela confiança, pelas palavras de apoio e estímulo, pela alegria contagiante.

Aos professores da banca examinadora, Professor Dr. Danislei Bertoni, Prof. Dr. Carlos Alberto Mourthé Junior, Professora Dr^a Maria Elice de Brzezinski Prestes, Prof. Dr. Marcelo Valério, pela disponibilidade em contribuir com este trabalho.

Aos professores do PPGECEM, pela dedicação ao Programa e pelo conhecimento compartilhado.

Aos colegas do grupo de pesquisa em Educação, História, Filosofia e Sociologia da Ciência (EHFSC), pela união e amizade.

Ao meu marido Marcelo Lemos, pela paciência e apoio.

Ao Colégio Militar de Curitiba, pelas dispensas concedidas e, especialmente, aos Professores de Ciências Naturais/Biologia deste estabelecimento de ensino, pela concordância irrestrita ao meu afastamento no último ano.

Agradeço profundamente à minha mãe Aparecida, ao meu pai Evilar e à minha irmã Élide pelo apoio emocional e compreensão nos momentos de ausência.

“A persistência é o caminho do êxito”.

(Charles Chaplin)

RESUMO

A educação em ciências/Biologia é amplamente estruturada no estudo da célula como unidade morfofisiológica da vida. No entanto, a história da construção do conceito de célula é ignorada e restrita à descrição do pioneirismo de Hooke na observação e à criação do termo no século XVII, sem referência aos contextos que podem ter influenciado as ideias sobre esse Fato Científico. Contudo, quando se estuda os Fatos Científicos por meio de uma teoria da ciência que orienta o olhar para a relação dos pesquisadores com seu objeto de estudo, podemos obter respostas acerca dos processos da ciência. Segundo a Epistemologia de Ludwik Fleck, o conhecimento é produto histórico e social da ação de uma comunidade de pesquisadores que têm interesse pelos mesmos problemas, utilizam os mesmos métodos e práticas na interação com os objetos do conhecimento, ou seja, compartilham o mesmo Estilo de Pensamento, o qual orienta o modo de pensar e os procedimentos desse Coletivo de Pensamento. O objetivo central do presente trabalho é investigar se a produção da célula mínima pela Biologia Sintética teria potencial para fazer emergir um novo Estilo de Pensamento, em contraposição ao Estilo de Pensamento que orienta o conceito clássico de célula como unidade fundamental da vida. Para alcançar esse propósito, dois estudos foram desenvolvidos. O primeiro refere-se à análise de episódios históricos sobre o conceito clássico de célula em fontes primárias e artigo especializado sobre o tema. O segundo estudo analisa episódios contemporâneos sobre a célula mínima (célula com genoma mínimo sintetizado) em artigos científicos e textos jornalísticos de divulgação científica. Procurei apreender a percepção direcionada (Estilo de Pensamento) dos pesquisadores sobre o conceito clássico de célula e sobre o conceito de célula mínima, bem como a concepção de vida decorrente de cada um dos Estilos de Pensamento identificados, com apoio das concepções de vida em Georges Canguilhem. Esta investigação foi orientada por uma abordagem de natureza qualitativa, utilizando como método a pesquisa documental e bibliográfica e como instrumento para constituição dos dados a análise documental. A análise histórico-epistemológica foi aplicada como técnica de análise dos dados, com base nos fundamentos epistemológicos de Ludwik Fleck. Os resultados apontam para nuances ou variedades do Estilo de Pensamento mecanicista que vêm orientando historicamente o conceito clássico de célula desde sua origem, além da sua coexistência com o Estilo de Pensamento sistêmico. Na atualidade, os conceitos de célula mínima e de célula clássica, mesmo considerados objetos distintos em última análise, são orientados pelo Estilo de Pensamento mecanicista com ênfase na informação do genoma. Uma transformação (Mutação fleckiana) no Estilo de Pensamento requer um Tráfego Intracoletivo e Intercoletivo de conhecimento que não parece estar em voga atualmente na Biologia. De acordo com a teoria adotada, a vida pode ter como elemento explicativo (ou unidade fundamental) o organismo, a célula, o gene ou algum elemento metafísico. A Biologia Teórica e as reflexões da Filosofia da Biologia podem ajudar nessas compreensões e as discussões permanecem abertas.

Palavras-chave: Epistemologia; Ludwik Fleck; Estilo de Pensamento; célula clássica; célula mínima.

ABSTRACT

Science/Biology education is structured mainly around studying the cell as the morphophysiological unit of life. However, the history of the cell concept construction is ignored and restricted to the description of Hooke's pioneering observation and the creation of the term in the 17th century, not referring to the contexts that may have influenced ideas about this scientific fact. However, when we examine scientific facts through a theory of science that considers the relationship between researchers and their object of study, it is possible to obtain answers about the processes of science. According to Ludwik Fleck's epistemology, knowledge is the historical and social product of the action of a community of researchers who are interested in the same problems, use the same methods and practices when interacting with the objects of knowledge, in other words, they share the same Style of Thinking, which guides the way of thinking and the procedures of this Thinking Collective. The central aim of this work is to investigate whether the production of the minimal cell by Synthetic Biology can result in a new style of thinking, as opposed to the one that guides the classical cell concept as the fundamental unit of life. To this end, two studies have been conducted. The first refers to analyzing historical episodes on the classical idea of the cell in primary sources and specialized articles on the subject. The second study analyzes contemporary episodes about the minimal cell (with a minimal synthesized genome) in scientific articles and science journalism texts. I tried to capture the researchers' directed perception (Style of Thinking) of the classic concept of the cell and the concept of the minimal cell, as well as the conception of life resulting from each of the identified styles of thinking, with the support of Georges Canguilhem's conceptions of life. This investigation happens through a qualitative approach, using documentary and bibliographical research as the method and documentary analysis as the instrument used to compile the data. Historical-epistemological analysis was applied as a data analysis technique based on the epistemological foundations of Ludwik Fleck. The results point to nuances or varieties of the mechanistic style of thinking that has historically guided the classical concept of the cell since its origin and its coexistence with the systemic style of thinking. Today, the concepts of the minimal and classical cells, even though considered distinct objects, are guided by the mechanistic style of thinking, emphasizing genome information. A transformation (Fleckian Mutation) in the styles of thinking requires an Intra-Collective and Inter-Collective Traffic of knowledge that does not seem to be in vogue today in Biology. According to the theory adopted, life can have as its explanatory element (or fundamental unit) the organism, the cell, the gene, or some metaphysical element. Theoretical Biology and the reflections of the Philosophy of Biology can help with these understandings, and the discussion remains open.

Keywords: Epistemology; Ludwik Fleck; Thinking Style; classic cell; minimum cell.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – FOLHA DE ROSTO DO LIVRO ‘MICROGRAPHIA’.....	206
FIGURA 2– FOLHA DE ROSTO DO LIVRO ‘CONTRIBUIÇÕES À FITOGÊNESE’	217
FIGURA 3 – FOLHA DE ROSTO DO LIVRO ‘PESQUISAS MICROSCÓPICAS’	228
FIGURA 4 – FOLHA DE ROSTO DO LIVRO ‘PATOLOGIA CELULAR’	238
FIGURA 5 – FOLHA DE ROSTO DO LIVRO ‘O CONHECIMENTO DA VIDA’	259
FIGURA 6 – PÁGINA INICIAL DO ARTIGO FP/CCM-1	281
FIGURA 7 – PÁGINA INICIAL DO ARTIGO FP/CCM-2	288

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – ANÁLISE DOCUMENTAL: FASE DE TRATAMENTO E ANÁLISE DAS FONTES PRIMÁRIAS	191
QUADRO 2 – FONTES PRIMÁRIAS: OBRAS CLÁSSICAS SOBRE A CONSTRUÇÃO DO CONCEITO CLÁSSICO DE CÉLULA (CCC) ..	193
QUADRO 3 – FONTE SECUNDÁRIA SOBRE A CONSTRUÇÃO DO CONCEITO CLÁSSICO DE CÉLULA (CCC)	194
QUADRO 4 – FONTES PRIMÁRIAS SOBRE O PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DO CONCEITO DE CÉLULA MÍNIMA.....	194
QUADRO 5 – TEXTOS JORNALÍSTICOS DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA) ASSOCIADOS ÀS FONTES PRIMÁRIAS FP/CCM-1 e FP/CCM-2.....	195
QUADRO 6 – CATEGORIAS À <i>PRIORI</i> UTILIZADAS NA ANÁLISE HISTÓRICO-EPISTEMOLÓGICA	203
QUADRO 7– NUANCES OU VARIEDADES DO ESTILO DE PENSAMENTO MECANICISTA QUE ORIENTA O CONCEITO CLÁSSICO DE CÉLULA ENCONTRADAS NOS QUATRO EPISÓDIOS HISTÓRICOS ANALISADOS.....	250

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	AS CIÊNCIAS DA VIDA NO CENÁRIO DA CIÊNCIA E DA EPISTEMOLOGIA	25
2.1	CIÊNCIAS DA VIDA: A CONSTITUIÇÃO DE UM CAMPO DE PESQUISA E DE UMA POSSIBILIDADE DE MODELO PARA AS CIÊNCIAS... ..	26
2.2	O PENSAMENTO DE GEORGES CANGUILHEM NO CONTEXTO DAS CIÊNCIAS DA VIDA.....	44
2.2.1	Considerações sobre a historicidade do conceito de vida em Canguilhem.....	53
2.3	MAIS SOBRE VIDA: ONTODEFINIÇÕES	65
2.3.1	Vida como sistema autopoietico	67
2.3.2	Vida como seleção natural de replicadores.....	74
3	NOÇÕES EPISTEMOLÓGICAS QUE PERMEIAM A COMPREENSÃO DE UM FATO CIENTÍFICO EM LUDWIK FLECK	81
3.1	MUTAÇÕES NO ESTILO DE PENSAMENTO: AS VERDADES PROVISÓRIAS NA CIÊNCIA	108
3.2	ESTILOS DE PENSAMENTO BIOLÓGICO COMO CAMINHO PARA A COMPREENSÃO DA CÉLULA	114
4	PARA COMPREENDER A CIÊNCIA: SOBRE A HISTÓRIA DA FORMAÇÃO DOS CONCEITOS	122
5	ORGANISMO COMO MÁQUINA: UMA METÁFORA ANTIGA, UMA QUESTÃO ATUAL	128
5.1	O ORGANISMO, A MÁQUINA: UMA HISTÓRIA QUE SE PROLONGA NO CONTEXTO FILOSÓFICO E CIENTÍFICO	129
5.2	A INFORMAÇÃO NO CONTEXTO BIOLÓGICO: O PROGRAMA GENÉTICO COMO SUBMETÁFORA DO ORGANISMO COMO MÁQUINA.....	145
6	BIOLOGIA SINTÉTICA: ALGUNS QUESTIONAMENTOS, REFLEXÕES E EVIDÊNCIAS	168
7	PERCURSO METODOLÓGICO: NOTAS INICIAIS E PROCEDIMENTOS.....	188
7.1	DESENVOLVIMENTO DAS CATEGORIAS <i>A PRIORI</i> PARA ANÁLISE HISTÓRICO-EPISTEMOLÓGICA	196

8	ESTUDO DE EPISÓDIOS HISTÓRICOS (EH) SOBRE O CONCEITO CLÁSSICO DE CÉLULA – ANÁLISE DOCUMENTAL	205
8.1	FP/CCC-1 ‘MICROGRAFIA’ – ROBERT HOOKE (1665)	206
8.1.1	Primeira Etapa: Análise preliminar de FP/CCC-1	206
8.1.2	Segunda Etapa: Análise documental propriamente dita de FP/CCC-1 (Análise histórico-epistemológica)	208
8.2	FP/CCC-2 ‘CONTRIBUIÇÕES À FITOGÊNESE’ – MATHIAS SCHLEIDEN (1838)	217
8.2.1	Primeira Etapa: Análise preliminar de FP/CCC-2	217
8.2.2	Segunda Etapa: Análise documental propriamente dita de FP/CCC-2 (Análise histórico-epistemológica)	220
8.3	FP/CCC-3 ‘PESQUISAS MICROSCÓPICAS’ – THEODOR SCHWANN	228
8.3.1	Primeira Etapa: Análise preliminar de FP/CCC-3	228
8.3.2	Segunda Etapa: Análise documental propriamente dita de FP/CCC-3 (Análise histórico-epistemológica)	231
8.4	FP/CCC-4 ‘PATOLOGIA CELULAR’ – RUDOLF VIRCHOW (1859)	238
8.4.1	Primeira Etapa: Análise preliminar de FP/CCC-4	238
8.4.2	Segunda Etapa: Análise documental propriamente dita de FP/CCC-4 (Análise histórico-epistemológica)	241
8.5	FS/CCC-5 ‘A TEORIA CELULAR’ – GEORGES CANGUILHEM (1945)	259
8.5.1	Primeira Etapa: Análise preliminar de FS/CCC-5	259
8.5.2	Segunda Etapa: Análise documental propriamente dita de FS/CCC-5 (Análise histórico-epistemológica)	261
9	ESTUDO DE EPISÓDIOS CONTEMPORÂNEOS (EC) SOBRE O CONCEITO DE CÉLULA MÍNIMA – ANÁLISE DOCUMENTAL	280
9.1	FP/CCM-1 ‘CRIAÇÃO DE UMA CÉLULA BACTERIANA CONTROLADA POR GENOMA MÍNIMO SINTETIZADO’ – GIBSON <i>ET AL.</i> (2010)	281
9.1.1	Primeira Etapa: Análise preliminar de FP/CCM-1	281
9.1.2	Segunda Etapa: Análise documental propriamente dita de FP/CCM-1 (Análise histórico-epistemológica)	284
9.2	FP/CCM-2 ‘PROJETO E SÍNTESE DE UM GENOMA BACTERIANO MÍNIMO’ – HUTCHISON <i>ET AL.</i> (2016)	288
9.2.1	Primeira Etapa: Análise preliminar de FP/CCM-2	288

9.2.2	Segunda Etapa: Análise documental propriamente dita de FP/CCM-2 (Análise histórico-epistemológica)	290
9.3	TEXTOS JORNALÍSTICOS DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA SOBRE A CÉLULA MÍNIMA	313
10	EM BUSCA DE RESPOSTAS INEVITAVELMENTE PROVISÓRIAS NA PESQUISA E UM MODO DE APRESENTÁ-LAS NO ENSINO	338
11	CONSIDERAÇÕES ATÉ O MOMENTO	346
	REFERÊNCIAS	351
	APÊNDICE A - EXCERTOS IDENTIFICADOS NO LIVRO 1- 'MICROGRAPHIA', DE ROBERT HOOKE (FP/CCC-1).....	365
	APÊNDICE B - CATEGORIZAÇÃO REFERENTE AO ESTUDO DO EPISÓDIO HISTÓRICO ENCONTRADO NO LIVRO 1- 'MICROGRAPHIA', DE ROBERT HOOKE (FP/CCC-1).....	367
	APÊNDICE C - EXCERTOS IDENTIFICADOS NO LIVRO 2- 'CONTRIBUIÇÕES À FITOGÊNESE', DE MATHIAS SCHLEIDEN (FP/CCC- 2).....	373
	APÊNDICE D - CATEGORIZAÇÃO REFERENTE AO ESTUDO DO EPISÓDIO HISTÓRICO ENCONTRADO NO LIVRO 2- 'CONTRIBUIÇÕES À FITOGÊNESE', DE MATHIAS SCHLEIDEN (FP/CCC-2).....	375
	APÊNDICE E - EXCERTOS IDENTIFICADOS NO LIVRO 3- 'PESQUISAS MICROSCÓPICAS', DE THEODOR SCHWANN (FP/CCC-3).....	382
	APÊNDICE F - CATEGORIZAÇÃO REFERENTE AO ESTUDO DO EPISÓDIO HISTÓRICO ENCONTRADO NO LIVRO 3- "PESQUISAS MICROSCÓPICAS', DE THEODOR SCHWANN (FP/CCC-3).....	385
	APÊNDICE G - EXCERTOS IDENTIFICADOS NO LIVRO 4- 'PATOLOGIA CELULAR', DE RUDOLF VIRCHOW (FP/CCC-4).....	394
	APÊNDICE H - CATEGORIZAÇÃO REFERENTE AO ESTUDO DO EPISÓDIO HISTÓRICO ENCONTRADO NO LIVRO 4- 'PATOLOGIA CELULAR', DE RUDOLF VIRCHOW (FP/CCC-4).....	397
	APÊNDICE I - EXCERTOS IDENTIFICADOS EM 'A TEORIA CELULAR, DE GEORGES CANGUILHEM (FS/CCC-1).....	405
	APÊNDICE J - EXCERTOS IDENTIFICADOS NO ARTIGO 1- 'CRIAÇÃO DE UMA CÉLULA BACTERIANA CONTROLADA POR UM GENOMA SINTETIZADO QUIMICAMENTE', DE GIBSON <i>ET AL.</i> (FP/CCM-1).....	414

APÊNDICE K - CATEGORIZAÇÃO REFERENTE AO ESTUDO DO EPISÓDIO CONTEMPORÂNEO ENCONTRADO NO ARTIGO 1- 'CRIAÇÃO DE UMA CÉLULA BACTERIANA CONTROLADA POR UM GENOMA SINTETIZADO QUIMICAMENTE', DE GIBSON *ET AL.* (FP/CCM-1).....416

APÊNDICE L - EXCERTOS IDENTIFICADOS NO ARTIGO 2- 'PROJETO E SÍNTESE DE UM GENOMA BACTERIANO MÍNIMO', DE HUTCHISON *ET AL.* (FP/CCM-2).....422

APÊNDICE M - CATEGORIZAÇÃO REFERENTE AO ESTUDO DO EPISÓDIO CONTEMPORÂNEO ENCONTRADO NO ARTIGO 2- 'PROJETO E SÍNTESE DE UM GENOMA BACTERIANO MÍNIMO', DE HUTCHISON *ET AL.* (FP/CCM-2).....427

1 INTRODUÇÃO

Minha aproximação com a perspectiva histórica e filosófica para entender a célula ocorreu durante a elaboração da dissertação de mestrado, quando busquei conhecer e refletir sobre quais concepções a respeito da natureza da ciência são apresentadas em livros didáticos de Biologia aprovados pelo Programa Nacional de Livros Didáticos (PNLD) e em livros usados como referência para estes, quando abordam a teoria celular.

Durante a análise, foi possível constatar diversos problemas de caráter histórico-epistemológico, tanto nos livros da educação básica, quanto nos livros universitários utilizados como referência. Destaco a ausência de menção às perguntas que deram origem à elaboração da teoria celular, ao seu processo de construção e à história da formação do conceito de célula¹.

É acerca deste último ponto que dedico minha pesquisa de doutorado, pois entendo que o estudo da origem e desenvolvimento de um conceito científico proporciona uma compreensão ampla do conceito em foco, das questões internas e externas envolvidas na atividade científica, bem como da teoria (ou teorias) associada (s) a esse conceito.

No caso da teoria celular, a lista típica de enunciados fechados e dogmáticos, relacionados à perspectiva puramente empirista, comuns nos livros didáticos, poderia ser substituída pela história da formação do conceito de célula, com o esclarecimento de que a teoria celular não foi resultado de uma simples generalização, orientada pelo método empírico-indutivo, mas foi orientada pela busca por uma unidade estrutural e funcional dos seres vivos, assim como pelo condicionamento histórico e social da produção do conhecimento.

Minha experiência docente e discente mostrou que o estudo da célula é normalmente apresentado de forma abstrata e desinteressante, com modelos didáticos que se afastam das imagens da célula obtidas por microscópios e se aproximam de imagens artísticas, representadas nos livros dos níveis fundamental e médio de ensino. Nesse sentido, esta pesquisa tem o interesse genuíno de contribuir

¹ Alguns anos depois, uma atualização da pesquisa referente a uma amostra de livros do PNLD/2018 constatou problemas similares (Silva; Aires, 2021).

para o ensino e aprendizagem desse conteúdo escolar, dada minha tese de que o uso da História, Filosofia e Sociologia da Ciência (HFSC) seja um dos caminhos possíveis na educação em ciências para melhorar a qualidade da aprendizagem dos conceitos científicos/biológicos, como também para o desenvolvimento do pensamento crítico.

Convém ressaltar que, nas discussões do nosso grupo de pesquisa em Educação, História, Filosofia e Sociologia da Ciência (EHFSC), a HFSC é concebida como estratégia didática. Não somos historiadores, sociólogos ou filósofos da ciência. Logo, ao revisitar a história da célula nesta investigação, não tenho intuito de desenvolver pesquisa historiográfica, tal como o fazem os historiadores da ciência. As reflexões filosóficas e os conceitos epistemológicos aqui presentes são orientados para fundamentar a compreensão do objeto de estudo e, assim, promover a interface com a educação em ciências/Biologia no sentido mais amplo da natureza do conhecimento científico.

Ao visitar a teoria da ciência de alguns autores, como Karl Popper, Gaston Bachelard, Ludwik Fleck, Georges Canguilhem, Thomas Kuhn, Paul Feyerabend, Irme Lakatos, a abordagem encontrada na Epistemologia de Ludwik Fleck² despertou minha atenção como uma profícua perspectiva de análise do processo de construção do conhecimento científico, em virtude de oferecer importantes fundamentos para a compreensão da história de um conceito, proposta desta investigação.

O conceito central da obra de Fleck, o Estilo de Pensamento, corresponde a um corpo de conhecimentos pertencente a um grupo de pessoas (Coletivo de Pensamento), num determinado momento histórico, acerca de um objeto de estudo, com influência de condicionantes históricos e sociais. É constituído por um conjunto de práticas, linguagem específica, fundamentos teóricos, que direcionam a observação de fenômenos (Fatos Científicos) e sua interpretação. O Estilo de

² Médico e epistemólogo polonês, especializado em microbiologia, autor de 'Gênese e desenvolvimento de um fato científico', obra publicada originalmente em 1935. "Em Fleck, podemos encontrar uma história da ciência que se inspira na biologia e na medicina, apresentando uma fundamentação epistemológica mais robusta que, conseqüentemente, permite uma melhor elaboração da escrita da história da ciência" (Condé, 2018).

Pensamento é, portanto, o principal conceito epistemológico utilizado para responder a problemática desta investigação.

Historicamente, a célula é o elemento que diferencia o ser vivo do ser não vivo, uma vez que a teoria celular clássica afirma que todos os seres vivos são constituídos por células. Entretanto, a identificação dos vírus como seres acelulares, mas dotados de material genético, no final do século XIX, tem permitido críticas e reflexões sobre a célula como definição da vida. Além disso, com os avanços recentes da ciência e da tecnologia do século XXI, a Biologia Sintética tem produzido células mínimas e organismos denominados sintéticos, o que pode levar a novas controvérsias e até mudanças no conceito de célula.

Apesar da compreensão de que episódios na ciência podem ser analisados a partir de diferentes perspectivas, esta pesquisa foi estruturada primeiramente levando em conta o estudo e caracterização da história da construção do conceito clássico de célula, segundo os conceitos epistemológicos de Ludwik Fleck. Considerando a associação inerente entre o conceito clássico de célula e a manifestação de vida, a Epistemologia histórica de Georges Canguilhem³ acerca das suas concepções de vida foi utilizada como apoio. De modo semelhante, a teoria da ciência de Fleck foi adotada para entender o conceito de célula mínima⁴ no contexto da sua produção e a concepção de vida decorrente foi identificada com suporte das concepções de vida desenvolvidas por Canguilhem.

Ao longo do trabalho, a Filosofia biológica de Georges Canguilhem emergiu como uma rica fonte de estudo e compreensão de diversos aspectos, para além das concepções de vida historicamente construídas que o autor sistematizou especificamente no artigo *Vie*. A própria concepção de vida que Canguilhem desenvolveu, revisou e reformulou trouxe elementos significativos a esta investigação. Igualmente relevante foi o resgate histórico sobre o problema da assimilação do organismo à máquina realizado por Canguilhem, ao mesmo tempo

³ Médico e filósofo francês reconhecidamente um dos mais importantes historiadores das ciências do século XX, particularmente em história das ciências da vida e história da medicina.

⁴ A célula bacteriana com genoma mínimo sintetizado - *Mycoplasma mycoides* syn1.0 - foi apresentada à comunidade científica em 20 de maio de 2010 e publicado num artigo da revista *Science* pela equipe coordenada por Craig Venter (Gibson *et al.*, 2010) A célula mínima é um dos produtos de um campo da ciência em notável expansão, a Biologia Sintética.

em que expôs seu posicionamento, recorrendo a diversos autores que trataram da questão.

Entendo que supor a existência de discussões históricas, filosóficas e epistemológicas entre os pesquisadores sobre o seu fazer científico seja um pensamento ingênuo. Todavia, essa tarefa vem sendo desempenhada por historiadores e filósofos da ciência de modo sistemático desde o século passado, mas não parece integrar os estudos e procedimentos dos cientistas⁵, que se ocupam prioritariamente da dinâmica interna da ciência.

Desse modo, a simples leitura de obras clássicas elaboradas por cientistas (fontes primárias) não me parece fornecer diretamente elementos que favoreçam a compreensão e reflexão acerca da prática científica como construção social e histórica. Quando, porém, se investiga os fatos científicos por meio de uma teoria da ciência que orienta o olhar para os contextos envolvidos e seu vínculo com a relação entre os pesquisadores e seu objeto de estudo, pode-se obter respostas acerca dos processos da ciência.

No grupo de pesquisa EHFSC entendemos que a Epistemologia fleckiana contribui, direta ou indiretamente, com elementos que favorecem a compreensão sobre a natureza da ciência⁶, os quais foram elaborados por Fleck décadas antes das visões consensuais sobre ciência terem sido divulgadas e amplamente utilizadas em pesquisas nacionais e internacionais sobre a natureza do conhecimento científico. No tocante às críticas existentes na literatura⁷, optamos por

⁵ “[...] contam-se nos dedos de uma das mãos alguns livros excelentes de memórias e de análises, escritos pelos próprios cientistas, como os de Watson (1968) ou de Fleck (1979). Por mais estimulantes que sejam essas obras, elas não podem remediar a ausência de pesquisa, de observação direta, de contradição” (Latour; Woolgar, 1997, p. 19). Nas Ciências da Vida, o médico polonês Ludwik Fleck é, portanto, uma das poucas exceções, o que o coloca como um importante referencial para esta pesquisa.

⁶ Nossa posição quanto ao significado da expressão ‘natureza da ciência’ está alinhada com a de Moura (2014), o qual afirma que natureza da ciência envolve um arcabouço de saberes sobre as bases epistemológicas, filosóficas, históricas e culturais da ciência.

⁷ Tal como as visões consensuais são encontradas de longa data na literatura, questionamentos sobre a pertinência de uma concepção universal sobre a natureza da ciência também. Silva (2014) comenta que, segundo Eflin, Glennan e Reisch (1999) há dois princípios que não são consenso, estreitamente relacionados com debates no campo da Filosofia da Ciência: A geração do conhecimento científico depende de compromissos teóricos e fatores sociais e culturais; A verdade das teorias científicas é determinada por características do mundo que existem independentemente do cientista (Eflin; Glennan; Reisch, 1999, p. 109-110, tradução nossa). Gil-Pérez *et al.* (2001) também apontam que há divergências entre filósofos da ciência em relação à natureza do trabalho científico, o que poderia levar ao questionamento se é adequado falar de uma única concepção correta de ciência. No entanto, para a educação em ciências, os autores destacam que são

levar em consideração, para fins de estratégia didática, as conformidades de pensamento e não as controvérsias acerca da natureza da ciência. Consideramos que os desacordos entre epistemólogos podem ser abordados pontualmente conforme o episódio histórico selecionado.

Ao acolher as visões consensuais no ensino de ciências, temos o intuito de ressaltar características essenciais das ciências, visando a aprendizagem do estudante sobre aspectos que são comuns na construção do conhecimento científico, de modo geral. Reconhecemos as especificidades de cada ciência. Desse modo, essa defesa não tem o propósito de considerar a existência princípios universais a todas as ciências, como na Teoria Geral dos Sistemas de Bertalanffy (1968), uma teoria de caráter interdisciplinar que explicaria o funcionamento dos sistemas nas mais variadas áreas do conhecimento⁸.

Voltando à pesquisa em pauta, a escolha do objeto de pesquisa se justifica por dois aspectos: primeiro, o fato da célula ser considerada uma das ideias fundamentais da Biologia e, como tal, esse conteúdo provavelmente continuará presente na educação básica, independentemente do currículo vigente⁹. Ademais, o próprio teor deste conteúdo oferece possibilidades de análise dos episódios históricos envolvidos, da prática científica histórica e contemporânea e das controvérsias a respeito do processo de construção desse conhecimento biológico. Ou seja, esta temática permite reflexões sobre a natureza da ciência.

Conforme aponta Nascimento Junior (2010), as bases do pensamento biológico podem ser sintetizadas em ideias ou elementos estruturantes, fundamentais para aprender Biologia, uma vez que lhe conferem legitimidade. O autor sustenta que a teoria celular está entre as principais teorias que participaram da construção do pensamento biológico, ao lado da teoria da herança (genética e

importantes os consensos nas diferentes abordagens existentes, embora recomendem precaução nesta prática

⁸ No Segundo Capítulo, a Teoria Geral dos Sistemas é abordada na discussão sobre a possibilidade da Biologia como modelo para as ciências.

⁹ A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) contempla especificamente o conteúdo sobre a célula na área de Ciências da Natureza do ensino fundamental (6º ano). Destaco o objeto do conhecimento 'Célula como unidade da vida', vinculado à unidade temática 'Vida e Evolução' e à habilidade EF06CI05 - Explicar a organização básica das células e seu papel como unidade estrutural e funcional dos seres vivos (Brasil, 2018, p. 345). Desse modo, o estudo sobre a célula está inserido no conjunto de aprendizagens essenciais definido por este documento normativo e constitui-se como pré-requisito à compreensão dos conteúdos biológicos em toda a educação básica.

epigenética), teoria da homeostase, teoria sintética da evolução e teoria ecológica (dos ecossistemas ou da paisagem).

A educação em Biologia é fortemente baseada no estudo da célula como unidade morfofisiológica da vida. No entanto, esta é apenas uma das abordagens possíveis para a compreensão desse conceito, no qual a visão internalista da ciência destaca-se em detrimento da abordagem externalista. Isso significa que a história da construção do conceito de célula é negligenciada e restrita à descrição do pioneirismo de Hooke na observação e à criação do termo no século XVII, sem referência aos contextos filosófico, histórico, social, político e cultural que podem ter influenciado as ideias sobre esse Fato Científico.

A aprendizagem desse conteúdo torna-se, portanto, prejudicada quando se ignora o processo coletivo e os contextos na construção do conceito de célula. Desconsiderar a abordagem das controvérsias entre filósofos, biólogos, médicos e fisiologistas ao longo destes contextos também pode ser obstáculo à aprendizagem. Pode-se questionar: Seria possível estudar a Biologia Celular sem referência ao percurso da busca por uma unidade morfofuncional dos seres vivos até o aparente consenso sobre o conceito atual de célula adotado pela Biologia? Certamente, sim! Mas reafirmo minha tese de que a compreensão de conceitos científicos/biológicos seja potencializada quando se considera a abordagem histórico-filosófica-sociológica da ciência.

Durante a pesquisa bibliográfica para a constituição desta investigação, foram identificados estudos recentes¹⁰ voltados para a educação básica em Biologia, cujo objeto principal de investigação é a célula, dada a importância desse conceito para a compreensão dos processos biológicos, bem como a dificuldade dos estudantes na aquisição desse conhecimento em virtude da abstração envolvida na sua aprendizagem (França, 2015; Nascimento, 2016; Neves; Carneiro-leão; Ferreira, 2016, Luz; De Oliveira; De oliveira, 2018; Vigario; Cicillini, 2019; Pinheiro; Echalar; Queiroz, 2022; Reis *et al.*, 2021).

À vista disso, esta pesquisa representa mais uma contribuição para o ensino da Biologia Celular, com foco em referenciais epistemológicos com potencial de ampliar o aporte teórico acerca desse tema na perspectiva histórica e no estudo

¹⁰ Considero recentes os trabalhos identificados a partir de 2015, ano seguinte à conclusão da minha dissertação.

sobre a recente célula mínima. Diante da originalidade de ambos os estudos combinados, considero os resultados obtidos como uma possibilidade de atualização do conteúdo referente ao estudo da célula e da vida na educação básica.

Além dessa contribuição, o aporte teórico fleckiano desenvolvido nesta investigação poderá subsidiar outras pesquisas acadêmicas na área da educação em ciências/Biologia, uma vez que a Epistemologia apresentada pode servir para reflexões acerca do desenvolvimento das Ciências da Vida/Biologia a partir do estudo de um Fato Científico permeado por condicionantes históricos, sociais e filosóficos, bem como análise da possibilidade de mudanças num conceito científico.

Tendo por base as reflexões apresentadas, a problemática principal desta pesquisa pode ser formulada nos seguintes termos: A produção da célula mínima pela Biologia Sintética teria potencial para fazer emergir um novo Estilo de Pensamento, em contraposição ao Estilo de Pensamento que orienta o conceito clássico de célula como unidade fundamental da vida?

Segundo a Epistemologia de Fleck, um conceito científico pode sofrer mutações ao ser confrontado com o Estilo de Pensamento que predomina em cada época, uma vez que passa por apropriações do conhecimento produzido pelo coletivo de pesquisadores, os quais interferem no mundo por meio de suas atividades. No caso desta investigação, cujo objeto de estudo refere-se ao conceito clássico de célula e ao conceito de célula mínima, interessou saber se as ideias e práticas do coletivo de pesquisadores no campo da Biologia Sintética estão relacionadas à emergência de um novo Estilo de Pensamento.

Ao atribuir significado a esse objeto de estudo, que instrumento de mediação com o mundo essa comunidade de cientistas da Biologia Sintética tem utilizado, ou, em outras palavras, que Estilo de Pensamento tem orientado a compreensão acerca da célula mínima produzida pela Biologia Sintética? O Estilo de Pensamento que orienta as Ciências da Vida e, conseqüentemente, a compreensão clássica de célula se mantém nesse contexto? Estaríamos diante do que Fleck chama de Complicações em um Estilo de Pensamento? Com a Biologia Sintética, podemos dizer que houve efetivamente a emergência de um novo Estilo de Pensamento, uma mutação em termos fleckianos, que reorienta conceitos clássicos que constituem as Ciências da Vida, tal como o conceito de célula?

Tais questões me conduziram no sentido de identificar os Estilos de Pensamento sobre a célula que se constituíram historicamente e sobre célula

mínima na atualidade. Este reconhecimento requer a busca de elementos que indiquem o modo de agir e pensar da comunidade científica acerca da célula, numa determinada época, demarcada pelas fontes históricas e artigos selecionados para análise.

Mesmo caracterizando com minúcias o conceito de Estilo de Pensamento nas suas obras epistemológicas, Fleck não orienta diretamente quais elementos deveriam ser examinados para caracterizar/identificar um Estilo de Pensamento a partir de materiais publicados acerca de um objeto de investigação ou dos discursos e práticas de uma comunidade de pesquisadores, por exemplo. Com efeito, isso poderia tê-lo aproximado de um caráter normativo que o epistemólogo polonês não parece partilhar.

Logo, na presente investigação, procurei identificar esses elementos, sendo apresentados como fonte da elaboração de categorias de análise¹¹, a partir de ideias biológicas e epistemológicas desenvolvidas na fundamentação teórica e consideradas relevantes à apropriação dos Estilos de Pensamento que conduziram historicamente a construção de um conceito tão fundamental nas Ciências da Vida. As categorias são relacionadas a alguns temas: identificação do problema/orientação da pesquisa; visão de ciência; método utilizado; construção do conhecimento; concepção filosófica; concepção sobre a organização/individualidade biológica; relação entre os conceitos de célula e vida; uso da palavra célula.

Algumas questões auxiliares foram importantes para conduzir esta investigação: Quais Estilos de Pensamento contribuíram para a construção do conceito clássico de célula? É possível identificar um novo Estilo de Pensamento relacionado à produção da célula mínima? Quais concepções de vida foram desenvolvidas historicamente associadas ou não à célula? Questionamentos que me auxiliaram a investigar, portanto, se a produção da célula mínima pela Biologia

¹¹ O termo 'categoria' foi adotado na falta de um termo que melhor representasse metodologicamente as pistas, os sinais, as características possíveis de serem reconhecidas nos documentos analisados e que identifiquem um determinado Estilo de Pensamento. Numa epistemologia que considera o condicionamento histórico e social na produção do conhecimento científico, categorizações *a priori*, com efeito, não deveriam ser consideradas. No entanto, do mesmo modo que as Protoideias fleckianas fazem mediação da conexão histórica entre Estilos de Pensamento, entendo que identificar um determinado Estilo de Pensamento requer a identificação prévia de características que fazem parte do contexto da época em que o fazer científico se desenvolve. A elaboração prévia de categorias não significa, portanto, um *a priori* kantiano. Em outras palavras, do mesmo modo que um Estilo de Pensamento não inicia 'do nada', o trabalho de análise para reconhecê-lo também necessita da busca de ideias (pistas, sinais, características) que se reúnem na constituição desse estilo.

Sintética teria potencial para fazer emergir um novo Estilo de Pensamento, em contraposição ao Estilo de Pensamento que orienta o conceito clássico de célula como unidade fundamental da vida.

Para alcançar esse objetivo central, tracei os seguintes objetivos específicos:

1. Discorrer sobre as Ciências da Vida como possibilidade de modelo epistemológico para as ciências;
2. Caracterizar o pensamento de Georges Canguilhem no âmbito das Ciências da Vida;
3. Apresentar concepções de vida desenvolvidas historicamente;
4. Caracterizar fundamentos epistemológicos fleckianos que permeiam a origem e evolução de um Fato Científico;
5. Apresentar Estilos de Pensamento biológico como caminho para a compreensão da célula;
6. Refletir sobre a constituição de conceitos científicos no âmbito histórico e epistemológico para o ensino de ciências;
7. Esclarecer sobre a origem e desenvolvimento da metáfora organismo-máquina;
8. Caracterizar a Biologia Sintética no contexto da produção da célula mínima;
9. Realizar análise histórico-epistemológica do conceito clássico de célula e do conceito de célula mínima ancorada na Epistemologia fleckiana e com apoio da Epistemologia de Georges Canguilhem.

Visando contemplar o desenvolvimento dos objetivos da pesquisa, a tese apresenta a seguinte estrutura, na sequência deste capítulo introdutório.

No Segundo Capítulo, apresento um estudo sobre as Ciências da Vida, discutindo aspectos de dois modelos opostos de ciência - o modelo da Física Clássica e o modelo biológico, bem como o estabelecimento das Ciências da Vida/Biologia como uma possibilidade de modelo para a compreensão da construção do conhecimento científico. Também foi delineada uma síntese do pensamento de Canguilhem, da historicidade do conceito de vida e das ontodefinições de vida.

O Terceiro Capítulo é dedicado ao esclarecimento de conceitos epistemológicos de Ludwik Fleck em sintonia com aspectos de sua biografia. Neste capítulo, a ideia da provisoriedade da ciência é abordada por meio do conceito de Mutações no Estilo de Pensamento e da apresentação dos Estilos de Pensamento biológico sobre o fenômeno vida como um caminho para caracterizar epistemologicamente a concepção de célula.

No Quarto Capítulo, busco abordar brevemente a Epistemologia de Fleck e Canguilhem quanto à relevância dada à origem e evolução histórica dos conceitos para a compreensão da ciência.

O Quinto Capítulo trata da metáfora do *organismo como máquina*, que permeia conceitos fundamentais nas Ciências da Vida e na Biologia Sintética. Inicialmente com base no estudo histórico de Canguilhem 'Máquina e Organismo' (1952), por meio do resgate do pensamento de autores visitados pelo epistemólogo francês, que expressaram seu posicionamento acerca dessa questão. No segundo momento, avançando para discussões mais recentes acerca da submetáfora associada, o *programa genético*.

O Sexto Capítulo é destinado à tentativa de elucidar aspectos históricos e científicos da Biologia Sintética e promover alguns questionamentos e reflexões filosóficas acerca desse campo de pesquisa.

No Sétimo Capítulo, apresento os delineamentos metodológicos referentes à análise documental, a qual se constituiu por meio da análise histórico-epistemológica do conceito clássico de célula e do conceito de célula mínima. No Oitavo e Nono Capítulos apresento o desenvolvimento das etapas da análise e discuto os resultados obtidos. Na sequência, no Décimo Capítulo, destaco pontos de reflexão importantes relacionados ao Fato Científico estudado e abordo algumas orientações para subsidiar o (a) professor (a) de Biologia, com base no constructo teórico desenvolvido neste trabalho.

Finalmente, no último capítulo, reafirmo o caráter provisório da pesquisa científica, tecendo 'Considerações até o momento' sobre minha própria investigação. O apêndice deste trabalho mostra os quadros construídos para auxiliar as análises referentes ao estudo de episódios históricos e ao estudo de episódios contemporâneos.

O interesse genuíno em produzir esta pesquisa me proporcionou imensa satisfação a cada passo, a cada retorno, a cada novo olhar sobre o que antes parecia resolvido. Um processo como esse carrega em si marcas da professora de Ciências/Biologia em atividade há quase vinte anos, que cedeu espaço à pesquisadora e que, a partir de agora, seguirão caminho de mãos dadas. Digo isso com a convicção de que essa influência mútua irá se refletir na minha prática docente e nas produções científicas que estão por vir.

Procurei desenvolver uma tese honesta, o que pode ser notado pelas possibilidades de respostas ao meu problema principal de pesquisa. Mesmo concordando com Fleck, quando diz que cada elaboração de um problema já contém em si a metade de sua solução, fui surpreendida com a trajetória singular

desta investigação, especialmente após cada uma das fecundas reuniões de orientação e o exame de qualificação da tese.

Ao leitor, preciso alertar que com frequência recorro a longas citações, conduta que considero oportuna e coerente, dada a natureza histórica desta investigação. Certas explicações não poderiam ser melhor apresentadas, a não ser ditas pelo sujeito que as elaborou, o qual carrega em cada palavra, em cada frase a história das suas pesquisas, dos seus problemas empíricos e/ou epistemológicos. Logo, as citações são fundamentais para a compreensão das ideias aqui expostas; algumas delas são resultado de um grande esforço para alcançar e traduzir a fonte primária. A riqueza de estilo, as marcas da história, ou, como argumenta Fleck, as concepções de cada período enquanto formações estilísticas autônomas, fizeram com que, em diversos momentos, não optasse por uma paráfrase capaz de sintetizar a ideia do autor, embora a tenha feito para minha própria compreensão.

As elaborações e discussões teóricas desenvolvidas levam em consideração elementos importantes para responder à problemática anteriormente apresentada. No próximo capítulo, tem início a construção do corpo teórico desta investigação, com foco nas Ciências da Vida/Biologia no contexto científico e epistemológico.

2 AS CIÊNCIAS DA VIDA NO CENÁRIO DA CIÊNCIA E DA EPISTEMOLOGIA

Este capítulo tem a finalidade de evidenciar as Ciências da Vida, apresentando o estabelecimento dessa área como Ciência e seu potencial epistemológico, para além do tradicional modelo das Ciências Exatas dominante na ciência moderna: a visão de mundo cartesiana e a Física Clássica newtoniana.

Inicialmente, contemplo aspectos de dois modelos antagonistas de ciência - o modelo da Física Clássica e o modelo biológico – justificando e respaldando minha predileção pelo segundo na presente investigação, a partir dos pressupostos epistemológicos de autores com conhecimento na área biológica, numa perspectiva histórica e/ou sistêmica/holística. Ressalto que tal opção não significa eleger a Epistemologia destes autores como dogmática e substitutiva de qualquer outra, ao contrário, significa fazer uso de concepções epistemológicas que considero mais adequadas para solução da problemática que orienta esta investigação.

Também são contemplados aspectos relacionados à emergência e consolidação da Biologia como ciência e como modelo epistemológico para uma melhor compreensão da história da ciência. Em seguida, apresento uma breve discussão sobre a complexidade histórica de se estabelecer um conceito de vida, o que pode implicar tanto na compreensão da fluidez do modelo biológico para análise das ciências, quanto na compreensão do conceito de célula, objeto desta investigação.

Ciente das controvérsias sobre a relevância ou não dos questionamentos científicos sobre o fenômeno da vida na atualidade, considero que a problemática desta pesquisa não deva prescindir dessa caracterização, tanto no âmbito histórico quanto numa perspectiva contemporânea.

A escolha desta composição como ponto de partida do presente trabalho se justifica por diversas razões, as quais procuro esclarecer inicialmente:

1. Dois teóricos com papel de destaque neste trabalho, Ludwik Fleck (1896-1961) e Georges Canguilhem (1904-1995), ancoram suas ideias no campo das Ciências da Vida, em contraposição ao modelo da Física Clássica e ao positivismo lógico do Círculo de Viena (neopositivismo). Canguilhem, pensador francês, contribui neste capítulo com sua ampla reflexão e crítica sobre o conceito de vida, e as Ciências da Vida. No decorrer do corpo teórico, participa com seu estudo sobre as máquinas e os organismos e na análise histórico-epistemológica aparece como

autor da fonte secundária selecionada, com seu estudo histórico sobre a teoria celular/conceito de célula. Fleck, pensador polonês, é referência para a análise histórico-epistemológica do material documental e sua teoria do conhecimento é apresentada no capítulo seguinte.

2. O objeto de pesquisa ou o Fato Científico estudado - o conceito de célula - tem estreita relação com a concepção de vida desde a proposição da teoria celular (meados do século XIX), na qual a célula passou a ser considerada, historicamente, a unidade morfofisiológica da vida até esta unidade ser reduzida tecnicamente à escala molecular a partir dos estudos sobre o DNA/genes (meados do século XX). No entanto, ordinariamente, a célula é referida como unidade fundamental da vida e, por conter o material genético, desconheço desacordo com relação a essa afirmação.

Considero pertinente apresentar um panorama do modelo epistemológico dominante na era moderna, bem como uma aproximação com a Epistemologia de um dos autores que mais se dedicaram ao estudo das Ciências da Vida, Georges Canguilhem. Adotado nesta investigação como autor coadjuvante, o médico francês tomou a 'vida' ou mais especificamente, a 'história do conceito de vida', como objeto da sua pesquisa epistemológica e, por esse motivo suas ideias também são apresentadas no presente capítulo.

2.1 CIÊNCIAS DA VIDA: A CONSTITUIÇÃO DE UM CAMPO DE PESQUISA E DE UMA POSSIBILIDADE DE MODELO EPISTEMOLÓGICO PARA AS CIÊNCIAS

As análises sobre o conceito de célula e de vida nesta investigação foram sustentadas em dois autores, Ludwik Fleck e Georges Canguilhem, os quais, ao contrário da maioria dos epistemólogos que eram físicos, optaram pelas Ciências da Vida como uma possibilidade de modelo epistemológico para as ciências, não só admitindo a Biologia como ciência autônoma, mas enxergando nos processos biológicos um caminho para compreender as ciências e a historicidade dos objetos científicos.

Encontramos na literatura aproximações entre as ideias de Fleck e Canguilhem (Condé, 2016; Souto, 2019b) e, apesar de não haver registro histórico de interlocução entre os pensadores, há algo que alinha suas ideias: o olhar para a

ciência numa concepção evolutiva e holística do conhecimento em contraposição ao positivismo lógico. Condé ressalta que, por caminhos distintos, os dois epistemólogos apresentaram pensamento semelhante:

Apesar de pertencerem a tradições diferentes e de não terem sofrido influências recíprocas ou unilaterais, no contexto dos anos 1930/1940, Fleck e Canguilhem reagem, cada um a seu modo, contra a velha concepção de história da ciência legitimada por uma epistemologia positivista (Condé, 2016, p. 52).

Destaco Ludwik Fleck como um dos primeiros a adotar as Ciências da Vida como modelo epistemológico para as ciências, ao suscitar a ideia de que os processos da ciência podem ser compreendidos a partir da Medicina e da Biologia, tendo como ‘pano de fundo’ a gênese e o desenvolvimento de uma doença como Fato Científico, no caso a sífilis.

A complexa relação epistemológica entre o estado de saúde e de doença é preocupação dos dois médicos epistemólogos. Para Fleck “não existe uma fronteira estrita entre o que é saudável e o que é doentio, e nunca achamos exatamente a mesma imagem clínica de novo” (Fleck, 1929/1986, p. 39, tradução nossa). Canguilhem compartilha de ideia semelhante ao asseverar que “a fronteira entre o normal e o patológico é imprecisa para diversos indivíduos considerados simultaneamente, mas é perfeitamente precisa para um único e mesmo indivíduo considerado sucessivamente” (Canguilhem, 1943/2009, p. 71).

Contudo, quando se identifica os conceitos centrais da Epistemologia de cada autor, percebe-se que contemplam abordagens distintas. O conceito de Normatividade Vital de Canguilhem refere-se à concepção de uma norma produzida pela vida, que distingue qualitativamente o estado normal e o patológico. O Estilo de Pensamento fleckiano corresponde a uma orientação específica para as investigações científicas, compartilhada por um Coletivo de Pensamento, no interior de um determinado contexto histórico, social, cultural.

Voltando às semelhanças entre as ideias de Fleck e Canguilhem, no contexto das Ciências da Vida, Condé denomina de matriz biológica o ponto de convergência entre os dois pensadores, contrapondo-se à matriz da Física Clássica, ou seja, “a matriz de entendimento do conhecimento é a biologia; o desenvolvimento do conhecimento é algo que se processa em termos evolutivos” (Condé, 2016, p. 59) – uma evolução social, cognitiva e linguística.

Antes de pensarem a história da ciência no viés de uma epistemologia histórica, Fleck e Canguilhem foram médicos e talvez isso não tenha sido uma mera coincidência [...]. Não apenas possuem uma prática e um discurso a partir da matriz biológica, mas compreendem a necessidade de incorporar essa matriz como referencial epistemológico¹². Em certo sentido, uma epistemologia histórica é uma epistemologia biológica ou evolutiva (Condé, 2016, p. 59).

Em 1943, na sua clássica obra 'O normal e o patológico', a partir de questões médicas e biológicas, Canguilhem apresenta uma concepção de história da ciência inovadora para a época, alinhada à concepção pioneira, embora pouco conhecida na época, desenvolvida por Ludwik Fleck, em 1935, na obra 'Gênese e desenvolvimento de um fato científico'. Nesta, Fleck procurava mostrar, inspirado na Biologia e Medicina, um novo modelo epistemológico para a compreensão da História da Ciência numa perspectiva social e histórica, ou seja, o entendimento do conhecimento como resultado de um coletivo e suas interações sociais situados no tempo (Condé, 2016).

Além da aproximação teórica entre os pensadores médicos, Souto destaca a mudança de foco desenvolvida por Canguilhem no que concerne à Epistemologia histórica francesa:

De fato, a visão dinâmica, holística e ecológica que ambos têm da doença os torna muito próximos, e pode nos auxiliar a compreender o deslocamento provocado por Canguilhem na epistemologia histórica francesa ao preferir partir, não mais das ciências matemáticas ou matematizáveis, mas das ciências da vida, as quais se caracterizam justamente pelo fato de resistirem à matematização (Souto, 2019b, p. 392).

É pertinente abordar o problema conhecido como 'matematização da ciência'¹³, considerando que esse nem sempre foi o modelo epistemológico dominante na produção do conhecimento¹⁴. Antes, pelo menos a partir da

¹² A expressão 'referencial epistemológico' adotada por Condé é compreendida nesta investigação como 'modelo epistemológico para a compreensão da história das ciências'.

¹³ Embora essa expressão remeta à crítica à visão de mundo estabelecida na ciência moderna, que admite a matematização e mecanização da natureza em pensadores como Galileu Galilei, René Descartes, Isaac Newton, a Biologia vem se utilizando de modelos matemáticos e estatísticas em diversas áreas, como modelos matemáticos da genética de populações, as equações do modelo Lotka-Volterra (ou predador-presa), cálculo da frequência de alelos em uma população, modelos matemáticos para previsão de cenários em doenças infecciosas, como no caso da COVID-19, modelos matemáticos de simulação de genomas sintéticos em computadores são alguns exemplos.

¹⁴ Minha abordagem será apresentada na perspectiva tradicional da emergência da ciência moderna ocidental, visto que é exatamente essa concepção de ciência hegemônica, considerada válida e universal, que os autores de referência adotados desta tese contestam.

Antiguidade, a concepção orgânica do mundo prevaleceu nos países da Europa Ocidental e em muitas outras sociedades. De fato, quando se fala em concepção holística do conhecimento, inevitavelmente nos remetemos ao filósofo grego Aristóteles¹⁵.

É comum a crença de que as concepções aristotélicas de compreensão orgânica do mundo persistiram na Idade Média e, a partir dos séculos XVI e XVII, a chamada Revolução Científica representou a transformação no pensamento científico ocidental. Revolução delineada no campo da Física com fundamentação matemática, a qual se tornou a ciência exemplar nos trabalhos de Copérnico, Galilei, Bacon, Descartes, Newton (Mayr, 2005).

Para ilustrar a crença na concepção da Filosofia racionalista em Descartes, é pertinente uma passagem de ‘Princípios da Filosofia’:

[...] sendo essas regras os princípios da Geometria, julguei que todo o conhecimento que os homens podem ter da Natureza só pode ter sido obtido assim. E tanto é verdade que as outras noções que temos das coisas sensíveis são confusas e obscuras e não podem, por conseguinte proporcionar-nos o conhecimento de algo exterior a nós; pelo contrário, podem até impedir esse conhecimento (Descartes, 1644/1997, p. 274).

Jacob explica que, dentre as Ciências da Natureza, nos séculos XVII e XVIII, a Física é a única que poderia se expressar em linguagem matemática, desempenhando, portanto, um papel determinante na ciência dessa época, na qual não existe fronteira estabelecida entre ‘os seres e as coisas’ ou entre o ‘vivo e o não vivo’. Segundo o autor, “astros, pedras ou seres, todos os corpos estão submetidos às mesmas leis do movimento” (Jacob, 1970/1983, p. 38-39). E complementa:

[...] não existe razão alguma para reservar um lugar à parte para os corpos vivos e subtraí-los à grande mecânica que faz o universo girar. Só o que depende claramente das leis do movimento no corpo dos animais é acessível à análise. É o caso da ossatura de animais e de seu tamanho, que, observa Galileu, não pode aumentar indefinidamente, nem na arte nem na natureza, sem quebrar sua coerência e dificultar o funcionamento normal dos órgãos (Jacob, 1970/1983, p. 40).

¹⁵ Mayr (2008) defende que a ‘biologia’ de Aristóteles também era uma ciência, mas faltava o rigor metodológico e a completude da ciência Biologia da forma como ela se desenvolveria no século XIX.

Para Abrantes, nas ciências baconianas do século XVII, lógica e matemática não seriam instrumentos profícuos para fundamentar o conhecimento científico. Somente nos séculos XVIII e XIX estas ciências “passaram a contar com teorias minimamente abrangentes e consensuais, para não dizer, matematizadas” (Abrantes, 2016, p. 113).

Nos domínios das chamadas ‘ciências baconianas’ (como a química, setores da física como a eletricidade, o magnetismo, o estudo dos gases e do calor) e as ciências da vida ou a história natural, ainda embrionárias no século XVII e de pouca ou nenhuma tradição teórica, predominavam os métodos de tradição baconiana de coleta exaustiva de dados e a manipulação experimental. Tais métodos eram usais em artesãos, alquimistas, farmacêuticos, médicos (Abrantes, 2016, p. 112).

As divergências metodológicas entre a tradição racionalista clássica e a indutiva experimental, defendida por Bacon, apontadas por Abrantes, foram expressas em termos institucionais e nacionalmente, no século XVIII.

A Académie des Sciences francesa, por exemplo, era dominada pela orientação racionalista-matemática, enquanto a Royal Society abrigava investigadores de ambas as tendências. Newton foi uma significativa exceção neste contexto, tendo participado de ambas as tradições (Abrantes, 2016, p. 113).

Naturalmente, essa visão de mundo teve impactos significativos na posição filosófica dos que se dedicaram à compreensão da ciência, como no positivismo de Auguste Comte¹⁶ (1798-1857) no século XIX, cuja influência foi mantenedora do ideal da Filosofia associada à verificação empírica e superação da Metafísica, encontradas quase um século depois no neopositivismo. Zaterka e Mocellin fazem referência a essa seletividade epistemológica e afirmam:

As discussões filosóficas sobre o desenvolvimento do conhecimento científico que tiveram lugar na primeira metade do século XX se apoiaram, majoritariamente, em exemplos extraídos das ciências físicas, de modo que a expressão ‘filosofia da ciência’ se tornou sinônima de ‘filosofia da física’. O fato de a física ser a ciência experimental melhor assimilada pela linguagem matemática fez com que essa ciência passasse a ser tomada como modelo do que seria conhecimento científico para as demais ciências empíricas (Zaterka; Mocellin, 2022, p. 17).

¹⁶ Destaco que, em Comte, a Física é o modelo de Ciência Positiva. Todas as ciências são consideradas por Comte como físicas, em sua mais alta amplitude (Canguilhem, 1958/2012).

Aqui, cabe ressaltar a influência do programa baconiano nos objetivos da investigação científica (Capra, 2006; Zaterka, 2018), um exemplo da interferência das atitudes patriarcais sobre o pensamento científico¹⁷. Capra relata que a concepção da natureza como uma mulher cujos segredos devem ser extirpados sob tortura, com a ajuda de instrumentos mecânicos, sugere a tortura generalizada de mulheres nos julgamentos de bruxas do começo do século XVII, o que pode ter prejudicado por séculos a participação e o reconhecimento das mulheres na ciência. E acrescenta:

O antigo conceito da Terra como mãe nutriente foi radicalmente transformado nos escritos de Bacon e desapareceu por completo quando a revolução científica tratou de substituir a concepção orgânica da natureza pela metáfora do mundo como máquina (Capra, 2006, p. 54).

No entanto, a concepção dominante da natureza como uma máquina, comandada pela precisão das leis matemáticas é questionada por Abrantes¹⁸.

O mecanicismo não foi uma imagem hegemônica da natureza, mesmo no século XVII. Sobreviveram na modernidade diversas imagens da Antiguidade, gerando grande riqueza de orientações de pesquisa, muitas vezes conflitantes. discordantes. [...] a imagem de natureza de Newton não é propriamente mecanicista, mas dinamista (Abrantes, 2016, p. 13-14).

Abrantes se posiciona contrário às reconstruções simplificadoras e à parcialidade das reconstruções historiográficas tradicionais. Apresenta críticas acerca da atribuição hegemônica do mecanicismo na ciência moderna, a partir do século XVII. O autor sustenta que a imagem mecanicista da natureza teria coexistido com o dinamismo (ou imagem dinamista da natureza), particularmente em Newton. Nas palavras de Abrantes:

¹⁷ Sendo chanceler da coroa no reinado de Jaime I, Bacon estava familiarizado com denúncias e acusações no julgamento das bruxas e, como a natureza era comumente vista como fêmea, ele passou a transferir as metáforas usadas no tribunal para os seus escritos científicos (Capra, 2006).

¹⁸ Paulo Abrantes apresenta estudos de casos históricos desde a Antiguidade até o século XIX. ancorado nos conceitos de Imagens de Natureza e Imagens de Ciência. Segundo Abrantes, uma Imagem de Natureza “possui caráter difuso, incorporando de forma assistemática grande número de ideias, intuições, das quais não se tem muitas vezes consciência, e não se consegue retrair as origens”. Diferentes imagens podem se sobrepor e as inconsistências são toleradas (Mecanicismo x Dinamismo; Naturalismo X Sobrenaturalismo, são exemplos). Quanto à Imagem de Ciência, pode indicar concepções acerca dos métodos adequados para a obtenção de conhecimento científico, um conjunto de critérios para os produtos da atividade científica, como as teorias e busca pelos objetivos da atividade científica (como Método indutivo x Método hipotético; Descrição x Explicação dos fenômenos).

[...] durante e após a Revolução Científica conviveram duas imagens de natureza em muitos aspectos antagônicas: o mecanicismo e o dinamismo. Cientistas como Newton, embora indiscutivelmente modernos, não podem ser considerados mecanicistas no sentido estrito, mas devem, ao contrário, ser classificados como dinamistas (Abrantes, 2016, p. 115).

Abrantes aponta a inadequação das explicações mecanicistas dos fenômenos vitais no século XVII como uma possibilidade de reexaminar a permanência da Filosofia animista na explicação destes processos naquele momento histórico, divergindo de interpretações usuais, como as que encontramos em Capra.

Capra (2006) ressalta que a 'grande vitória' da Fisiologia do século XVII se deu quando William Harvey adotou o modelo mecanicista ao fenômeno da circulação sanguínea no corpo humano e 'solucionou' um grande problema da Fisiologia desde a Antiguidade. No entanto, outras tentativas de construção de modelos mecanicistas para as funções orgânicas, como a digestão e o metabolismo, não conseguiram explicar a complexidade dos processos e fracassaram.

Esse episódio pode ter sido o primeiro registro de que, pelo menos no campo das Ciências da Vida, fenômenos complexos não poderiam ser explicados a partir da redução a seus componentes elementares e investigação dos mecanismos de interação desses componentes. Ou seja, o reducionismo típico do mecanicismo, poderia ter se distanciado das tentativas de compreensão dos processos orgânicos antes da elaboração de teorias biológicas importantes, como a teoria celular. Porém, quando se trata da história da ciência, concepções filosóficas e/ou modelos epistemológicos de interpretação do objeto científico passam por um longo caminho até se estabelecerem ou serem abandonados e, ainda assim, discordâncias, controvérsias, rupturas, recuos, crises, correções, são comuns.

A tradição do vitalismo, por exemplo, a qual teve início em Aristóteles e outros filósofos da Antiguidade, perdurou e alicerçou o surgimento da Biologia, enquanto disputava com sua corrente filosófica rival, o mecanicismo, o reconhecimento na explicação dos fenômenos relativos aos seres vivos. Apesar da suposta queda da concepção vitalista, importante considerar o valor histórico da noção de vitalismo na constituição das Ciências da Vida/Biologia evidenciada em autores como Georges Canguilhem, Ernst Mayr e Francois Jacob.

No estudo sobre a historicidade do conceito de vida, Canguilhem destaca que o termo 'biologia' foi utilizado pela primeira vez no ano de 1802 (ano da morte

de Bichat), concomitantemente na Alemanha por G. R. Treviranus¹⁹, e na França por Lamarck, como forma de pleitear um estatuto de independência próprio à Ciência da Vida.

Além da coincidência do termo para denominar a nova ciência no início do século XIX, outro fator chama a atenção: a relevância da concepção vitalista na constituição da Biologia como Ciência, destacada por Canguilhem ao afirmar que “Restituir justiça ao vitalismo, afinal, é tão somente restituir-lhe a vida” (Canguilhem, 1952/2012, p. 105); por Jacob, quando declara que o “vitalismo é tão essencial nos primórdios da biologia quanto era o mecanicismo na Idade clássica” (Jacob, 1970/1983, p. 99). Mayr defende que “o vitalismo foi um movimento necessário para demonstrar a vacuidade do fisicalismo raso na tentativa de explicar a vida” (Mayr, 2008, p. 36).

Dentre estes três estudiosos das Ciências da Vida, Jacob talvez seja o que mais tenha exposto seu pensamento reducionista radical como contraponto direto ao declínio do vitalismo. Recorro a uma longa citação, por considerar que a semântica do texto vem impregnada dos problemas empíricos e epistemológicos declarados e implícitos na história apresentada por Jacob.

No final do século XIX e na primeira metade do século XX, desapareceu a antiga forma do vitalismo, a que a biologia inicialmente recorrera para adquirir independência. Diante do desenvolvimento da ciência experimental, da genética, da bioquímica, não se pode mais, a não ser através do misticismo, invocar seriamente um princípio de origem desconhecida, um X que escaparia por sua própria essência às leis da física, para explicar os seres vivos e suas propriedades. O que poderia impor um limite ao conhecimento do mundo vivo não é mais uma diferença de natureza entre o vivo e o inanimado. É a insuficiência de nossos meios ou mesmo de nossa possibilidade de análise. A isto adiciona-se uma complexidade nos componentes dos seres vivos que não pode ser comparada à das moléculas estudadas pela física e pela química clássicas [...]. Portanto, não se trata mais de recorrer a uma força misteriosa para justificar a origem, as propriedades, o comportamento dos seres vivos. Trata-se de saber se as leis já encontradas na análise da matéria bastam ou se é preciso procurar novas. Para se constituir como ciência, a biologia teve que se separar radicalmente da física e da química. Em meados do século XX, para prosseguir a análise da estrutura dos seres vivos e de seu funcionamento, teve que se associar intimamente a elas. Desta união nascerá a biologia molecular (Jacob, 1970/1983, p. 248-249).

¹⁹ Jacob acrescenta o biólogo alemão Lorenz Oken como um dos três primeiros a utilizar o termo ‘biologia’, no mesmo período.

Canguilhem manifesta pensamento alinhado ao de Jacob quanto à relevância da Biologia Molecular. Ao se aproximar do conteúdo histórico da obra de Francois Jacob, tomar conhecimento de uma importante novidade no campo da Biologia Molecular²⁰ - a identificação da estrutura tridimensional do DNA - por meio deste e incorporá-la à sua Filosofia biológica, Canguilhem retifica sua concepção de vida a partir desse episódio da ciência.

Em relação ao reducionismo físico-químico, Mayr expressa moderação na sua análise. Numa visão peculiar, de modo quase anacrônico, o biólogo alemão posiciona o programa genético como uma característica importante no contexto da corrente filosófica organicismo. Para Mayr, o declínio do vitalismo, “em vez de levar à vitória do mecanicismo, resultou em um novo sistema explicativo [...], o organicismo” (Mayr, 2008, p. 38). Segundo o autor, esse novo modo de pensar,

[...] aceitava que os processos no nível molecular poderiam ser explicados exhaustivamente por mecanismos físico-químicos, mas que esses mecanismos desempenhavam um papel cada vez menor, se não desprezível, em níveis de integração mais altos. Eles são substituídos pelas características emergentes dos sistemas organizados. As características únicas dos organismos vivos não se devem à sua composição, e sim à sua organização [...]. Ele enfatiza em particular as características dos sistemas ordenados altamente complexos e a natureza histórica dos programas genéticos que evoluíram nos organismos (Mayr, 2008, p. 38).

Contudo, a Biologia Molecular não havia emergido no período das primeiras explicações holistas. Além disso, o organicismo, desde que surgiu, em torno de 1920, não contempla ideias reducionistas típicas do mecanicismo, ao contrário, as enfrenta. Logo, entendo que não seria viável incorporar o programa genético no contexto organicista, naquele momento histórico e com o conhecimento da época. De fato, Nicholson (2014b) aponta que ocorreu o desaparecimento do organismo e a emergência dos genes nas explicações sobre a vida a partir de meados do século XX, em virtude do desenvolvimento da Genética e Biologia Molecular.

²⁰ Souza e Aires (2022) esclarecem sobre a construção coletiva da estrutura molecular do DNA. As autoras comentam que no ano de 1953, James Watson e Francis Crick publicaram seu famoso artigo na Revista Nature. Contudo, [...] “a dupla hélice do material genético representou uma construção coletiva da comunidade científica, na qual cientistas de várias áreas, da biologia, da física e da química, se debruçaram para esta compreensão. Como exemplo, participaram dessa busca Watson & Crick (biólogo e físico, respectivamente), Maurice Wilkings (físico), Rosalind Franklin (física) e Linus Pauling (químico)” (Souza; Aires, 2002, p. 23).

Se por um lado, a Biologia se estruturou como ciência ao longo de pouco mais de dois séculos, por outro, conforme sugerem Zaterka e Mocellin, as reflexões filosóficas e sobre o contexto referentes à produção do conhecimento biológico não têm lugar de destaque ainda hoje:

[...] os sistemas epistemológicos hegemônicos privilegiaram explicações lógico-matemáticas e linguísticas da ciência, deixando de lado não apenas as questões filosóficas sugeridas pela investigação experimental, como também todo o contexto social e cultural subjacente a tal conhecimento. Embora recentemente tenha crescido o interesse pela filosofia de outras disciplinas científicas, notadamente pela filosofia da biologia, o modelo paradigmático para a filosofia da ciência entre os filósofos continua a ser, de maneira geral, a física (Zaterka; Mocellin, 2022, p. 18).

Mayr (2008) explica que a aceitação da concepção reducionista como o ideal da ciência levou à crença de que os organismos não são diferentes da matéria inerte, de tal forma que o objetivo da ciência era reduzir a Biologia às leis da Física e da Química. No que concerne à Biologia, podemos nos perguntar, considerando que o conhecimento biológico permeava a concepção de mundo pelo menos desde Aristóteles: Como e por que o quadro conceitual das ciências ficou restrito à Física/Matemática por mais de três séculos e a Biologia não emergiu nesse período como um modelo possível para a compreensão das ciências?

A resposta parece simples. A Biologia ainda não havia se consolidado como ciência. Durante o século XIX, desenvolveu sua linguagem, conceitos e métodos próprios, muito distantes das ideias fisicalistas, que não se aplicavam aos fenômenos biológicos (Mayr, 2005), o que levou alguns autores a defendê-la como ciência autônoma. Tal estatuto da Biologia foi anteriormente defendido por Auguste Comte no século XIX, a partir de sua concepção de organismo, que o fez rejeitar o conceito de célula e se contrapor à teoria celular, devido suas ideias socialistas, como pode ser constatado na análise histórico-epistemológica desta investigação.

Canguilhem apresenta um pensamento inusitado acerca do positivismo de Comte, sugerindo o que seria uma herança biológica presente no positivismo, ao afirmar “que foi no domínio da biologia que a filosofia positiva se revelou mais nova e exerceu influência mais real, a ponto de se duvidar que a sociologia conserve da obra comtiana um traço tão profundo quanto o faz a biologia” (Canguilhem, 1958/2012, p. 59-60). Segundo o autor, a formação do termo ‘biologia’ foi, para

Comte, prova da autonomia, ou da independência da disciplina, a ponto de sugerir uma Revolução Científica no domínio da Biologia:

A filosofia biológica de Comte é a justificação sistemática desse testemunho, a plena aceitação e a consolidação da grande revolução científica, sob o impulso de Bichat, transporta da astronomia à biologia a presidência geral da filosofia natural. Comte não erra propriamente em ver, nos dissabores de sua carreira, uma das consequências do fato de que, na cidade dos sábios da época, ele se colocou, ele matemático, do lado da escola biológica lutando para manter [segundo ele], contra o irracional ascendente da escola matemática, a independência e a dignidade dos estudos orgânicos (Canguilhem, 1958/2012, p. 63).

O reconhecimento da Biologia almejado por Comte, no entanto, não ocorreu de modo imediato pelo simples uso do termo em 1802. A história mostra que houve um desenvolvimento expressivo das pesquisas relacionadas aos seres vivos no interior da nova disciplina ao longo do século XIX. A emergência e/ou avanços de campos específicos de estudo, como a Citologia, Histologia, Fisiologia, Embriologia, Patologia, Paleontologia, Reprodução, Evolução, Microbiologia, Genética, evidenciam um processo de estabelecimento da Biologia, com seus próprios objetivos, métodos, linguagem, teorias, conceitos, relacionados ao fenômeno da vida²¹. Ao discorrer sobre o pensamento científico e a ciência Biologia no século XIX, Rosa esclarece:

A História Natural deixaria de ser um conjunto descritivo de informações e dados esparsos coligidos por naturalistas, para ter uma dimensão maior e mais complexa, ao sistematizar o estudo dos fenômenos biológicos, isto é, o estudo dos organismos vivos. Essa mudança de objetivos e métodos daria nascimento à Biologia, a qual continuaria, contudo, a se utilizar da descrição, mas não mais como seu principal propósito. [...] Com Claude Bernard, o método experimental se imporia na Fisiologia. A flora e a fauna continuariam, como no passado, objetos de interesse e pesquisa, formando, inclusive, parte da Ecologia, ramo da Biologia constituído no século XX, dedicado ao estudo das populações, comunidades, ecossistemas e biosfera (Rosa, 2012, p. 243).

²¹ De acordo com Rosa (2012), durante o século XIX a Biologia tornou-se um campo ativo de atividade científica. A História Natural (Geologia, Botânica e Zoologia) adquiriria um caráter científico, abandonando a postura limitada à descrição, à classificação e à nomenclatura da flora e da fauna, para pesquisar os diversos sistemas biológicos das plantas e dos animais. Com a contribuição da Química, nasceria a 'Medicina científica'. A Teoria da Evolução das Espécies teria um imenso impacto que transporia os limites da História Natural e da Biologia [...]. A Histologia seria criada, no início do século, por Bichat, e a Microbiologia, com Pasteur e Koch, se transformaria num ramo importante, com imediata aplicação na Indústria e na Medicina. A obra sobre Genética, de Mendel, seria conhecida apenas no final do século, vindo a abrir uma imensa área de pesquisa somente no século XX (Rosa, 2012, p. 31).

O autor menciona a resistência inicial de biólogos à necessidade de renunciar a conceitos como força vital, geração espontânea, pré-formismo, em virtude das novas investigações dos fenômenos biológicos, suscitando divergências na comunidade científica que teriam sido gradualmente minimizadas com o avanço das pesquisas. Vale ressaltar as principais características do processo evolutivo da Biologia no século XIX, por meio da síntese elaborada pelo autor, apresentada nos tópicos a seguir.

- a) um extraordinário desenvolvimento teórico, com a elaboração de leis, bem como de conceitos biológicos;
- b) uma grande ampliação de seu âmbito de trabalho, com a criação de novos ramos de estudo, como a Histologia, a Citologia (teoria celular) e a Evolução;
- c) a formulação da teoria da origem das espécies e o processo de seleção natural, de imenso impacto no campo da Biologia e da Ciência em geral, do que resultaria a criação do ramo da Biologia evolutiva, de características próprias com recurso à metodologia específica;
- d) o emprego do método experimental e quantitativo e da análise comparativa, em apoio à observação sistemática, para o conhecimento de fenômenos particulares, a fim de se chegar às generalizações, no campo da Biologia funcional;
- e) a rejeição de ultrapassadas teorias, como as da pré-formação, imutabilidade das espécies, geração espontânea e vitalismo;
- f) o reconhecimento dos estreitos vínculos com a Física e a Química, em diversos ramos, e com as Ciências Sociais, em outros;
- g) a introdução de novas técnicas, como o uso de corantes, e de aperfeiçoados aparelhos e novos equipamentos de pesquisa, como o microscópio, o micrótomo e os raios-X (Rosa, 2012, p. 244-245).

Desse modo, temos uma ampliação importante na produção do conhecimento científico, antes predominantemente orientado pelas pesquisas nos campos da Física, Astronomia, Matemática. Já no século XX, Mayr (2008) explica que a mudança no pensamento biológico, com o declínio do mecanicismo e do vitalismo para as explicações científicas emergentes e o estabelecimento do

organicismo teriam impactado a posição da Biologia entre as ciências, segundo o biólogo alemão.

No entanto, a história revela que o fato de a Biologia ter emergido como ciência independente não significou sua assimilação imediata como um novo modelo possível para fundamentar a concepção de ciência, tal como ocorreu com a Física desde sua estruturação. Perceber os processos biológicos como modelos para compreender as ciências e a historicidade dos objetos científicos equivale aderir a uma Epistemologia evolutiva, tal como a teoria epistemológica da ciência de Ludwik Fleck, desenvolvida mais de um século depois da fundação da Biologia.

Na década de 1930, Fleck utilizou conceitos da teoria da evolução de Darwin como analogias para explicar aspectos da sua teoria epistemológica da ciência, ao mesmo tempo em que a construiu com base nas suas pesquisas microbiológicas e históricas acerca da sífilis e seu teste de detecção. De acordo com diversos autores que estudam a obra de Fleck, sua Epistemologia não foi acolhida pela comunidade científica naquele momento histórico. Somente com a tradução da sua obra principal para a língua inglesa, em 1979, seu pensamento passou circular entre os interessados em discutir/compreender o processo de construção do conhecimento científico (Condé, 2010; Martins, 2020).

Um novo modelo possível para fundamentar a concepção de ciência esteve invisível por algumas décadas e, portanto, ausente no pensamento e nas práticas científicas da época. Atualmente, temos a possibilidade de analisar fatos científicos da Biologia (como a teoria celular) que foram produzidos sob influência do modelo conceitual da Física, a partir de uma Epistemologia que toma a Biologia como modelo para as explicações científicas, historicamente.

Isso indica que a pluralidade conceitual e metodológica alcançada pelo conhecimento humano ao longo do tempo tem o potencial de fazer emergir Epistemologias. Com o surgimento de novos campos científicos e tecnológicos, por exemplo, novas teorias do conhecimento podem colaborar não somente para a compreensão dos processos envolvidos no fazer científico, como também influenciar a própria ciência.

Contudo, de modo similar ao neopositivismo, diversas correntes da Filosofia contemporânea da ciência, segundo Abrantes, empenharam-se em defender a ideia de que existe algo em comum a todas as ciências, o que demonstra uma preocupação com a unidade e com a generalidade, orientadas pelo modelo da

Física. O autor comenta que, em contraposição a essa tendência normativa e unificadora da Filosofia Geral da Ciência, admitir as particularidades de cada modalidade de conhecimento científico, “revela uma postura distinta, e [...] mais representativa do que se faz hoje em filosofia da ciência, do que aquilo que tipicamente se fez durante boa parte do século XX, em particular no mundo anglo-saxônico” (Abrantes, 2018, p. 5).

Abrantes ressalta o papel da Epistemologia histórica francesa, à qual Canguilhem é filiado, no reconhecimento do caráter especial de cada ciência:

Há, de fato, diferenças nas tradições de diferentes países, ou comunidades, no modo de encararem o trabalho filosófico sobre as ciências, e que podem ser bastante significativas. [...] a epistemologia histórica francesa sempre representou uma orientação mais atenta à diversidade das ciências. Essa orientação não estabeleceu, tampouco, uma separação rígida entre o trabalho filosófico e o trabalho historiográfico, como foi o caso do empirismo lógico (Abrantes, 2018, p. 6).

Retomando nossos autores, Condé (2016) ressalta que Fleck e Canguilhem trouxeram suas contribuições a partir das Ciências da Vida, mas também foram influenciados pelas novas consequências epistemológicas promovidas pela Física Quântica. Eles não teriam reduzido a Epistemologia à Biologia, mas teriam pensado a Epistemologia a partir da Biologia, sem desconsiderar, contudo, as novas concepções das Ciências Físicas. A pluralidade de modelos biológicos e físicos “apenas ampliam as possibilidades de analogias que ajudam na compreensão do fenômeno humano e de sua relação com a natureza” (Condé, 2016, p. 67).

Paradoxalmente, o olhar para a Biologia, que possibilitou a emergência de uma nova Epistemologia em Fleck e Canguilhem, também impulsionou o desenvolvimento da Teoria Geral dos Sistemas pelo biólogo austríaco Karl Ludwig von Bertalanffy (1901-1972), o qual considera a existência de princípios universais a todas as ciências, ideia igualmente defendida pelos neopositivistas do Círculo de Viena. A Teoria Geral dos Sistemas, no entanto, foi orientada pela perspectiva orgânica da Biologia, enquanto a escola filosófica neopositivista considerava a Física como padrão de ciência a ser seguido.

Bertalanffy integrava as discussões do Círculo de Viena na década de 1920, mas seu pensamento divergia da maioria dos filósofos e cientistas que compunham o grupo. Biólogo organísmico, ele faz uma observação reveladora acerca da sua participação neste círculo de pesquisadores:

Em Filosofia, o autor foi educado na tradição do neopositivismo do grupo de Moritz Schlick, que veio a ser conhecido mais tarde como Círculo de Viena. Evidentemente, porém o interesse do autor no misticismo alemão²², no relativismo histórico de Spengler, na história da arte e outras atitudes não ortodoxas tornaram impossível vir a ser um bom positivista (Bertalanffy, 1968, p. 12, tradução nossa).

Nos anos de 1920, portanto, décadas antes de apresentar sua teoria, o próprio biólogo austríaco revela seu incômodo com os lapsos existentes nas pesquisas e na teoria no âmbito da Biologia, uma vez que a concepção mecanicista parecia ter ignorado os aspectos mais importantes do fenômeno da vida. Nessa época, Bertalanffy já defendia uma concepção orgânica na Biologia, que enfatizasse a concepção do organismo como totalidade ou sistema e considerasse como objetivo fundamental das Ciências Biológicas a identificação dos princípios de organização em seus vários níveis (Bertalanffy, 1968).

A partir dessa concepção, Bertalanffy expõe a necessidade de uma reorientação do pensamento científico - o enfoque sistêmico - para atuar nos mais variados campos do conhecimento devido ao “fato do esquema mecanicista das séries causais isoláveis e do tratamento por partes terem se mostrado insuficientes para atender aos problemas teóricos [...], e aos problemas práticos propostos pela moderna tecnologia” (Bertalanffy, 1968, p. 11-12, tradução nossa). Segundo o autor, a viabilidade progressiva da abordagem dos sistemas teria sido produto das novas concepções teóricas, epistemológicas, matemáticas, dentre outras.

Ao comentar o consenso entre pesquisadores de diversas áreas do conhecimento acerca de um novo modelo para orientar os estudos de problemas emergentes em Física, Psicologia, Sociologia, tecnologias diversas etc., a recusa ao reducionismo biológico e sua proposta de abordagem orgânica para os fenômenos biológicos também são declaradas.

²² O Movimento filosófico *Naturphilosophie* (Filosofia da natureza) almejava se contrapor ao racionalismo mecanicista do iluminismo. Friedrich Schelling (1775-1854) foi um dos maiores representantes dessa corrente e obteve no misticismo influência estética e filosófica (Matthews, 2011).

Nos últimos anos o triunfo da biologia molecular, o fracionamento do código genético, as consecutivas realizações na genética, na evolução, em medicina, fisiologia celular e em muitos outros campos tornaram-se conhecimento comum. Mas, a despeito de – ou justamente por causa de – uma percepção aprofundada conseguida pela biologia ‘molecular’, tornou-se visível a necessidade de uma biologia ‘organísmica’, conforme o autor vem advogando há mais de 40 anos. A biologia não tem de ocupar-se apenas com o nível físico-químico ou molecular, mas também com os níveis mais elevados de organização da matéria viva (Bertalanffy, 1968, p. 6, tradução nossa).

Este modelo proposto envolve, portanto, a definição de sistemas, a qual não constitui, segundo o biólogo austríaco, uma resposta óbvia e trivial. Uma definição geral ou formal de sistema é considerada como ponto de partida para as explicações acerca da Teoria Geral dos Sistemas: “um complexo de elementos em interação” (Bertalanffy, 1968, p. 55, tradução nossa), os quais podem ser expressos matematicamente por um sistema de equações.

No entanto, o biólogo austríaco adverte que a Teoria Geral dos Sistemas não é uma lista de equações diferenciais bem conhecidas com suas soluções, ao contrário, suscita problemas novos e bem definidos que não são abordados pela Física Clássica e, por esse motivo tais problemas são considerados frequentemente como metafísicos, vitalistas ou antropomórficos (Bertalanffy, 1968).

A Teoria Geral dos Sistemas, portanto é uma ciência geral da ‘totalidade’ que até agora era considerada um conceito vago, nebuloso e semimetafísico. Em forma elaborada seria uma disciplina lógico-matemática em si mesma puramente formal, mas aplicável às várias ciências empíricas. Para as ciências que tratam de ‘todos organizados’ teria uma significação semelhante a que tem a teoria das possibilidades para as ciências que se ocupam dos acontecimentos causais (Bertalanffy, 1968, p. 37, tradução nossa).

Bertalanffy manifesta as possíveis vantagens da sua teoria unificadora das ciências e sua crença na Teoria Geral dos Sistemas como um importante dispositivo regulador nas ciências.

[...] A existência de leis de estrutura semelhante em diferentes campos torna possível a utilização de modelos mais simples ou mais conhecidos, para fenômenos mais complicados e menos manejáveis. [...] metodologicamente, um meio importante de controlar e instigar a transferência de princípios de um campo para outro, a fim de que não seja mais necessário duplicar ou triplicar a descoberta dos mesmos princípios em diferentes campos isolados uns dos outros (Bertalanffy, 1968, p. 80-81, tradução nossa).

Não só os fenômenos biológicos podem ser examinados segundo uma visão sistêmica, orgânica, mas as diversas ciências podem ser explicadas com base em um modelo biológico? Ludwik Fleck e Georges Canguilhem, como médicos, compreenderam a potencialidade das ideias biológicas e as integraram em suas epistemologias. Fleck, no sentido das correlações dos seus conceitos epistemológicos com conceitos da Biologia Evolutiva aplicados ao seu estudo de caso histórico e sociológico sobre a sífilis. Canguilhem, no sentido de desenvolver reflexões filosóficas sobre a história das ciências da vida, abordando a historicidade de diversos conceitos biológicos.

Enquanto Fleck e Canguilhem concebem a importância da dimensão histórica, social, cultural na produção do conhecimento médico e biológico, Bertalanffy faz uso de uma teoria associada à resolução de problemas práticos e teóricos da ciência de modo geral, com intenção de alcançar a integração das ciências (naturais e sociais) por meio de princípios unificadores dos sistemas.

A partir dessas contatações, podemos refletir: já consolidada como ciência, a Biologia passou a ter o potencial de servir como modelo para a atividade científica e reflexões sobre a ciência ou a familiaridade com conceitos biológicos levou os autores a entender a 'sua ciência' como exemplar, tal como o fizeram os cientistas da Revolução Científica?

De qualquer modo, a importância que a Biologia vem adquirindo nas últimas décadas reforçou a percepção de que é problemático o projeto de uma Filosofia Geral da Ciência que tome como modelo uma ciência particular - seja ela a Física ou qualquer outra - e que se comprometa com a proposta de uma ciência unificada. A especificidade dos problemas filosóficos sugeridos por cada uma das ciências, forçou a Filosofia da Ciência a ser mais plural e menos pretensiosa em sua ambição universalista e normativa (Abrantes, 2018).

Um exemplo de discussões filosóficas bem específicas na ciência é o que ocorre na Filosofia da Biologia. Segundo Odenbaugh e Griffiths (2022, p. 1, tradução nossa), "o crescimento do interesse filosófico em Biologia nos últimos quarenta anos reflete a crescente proeminência das ciências biológicas no mesmo período". Os autores consideram três tipos de investigação filosófica na área da Filosofia da Biologia: i) teses gerais na Filosofia da Ciência abordadas no contexto da Biologia; ii) problemas conceituais (ou teóricos) dentro da própria Biologia submetidos à análise

filosófica; iii) apelos à Biologia são feitos em discussões de questões filosóficas tradicionais.

São campos consolidados, por exemplo, a Filosofia da Biologia Molecular, Filosofia da Biologia Evolutiva, Filosofia da Biologia do Desenvolvimento, Filosofia da Biologia Celular, Filosofia da Biologia de Sistemas. Odenbaugh e Griffiths (2022) identificam o primeiro grande debate na Filosofia da Biologia entre as décadas de 1960 e 1970 - o uso da Genética para discutir o reducionismo e o antirreducionismo na Filosofia da Ciência, explorando a questão da redução da Genética Mendeliana à Genética Molecular.

Quanto à Filosofia da Biologia Celular, Bechtel e Bollhagen (2019) afirmam que um conjunto de pesquisas em Biologia Teórica nas décadas de 1970 e 1980 foram motivadas pelo interesse em “compreender como a organização nas células e nos organismos multicelulares difere daquela encontrada na maioria dos sistemas que ocorrem naturalmente ou nos artefatos feitos pelo homem” (Bechtel; Bollhagen, 2019, p. 10, tradução nossa). Nessa época, a Filosofia da Biologia, na maior parte dos estudos, desconsiderou essa tradição teórica. Na atualidade, entretanto, o autor relata ser muito comum filósofos da Biologia Celular fundamentarem suas investigações em conhecimentos teóricos.

Odenbaugh e Griffiths (2022) confirmam a associação entre a Filosofia da Biologia contemporânea e a Biologia Teórica, de modo que a expressão ‘problemas conceituais’ deve ser compreendida de modo amplo.

[...] O trabalho conceitual feito por filósofos da biologia em muitos casos se funde suavemente com a biologia teórica. Às vezes, também leva os filósofos a examinar e criticar as cadeias de argumentos construídas por biólogos e, assim, a entrar diretamente em debates biológicos em andamento. Da mesma forma, [...] o uso de exemplos biológicos para trabalhar questões gerais na filosofia da ciência às vezes retroalimenta a própria biologia por meio de recomendações específicas para melhorar a metodologia biológica. [...] A filosofia da biologia também tem um papel potencialmente importante como mediadora entre a biologia e a sociedade. [...] Como dois exemplos importantes, os filósofos da biologia forneceram bastante clareza sobre o criacionismo/design inteligente e a sociobiologia/psicologia evolucionista (Odenbaugh; Griffiths, 2022, p. 3, tradução nossa).

Em relação à prática científica, o projeto audacioso de uma teoria da totalidade das disciplinas científicas não obteve o triunfo almejado por Bertalanffy. Não obstante, colaborou para elaborações teóricas que se afastaram do modelo da

ciência clássica. No que concerne à Biologia, a Teoria Geral dos Sistemas se mostrou potencialmente como um caminho para compreensões acerca da complexidade dos sistemas vivos. No contexto da ciência em geral, o enfoque sistêmico da Biologia tomado como modelo, contrastava com o reducionismo científico que prevalecia na época e parece ter fornecido fundamentos para os estudos sobre sistemas complexos²³.

A percepção holística/orgânica²⁴ do conhecimento científico significaria um retorno à concepção aristotélica da natureza? Do holismo de Aristóteles ao reducionismo mecanicista, muitos séculos se passaram e este último modelo de ciência foi se mostrando cada vez menos eficiente para explicar os novos fenômenos que se procurou estudar na Física, na Biologia e em campos de pesquisa interdisciplinares, como a Biologia Sintética.

Proponho mais uma reflexão: é esperado que a formação numa determinada área do conhecimento científico interfira na construção do pensamento filosófico do indivíduo ou seriam suas concepções filosóficas a interferir nas decisões referentes aos problemas de pesquisa que deseja resolver? O arcabouço teórico-epistemológico de Ludwik Fleck e Georges Canguilhem pode auxiliar nessas reflexões, importantes para construir o caminho da análise proposta nesta investigação.

2.2 O PENSAMENTO DE GEORGES CANGUILHEM NO CONTEXTO DAS CIÊNCIAS DA VIDA

Meu curso de 1963 explorou o assunto [o normal e o patológico] traçando caminhos diferentes dos de 1943. Outras leituras estimularam de outro modo minhas reflexões. Não se trata apenas de leituras de trabalhos publicados no intervalo entre meu primeiro ensaio e o presente trabalho. Trata-se também de leituras que eu poderia fazer ou já ter feito na época. A bibliografia de

²³ Como exemplo dessa influência, destaco o comentário do biólogo austríaco, no qual, a partir de um conhecido aforismo de Aristóteles, se refere às propriedades emergentes dos sistemas complexos: “O significado da expressão um tanto quanto mítica ‘o todo é mais que a soma das partes’ consiste simplesmente em que as características constitutivas não são explicadas a partir das partes isoladas. As características do complexo, portanto, comparadas às dos elementos, parecem ‘novas’ ou ‘emergentes’ (Bertalanffy, 1968, p. 62-63, tradução nossa).

²⁴ De acordo com Mayr (2008), a partir de 1920, os termos holismo e organicismo têm sido usados como sinônimos. No entanto, muitos sistemas inanimados também são holísticos. Logo, em Biologia, o termo ‘organicismo’ é usado mais frequentemente e inclui, segundo o autor, o reconhecimento da existência de um programa genético.

uma questão sempre tem de ser atualizada, mesmo no sentido retroativo.

*Georges Canguilhem*²⁵

Ao me deparar com o inventário da obra de Georges Canguilhem, entendi que deveria priorizar certos aspectos para tratar das suas concepções epistemológicas no âmbito desta investigação. Pela robustez e longo período de produção intelectual (aproximadamente setenta décadas de publicações), pude constatar que explorar e compreender o pensamento filosófico do médico francês para um (a) pesquisador (a) do campo da educação em ciências não se constitui tarefa de simples execução.

No primeiro momento, procurei estar atenta a elementos relativos ao devir do seu pensamento no tocante às Ciências da Vida²⁶. Posteriormente, abordo as concepções de vida em Canguilhem, especificamente com base num artigo redigido na década de 70, após muitos estudos históricos acerca das Ciências da Vida e consolidação da sua Filosofia biológica. Esta escolha visa respaldar a identificação das concepções de vida decorrentes da análise histórico-epistemológica sobre o conceito clássico de célula e sobre o conceito de célula mínima nesta investigação.

Georges Canguilhem, um dos autores mais notáveis da chamada Epistemologia histórica francesa, apresenta uma extensa e diversificada obra marcada por transformações no seu pensamento. Tais mudanças foram analisadas por Souto em termos de um devir histórico do pensamento de Canguilhem ocorrido ao longo de quase sete décadas. Nessa análise, o autor chama a atenção para importantes características do chamado estilo francês em Epistemologia, o qual privilegia uma reflexão crítica sobre as ciências por meio do seu devir histórico. Souto pontua que “essa reflexão terminará por atribuir um valor ao processo de produção do conhecimento, segundo a perspectiva atual da ciência que esse historiador pratica” (Souto, 2019a, p. 19).

Canguilhem considera Auguste Comte o inaugurador do estilo francês em Epistemologia. Isso pode ser constatado no texto em que discorre sobre a influência da Filosofia biológica de Comte na França do século XIX. Para Canguilhem, Comte

²⁵ Em “Vinte anos depois...”, na introdução de *Novas reflexões referentes ao normal e ao patológico* (1963-1966) (Canguilhem, 1966/2009, p. 107).

²⁶ A abordagem política e social de Canguilhem, tão bem desenvolvida em suas obras e ancorada na sua Filosofia biológica, não fez parte desta síntese.

concebe a História da Biologia como uma História crítica, isto é, não somente ordenada para o presente, mas julgada por ele. O médico francês acredita que na concepção filosófica da História das Ciências do filósofo positivista, é possível testemunhar “a fonte do que foi e do que deveria permanecer, a nosso ver, a originalidade do estilo francês em história das ciências” (Canguilhem, 1958/2012, p. 61). Canguilhem avalia que uma leitura aprofundada do Curso de Filosofia Positiva revela a influência decisiva que teria tornado Comte “o primeiro e mais eminente de nossos mestres em história das ciências” (Canguilhem, 1958/2012, p. 62).

Acerca da filosofia canguilhemiana, Souto (2019a) esclarece que foi influenciada por circunstâncias externas em diferentes períodos da sua produção intelectual. O médico francês, no início da sua obra, não se constituía um epistemólogo ou historiador da ciência, mas “foi em atenção a uma série de acontecimentos fortuitos e imprevisíveis que o autor *decidiu* passar a realizar estudos sobre a formação dos conceitos científicos em matéria de ciências da vida” (Souto, 2019a, p. 16, grifo do autor).

Logo, nas primeiras décadas da elaboração do seu pensamento (1920-1930), Canguilhem não abordou o campo histórico-filosófico das Ciências da Vida. Sua produção intelectual discorria sobre a Filosofia dos valores (*Wertphilosophie*) e a moral. Mudanças no seu pensamento motivadas por questões políticas - a ascensão do fascismo e ameaça da segunda guerra mundial se refletem nos seus textos (Souto, 2019a, 2021)²⁷. No ano de 1936, Canguilhem inicia seus estudos em medicina, ao mesmo tempo em que se percebe “a incorporação de novas referências teóricas, um novo posicionamento político e o esforço reflexivo em coordenar tais modificações numa nova filosofia” (Souto, 2019a, p. 16), definida como um pluralismo axiológico²⁸.

²⁷ Canguilhem desenvolveu estudos políticos e sociais desde sua mocidade. Como exemplo temos seu memorial de conclusão de curso na *École Normale Supérieure* sobre Auguste Comte em 1926, suas publicações nos *Libres propos* e outros periódicos (1926-1936), o folheto *La fascisme et les paysans* em 1935, a segunda parte do *Traité de logique et de morale* em 1939 (Souto, 2021).

²⁸ Ratificando a ideia anterior de que acontecimentos externos impactaram o pensamento de Canguilhem, considero importante destacar mais alguns episódios vivenciados pelo francês entre 1940 a 1965, os quais teriam tornado bastante diversa sua produção neste período, tais como, a ocupação da França pela Alemanha nazista na segunda guerra mundial, o engajamento no movimento de Resistência ao Fascismo e ao Nazismo, as tarefas administrativas e políticas exercidas no período da Libertação, sua admissão na *Sorbonne* e no *Institut d'Histoire des Sciences et des Techniques*, em 1955, em substituição a Bachelard (Noto, 2015).

Segundo Souto (2019a), a Filosofia axiológica de Canguilhem teria inserido a 'vida' como um valor que coordenava os outros valores, como consequência de mais uma transformação no seu pensamento ao se deparar com a dor humana, o sofrimento, a morte. Essa nova Filosofia, expressa em termos de um vitalismo racionalista, foi manifestada na sua tese em medicina defendida no ano de 1943, *Essai sur quelques problèmes concernant le normal et le pathologique*²⁹ (Ensaio sobre alguns problemas relativos ao normal e ao patológico).

É possível depreender a concepção inicial de vida em Canguilhem - orientada pelo conceito de Normatividade Vital - expressa nessa obra por meio da sua convicção de que

[...] para um ser vivo, o fato de reagir por uma doença a uma lesão, a uma infestação, a uma anarquia funcional, traduz um fato fundamental: é que a vida não é indiferente às condições nas quais ela é possível, que a vida é polaridade e, por isso mesmo, posição inconsciente de valor, em resumo, que a vida é, de fato, uma atividade normativa. Em filosofia, entende-se por *normativo* qualquer julgamento que aprecie ou qualifique um fato em relação a uma norma, mas essa forma de julgamento está subordinada, no fundo, àquele que institui as normas. No pleno sentido da palavra, *normativo* é o que institui as normas. E é nesse sentido que propomos falar sobre uma normatividade biológica (Canguilhem, 1943/2009, p. 48, grifo do autor).

Acerca do vitalismo de Canguilhem, Portocarrero elucida a questão de o médico francês revelar que no conhecimento da vida existem fenômenos que a distanciam dos fundamentos da química e da física, “uma vez que conhecê-la depende de uma interrogação necessária sobre a possibilidade da doença, da morte, da monstruosidade, da anomalia e do erro, constitutivos de seu objeto” (Portocarrero, 2009, p. 105-106). Alinhada ao pensamento de Canguilhem, a autora considera fundamental, na análise da história das Ciências da Vida, o resgate do vitalismo pela ciência do início do século XIX e complementa:

²⁹ Segundo Souto (2021), o título original foi abreviado para *Le normal et le pathologique* (O normal e o patológico) na edição de 1966, complementada pela *Nouvelles réflexions sur le normal et le pathologique* (Novas reflexões sobre o normal e o patológico). Essa segunda edição, segundo Canguilhem, reproduz exatamente o texto da primeira, publicada em 1943. Desse modo, o ano da publicação original é mantido entre colchetes.

[...] para a epistemologia de Canguilhem – para a qual o valor operatório dos conceitos e a recorrência são metodologicamente prioritários na análise histórico-filosófica – o vitalismo é constitutivo do conceito de vida em sua especificidade de objeto biológico e empírico, para cujo conhecimento será buscado, a partir do final do século XVIII, algo invisível e mais fundamental (Portocarrero, 2009, p. 106).

Na tese complementar de Filosofia *La connaissance de la vie* (O conhecimento da vida), publicada em 1952, no capítulo *Aspects du vitalisme* (Aspectos do vitalismo) encontra-se o posicionamento de Canguilhem acerca desta corrente filosófica no interior da sua Epistemologia, como nas seguintes passagens:

[...] devemos esperar pouco de uma biologia fascinada pelo prestígio das ciências físico-químicas, reduzida ou se reduzindo ao papel de satélite dessas ciências. Uma biologia reduzida tem como corolário o objeto biológico anulado como tal, ou seja, desvalorizado em sua especificidade. Ora, uma biologia autônoma quanto ao seu assunto e à sua maneira de apreendê-lo - o que não quer dizer uma biologia ignorando ou desconhecendo as ciências da matéria - arrisca-se sempre, em algum grau, à qualificação, quando não à acusação, de vitalismo. [...] é fato que a designação de vitalismo convém, a título aproximativo e em razão da significação que tomou no século XVIII, a toda biologia preocupada com sua independência, no que concerne às ambições anexionistas das ciências da matéria. Importa, aqui, considerar a história da biologia tanto quanto o estado atual das aquisições e dos problemas. Uma filosofia que pede à ciência esclarecimentos de conceitos não pode se desinteressar da construção da ciência [...]. Não se trata de defender o vitalismo de um ponto de vista científico; o debate só concerne autenticamente aos biólogos. Trata-se de compreendê-lo de um ponto de vista filosófico (Canguilhem, 1952/2012, p. 85-86).

Provavelmente sob influência do âmbito extra-científico na constituição da sua Filosofia biológica, Canguilhem apresenta seu primeiro estudo em História das Ciências – o ensaio *La théorie cellulaire* (1945)³⁰ – com exemplos que mostram como “uma filosofia política domina uma teoria biológica” (Canguilhem, 1945/2012, p. 70).

Souto (2020) evidencia que no decorrer da obra canguilhemiana é presente a reflexão sobre o organismo e o meio, tanto no sentido biológico - como no texto *Le vivant et son milieu* - O vivente e seu meio (1946-1947) - quanto no sentido político - como em *Milieu et normes de l’homme au travail* - Ambiente de trabalho e padrões humanos (1947), em *Le problème des régulations dans l’organisme et dans la*

³⁰ ‘A teoria celular’ integra a análise histórico-epistemológica da presente investigação como fonte secundária do estudo de episódios históricos sobre o conceito clássico de célula no Oitavo Capítulo.

société - O problema das regulamentações no corpo e na sociedade (1955), assim como nas conclusões da sua tese principal em Filosofia - *La formation du concept de réflexe au XVIIe et au XVIIIe siècles* - A formação do conceito de reflexo nos séculos XVII e XVIII (1955).

Na busca de elementos para analisar a relação entre organismo e meio, Canguilhem se aproxima da Biologia experimental do médico e fisiologista francês Claude Bernard (1813-1878), o qual, a partir do estudo sobre a capacidade do fígado em produzir secreções internas, indicou que o organismo tem a capacidade de constituir seu próprio meio, o chamado meio interior. O conceito de meio interior é tomado pela Epistemologia de Canguilhem numa perspectiva filosófica. A troca de posição entre organismo e meio em comparação à relação comteana de supremacia do meio sobre o organismo faz parte das reflexões do médico francês.

Em Comte temos a concepção fixista de meio como regulador externo do organismo. Em Bernard, o organismo passa a ser compreendido conforme autorregulação própria na sua relação com o meio (Souto, 2019a, 2020). Em seus textos, Canguilhem costuma destacar os feitos de Claude Bernard, como este em que comenta as conjunções teóricas que viabilizaram sua Fisiologia experimental:

Diferentemente de Auguste Comte, Claude Bernard aceitou a teoria celular, e estava aí uma das condições de possibilidade em fisiologia; além disso, ele elaborou o conceito de meio interior, e estava aí a outra condição necessária. A fisiologia das regulações - ou, como se diz a partir de Cannon, da homeostasia - e a morfologia citológica permitiram a Claude Bernard tratar o organismo como um todo, sem o contornar como um círculo, e promover uma ciência analítica das funções do ser vivo, no entanto, respeitando o fato de que o ser vivo, é, no sentido autêntico do termo, uma síntese (Canguilhem, 1966/2012, p. 361).

Em *Nouvelles réflexions sur le normal et le pathologique* (Novas reflexões sobre o normal e o patológico), publicada em 1966, Canguilhem apresenta sua compreensão de regulação biológica.

As regulações para as quais Cannon inventou o termo geral *homeostasia* são do tipo das que Claude Bernard havia reunido sob a denominação constantes do meio interno. São normas do funcionamento orgânico, como a regulação dos movimentos respiratórios sob a ação da taxa de ácido carbônico dissolvido no sangue, a termorregulação no animal de temperatura constante etc. (Canguilhem, 1966/2009, p. 119, grifo do autor).

Anos depois, retoma o tema, apresentando um estudo sobre a formação do conceito de regulação. Destaco um trecho citado por Souto³¹, no qual Canguilhem parece situar a regulação no âmbito da Biologia, sem desconsiderar seu passado e sua perspectiva futura: “De ora em diante, ‘regulação’ é um conceito de biologia, depois de ter sido um mero conceito de mecânica, e à espera de se tornar um conceito da cibernética, pela mediação do conceito de homeostasia” (Canguilhem, 1974/1977, p. 99 *apud* Souto, 2020, p. 246)³².

A partir de meados da década de 1950, Canguilhem passa a incorporar alguns conceitos epistemológicos de Bachelard nos seus estudos históricos sobre as Ciências da Vida, deslocando, portanto, “o objeto do conhecimento da matéria (objeto da química e da física) para a vida (objeto das ciências biológicas)” (Souto, 2022, p. 64). Souto enfatiza a adoção da ideia de ruptura epistemológica, “como um empréstimo a favorecer a compreensão das mutações históricas pelas quais passou o conceito de vida, sem perder de vista as relações com o domínio externo à ciência” (Souto, 2019a, p. 17).

Portocarrero chama a atenção para um problema epistemológico que advém da relação estreita entre o pensamento filosófico de Canguilhem e a ciência, “se a vida pode ser considerada objeto de ciência” (Portocarrero, 2009, p. 133). A autora ressalta que sendo o objeto da ciência estável e objetivo, Canguilhem defende o oposto ao optar pelas Ciências da Vida, uma vez que, para o médico francês “por um lado, o corpo instaura normas escapando assim de uma concepção estável, visto que nele há uma margem de inventividade; por outro lado, a vida é variação de formas e obedece às exigências do meio” (Portocarrero, 2009, p. 134).

A autora destaca a ideia central de Canguilhem, reavaliada ao longo da sua obra: “A vida não é estática, não é um conjunto fixo de leis naturais. Ela envolve, em qualquer forma que possa tomar, a autopreservação por meio da autorregulação. Esta é a especificidade da vida da qual não se pode escapar” (Portocarrero, 2009, p. 134).

³¹ Recorri à ‘citação da citação’ em virtude da pertinência da síntese contida nesta passagem, cuja obra original não consegui ter acesso

³² CANGUILHEM, G. La formation du concept de régulation biologique aux XVIIIe et XIXe siècles. *In*: CANGUILHEM, G. **Idéologie et rationalité dans l’histoire des sciences de la vie**. Paris: Vrin, 1977, p. 81-99. (Trabalho original publicado em 1974).

Conforme aponta Souto, antes da emergência da Biologia Molecular, Canguilhem abordava teorias biológicas do passado: as pesquisas de Pasteur no campo da Microbiologia, de Claude Bernard na área fisiológica, de Gregor Mendel no âmbito da Genética, de Charles Darwin na teoria da evolução biológica. A identificação da estrutura tridimensional da molécula de DNA no ano de 1953 abriu caminho para que Canguilhem, mais tarde - a partir de meados 1960³³ - pudesse fazer retificações no conceito de vida, incorporando esse novo conhecimento à sua Epistemologia, ao reconhecer o impacto da Biologia Molecular e da Genética no estatuto das Ciências da Vida (Souto, 2019a, 2020).

Portocarrero destaca o empenho de Canguilhem na revisão constante das suas ideias. Nas palavras da autora, “isto o torna riquíssimo, sobretudo porque ele se desenvolve durante uma verdadeira revolução da biologia – o surgimento da genética, no século XX” (Portocarrero, 2009, p. 134). Esse pensamento em exercício pode ser constatado, por exemplo, no artigo-verbete *Vie* (Vida), o qual foi adotado como orientador da abordagem acerca da história do conceito de vida nesta investigação. Neste texto, Canguilhem utiliza conceitos epistemológicos de Bachelard: a ruptura epistemológica proveniente do desenvolvimento da Biologia Molecular/Genética e a recorrência histórica, apresentando reorientações do conceito de vida por meio do seu resgate histórico.

Anteriormente, em *La nouvelle connaissance de la vie* (O novo conhecimento da vida) no texto *Le concept et la vie* (O conceito e a vida), de 1966, Canguilhem expõe sua nova percepção sobre a Biologia contemporânea, o que pode ser lido como uma retificação da sua Filosofia, a partir da história do conceito de vida. Apesar de extensa, recorro à citação na íntegra para explicitar o modo como Canguilhem situa a novidade.

³³ Canguilhem revela que tomou conhecimento do impacto significativo dessa ‘descoberta’, a partir da leitura das obras de Jacques Monod e François Jacob (Souto, 2020).

Em 1954³⁴, Watson e Crick, estabeleceram que é uma ordem de sucessão de um número finito de bases ao longo de uma hélice emparelhada de fosfatos açucarados que constitui o código de instrução de informação, isto é, a língua do programa a qual a célula se conforma para sintetizar os materiais proteínicos das novas células. Estabeleceu-se, desde então, e o Prêmio Nobel recompensou, em 1965, esta nova descoberta, que essa síntese se faz a pedido, isto é, em função das informações vindas do meio - meio celular, é claro. De maneira que, trocando a escala em que são estudados os fenômenos mais característicos da vida, os de estruturação da matéria e os de regulação das funções, a função de estruturação inclusive, a biologia contemporânea mudou também de linguagem. Ela deixou de utilizar a linguagem e os conceitos da mecânica, da física e da química clássicas, linguagem à base de conceitos mais ou menos diretamente formados sobre modelos geométricos. Ela utiliza agora a linguagem da teoria da linguagem e da teoria das comunicações. *Mensagem, informação, programa, código, instrução, decodificação*, tais são os novos conceitos do conhecimento da vida (Canguilhem, 1966/2012, p. 394-395, grifo nosso).

Portocarrero comenta acerca do que seria o principal aspecto de mudança no âmbito das ciências na segunda metade do século XX, a alteração na escala do conhecimento. A autora comenta que “enquanto a astronomia aumenta seu domínio [...], a biologia, ao contrário, o transforma em miniatura (não a célula, mas a bactéria, e, em seu interior, o cromossoma, o gene, a enzima etc.)”. E complementa: “A biologia dispõe na célula reprodutora aquilo que tinha sido, até então, reservado para o corpo em sua totalidade” (Portocarrero, 2009, p. 136), em outras palavras, o estudo dos fenômenos da vida e das doenças passaram a se concentrar no material genético.

Para Canguilhem, a nova maneira de compreender a vida no século XX – com a descoberta por Watson e Crick da estrutura da dupla hélice como sistema de informação, onde o código e o meio celular estão em constante interação – não repousa mais na estruturação da matéria e na regulação das funções, mas numa mudança de escala (de macro para micro) e de campo epistemológico, a saber, do campo da mecânica para o da informação, da comunicação (Portocarrero, 2009, p. 82).

A historicidade do conceito de vida foi abordada por Canguilhem em *Vie* (1973) por meio da exposição de ideias, conceitos e teorias desde a Antiguidade até as mais recentes da sua época. Nesta obra, Canguilhem incorpora os avanços da Biologia Molecular e Genética, reexaminando as teorias biológicas de Pasteur, Bernard, Mendel e Darwin, também introduz a ciência Cibernética no seu estudo. O

³⁴ Há um equívoco neste trecho de Canguilhem quanto ao ano em que a estrutura tridimensional da molécula de DNA foi caracterizada, na realidade, 1953.

médico francês chega a mencionar a concepção de ruído como fator de organização, desenvolvida pelo biofísico e filósofo francês Henri Atlan (1931-) em *L'organisation biologique et la théorie de l'information* (A organização biológica e a teoria da informação), publicada no ano de 1972, enquanto escrevia o artigo.

2.2.1 Considerações sobre a historicidade do conceito de vida em Canguilhem

Todas as filosofias médicas que, até o começo do século XIX, tiveram a vida por um princípio, seja original, seja confundido com a alma, essencialmente diferente da matéria, fazendo exceção a suas leis, foram direta ou indiretamente devedoras dessa parte do sistema aristotélico que se pode chamar indiferentemente biologia ou psicologia³⁵

O conceito de vida é indubitavelmente polissêmico, de modo que sua reconstrução histórica requer uma análise pormenorizada de diversos autores e obras que se referem à vida em diferentes épocas, contextos e sob enfoques diversos³⁶. Sem a pretensão de definir o que é vida e considerando a impossibilidade de fazê-lo em face dos avanços científicos e tecnológicos da Biologia Sintética, o recorte apresentado estará fundamentado pelo resgate da historicidade das concepções de vida apresentado por Georges Canguilhem.

A compreensão do que é uma célula artificial, sintetizada, poderá suscitar um caminho para ampliar a polissemia do conceito de vida, num processo inverso ao que ocorreu no passado, onde a construção do conceito de célula ocorreu como resposta a questionamentos que permeavam as pesquisas biológicas no século XIX, como 'o que é a vida?' e 'qual a unidade estrutural básica que compunha os seres vivos?' (Silva, 2014). Essa reflexão será possível mais adiante com a análise histórico-epistemológica delineada nesta pesquisa.

Canguilhem analisa ao longo de sua obra, do ponto de vista da Epistemologia, as mudanças pelas quais passa a Biologia durante a segunda

³⁵ Canguilhem, 1973, tradução de Souto, 2019a, p. 221-222.

³⁶ Recomendo a tese de Coutinho (2005) que, ao tratar da construção de um perfil conceitual de vida, apresenta uma revisão bibliográfica sobre concepções de vida na história da ciência/biologia e na literatura em educação em ciências. Disponível em <<https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/FAEC-85RHZ8>>. Mais recentemente, um artigo de Silva e Aires (2019) discorre sobre as correntes filosóficas envolvidas na concepção de vida no contexto do processo de construção da teoria celular.

metade do século XX, nos campos da Genética e na Biologia Molecular. O epistemólogo francês traça a história do conceito de vida tanto como forma, como experiência, quanto como conhecimento, desde Aristóteles até o presente. Tal reconstrução histórica fornece o fundamento para uma análise da maneira de conceituar a vida, no século XX (Portocarrero, 2009).

Portocarrero (2009, p. 8) comenta que “a partir do final do século XVIII, interrogar os seres vivos e o homem envolve o conceito de vida e de ciência, cuja historicidade pode ser reconstruída através de uma história filosófica das ciências”. A autora apresenta um estudo em forma de ensaios sobre as Ciências da Vida, a partir da Epistemologia de Georges Canguilhem, a Arqueologia e Genealogia de Michel Foucault e diálogos com outros autores³⁷.

A ‘nova’ compreensão da vida no século XX não mais se respalda na estruturação da matéria e na regulação das funções. Portocarrero (2009) elucida que a partir da identificação da estrutura da dupla hélice do DNA como sistema de informação, onde o código genético e o meio celular têm influência recíproca, a concepção de vida é baseada na alteração da escala macro para a microscópica e na mudança de concepção epistemológica, da área da mecânica para a informação.

A autora analisa a concepção de *vida como informação* em Canguilhem:

Num sentido importante, em seu entender, a nova forma de compreender a vida como informação retorna a Aristóteles, no que tange à consideração da vida como *logos* inscrito, convertido e transmitido na matéria viva. Contudo, de um modo que difere do aristotélico, a noção de *telos* da vida, sua relação de finalidade, é rejeitada, pois seria impossível compreender o erro, na perspectiva do programa genético da biologia molecular, através de uma teleologia (Portocarrero, 2009, p. 81, grifo da autora).

Isto pode ser constatado em *Vie*³⁸. Seguindo a tendência peculiar dos seus textos, Canguilhem refere-se à historicidade do conceito de vida por meio do resgate de autores/pensadores³⁹ que procuraram defini-lo no decorrer do tempo, num

³⁷ Vera Portocarrero estabeleceu correlações entre as análises de Canguilhem, Latour e Salomont-Bayet e destaca que “diante do problema das ciências da vida, a epistemologia de Canguilhem, que se aproxima da história de Jacob, se diferencia da genealogia de Latour, que por sua vez se relaciona com a de Foucault, cuja arqueologia estabelece deslocamentos em relação à epistemologia” (Portocarrero, 2002, p. 26).

³⁸ O texto *Vie* (Vida) sintetiza muitas ideias que Canguilhem desenvolveu no decorrer de sua obra, utilizando-se de farto conjunto de referências, algumas delas já conhecidas de seus leitores - Aristóteles, Descartes Bichat, Comte, Claude Bernard, Escola de Montpellier, Freud (Souto, 2019a).

³⁹ Dada a pluralidade de autores invocados por Canguilhem, serão evidenciados aqui aqueles cujas ideias se mostraram expressivas para a análise a qual proponho nesta tese.

sentido cronológico e epistemológico, no interior do que Fleck denominaria de Estilos de Pensamento de cada época.

Para Canguilhem, a gênese do conceito de vida pode ser encontrada em Aristóteles. Retomando um importante escrito de Aristóteles e incorporando uma explicação entre colchetes, numa espécie de síntese, Canguilhem cita o filósofo grego:

Em meio aos corpos naturais [*i.e.* não fabricados pelo homem] alguns têm a vida e alguns não têm. Entendemos por vida o fato de se alimentar, de crescer e de perecer por si mesmo” (*De anima*, II, 1). E, mais além, Aristóteles diz que a vida é aquilo pelo que o corpo animado difere do inanimado. Mas o termo vida, como o termo alma, permite muitas acepções. Basta, todavia, que uma dentre elas convenha a tal objeto de nossa experiência “para que afirmemos que ele vive” (II, 2). A vegetação ou vegetalidade representa o mínimo de expressão das funções da alma. Não há vida com menos do que ela. E não há forma mais rica de vida que não a suponha como sua condição necessária (II, 3) (Canguilhem, 1973, tradução de Souto, 2019a, p. 221).

Canguilhem comenta que a Filosofia de Aristóteles foi responsável pela concepção de *vida como animação* da matéria por muitos séculos, numa nítida distinção entre vida e matéria.

A concepção da vida como animação da matéria, ainda que atacada sem trégua, principalmente a partir do século XVII, por concepções materialistas, ou simplesmente mecanicistas, funções próprias aos seres vivos, permaneceu viva contudo até meados do século XIX, sob forma de ideologia médico-filosófica, enquanto havia deixado de aparecer como uma resposta objetivamente fundada à questão da natureza da vida (Canguilhem, 1973, tradução de Souto, 2019a, p. 233).

O médico e epistemólogo francês apresenta a definição de vida em Xavier Bichat, (1771-1802)⁴⁰, marcante no início do século XIX, como “um conflito entre um corpo composto de tecidos de estrutura e propriedades específicas e um ambiente ou um meio – como deveria dizer um pouco mais tarde Auguste Comte”. Canguilhem destaca uma citação frequentemente mencionada nos seus escritos sobre Bichat: “A vida é o conjunto das funções que resistem à morte” (Canguilhem, 1973, tradução de Souto, 2019a, p. 223).

⁴⁰ Anatomista e fisiologista francês, o qual, na busca de uma estrutura básica comum aos seres vivos definiu o *tecido* como o componente elementar dos corpos vivos (Silva, 2014).

Canguilhem também evidencia a concepção de vida em Lamarck e argumenta:

Se Lamarck se propôs, durante muito tempo, escrever um tratado intitulado *Biologia*, é porque, muito cedo em seu ensino no Museu, ele propôs uma teoria da vida. O que é “essencial à existência da vida num corpo” deve ser buscado no exame dos organismos mais simples. [...] Pode-se qualificar como materialista a teoria lamarckiana da vida, com a condição de esquecer que para Lamarck “todas as matérias *compostas*, brutas ou inorgânicas, que se observa na natureza” são os resíduos da decomposição dos corpos vivos, os únicos capazes, porque são vivos, de operar sínteses químicas (Canguilhem, 1973, tradução de Souto, 2019a, p. 224-225).

Acerca da noção de *vida como mecanismo*, o epistemólogo francês já havia sustentado a ideia de que a mecânica animal de Descartes teria sido uma forte objeção ao animismo aristotélico, ao discutir sobre a questão da singularidade animal no viés da Epistemologia biológica, cerca de uma década antes de *Vie*:

Quando Descartes explicava as funções do organismo animal em geral, humano em particular, como ele fazia com os movimentos de uma máquina, relógio ou órgão, recorria a uma analogia. Era mesmo, em sua obra científica, a única analogia que não era simples comparação didática. O automatismo dos animais era uma recusa radical do animismo [...]: a terra é um ser vivo, ela tem entranhas, ela sente, ela gera; o mundo tem uma alma, como as plantas, os animais, o homem. A analogia que fundamentava a mecânica animal tinha como efeitos reduzir o maravilhoso, negar a espontaneidade do ser vivo, garantir a ambição de uma dominação racional do curso da vida humana (Canguilhem, 1962/2012, p. 235).

Canguilhem desenvolve uma crítica contundente acerca da concepção de *vida como mecanismo*, defendida por Descartes e historicamente considerada por muitos biólogos, numa clara objeção ao mecanicismo como modelo para as Ciências da Vida.

Se é racional buscar a explicação das funções de um órgão [...] na construção, em esquema ou em maquete, do que se chamou desde então de modelos mecânicos, como o que os iatromecanicistas (ou iatromatemáticos) dos séculos XVII e XVIII tentaram para a contração muscular, para a digestão, para a secreção glandular, por outro lado, à prova dos fatos, revela-se impossível explicar apenas pelas leis da mecânica galileana ou cartesiana a formação gerativa de órgãos ou de aparelhos cuja coordenação funcional é precisamente o que se entende pela vida do vivente. Em suma, o mecanicismo é a teoria do funcionamento das máquinas construídas, viventes ou não, mas não da construção das máquinas (Canguilhem, 1973, tradução de Souto, 2019a, p. 236).

Canguilhem afirma que a proliferação do uso do microscópio na segunda metade do século XVII por microscopistas, naturalistas, médicos, ou curiosos da natureza, teria colaborado para a descrença do mecanicismo.

Enquanto a mecânica do século XVII era uma teoria dos deslocamentos e dos choques, quer dizer, uma ciência dos dados da visão e do tato, a anatomia microscópica se debruçava sobre objetos situados para além do manifesto e do tangível, e podia autorizar-se como sendo de seu domínio esse para além estrutural para conceber um para além desse primeiro para além, e assim por diante. O microscópio abria à imaginação de um infinito de complicações estruturais o poder de rivalizar com um novo cálculo, estranho à álgebra geométrica de Descartes, o cálculo do infinito (Canguilhem, 1973, tradução de Souto, 2019a, p. 238).

Tal como na concepção de *vida como animação*, Canguilhem (1973) retoma Aristóteles e atribui ao filósofo grego a origem do termo ‘corpo organizado’. Segundo o médico francês, “um tal corpo é um corpo disposto para fornecer à alma os instrumentos ou os órgãos indispensáveis ao exercício de seus poderes. É por isso, até o século XVII, que o corpo organizado exemplar é o corpo animal” (Canguilhem, 1973, tradução de Souto, 2019a, p. 238).

Já o termo ‘organismo’, segundo Czeresnia, foi conceituado no século XIX segundo uma abordagem morfológica, definindo-se como a unidade do ser vivo composta de partes que realizam, de forma coordenada, diferentes funções” (Czeresnia, 1997, p. 21). A autora sintetiza as ideias de Francois Jacob⁴¹ (1920 - 2013) acerca do significado de organização nos estudos dos seres vivos.

Inicialmente, nos séculos XVI e XVII, estudou-se a organização a partir das estruturas visíveis a olho nu. Posteriormente, no final do século XVIII e no XIX, a organização passou a ser estudada a partir dos órgãos e funções e, a seguir, da célula. É nesse espaço de visibilidade que se fundam as ciências da vida e a concepção de organismo configurada na anatomia patológica, na fisiologia e na microbiologia, quando surge também a epidemiologia. No século XX, a biologia ganha novos espaços de visibilidade. Inicialmente, os cromossomos e os gens e, a partir da metade do século, a molécula de ADN reconfiguram as propriedades de organização e de sucessão dos seres vivos, exprimindo mudanças profundas na própria natureza do saber (Czeresnia, 1997, p. 32).

⁴¹ Biólogo francês que dividiu o Prêmio Nobel de Medicina e Fisiologia em 1965 com os pesquisadores Jacques Monod e André Lwoff, com a pesquisa intitulada “Pelos descobertas relativas ao controle genético de enzimas e síntese de vírus” (Academia Brasileira de Ciências-<https://www.abc.org.br/2018/04/25/65-anos-da-dupla-helice-do-dna/>).

Canguilhem apresenta uma sistematização do seu pensamento sobre a história do conceito de organismo nos séculos XVII, XVIII, XIX para respaldar a concepção de *vida como organização*. O autor caracteriza o século XVII como o momento da busca de “substitutos ou equivalentes semânticos da alma, para dar conta do fato, cada vez mais bem estabelecido, da unidade funcional de um sistema de partes integrantes” (Canguilhem, 1973, tradução de Souto, 2019a, p. 240).

Nesse sistema de partes constituintes, as partes sustentariam entre si relações de reciprocidades diretas ou intermediadas. No entanto, para Canguilhem, o vocábulo ‘parte’ no momento histórico das suas análises (segunda metade do século XX), não seria mais adequado para designar os órgãos, cujo organismo se considera como totalidade, não como mera adição de unidades.

No final do século XVIII, Canguilhem destaca que, na Alemanha, o filósofo Immanuel Kant (1724-1804) propõe o conceito de ser organizado como uma “máquina num sentido, mas não o é naquilo que ele supõe uma energia formadora, organizadora de matérias que não a possuem, energia diferente da simples potência motriz. O corpo orgânico não é apenas organizado, ele é auto-organizador” (Canguilhem, 1973, tradução de Souto, 2019a, p. 241).⁴²

O médico francês elege o que ele chama de Filosofia biológica de Auguste Comte⁴³ no início do século XIX, como sistematizadora dos elementos de uma teoria da organização vivente e descreve aspectos importantes da correlação feita por Comte entre conceitos biológicos e a teoria social.

⁴² Neste trecho, Canguilhem parece fazer uma releitura anacrônica de Kant. Ele decide substituir ‘força’, que consta na publicação original de Kant por ‘energia’, termo que na época da publicação de Kant não havia adquirido o status de conceito científico como conhecemos na atualidade. Isso ocorreu em meados do século XIX, com o desenvolvimento da Termodinâmica. Nas palavras de Kant: “Um ser organizado é [...] não simplesmente máquina: esta possui apenas *força* motora; ele, pelo contrário, possui em si *força* formadora e é uma tal *força* que ele comunica aos materiais que não a possuem (ela organiza). Trata-se, pois, de uma *força* formadora que se propaga a si própria, a qual não é explicável só através da faculdade motora (o mecanismo)” (Kant, 1790/2012, p. 240, grifo nosso).

⁴³ Essa leitura de destaque à Biologia na Filosofia comteana é uma construção teórica de Canguilhem, que procurei apontar pela natureza da presente investigação.

Considerando que a ideia de vida é realmente inseparável daquela de organização, Comte define o organismo pelo *consensus* de funções “em associação regular e permanente com o conjunto das outras. [...]. Comte, como se sabe, importa na teoria do organismo social esse conceito de *consensus*, e é na exposição da estática social que ele o retoma para retrabalhá-lo a fim de generalizá-lo. *Consensus* se torna, então, sinônimo de solidariedade nos sistemas orgânicos, cujos efeitos são ainda mais estritos, porque são elevados do vegetal ao animal e ao homem. A partir do momento em que *consensus* é identificado com solidariedade, não se sabe mais, do organismo ou da sociedade, qual é o modelo, ou ao menos a metáfora, um do outro (Canguilhem, 1973, tradução de Souto, 2019a, p. 242, grifo do autor).

Para Canguilhem, o conceito de organismo foi aperfeiçoado por um conceito advindo da economia política, o de divisão do trabalho. E, após ilustrar o papel da divisão de trabalho na compreensão do conceito de organismo, expõe seu pensamento acerca das potencialidades da teoria celular como esclarecedora de problemas relativos à Fisiologia do organismo.⁴⁴

Sendo o organismo concebido como uma espécie de ateliê ou de manufatura, torna-se lógico medir o aperfeiçoamento dos seres vivos pela diferenciação estrutural e a especialização funcional crescentes de suas partes, logo, por sua complicação respectiva. Mas essa complicação requer, em compensação, uma assecuração de unidade e de individualização. A introdução da teoria celular em biologia, vegetal primeiro (por volta de 1825), animal em seguida (por volta de 1840), deveria necessariamente orientar a atenção aos problemas de integração de individualidades elementares e de vidas particulares na individualidade totalizante de um organismo e em sua vida geral⁴⁵ (Canguilhem, 1973, tradução de Souto, 2019a, p. 243).

Finalmente, Canguilhem traz o médico e fisiologista francês Claude Bernard (1813-1878) ao cenário de esclarecimentos sobre a historicidade do conceito de organismo/organização e sua relação com o estabelecimento de um meio interno (ou interior).

⁴⁴ Na primeira metade do século XIX, o corpo é pensado como reunião de órgãos que desempenham funções que, integradas, formam as propriedades do todo. Logo em seguida surge a estrutura que vai garantir à biologia um nível de elaboração mais básico no estudo da organização: a célula (Czeresnia, 1997, p. 26).

⁴⁵ A possibilidade da teoria celular surgiu quando o corpo deixou de ser visto como simples associação de elementos e se passou a procurar uma unidade que fosse já uma formação complexa, capaz de em si conter os atributos da vida. Inicialmente estudou-se a estrutura dos órgãos, composta por tecidos - nível intermediário de organização entre o órgão e a molécula. Em seguida encontrou-se a estrutura elementar dos corpos organizados. A célula, unidade do ser vivo, é a individualidade que detém as propriedades da vida e a origem necessária do corpo organizado (Jacob, 1970/1983).

O organismo é uma sociedade de células ou de organismos elementares ao mesmo tempo autônomos e subordinados. A especialização dos componentes é função da complexidade do conjunto. O efeito dessa especialização coordenada é a criação, no nível dos elementos, de um meio intersticial líquido que Claude Bernard nomeou “meio interior”, e que é a soma das condições físicas e químicas de toda vida celular. “Poderíamos exprimir essa condição do aperfeiçoamento orgânico, dizendo que ele consiste numa diferenciação cada vez mais marcada do trabalho preparatório à constituição do meio interior (Canguilhem, 1973, tradução de Souto, 2019a, p. 243).

O conceito de meio interno é importante na Epistemologia canguilhemiana e o considero relevante para a historicidade do conceito de vida na presente investigação. A ideia de conservação do meio interior - *milieu interne* ou *intérieure*, desenvolvida por Claude Bernard em 1878, serviu como parâmetro para a elaboração do conceito de homeostase pelo fisiologista estadunidense Walter Cannon (1871-1945) no ano de 1929, crucial para a Fisiologia contemporânea.

Sabemos bem que Claude Bernard foi um dos primeiros a pôr em evidência a constância desse meio interior, que sob o nome de secreção interna ele descobriu um mecanismo de regulação e de controle dessa constante, desde então designado pelo termo homeostase⁴⁶. É nisso que consiste o aporte original e capital da fisiologia bernardiana à concepção moderna de organização vivente. Pois a existência de um meio interior, de constância obtida por compensação dos desvios ou perturbações, constitui para os organismos regulados uma asseguarção de independência relativa face às variações sobrevindas nas condições externas de sua existência (Canguilhem, 1973, tradução de Souto, 2019a, p. 244).

Claude Bernard e Walter Cannon são mencionados por Bertalanffy, propositor da Teoria Geral dos Sistemas. Bernard, como grande precursor da concepção organísmica na Biologia, da qual Bertalanffy era adepto. Já o conceito de homeostase de Cannon é anunciado como fundamento dos conceitos cibernéticos

⁴⁶ O termo ‘homeostase’ foi cunhado por Walter B. Cannon (1871-1945) no artigo *Physiological regulation of normal states: some tentative postulates concerning biological homeostatics* (Regulação fisiológica de estados normais: alguns postulados provisórios relativos à homeostática biológica) publicado em 1926. Em 1929, Cannon finalmente ofereceu a sistematização completa dessa ideia no artigo *Organization for Physiological Homeostasis* (Organização para a Homeostase Fisiológica), que foi originalmente publicado no *Physiological Reviews*, e tornou-se um clássico da fisiologia. Nele, os devidos créditos são prestados à Claude Bernard que décadas antes havia introduzido o conceito de ‘meio interno’, e insistido na importância da preservação de sua constância para o funcionamento adequado do organismo, a despeito das mudanças nas circunstâncias externas (Brito; Haddad, 2017).

de retroação e informação, levados por Norbert Wiener (1894-1964)⁴⁷ para além área tecnológica, estendendo-os à esfera biológica e social (Bertalanffy, 1968).

No tocante à *vida como informação*, convém observar que, pelo fato do escrito ter sido publicado no ano de 1973, os avanços da Genética e Biologia Molecular, relacionados à identificação do DNA estavam presentes nas reflexões de Canguilhem⁴⁸, ao contrário de publicações como ‘O pensamento e o vivente’, escrito em 1952; ‘A teoria celular’, de 1945; textos de Filosofia da Ciência escritos na década de 1940 – ‘Aspectos do vitalismo’; ‘Máquina e organismo’; ‘O vivente e seu meio’ (1946-1947) e ‘O normal e o patológico’ (1943).

Ainda que Canguilhem admita a informação biológica contida nos genes⁴⁹, esta não se torna sua concepção de vida, mas um elemento importante da reorientação da sua Filosofia, que não abandona a noção da normatividade vital. Nas palavras do epistemólogo francês fica evidente sua constatação do reducionismo genético.

O cruzamento das lições da biologia molecular e da genética determinou a formação de uma teoria unitária da constituição química, do funcionamento regulado, da hereditariedade e das variações específicas por seleção natural, à qual a teoria da informação se comprometeu a conferir um rigor comparável ao das teorias físicas (Canguilhem, 1973, tradução de Souto, 2019a, p. 246).

⁴⁷ O termo *Cybernetics* (Cibernética) foi cunhado por Norbert Wiener, matemático e filósofo norte-americano conhecido a partir da publicação do livro *Cybernetics: or the Control and Communication in the Animal and the Machine*, no ano de 1948. O conceito de Cibernética foi se constituindo em encontros interdisciplinares ocorridos em Nova York, no período entre 1946 e 1953, nas chamadas Conferências Macy. Wiener é considerado um dos seus principais participantes. Segundo Capra (1997), nestas reuniões, os cientistas dividiram-se em dois grupos. Um dos grupos era constituído por matemáticos, engenheiros e neurocientistas (ciberneticistas originais), enquanto o outro por representantes das ciências humanas, com destaque a Gregory Bateson e Margaret Mead. O primeiro encontro foi intitulado *Circular Causal and Feedback Mechanisms in Biological and Social Systems* (Mecanismos de Feedback e Sistemas Circulares Causais em Sistemas Biológicos e Sociais). Uma lista cronológica das Conferências Macy, dos participantes envolvidos e das atividades que ocorreram, bem como uma síntese do conteúdo das Conferências podem ser encontradas no site da Sociedade Americana para Cibernética <<https://www.ascybernetics.org/foundations/history/MacySummary.htm>>.

⁴⁸ Nesse ponto, convém uma consideração em formato de questionamento: a complexidade da vida estaria definida no DNA? Uma tentativa de avançar a discussão acerca de concepções de vida ainda será delineada no presente capítulo.

⁴⁹ Encontramos na literatura diversos autores que questionam o conceito molecular clássico de gene (Falk, 1986; Keller, 2002; El-Hani, 2007). No Sexto Capítulo desta tese, referente à Biologia Sintética, essa discussão será apresentada, uma vez que neste campo de pesquisa tem sido atribuída a uma quantidade mínima de genes sintetizados a capacidade de uma célula sobreviver e autorreplicar.

Logo, além do desenvolvimento da Genética e Biologia Molecular, a teoria da informação⁵⁰, em conjunto com a Cibernética, viabiliza uma reorientação da Filosofia biológica de Canguilhem. Para o pensador francês, “a organização cibernética das máquinas artificiais e das máquinas naturais [seres vivos] se enuncia em termos de teoria das comunicações, quer dizer, de informação” (Canguilhem, 1973, tradução de Souto, 2019a, p. 244).

Se compreendemos por cibernética uma teoria geral das operações controladas, executadas por máquinas montadas de maneira tal que seus efeitos ou seus produtos sejam conforme a normas fixadas ou ajustadas a situações instáveis, conviremos que o estado normal que as regulações orgânicas [...] se tornam um dia o modelo dessas máquinas das quais muitas delas foram dadas por modelos dessas regulações (Canguilhem, 1973, tradução de Souto, 2019a, p. 244).

Canguilhem parece, portanto, admitir uma inversão do envolvimento homem-máquina, sugerindo uma superação do modelo mecânico de organismo, inaugurado em Descartes, pelo reconhecimento da natureza como modelo para as máquinas (ou artefatos) criadas pelo homem, tal como os gregos antigos.

Um organismo é, então, compreendido como sistema biológico, sistema dinâmico aberto que defende seu equilíbrio, mantendo constantes inversamente e contra as perturbações que o afetam, ajustando – seja a um nível de manutenção, seja a uma performance de desempenho a realizar – as relações que ele sustenta com o meio de onde retira sua energia (Canguilhem, 1973, tradução de Souto, 2019a, p. 245).

Ao considerar o organismo como sistema aberto, a citação acima indica um caminho de resposta à inquietação do médico francês com o evidente desacordo entre a organização das funções orgânicas e o aumento da entropia em sistemas fechados, anunciado pela Segunda Lei da Termodinâmica.

O organismo, que se alimenta, cresce, regenera suas mutilações, reage às agressões, cura espontaneamente certas doenças, não está em luta contra o destino da desorganização universal proclamado pelo princípio de Carnot? Seria a organização uma ordem no seio da desordem? A manutenção de uma quantidade de informação proporcional à complexidade da estrutura? (Canguilhem, 1973, tradução de Souto, 2019a, p. 245).

⁵⁰ O matemático e engenheiro americano Claude Shannon (1916-2001) é reconhecido como o criador da teoria da informação a partir da publicação do artigo *A Mathematical Theory of Communication* (Uma teoria matemática de comunicação), em 1948.

Alguns anos antes, Bertalanffy havia manifestado preocupação semelhante em relação aos sistemas vivos acerca da passagem a ordens mais altas e à organização durante o desenvolvimento embrionário e no processo de evolução biológica. Tal condição seria incompatível com o caminho à desordem máxima prevista pela Segunda Lei da Termodinâmica. A questão, segundo ele, seria explicada ao se considerar os seres vivos sistemas abertos.

[...] com base na teoria dos sistemas abertos, a aparente contradição entre a entropia e a evolução desaparece. Em todos os processos irreversíveis a entropia tem de aumentar. Por conseguinte, a variação de entropia nos sistemas fechados é sempre positiva, a ordem é continuamente destruída. Nos sistemas abertos, porém, temos não somente a produção de entropia devida a processos irreversíveis, mas também importação de entropia, que pode ser negativa. Tal é o caso do organismo vivo, que importa moléculas complexas de alta energia livre. Assim, os sistemas vivos, mantendo-se em um estado estacionário, pode evitar o aumento da entropia e desenvolver-se mesmo no sentido de estados de ordem e organização crescentes⁵¹ (Bertalanffy, 1968, p. 66, tradução nossa).

Em relação à teoria das comunicações e da informação, Canguilhem lança questão sobre a origem da informação biológica e cita o médico e microbiologista francês André Lwoff⁵²: “A. Lwoff ensina que a ordem biológica só pode nascer da ordem biológica, formulação contemporânea dos aforismos *omne vivum ex vivo*, *omnis cellula e cellula* (Canguilhem, 1973, tradução de Souto, 2019a, p. 246, grifo do autor). “Como se representar, então, a auto-organização inicial, se é verdade que a transmissão de informação supõe uma fonte de informação?”, indaga Canguilhem, recorrendo à Filosofia biológica de autores franceses para refletir sobre o assunto.

⁵¹ Pereira Jr. (2020) explica que as estruturas dissipativas estudadas pelo químico russo Ilya Prigogine e colaboradores no ano de 1969 se formam em sistemas abertos, tal como sistemas biológicos, os quais obtêm energia do ambiente a fim de produzir padrões característicos de organização e desempenho, sem contrariar o aumento da entropia declarado pela Segunda Lei da Termodinâmica em sistemas fechados, que resulta na desorganização/desordem máximas nestes sistemas. Segundo o autor, “as Estruturas Dissipativas seriam justamente o produto da auto-organização de sistemas físico-químicos, o que poderia contribuir para explicar a organização biológica” (Pereira Jr., 2020, p. 1094).

⁵² André Lwoff (1902-1994) dividiu o Prêmio Nobel de medicina com François Jacob e Jacques Monod em 1965.

Um filósofo, Raymond Ruyer, põe a questão: “O acaso não pode dar razão ao anti-acaso. A comunicação mecânica de informação por máquina não pode dar razão da própria informação, pois a máquina só pode degradá-la, ou, no máximo, conservá-la”. Os biólogos não acham essa questão insignificante. As teorias contemporâneas da origem da vida sobre a Terra buscam numa evolução química inicial a condição da evolução biológica. No quadro estrito da teoria da informação, um jovem biofísico H. Atlan, propôs recentemente uma resposta engenhosa e difícil que ele nomeia “o princípio de ordem a partir do “ruído” segundo o qual os sistemas auto-organizadores utilizam, para evoluir, o “ruído”, quer dizer, as perturbações aleatórias do meio (Canguilhem, 1973, tradução de Souto, 2019a, p. 246).

Diversos questionamentos são lançados por Canguilhem nesta obra. Todavia, cerca de meio século atrás, muitas novidades no campo da Biologia ainda eram incipientes e respostas naquele momento não poderiam ser obtidas. Com isso, não pretendo afirmar que temos solução na atualidade para problemas tão complexos, como uma definição de vida que atenda aos biólogos teóricos e experimentais, por exemplo. O próprio desenvolvimento da ciência, ao mesmo tempo que ‘resolve’ provisoriamente os problemas, traz à tona novas questões.

Canguilhem acolhe as novidades do desenvolvimento da ciência na sua Epistemologia e, conseqüentemente, na sistematização sobre a história do conceito de vida. Ao tratar da *vida como informação* fica muito evidente sua aproximação com a ideia da informação biológica, não no sentido de filiação irrestrita, mas de reconhecimento e incorporação no contexto da sua Filosofia da vida.

A organização da vida passou a ser também explicada pelo conceito de autopoiese (1974), influenciado pelo movimento cibernético, área do conhecimento em destaque na explicação de Canguilhem acerca da *vida como informação*. Considerando a gama de conhecimentos articulados para cumprir seu propósito de desenvolver um estudo histórico das concepções sobre a vida, o conceito de organização autopoietica teria potencial para compor as reflexões de Canguilhem em, pelo menos, dois aspectos: como contraponto à caracterização da vida como informação armazenada no material genético ou como complementação da ideia de que a vida cria suas próprias normas – a normatividade vital. Um fato interessante nesse sentido, é que Canguilhem mostrou conceber o organismo como um sistema biológico, a ideia de autopoiese também considera tal relação.

Contudo, em relação à concepção de vida, Emmeche e El-Hani acreditam que seja um problema resolvido e argumentam que “não só é possível definir vida como isso já foi feito, de maneira implícita, pela biologia do século XX, e não apenas

uma, mas pelo menos duas vezes” (Emmeche; El-Hani, 2000, p. 35). Logo, enquanto Canguilhem deixa muitas questões em aberto quando trata da *vida como informação*, encontramos nesses autores concepções de vida solucionadas, segundo eles, pela Biologia Teórica, as quais englobam interrelações entre ciência e metafísica, por meio das ontodefinições, sobre as quais esclareço a seguir.

2.3 MAIS SOBRE VIDA: ONTONDEFINIÇÕES

No início deste século, a literatura científica já contava com mais uma contribuição relevante para responder a uma pergunta que perdura por séculos: o que é vida? As ontodefinições⁵³ elaboradas por Emmeche e El-Hani podem ajudar a ampliar as possibilidades de compreensões sobre a vida. Os autores apresentam três ontodefinições respaldadas pela Biologia Teórica: *vida como seleção natural de replicadores*, ancorada na teoria sintética da evolução (neodarwinismo); *vida como autopoiese*, com origem na teoria dos sistemas, Cibernética e neurobiologia e *vida como fenômeno semiótico*, fundamentada pelos estudos da Semiótica, a ciência dos signos⁵⁴ (Emmeche; El-Hani, 2000).

Para uma definição satisfatória de vida, Emmeche e El-Hani sugerem quatro requisitos. Naturalmente, defendem que suas ontodefinições satisfazem tais condições.

- a) considerar a vida como um fenômeno universal;
- b) coerência com a compreensão geral dos sistemas vivos baseada na pesquisa biológica e com a Física e Química modernas;
- c) apresentar elegância conceitual e capacidade de organização cognitiva;

⁵³ Termo criado por Claus Emmeche no final da década de 1990, “para designar definições situadas na fronteira entre a ciência e a metafísica, referindo-se a categorias muito amplas em uma dada visão do mundo. Elas definem, da forma mais geral, o que os cientistas estão buscando em uma ou mais áreas da pesquisa científica e, ao mesmo tempo, fornecem um esquema básico para a compreensão e explicação da natureza de seus objetos de estudo” (Emmeche; El-Hani, 2000, p. 36).

⁵⁴ Darei atenção às duas primeiras ontodefinições, uma vez que, de acordo com seus propositores, “a definição da *vida como seleção natural de replicadores* pode ser vista como uma definição implicitamente semiótica, na medida em que faz uso da noção de informação” (Emmeche; El-Hani, 2000, p. 48, grifo nosso).

- d) ser suficientemente específica para distinguir sistemas vivos daquilo que não é vivo (Emmeche; El-Hani, 2000, p. 41-42).

Quanto à *vida como sistema autopoietico*, os autores argumentam que a teoria de Maturana e Varela, apesar de orientar a pesquisa em diversas áreas do conhecimento mundialmente, não teria a mesma influência que o neodarwinismo exerce no pensamento biológico. A teoria da autopoiese adota originalmente os processos metabólicos da célula como explicação para os sistemas vivos. Emmeche e El-Hani comentam aspectos da concepção autopoietica de vida, contrapondo-a diretamente à concepção de vida proveniente da síntese neodarwinista, uma vez que:

[...] rejeita a noção da informação genética ou biológica como algo intrínseco ao sistema autopoietico; ao contrário, a informação é entendida como algo atribuído ao sistema do ponto de vista de um observador, não se admitindo noções como as de um 'programa genético' que de algum modo "codifica" ou "representa" a informação do organismo como um todo, de signos ou sinais "interpretados" pelo organismo, ou, ainda, de "propósitos", "funções" ou "objetivos" das partes de um ser vivo. Ela põe em destaque a idéia de que os sistemas vivos só podem ser caracterizados com referência a si mesmos, ou seja, de que um sistema vivo, como uma rede fechada de relações, pode ser visto como uma organização que define a si própria, o que ilumina um aspecto auto-referencial da vida que não é observado na definição da biologia evolutiva neodarwinista (Emmeche; El-Hani, 2000, p. 46).

Para os idealizadores das ontodefinições de vida, sistemas autopoieticos não se resumem à vida biológica como a conhecemos na Terra. Ademais, “poderíamos pensar na autopoiese até mesmo em espaços virtuais, como, por exemplo, numa simulação apresentada na tela de um computador” (Emmeche; El-Hani, 2000, p. 47).

A ontodefinição de *vida como seleção natural de replicadores*, segundo Emmeche e El-hani, encontra-se velada na teoria evolutiva neodarwinista e como tal, seria de fácil divulgação e aceitação. Os autores explicam essa concepção de vida com base nas abordagens do etólogo e biólogo evolucionista britânico Richard Dawkins (1941 -) e do filósofo americano David Hull (1935 - 2010).

Emmeche e El-Hani esclarecem que na teoria do 'gene esgoísta' de Dawkins, a seleção natural de replicadores (genes) cada vez mais eficientes seria a característica fundamental da vida, uma concepção “puramente informacional da vida” (Emmeche; El-Hani, 2000, p. 45). Já na abordagem de Hull, mais abrangente e próxima das

premissas da teoria sintética neodarwinista, além dos replicadores (como os genes), os interagentes (como o organismo em interação com o ambiente) e as linhagens (descendentes) têm importância no processo evolutivo. Emmeche e El-Hani esclarecem que, para David Hull, o êxito dos replicadores na manutenção e continuidade da sua informação genética depende dos interagentes.

Essas duas entidades são vistas por Hull como elementos indissociáveis do processo evolutivo, não se podendo pensar nos organismos (interagentes) como meras "máquinas de sobrevivência" dos genes (replicadores), como pretende Dawkins. O processo evolutivo é um processo de seleção exatamente por causa da ação recíproca da replicação da informação genética e da interação dos organismos com o ambiente (Emmeche; El-Hani, 2000, p. 44).

Para os autores, a concepção de vida na interpretação de Dawkins sugere que uma imagem de computação gráfica numa tela poderia significar um 'organismo vivo', tal como os seres vivos que reconhecemos, uma vez que "a vida seria definida como qualquer realização de algum conjunto específico de propriedades informacionais abstratas, não importando o meio material" (Emmeche; El-Hani, 2000, p. 45).

Considerando a importância que a noção de informação adquire no contexto da Biologia Sintética e, conseqüentemente, para a presente investigação, considero pertinente discorrer acerca de duas teorias que podem ser vistas como antagônicas quanto à ênfase atribuída à informação genética para a vida celular e sobre as concepções de vida decorrentes, concebida como ontodefinições por Emmeche e El-Hani. A teoria da autopoiese, de Maturana e Varela, e a teoria do gene egoísta, de Dawkins, são apresentadas na perspectiva das concepções de vida que se pode depreender de ambas.

2.3.1 Vida como sistema autopoietico

O conceito de autopoiese foi apresentado à comunidade acadêmica no ano de 1974 pelo neurobiólogo chileno Humberto Maturana (1928 - 2021), pelo médico chileno Francisco Varela (1946 - 2001) e Ricardo Uribe, Phd em Cibernética, no artigo intitulado *Autopoiesis: the organization of living systems, its characterization and a model* (Autopoiese: a organização dos sistemas vivos, sua caracterização e

um modelo)⁵⁵. A partir daí, a teoria da autopoiese se difundiu em diversos círculos de conhecimento e foi integrada em áreas como a Sociologia, a Antropologia e o Direito.⁵⁶

Antes de discorrer sobre a concepção de vida a partir da autopoiese, é relevante esclarecer sobre o sentido da Cibernética em concepções de vida tão díspares. Assim como na concepção de *vida como informação* em Canguilhem, a Cibernética influencia a concepção de *vida como autopoiese*. Porém, a Cibernética em Canguilhem aparece no seu sentido original, de Wiener - uma teoria que busca explicar o mecanismo de funcionamento das máquinas, análogo ao que ocorre nos seres vivos. Já quando se procura compreender a gênese da ideia de autopoiese, encontramos a Cibernética de Segunda Ordem no cerne das pesquisas desenvolvidas por Maturana na década de 1960 com grupos americanos de investigações cibernéticas. Behncke explica essa correlação:

[...] foi em 1970 que um pesquisador no âmbito da neurobiologia (no fundo, cibernética de segunda ordem) teve a audácia de aceitar que o fenômeno do conhecer [da cognição] poderia ser explicado como fenômeno biológico, *apoiando-se precisamente na participação do observador na geração do conhecido* (Behncke, 1984/1995, p. 20, grifo do autor).

Behncke dá mais detalhes sobre o contexto inicial das pesquisas de Maturana, mostrando que inicialmente os conceitos cibernéticos não explicavam a organização de sistemas complexos

⁵⁵ No prefácio de *El árbol del conocimiento* (A árvore do Conhecimento), Rolf Behncke relata que a gênese do conceito de autopoiese se deu por volta de 1968 a partir das pesquisas do neurobiólogo Francisco Maturana, influenciadas pela Cibernética de Segunda Ordem. De acordo com Behncke, o biólogo chileno propôs que os fenômenos relacionados à percepção só poderiam ser compreendidos caso o funcionamento do sistema nervoso fosse admitido como uma rede circular fechada de correlações internas. “A organização do ser vivo se explicava a si mesma ao ser vista como um operar circular fechado de produção de componentes que produziam a própria rede de relações de componentes que os gerava (teoria que ele posteriormente chamou de *autopoiese*)” (Behncke, 1984/1995, p. 39, grifo do autor).

⁵⁶ A partir do conceito central de autopoiese, Maturana e Varela também desenvolveram a teoria epistemológica da Biologia da Cognição (ou do Conhecer), na qual o conhecimento é compreendido na perspectiva do funcionamento global do sistema vivo (Maturana; Varela, 1984/1995).

Foi justamente nesse contexto de pesquisa que se descobriu o princípio do *feedback* ou de retroalimentação (que auto-regula a atividade interna do próprio sistema); esta e outras descobertas posteriores deram um grande impulso ao desenvolvimento das máquinas automáticas e ao incremento de sua complexidade (computadores). Mas a organização dos mais complexos sistemas existentes até agora descobertos em nosso universo continuava vedada para a cibernética [...]. A resposta que se buscava mediante a aplicação do enfoque cibernético devia mostrar então qual era, ao tomar as moléculas como componentes, *a organização do ser vivo*, qual era, ao substituir as moléculas por neurônios, *a organização do sistema nervoso*, qual era, ao substituir os neurônios por pessoas, *a organização de todo sistema social* (ou relações comportamentais geradoras das culturas) (Behncke, 1984/1995, p. 36 - 37, grifo do autor).

Num congresso realizado em Chicago no ano de 1969 sobre Antropologia do Conhecimento, Maturana decidiu abordar na sua palestra sobre Neurofisiologia do Conhecimento a problemática da mente não a partir da perspectiva do sistema nervoso, como solicitado por Heinz Foerster, mas “da perspectiva do operar biológico completo do ser vivo” (Behncke, 1984/1995, p. 39). O estímulo a essa ideia pode ter ocorrido no ano anterior, quando Maturana teria chegado à conclusão de que só seria possível compreender os fenômenos ligados à percepção, caso se considerasse o operar do sistema nervoso como uma rede circular fechada de interações. De modo análogo, a organização do ser vivo poderia ser vista como um operar fechado de produção de componentes, um sistema circular cujos componentes produzem o próprio sistema que os produz (Behncke, 1984/1995).

Maturana estabeleceu as noções de vida e de cognição como indissociáveis na sua teoria. A cognição é compreendida como fenômeno biológico. Viver é um processo cognitivo. A interação entre a unidade autopoietica e o ambiente ajuda a compreender essa relação. Luisi (2013), pesquisador sistêmico, esclarece que, na teoria da autopoiese, a lógica interna do vivente e não as propriedades de uma determinada molécula, define as consequências dessa interação. Segundo o autor, “os componentes que o organismo vivente extrai do ambiente podem ser entendidos como algo que falta ao próprio organismo para implementar sua própria vida” (Luisi, 2013, p. 221)

Behnck esclarece acerca da divisão da Cibernética apresentada por Heinz von Foerster em *Cybernetics of Cybernetics – Cibernética da Cibernética* (1974). A Cibernética de primeira ordem ou Cibernética dos sistemas observados corresponde à investigação dos sistemas supostamente independentes de nossa atividade cognoscitiva (de observação) posto que o observador se supõe à margem de tais

sistemas, enquanto a Cibernética de segunda ordem ou Cibernética dos sistemas observadores se refere ao estudo dos sistemas nos quais nossa própria atividade descritiva é parte constitutiva deles (Behncke, 1984/1995, p. 37). Na Biologia, esta última está associada ao estudo dos sistemas vivos como sistemas autopoieticos, ou seja, a uma concepção de vida.

Embora constituído no cenário de fenômenos relacionados à rede molecular de autoprodução numa unidade autopoietica celular, o conceito de autopoiese passou por remodelações, a fim de estendê-lo para além dos sistemas autopoieticos de primeira ordem. Foi ampliado para compreender os organismos multicelulares (sistemas autopoieticos de segunda ordem) e, posteriormente, expandido novamente para explicar a interação dos organismos sociais, nos quais ocorreria um nível maior de autopoiese, o acoplamento de terceira ordem. Nesta investigação, a organização autopoietica em nível celular - sistema autopoietico de primeira ordem – será tomada para caracterizar a concepção de vida que subjaz esta organização.

Convém ressaltar o posicionamento inicial dos biólogos chilenos acerca da relação entre os sistemas vivos e sua organização, que contempla críticas acerca da concepção mecanicista da vida, a qual não faria distinção entre a historicidade e individualidade dos seres vivos. Na década anterior ao lançamento do clássico livro *A árvore do conhecimento* (1984), Maturana, Varela e Uribe esclarecem o que parece estar no cerne do conceito de autopoiese⁵⁷:

Apesar da sua diversidade, todos os sistemas vivos devem partilhar uma organização comum que reconhecemos implicitamente, chamando-os de "vivos". Atualmente não existe uma formulação desta organização, principalmente porque os grandes desenvolvimentos das noções moleculares, genéticas e evolutivas na biologia contemporânea levaram à ênfase excessiva de componentes isolados, por ex. por exemplo, considerar a reprodução como uma característica necessária da organização viva e, portanto, não perguntar sobre a organização que faz de um sistema vivo uma unidade autônoma e completa que está viva independentemente de se reproduzir ou não. Como resultado, processos que são dependentes da história (evolução, ontogênese) e independentes da história (organização individual) foram confundidos na tentativa de fornecer uma explicação mecanicista única para fenômenos que, embora relacionados, são fundamentalmente distintos (Maturana; Varela; Uribe, 1974, p. 187, tradução nossa).

⁵⁷ Na obra *De máquinas y Seres Vivos* (De máquinas e seres vivos), publicada em 1973, o conceito de autopoiese é pormenorizado, incluindo sua gênese, implicações e consequências. O subtítulo da obra, inclusive, sugere esta abordagem *Autopoiesis: la organización de lo vivo* (Autopoiese: a organização de sistemas vivos).

Na tentativa de elucidar como se reconhece um ser vivo, Maturana e Varela propõem uma resposta que visa uma mudança da perspectiva dos critérios propostos no decorrer da História da Biologia, como a lista habitual de propriedades comuns que os seres vivos possuem.

Quando falamos de seres vivos, já estamos pressupondo algo em comum entre eles - de outro modo, não os incluiríamos na mesma classe que designamos com o nome "vivos". O que não foi respondido todavia é: "Qual é a organização que os define como classe?" Nossa proposta é que os seres vivos se caracterizam por, literalmente, produzirem-se continuamente a si mesmos - o que indicamos ao chamarmos a organização que os define de *organização autopoietica*. Fundamentalmente, essa organização se define por certas relações [...] que veremos mais facilmente em nível celular (Maturana; Varela, 1984/1995, p. 84-85).

Os sistemas autopoieticos correspondem a um tipo de organização não considerada por autores como Canguilhem e Jacob. A concepção de *vida como sistema autopoietico*, pressupõe que os processos metabólicos superam a importância da informação genética, da evolução darwiniana, da reprodução.

Afirmamos que a reprodução e a evolução não são características constitutivas da organização viva e que as propriedades de uma unidade não podem ser explicadas apenas através da contabilização das propriedades dos seus componentes. Em contraste, afirmamos que a organização viva só pode ser caracterizada inequivocamente pela especificação da rede de interações de componentes que constituem um sistema vivo como um todo, isto é, como uma "unidade". Afirmamos também que toda a fenomenologia biológica, incluindo a reprodução e a evolução, é secundária ao estabelecimento desta organização unitária. Assim, em vez de perguntar "Quais são as propriedades necessárias dos componentes que tornam possível um sistema vivo?" perguntamos "Qual é a organização necessária e suficiente para que um determinado sistema seja uma unidade viva?" (Maturana; Varela; Uribe, 1974, p. 187, tradução nossa).

Maturana e Varela não negam a existência da evolução biológica, mas não concebem a ideia darwiniana de que seres vivos são mais adaptados ou menos adaptados. Para eles, organismo e meio mantêm o acoplamento estrutural de modo contínuo, com conservação da adaptação e da autopoiese, condição de existência do ser vivo, cujo processo evolutivo ocorre espontaneamente, e não direcionado a uma meta. A teoria da deriva natural, proposta por Humberto Maturana e Jorge Mpodozis manifesta crítica e divergências conceituais em relação à teoria sintética da evolução (neodarwinismo).

Há múltiplas escolas de pensamento que questionam seriamente o entendimento da evolução pela seleção natural, que vem dominando a biologia desde a última metade do século. No entanto, sejam quais forem as novas idéias propostas para os mecanismos evolutivos, não se pode negar o fenômeno da evolução. Mas estamos livres da visão popularizada da evolução como um processo em que seres vivos se adaptam progressivamente a um mundo ambiental, otimizando sua exploração. O que estamos propondo é que a evolução ocorre como um fenômeno de deriva estrutural sob contínua seleção filogenética, em que não há progresso nem otimização do uso do meio (Maturana; Varela, 1984/1995, p. 147).

Quanto à informação genética, a noção de *vida como autopoiese* não concebe o genoma como o 'manual de instruções' para a constituição e funcionamento do organismo.

É muito freqüente ouvirmos dizer que os genes constituem a "informação" que especifica um ser vivo. Isso é um erro por duas razões fundamentais. Primeiro, porque confunde o fenômeno da hereditariedade com o mecanismo de réplica de certos componentes celulares (os DNAs), de grande estabilidade transgeracional. Segundo, porque dizer que o DNA contém o necessário para especificar um ser vivo tira esses componentes (parte da rede autopoietica) de sua inter-relação com o restante da rede. É a rede de interações em sua totalidade que constitui e especifica as características da célula, não um de seus componentes. É certo que modificações nos genes trazem conseqüências dramáticas para a estrutura de uma célula. O erro está em confundir participação essencial com responsabilidade única (Maturana; Varela, 1984/1995, p. 107).

Para a compreensão da autopoiese e da concepção de vida dela decorrente, os conceitos de organização e estrutura em Maturana e Varela são fundamentais. Analisando ambos os conceitos, fica evidente que alterações na estrutura de um sistema não implica que sua organização seja modificada.

Entende-se por *organização* as relações que devem se dar entre os componentes de um sistema para que este seja reconhecido como membro de uma classe específica. Entende-se por *estrutura* os componentes e as relações que concretamente constituem uma determinada unidade e realizam sua organização. [...] Os seres vivos se caracterizam por sua organização autopoietica. Diferenciam-se entre si por terem estruturas diferentes, mas são iguais em sua organização (Maturana; Varela, 1984/1995, p. 87, grifo do autor).

Ainda sobre as mudanças estruturais, a relação do meio com a unidade autopoietica, quando estes são identificados pelo observador como compatíveis, também é discutida pelos chilenos e explicada como um processo ininterrupto denominado por eles de acoplamento estrutural. Diante de uma perturbação do meio, a própria estrutura do ser vivo determina quais mudanças acontecerão.

Maturana e Varela justificam o fato de utilizarem a expressão ‘desencadear’ um efeito, por reconhecerem que as mudanças decorrentes da interação entre o ser vivo e seu meio “são desencadeadas pelo agente perturbador, mas *determinadas pela estrutura do sistema perturbado*” Quanto à condição oposta entre o organismo e o meio em que vive, vale o mesmo princípio: “o ser vivo é uma fonte de perturbação, não de instrução” (Maturana; Varela, 1984/1995, p. 131, grifo do autor).

Os autores consideram a célula como unidade autopoietica e esclarecem que seus componentes moleculares devem estar relacionados numa rede incessante de interações, o que constitui o metabolismo celular, com a produção de componentes integrantes da rede de transformações que os produzem (Maturana; Varela, 1984/1995). Pode-se falar, então, numa rede circular de autoprodução do organismo (*autopoiesis*, do grego *auto* ‘próprio’, *poiesis* ‘criação’), dentro de uma clausura operacional.

Assim, os sistemas vivos são fechados organizacionalmente, mas precisam ser abertos em termos termodinâmicos (matéria e energia), a fim de que a autopoiese se mantenha.

Alguns desses componentes formam uma fronteira, um limite para essa rede de transformações. Em termos morfológicos, podemos considerar a estrutura que torna possível essa clivagem no espaço como uma *membrana*. [...] essa membrana não só limita a extensão da rede de transformações que produziu seus componentes integrantes como também participa dessa rede (Maturana; Varela, 1984/1995, p. 85, grifo do autor).

Portanto, Maturana e Varela associam a dinâmica metabólica celular à fronteira que delimita o sistema autopoietico. Desse modo, sustentam o metabolismo como característica global da vida e consideram que “se interrompermos (em algum ponto) a rede metabólica celular, descobriremos que, após algum tempo, não teremos mais uma unidade para observar!” (Maturana; Varela, 1984/1995, p. 87).

A vida compreendida como sistema autopoietico também pressupõe autonomia e um modo específico de organização. Numa unidade autopoietica, o ser e o fazer são unos, indissociáveis.

[...] para entender a autonomia dos seres vivos, devemos conceber a organização que o define como unidade. Tomar consciência dos seres vivos como unidades autónomas é o que permite mostrar como sua autonomia, geralmente vista como algo misterioso e elusivo, se torna explícita quando indicamos que aquilo que os define como unidades é sua organização autopoietica (Maturana; Varela, 1984/1995, p. 88).

Um comentário feito pelo químico italiano Luigi Luisi (1938-) revela motivos pelos quais a teoria da autopoiese não teve boa recepção dos biólogos moleculares.

A ausência de ênfase no DNA, a autorreplicação e a evolução na teoria da autopoiese devem certamente ter motivado a acolhida pouco calorosa que recebeu por parte da comunidade da biologia molecular - dificuldade que poderia ter sido contornada se os autores tivessem sido menos rígidos. Na verdade, não é difícil incorporar os ácidos nucleicos ao esquema da autopoiese. Isso foi proposto na literatura especializada nos anos sucessivos (Luisi, 2013, p. 214)

Talvez o tom final da crítica não soe tão bem aos adeptos dos modelos processuais/sistêmicos, no sentido de que todas as proposições dos chilenos parecem ser intencionais e coerentes com uma nova perspectiva acerca da vida, que difere da visão científica predominante. Agregar moléculas de ácidos nucleicos, reconhecidamente o material genético - a 'molécula da vida' - no modelo autopoietico, seria uma contradição às crenças e à própria Epistemologia que subjaz a teoria da autopoiese.

Ao considerar os seres vivos como sistemas, o conceito de autopoiese mantém relação com o enfoque sistêmico, um contraponto à visão reducionista dos fenômenos. No caso do conceito de vida, a ideia de autopoiese contradiz o reducionismo do programa genético, tão arraigado naquele momento da história da Biologia. Basta lembrar que o clássico livro do biólogo evolucionista britânico Richard Dawkins (1941-), *The Selfish Gene* (O gene egoísta) foi publicado originalmente em 1976⁵⁸ e possibilitou outra concepção de vida que escapa da lista de características/propriedades atribuídas aos seres vivos: a vida como seleção natural de replicadores.

2.3.2 Vida como seleção natural de replicadores

O conceito de replicadores foi desenvolvido por Richard Dawkins e apresentado na famosa obra 'O gene egoísta' (1979). Ao longo do livro, Dawkins se

⁵⁸ A ideia de atribuir aos genes as funções biológicas e a ação da seleção natural viria a ser duramente criticada por Evelyn Fox Keller (1936-2023) no início do século XXI em *The century of the gene* (O século do gene), no ano 2000.

aproxima e fornece mais detalhes do que seria o replicador, no contexto da evolução biológica. Apesar do enfoque ser dado aos genes – e esse corresponde ao meu interesse - a ideia original dessa entidade tem maior abrangência. A concepção de vida implícita na teoria do gene egoísta tem importância na presente investigação e pode ser reconhecida no papel fundamental concedido à informação gênica, que se mantém no interior das células e organismos ao longo do processo evolutivo.

Dawkins parte de explicações sobre a origem da vida no planeta Terra, ou seja, antes do surgimento da primeira célula, onde, segundo ele, a seleção natural já atuava a nível molecular, “uma seleção de formas estáveis e uma rejeição daquelas instáveis” (Dawkins, 1976/1979, p. 13). Nas palavras do zoólogo britânico:

Num dado momento, uma molécula particularmente notável foi formada acidentalmente. Nós a chamaremos a *Replicadora*. Ela não precisa necessariamente ter sido a molécula maior ou a mais complexa existente, mas possuía a propriedade extraordinária de ser capaz de criar cópias de si mesma (Dawkins, 1976/1979, p. 13, grifo do autor).

As moléculas de DNA como as conhecemos seriam descendentes das moléculas orgânicas do caldo primitivo, o qual provavelmente foi habitado por “variedades de moléculas, estáveis no sentido de que ou as moléculas individuais duravam um longo tempo, ou replicavam-se rapidamente, ou então replicavam-se de maneira precisa” (Dawkins, 1976/1979, p. 15). Sem dar importância se os primeiros replicadores poderiam ser chamados de vivos ou não, Dawkins afirma que eles foram nossos antepassados, ancestrais da vida.

Os erros nos processos de cópia dessas moléculas são considerados importantes na teoria de Dawkins, assim como a competição entre elas, tal como ocorre na seleção natural darwiniana. Na luta pela sobrevivência entre as variedades de replicadores, qualquer erro na cópia que originasse um novo modo de diminuir a estabilidade das suas competidoras ou um nível mais elevado de estabilidade seria conservado e propagado. E, ao explicar esse processo de competição e sobrevivência, o zoólogo britânico revela o papel limitado atribuído às células e organismos na sua concepção de vida:

Os replicadores começaram não apenas a existir, mas a construir envoltórios para si, veículos para sua existência ininterrupta. Os replicadores que sobreviveram foram aqueles que construíram *máquinas de sobrevivência* para aí morarem. As primeiras máquinas de sobrevivência provavelmente consistiram em nada mais do que um revestimento protetor. Mas, viver tornou-se inexoravelmente mais difícil à medida que novos rivais surgiam com máquinas de sobrevivência melhores e mais eficientes. Estas se tornaram maiores e mais elaboradas, o processo sendo cumulativo e progressivo [...]. Quatro bilhões de anos mais tarde, qual seria o destino dos antigos replicadores? Eles não morreram, pois são antigos mestres das artes de sobrevivência. Mas, não os procure flutuando livremente no mar. Eles abandonaram esta liberdade nobre há muito tempo [...]. Eles estão em mim e em você. Eles nos criaram, corpo e mente. E sua preservação é a razão última de nossa existência. Transformaram-se muito, esses replicadores. Agora eles recebem o nome de genes e nós somos suas máquinas de sobrevivência (Dawkins, 1976/1979, p. 16, grifo do autor).

Ainda a respeito do papel reduzido da célula/organismo para sua teoria sobre a evolução da vida, o zoólogo britânico esclarece:

Tanto os animais como as plantas desenvolveram-se em corpos multicelulares, cópias completas de todos os genes sendo distribuídas a cada célula. Não sabemos quando, porque, ou quantas vezes independentemente isto ocorreu. Alguns usam a metáfora de uma colônia, descrevendo um corpo como uma colônia de células. Prefiro imaginar o corpo como uma colônia de *genes* e a célula como uma unidade funcional conveniente para as indústrias químicas daqueles (Dawkins, 1976/1979, p. 16, grifo do autor).

Dawkins procura compreender o comportamento animal - egoísta e altruísta - a partir da sua própria interpretação da teoria darwiniana e sustenta que os genes seriam as unidades de seleção natural, não o indivíduo, como encontramos originalmente no darwinismo. O gene seria eterno; o indivíduo, efêmero.

Os indivíduos não são estáveis, são passageiros. Os cromossomos também caem no esquecimento pelo baralhamento, como as cartas de um jogador logo depois de serem carteadas. Mas, as cartas em si sobrevivem ao baralhamento. Elas são os genes. Estes não são destruídos pela recombinação, simplesmente trocam de parceiros e continuam em frente. Evidentemente continuam, esta é sua profissão. Eles são os replicadores e nós suas máquinas de sobrevivência. Quando cumprimos nossa missão somos postos de lado. Mas os genes são habitantes do tempo geológico: são para sempre (Dawkins, 1976/1979, p. 24)

Quanto ao conceito de organismo, o qual historicamente passou por diversos entendimentos, Dawkins lança muitas questões em 'O fenótipo estendido' (1982), assume que sua teoria reduz a importância do organismo, porém, busca

razões para sua existência como veículos ou máquinas de sobrevivência dos replicadores, em face do seu ponto de vista genecêntrico sobre a vida.

Dado que a vida não precisava ser empacotada em organismos distintos, e admitindo que os organismos nem sempre são totalmente distintos, por que, no entanto, os replicadores ativos da linhagem germinativa optaram tão claramente pelo modo de fazer as coisas do organismo? (Dawkins, 1982, p. 249, tradução nossa).

Embora afirme que não tenha desenvolvido uma definição rigorosa, o zoólogo britânico estabelece o que considera características próprias dos organismos, o que pode ser visto como sua noção de organismo. Dedicar o último capítulo de 'O fenótipo estendido' ao que ele denomina de "hora de reabrir a questão da existência do organismo" (Dawkins, 1982, p. 249, tradução nossa).

O organismo tem os seguintes atributos. É uma única célula ou, se for multicelular, suas células são parentes genéticos próximos umas das outras: elas descendem de uma única célula-tronco, o que significa que têm um ancestral comum mais recente entre si do que com as células de qualquer outro organismo. O organismo é uma unidade com um ciclo de vida que, por mais complicado que seja, repete as características essenciais dos ciclos de vida anteriores, podendo constituir uma melhoria em relação aos ciclos de vida anteriores. O organismo ou consiste em células germinativas, ou contém células germinativas como um subconjunto de suas próprias células, ou, como no caso de um inseto trabalhador social estéril, está em posição de trabalhar para o bem-estar das células germinativas em organismos intimamente relacionados (Dawkins, 1982, p. 263, tradução nossa).

Além disso, na concepção de Dawkins, o organismo possui complexidade na sua organização interna e uma individualidade/indivisibilidade, tornando-se não funcional no caso de ser partido ao meio. Porém, o que interessa ao zoólogo britânico não é o ponto de vista funcional do organismo, mas a compreensão da seleção natural dos replicadores no interior das células e organismos.

[...] que há de especial no organismo individual? Dado que a vida pode ser vista como consistindo em replicadores com suas extensas ferramentas fenotípicas de sobrevivência, por que, na prática, os replicadores escolheram se agrupar em centenas de milhares de células, e por que eles influenciaram essas células a se clonarem em milhões de bilhões nos organismos? (Dawkins, 1982, p. 251, tradução nossa).

Quanto ao motivo pelo qual os replicadores estão agrupados em organismos individuais, Dawkins busca respostas na lógica dos sistemas complexos,

mencionando o ensaio de Herbert Simon (1962), *The Architecture of Complexity* (A arquitetura da complexidade), no qual propõe “uma razão funcional geral pela qual qualquer tipo de organização complexa, biológica ou artificial, tende a ser organizada em hierarquias aninhadas de subunidades repetidas” (Dawkins, 1982, p. 249, tradução nossa). Outra explicação viável seria a perspectiva dos mundos possíveis, em dois aspectos, primeiro acerca do agrupamento de genes em células, e segundo, sobre o agrupamento das células em clones multicelulares, os organismos. Quanto à primeira questão, Dawkins sugere:

[...] imaginemos um mundo em que existam moléculas replicantes flutuando livremente no mar. Existem diferentes variedades de replicadores, e eles competem entre si pelo espaço e pelos recursos químicos necessários para construir cópias de si mesmos, mas não estão agrupados em cromossomos ou núcleos. Cada replicador solitário exerce poder fenotípico para fazer cópias de si mesmo, e a seleção favorece aqueles com o poder fenotípico mais eficaz. É fácil acreditar que esta forma de vida não seria evolutivamente estável. Seria invadido por replicadores mutantes que “se agrupassem” (Dawkins, 1982, p. 252, tradução nossa).

Acerca da associação das células em organismos, o zoólogo britânico também faz uso da teoria dos mundos possíveis, criando mais um cenário ficcional, no qual o desenvolvimento

[...] [dos] organismos acelulares, abundam em nosso mundo. Estes, contudo, são todos pequenos, e pode ser útil imaginar um mundo possível em que existam organismos grandes e complexos, unicelulares ou mononucleados. Poderia haver uma forma de vida em que um único conjunto de genes, entronizado em um único núcleo central, dirigisse a bioquímica de um corpo macroscópico com órgãos complexos, seja uma única “célula” gigantesca, ou um corpo multicelular no qual todas, exceto uma das células não teriam cópias privadas do genoma? Penso que tal forma de vida só poderia existir se a sua embriologia seguisse princípios muito diferentes daqueles com os quais estamos familiarizados (Dawkins, 1982, p. 252, tradução nossa).

Dawkins expõe o que considera a emergência de uma resposta satisfatória, no sentido de que um organismo está relacionado fisicamente a um único ciclo de vida, enquanto os replicadores que se agrupam em organismos multicelulares passam a ter uma história de vida regular e cíclica, bem como manifestam adaptações que ajudam na sua preservação ao longo do tempo evolutivo.

Fica evidente que Dawkins defende uma explicação puramente gênica da seleção natural, desconsiderando o ambiente como elemento seletivo. Cabe

ressaltar, no entanto que o zoólogo britânico atribui papel ao ambiente no âmbito do desenvolvimento embrionário, reconhecendo a interação entre os genes e o meio nesse processo.

[...] Não importa quão independentes e livres sejam os genes em sua viagem através das gerações, eles efetivamente *não* são agentes livres e independentes em seu controle do desenvolvimento embrionário. Colaboram e interagem de maneiras inextricavelmente complexas, tanto uns com os outros como com seu ambiente externo [...]. Não há nenhum gene, que, por si só, construa uma perna, longa ou curta. A construção de uma perna é um empreendimento de cooperação entre muitos genes. As influências do ambiente externo também são indispensáveis. Afinal de contas, as pernas são, na realidade, feitas de alimento! Mas, poderá muito bem haver um único gene que, outras coisas se mantendo constantes, tenda a fazer as pernas mais longas do que seriam sob a influência de seu alelo (Dawkins, 1976/ 1979, p. 25, grifo do autor).

Entendo que tal posicionamento teria potencial de isentá-lo da imagem determinista que o acompanha. De qualquer modo, a concepção de vida na teoria de Dawkins está associada à sobrevivência dos genes no tempo evolutivo, os quais competem entre si - os replicadores são 'egoístas'.

É possível encontrar na literatura científica e filosófica (para citar áreas do conhecimento consideradas neste trabalho) diversas concepções de vida para além das que foram abordadas especificamente com base na elaboração de Canguilhem (sessão 2.2.1) e nas ontodefinições de vida elencadas por Emmeche e El-Hani (sessões 2.3.1 e 2.3.2). O entendimento da célula como manifestação ou princípio de vida, habitualmente considerado na pesquisa biológica e no ensino de ciências/Biologia, indiscutivelmente, não aparece em todas as concepções, ou pela época em que foram constituídas ou por convicção dos que elaboraram e/ou defendem outros conceitos de vida.

Historicamente, a alma, o corpo orgânico, a célula, o gene, são exemplos do que pode ser assumido como aquilo que outorga a vida a um ser, o ser vivo. Pensar a vida a partir da teoria da evolução criadora, de Henri Bergson ou mesmo compreendê-la como atividade normativa a partir do conceito da normatividade vital, de Canguilhem são possibilidades que estão presentes na estrutura teórica desta investigação.

Embora a pesquisa empírica tenha o conceito de célula (natural e artificial) como objeto, entendo que não poderia prescindir de abordar no corpo teórico desta investigação o problema da vida, afinal, tradicionalmente, célula e vida estão

intrinsecamente relacionadas, de modo que, ao analisar a célula mínima (artificial), é relevante compreender também sua relação com a vida.

Nesse contexto, o modelo teórico-epistemológico utilizado para pensar a problemática desta investigação, que leva em consideração o Estilo de Pensamento em Fleck, foi examinado no sentido de sustentar as análises do estudo de episódios históricos e do estudo de episódios contemporâneos acerca da célula. Para além desse objetivo teórico-metodológico, a Epistemologia fleckiana foi investigada no intuito de auxiliar nas reflexões de cunho filosófico e histórico que presumivelmente emergem numa pesquisa dessa natureza, tal como se deu com a Epistemologia canguilhemiana.

3 NOÇÕES EPISTEMOLÓGICAS QUE PERMEIAM A COMPREENSÃO DE UM FATO CIENTÍFICO EM LUDWIK FLECK

Eu sou Ludwik Fleck, um judeu, um microbiologista⁵⁹

O objetivo deste capítulo é esclarecer conceitos epistemológicos de Ludwik Fleck. Aspectos de sua biografia permeiam a explanação, no intuito de contextualizar o cenário em que desenvolveu sua produção intelectual. Sua autoapresentação citada anteriormente, me leva a pensar que não fazia parte das suas ambições ser precursor de um modelo possível para a compreensão das ciências.

A quantidade de artigos publicados por Fleck, na área da microbiologia/medicina - cerca de oitenta e sete - e na área epistemológica - seis em vida e uma publicação póstuma - leva a crer que, efetivamente, a construção do conhecimento científico não era sua tarefa principal. Ainda assim, Fleck apresenta um constructo epistemológico robusto, contrário à Filosofia neopositivista, numa época dominada por esta concepção de ciência, em torno das décadas de 20 e 30 do século XX.

Em Ludwik Fleck encontramos explicações sobre o processo de produção do conhecimento nas ciências que consideram o pensamento científico dentro de cada época e contextos. A partir de literatura primária e literatura secundária dedico esse capítulo ao registro de aspectos da biografia e princípios da Epistemologia de Fleck.

Ludwik Fleck é natural de Lwów (Galícia, então território polonês, posteriormente anexado à Ucrânia), filho de judeus poloneses. Ele difere dos principais epistemólogos de sua época, como Karl Popper, Gaston Bachelard, por não possuir formação em Física ou Matemática, e por não ter exercido a carreira filosófica. Foi essencialmente um 'pesquisador de bancada' que mantinha interesse significativo pela história da medicina e pelo debate filosófico. Após uma pausa dos estudos para cumprir serviço militar obrigatório na Primeira Guerra Mundial, formou-se em medicina no ano de 1922 pela Universidade Jan-Kazimierz de Lwów. Atuou

⁵⁹ Frase proferida por Fleck ao iniciar seus trabalhos na Universidade de Medicina, em Lublin na Polônia no ano de 1946 (Fehr, 2012). Poderíamos acrescentar: um filósofo/epistemólogo, historiador, sociólogo das ciências.

como clínico e pesquisador em Microbiologia e Imunologia (Carneiro, 2015; Nogueira, 2021).

No ano de 1923, após demissão do cargo de auxiliar de pesquisa de Rudolf Weigl na Universidade de Lwów, Fleck fundou seu próprio laboratório e foi contratado pelo Departamento de Medicina Interna do Hospital de Lwów, onde passou a ser chefe do laboratório sorológico do departamento de Pele e Doenças Venéreas até 1928. A partir deste ano exerceu o cargo de diretor do laboratório do Fundo de Doentes durante sete anos. De 1935 a 1939, período em que publicou dois artigos em Epistemologia e sua obra magna (1935/1936), Fleck dedicou-se ao desenvolvimento de pesquisas de interesse pessoal no seu laboratório privado (Nogueira, 2021).

Em 1933, Fleck entra em contato por meio de carta com Moritz Schlick, um dos membros de maior destaque do Círculo de Viena, com objetivo de conseguir apoio para publicação do delineamento inicial da sua monografia, intitulada ‘A análise de um fato científico – Busca por uma teoria comparativa do conhecimento’. Em sua resposta, Schlick nega apoio à publicação. O escrito acaba sendo lançado por uma editora na Suíça, localidade afastada das discussões epistemológicas da época, o que também limitou sua divulgação e contribuiu para o anonimato da obra por aproximadamente trinta anos, período de hegemonia da orientação neopositivista da ciência (Carneiro, 2015; Nogueira, 2021).

A dificuldade de aceitação da obra de Fleck entre os anos de 1930 e 1960 também é abordada por Condé (2017), em virtude de a visão epistemológica sobre as ciências não ser favorável à discussão de suas ideias e também à originalidade de sua proposta. Nogueira corrobora esse pensamento:

Dada a especificidade do objeto de estudo selecionado por Fleck (a trajetória histórica do conceito de sífilis), a comunidade acadêmica do período subestimou o poder de alcance de *Gênese e desenvolvimento de um fato científico*, enquanto obra portadora de uma teoria da ciência original. À época, a obra foi reconhecida como mais um “estudo de caso de doença” corriqueiro, dirigido estritamente aos estudiosos com a mesma formação acadêmica do pensador polonês (Nogueira, 2021, p. 45, grifo da autora).

No tocante à originalidade da proposta epistemológica fleckiana, Löwy comenta:

Uma das razões da originalidade da obra de Fleck são suas raízes profundas na experiência dos pesquisadores, resultado de sua rica experiência profissional. É muito raro que um pesquisador que trabalhe na bancada venha a refletir sobre suas atividades diárias, objetivá-las e fazer uma análise detalhada delas. [...] dois fatores podem explicar essa particularidade apresentada por Fleck: em primeiro lugar, a sua marginalização no âmbito da profissão, tanto institucional quanto teórica e, em segundo lugar, a existência de uma tradição de reflexão na Polônia sobre a medicina enraizada na observação das atividades dos médicos (Löwy, 2012, p. 14).

Condé considera que Fleck foi uma espécie de ‘elo perdido’ entre a historiografia da ciência dos anos 1930 e dos anos 1960.

Fleck foi um autor à frente de seu tempo e assim de difícil interpretação em sua própria época. Para sua obra ser discutida, era preciso mudar o contexto epistemológico no qual foi produzida, mas, paradoxalmente, ela era uma das principais chaves de mudança desse contexto. [...] a epistemologia e a história da ciência demoraram algumas décadas para chegar a concepções semelhantes às que ele tinha desenvolvido nos anos 1930 (Condé, 2017, p. 61).

Faltava o contexto, o estado do conhecimento, o Estilo de Pensamento favorável sobre o funcionamento da ciência. Condé analisa que somente a partir da década de 1960, a dicotomia entre o contexto de descoberta (externalismo) e o contexto de justificativa (internalismo)⁶⁰ passou a ser contestada com Thomas Kuhn e depois com o Programa Forte da Sociologia da Ciência. Isto significa que a concepção sociológica da produção do conhecimento científico teria sido irrelevante em relação à prática interna das ciências na época de Fleck, Mannheim e Durkheim. E não só, a Epistemologia de Fleck ia de encontro ao pensamento do Círculo de

⁶⁰ No livro *Experience and Prediction* (Experiência e Predição), publicado em 1938, Hans Reichenbach (1891- 1953) explora a distinção entre o contexto da descoberta e o contexto da justificativa no campo do conhecimento científico. O filósofo alemão, adepto do positivismo lógico, adverte que “as relações internas pertencem ao conteúdo do conhecimento e devem ser percebidas se quisermos entendê-lo, enquanto as relações externas combinam conhecimento com enunciados de outro tipo que não concernem ao seu conteúdo. A epistemologia, então, está interessada apenas nas relações internas, enquanto a sociologia considera parcialmente as relações internas, sempre misturando-as com relações externas, pelas quais essa ciência também está interessada. (Reichenbach, 1938/1970, p. 4, tradução nossa). Se uma determinação mais conveniente deste conceito de reconstrução racional é desejada, poderíamos dizer que ela corresponde à forma em que os processos de pensamento são comunicados a outras pessoas, em vez da forma como eles são subjetivamente executados [...]. Introduzo os termos contexto de descoberta e contexto de justificativa para marcar essa distinção. Então temos que dizer que a epistemologia só se ocupa com a construção do contexto de justificativa (Reichenbach, 1938/1970, p. 6-7, tradução nossa).

Viena, que procurava ‘reeditar’ o empirismo-indutivismo no início do século XX, por meio da lógica matemática, conforme será visto detalhadamente a diante.

Nogueira explora as possibilidades de superar a divisão de Reichenbach oferecidas por Fleck, ao intencionar restabelecer a unidade entre o contexto de descoberta e o de justificativa. A autora considera que a perspectiva de Fleck sobre o assunto foi silenciada no período da publicação das obras pelos motivos comentados anteriormente, e atualmente ainda não foram satisfatoriamente examinadas, uma vez que a própria teoria epistemológica da ciência de Fleck tem difusão recente.

[...] Fleck, ainda que não cite diretamente a divisão de Reichenbach e consequentemente a bipartição entre o contexto de descoberta e o de justificativa, suplanta a antiga polarização quando defende a interpenetração de fatores sociais e historicamente condicionados nos fatores epistêmicos da produção do conhecimento, inclusive no núcleo duro da ciência: as noções de ‘verdade’ e ‘realidade’ (Nogueira, 2021, p. 111).

Acerca desse prolongado tempo de anonimato da teoria epistemológica da ciência de Fleck e do reconhecimento tardio das suas contribuições no âmbito da História, Filosofia e Sociologia da Ciência, Nogueira elenca diversas situações de marginalidade enfrentadas. Aplicando os conceitos fleckianos ao próprio Fleck, as circunstâncias de marginalidade atribuídas ao médico polonês e sistematizadas por Nogueira, nos permite inferir que ele não estava integrado ao Coletivo de Pensamento vigente nem comungava do Estilo de Pensamento acerca do funcionamento das ciências da sua época, como podemos ratificar na síntese a seguir.

- a) *Marginalidade disciplinar*, por ter adotado objetos de estudo referentes às Ciências da Vida em oposição às teorias da ciência consideradas válidas na época, que adotavam como referencial orientador a objetividade do modelo epistemológico da física e da matemática;
- b) *Marginalidade profissional*, por defender a ideia da variabilidade bacteriana, contrária à concepção de fixismo das espécies, predominante entre os pesquisadores da área;
- c) *Marginalidade institucional*, sendo leitor autodidata de referências bibliográficas relativas à História, Filosofia e Sociologia da ciência, não participou regularmente de um grupo de pesquisa oficial;

- d) *Marginalidade intelectual*, pelo fato das contribuições dadas por Fleck à compreensão do processo de produção de conhecimento científico não terem sido legitimadas pela concepção neopositivista do Círculo de Viena (Nogueira, 2021, p. 42-44).

Mais uma situação complicadora deve ser acrescentada: a *marginalidade étnica e linguística*, em virtude da sua origem judaico-polonesa, conforme podemos constatar na síntese de Carneiro sobre as adversidades que se apresentaram na vida de Fleck nesse sentido.

O ano de publicação da monografia, 1935, marca também o início de dramáticas dificuldades sofridas pelo autor diante da ascensão do nazismo. Em 1937, Fleck é expulso da Associação Médica Polonesa devido a sua ascendência judia. O subsequente domínio nazista na Galícia o faz com que perca outros cargos. Em 1942, Fleck realiza trabalho forçado na Fábrica Químico-Farmacêutica de Laokoon. É deportado em 1943 para o campo de Auschwitz e, subsequentemente, para Buchenwald. Finda a guerra, retorna para a Polônia (já sob influência soviética), onde assume posições de destaque acadêmico-institucional. Embora concentrado na pesquisa científica do entreguerras ao começo do pós-guerra, Fleck não cessou sua produção epistemológica. Seus escritos, porém, publicados em polonês em revistas de divulgação científica ou filosófica de circulação restrita, não ultrapassariam as fronteiras de sua terra natal.[...] apenas com a edição em língua inglesa da monografia em 1979, seguida pela reedição alemã de 1980, que o público readquire um contato material com a monografia, há muito esgotada no mercado. Acrescenta-se a isso a publicação da coletânea alemã organizada por Schäfer e Schnelle (1983), contendo os principais artigos epistemológicos de Fleck, posteriormente acrescidos de comentários críticos e traduzidos para o inglês na edição de Cohen e Schnelle (1986) (Carneiro, 2015, p. 702-703).

Vale destacar que entre 1895 e 1930 a Escola de Filosofia Lwów– Varsóvia, de orientação neopositivista sofria influência direta do Círculo de Viena. Mas havia também outros círculos científicos bastante ativos se reunindo em Lwów: de Biologia, Bioquímica, Matemática e Medicina, e Fleck transitava por todos eles (Delizoicov *et al.*, 2002).

Outra influência marcante pode ser constatada no fato de Fleck ter continuado e ampliado o pensamento sobre a ciência compartilhado por médicos-filósofos poloneses da segunda metade do século XIX integrantes da Escola Polonesa de Medicina (Löwy, 1994, 2012; Delizoicov *et al.*, 2002; Souto, 2019b), cujas concepções já manifestavam o que Fleck viria a sistematizar posteriormente (Delizoicov *et al.*, 2002):

- a) A forma como cada escola, cada modo de pensar, se instila fortemente na formação de jovens médicos;
- b) Pensar medicina é mais complexo que uma ciência que resolve “puzzles”;
- c) A não neutralidade da ciência, a visão a priori do observador;
- d) A ligação entre história, medicina social e epistemologia médica;
- e) A dificuldade de transposição entre uma linguagem científica para outra ciência;
- f) O “fato” como criação do cientista, que toda visão científica é uma visão com viés;
- g) O desenvolvimento de uma ciência determinada, influencia o desenvolvimento de outras, e por consequência, a necessidade de um trabalho interdisciplinar (Delizoicov *et al.*, 2002, p. 54-55).

Souto comenta que “Fleck apresentou uma reflexão sobre *o devir da medicina enquanto saber científico* e sobre a constituição dos *fatos médico-científicos a partir da prática dos médicos*, que era também a sua prática” (Souto, 2019b, p. 387, grifo do autor). Tal como indicam os princípios de sua própria teoria, de um lado, as ideias de Fleck foram influenciadas por pensadores, instituições e grupos de discussões médicas/microbiológicas e epistemológicas. Por outro lado, quanto às influências da Epistemologia de Fleck no pensamento de outros autores, Souto cita “sua apropriação por Kuhn e Merton, sua reapropriação por Latour” (Souto, 2019b, p. 387).

Ademais, a obra de Fleck manifesta contribuições da Filosofia de Wilhelm Jerusalem, da Sociologia de Émile Durkheim, da *Gestalt* e a Antropologia de Lévy-Bruhl (Schäfer; Schnelle, 1986; Souto, 2019b; Martins, 2020) e implicitamente da Sociologia de Mannheim, o qual originalmente forjou o termo *Denkstil* (Estilo de Pensamento), de um modo genérico para a história do pensamento e da arte na década de 1920 (Souto, 2019b).

Segundo os pressupostos da teoria fleckiana, é possível depreender que essas contribuições ao pensamento de Fleck se constituem como gênese de suas

ideias⁶¹ e nos levam a compreender seu importante papel de oposição à orientação filosófica positivista, representada no período pelo Círculo de Viena.

Essas influências foram contestadas recentemente pelo filósofo polonês Wojciech Sady, o qual afirma que Fleck não conhecia as obras dos ‘fundadores’ da Sociologia do conhecimento: Max Scheler e Karl Mannheim⁶². Embora as contribuições mencionadas anteriormente sejam admitidas por diversos autores, Sady alerta que Fleck dedica poucas páginas à Sociologia do conhecimento e, refere-se exclusivamente à tradução alemã do livro de Lucien Lévy-Bruhl, *Das Denken der Naturvölker*, 1921 (O pensamento dos povos primitivos) e ao artigo de Jerusalem de 1929. O filósofo sustenta que quando Fleck menciona as obras de Durkheim, Levy Bruhl, Jerusalém ou Ludwig Gumplowicz, ele o faz superficialmente, e se satisfaz com uma tese geral de que não seria o próprio indivíduo que realmente pensa dentro de uma pessoa, mas sua comunidade social (Sady, 2021).

Tais objeções e as demais elencadas por Sady não são suficientes para desvirtuar a crença adotada nesta investigação a favor de Fleck. O estudo da obra fleckiana mostra que sua Epistemologia contempla uma variedade de conceitos que auxiliam a compreensão do processo de construção da ciência. O pensamento de Fleck sobre a ciência possibilita compreensões na perspectiva da historicidade, da provisoriedade, da dinamicidade, da coletividade, como será apresentado posteriormente.

Sady repreende outras convicções, muito presentes em autores que analisam as obras de Fleck e também presentes nesta tese. Ele comenta que, embora Fleck tenha feito algumas observações críticas sobre convencionalistas e empiristas lógicos nos seus escritos, não há elementos que sustentem a crença de que ele teria conhecimento amplo sobre seus pressupostos. Sady vai além e defende que não seria possível incluir o médico polonês em nenhum círculo filosófico esotérico, uma vez que suas observações sobre a Epistemologia de Kant, Mach, por exemplo, seriam superficiais e dispersas, buscando somente alguma confirmação de suas próprias afirmações (Sady, 2021).

⁶¹Apesar da notável influência da escola polonesa de filosofia da medicina nas suas obras relacionadas à Epistemologia, Fleck não faz menção à instituição, como também a autores integrantes dela (Löwy, 1994, 2012; Delizoicov *et al.*, 2002, Sady, 2021).

⁶² Schnelle (1986) afirma que Fleck adquiriu as informações básicas sobre a sociologia da ciência de um artigo popular publicado em polonês por Paweł Rybicki (Sady, 2021).

Para respaldar outra crítica acerca das atribuições comuns conferidas à gênese das ideias fleckianas pelos pesquisadores atuais, Sady comenta uma hipótese elaborada por Eva Hedfors⁶³ acerca das competências de Fleck na história da medicina. Esta autora afirma que o debate filosófico entre cientistas e filósofos sobre a revolução relativística e quântica na Física representou a principal influência no pensamento de Fleck (Sady, 2021).

Esse debate foi registrado pela revista interdisciplinar *Die Naturwissenschaften* (As Ciências Naturais) entre as décadas de 1920 e 1930, onde Fleck publicou 'Sobre a crise da realidade' (1929). O médico polonês só teria se dedicado a episódios na história da medicina, por não ter conhecimento em Física Quântica e Relatividade Geral, e, assim, exemplificou teses que circulavam no pensamento coletivo dos físicos daquela época. De acordo com a médica, a discussão inspirou Fleck, que escreveu sobre a 'Física do amanhã' no seguinte trecho:

Atualmente, temos a sorte de testemunhar o espetáculo do nascimento, da criação de um novo estilo de pensamento. Deixemos a rédea livre para os criadores, os especialistas! Cedo ou tarde muita coisa mudará: a lei da causalidade, os conceitos de objetividade e subjetividade. Algo mais será exigido das soluções científicas e diferentes problemas serão considerados importantes. Muito do que foi provado será considerado não provado, e muito do que nunca foi provado se tornará supérfluo (Fleck, 1929/1986, p. 56-57, tradução nossa).

De qualquer modo, independente das críticas supracitadas, Fleck apresenta um modo de ver a ciência totalmente diferente daquele hegemônico, por meio da sua 'leitura' de como se estruturava e funcionava o conhecimento científico - a Fisiologia do conhecimento, como dito por ele. Como por exemplo, é nítida sua filiação ao pensamento evolucionário darwiniano/neodarwiniano. É frequente o uso de termos associados à teoria de Charles Darwin, como mutação⁶⁴, adaptação,

⁶³ Médica sueca com formação em Imunologia e Filosofia e História das ideias, realizou uma análise crítica da Epistemologia de Fleck no ano de 2006 (Sady, 2021).

⁶⁴ O conceito de mutação utilizado por Fleck parece referir-se ao elaborado por Darwin em seu livro 'A Origem das Espécies'. Com esse conceito Darwin busca identificar a mudança em uma ou mais características de alguns indivíduos de uma espécie. Ressalta que essa mudança, que essa mutação, não teleológica, mas casual. Desse modo, ela pode tanto contribuir para a melhor adaptação da espécie ao meio ambiente, quanto para prejudicar sua permanência neste, podendo até culminar em sua extinção. Semelhantemente, Fleck considera que os estilos de pensamento são como espécies, que podem sofrer pequenas mudanças ao longo do tempo (Parreiras, 2006, p. 141).

evolução e expressões como ‘mutações no estilo de pensamento’ e ‘proposições fósseis’.

Paralelos possíveis entre o evolucionismo dos seres vivos de Darwin e o evolucionismo epistemológico fleckiano foram identificados por Parreiras (2006, 2018). A autora esclarece, por exemplo, a relação existente entre os conceitos de adaptação e variação darwiniana e a Harmonia das ilusões, dos quais se originam as exceções (Complicações). Devido ao seu caráter coercitivo, o Estilo de Pensamento encontra-se adaptado durante a Harmonia das Ilusões, a qual pode ser abalada por um indivíduo que, por não comungar daquele estilo, indica as ‘exceções’ existentes nele, ou seja, tal como nos pressupostos de Darwin, as variações originam as exceções (Parreiras, 2018).

Ressalto outra correspondência pertinente apontada pela autora:

Darwin, por influência de suas leituras dos Princípios de Geologia de Lyell, assumia a existência de uma uniformidade na mudança ambiental, ou seja, a concepção de que as transformações geológicas são graduais, ocorrendo sem catástrofes. Tais considerações ele transferiu para sua teoria sobre a transformação dos seres vivos, considerando-a, também, de ocorrência lenta, mas constante. Fleck, semelhantemente, assume o processo de desenvolvimento do conhecimento como um fenômeno sem rupturas, não catastrófico ou revolucionário segundo a teoria kuhniana (Parreiras, 2006, p. 141).

O conceito de Estilo de Pensamento de Fleck é considerado pela autora como análogo ao conceito de espécie de Darwin, no sentido de que um Estilo de Pensamento pode se desenvolver a partir de Protoideias, as quais corresponderiam aos pontos de ramificação das espécies em Darwin, isto é, de ligação entre espécies antigas e atuais.

Especificamente na sua principal obra ‘Gênese e desenvolvimento de um fato científico’ [*Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache*] (1935), Fleck faz uso da História da Ciência, em particular da história da sífilis e da reação de Wassermann para retirar delas consequências para a teoria do conhecimento (Martins, 2020). O estabelecimento de um teste sorológico padrão - a reação de Wassermann - para diagnóstico da sífilis foi o Fato Científico explorado por Fleck.

O médico polonês desenvolveu nesse livro diversos conceitos epistemológicos para explicar a origem e evolução do Fato Científico mencionado anteriormente. Estilo de Pensamento, Coletivo de Pensamento, Fato Científico,

Protoideia, Círculo Esotérico, Círculo Exotérico, Tráfego Intracoletivo de Ideias, Tráfego Intercoletivo de Ideias, Acoplamentos Ativos, Acoplamentos Passivos, Harmonia das ilusões, Complicação, Mutação no Estilo de Pensamento são os conceitos mais reconhecidos do autor (Fleck, 1935/2010).

Na tentativa de evitar contradição, não pretendo explicar cada um dos conceitos de forma sistemática e hermética, especialmente porque a leitura das obras epistemológicas de Fleck indicam muitos outros conceitos e/ou noções veladas no que concerne, por exemplo,   natureza da ciência. Transitar entre eles me parece ser mais coerente. Sobretudo quando se tem acesso à leitura/estudo dos seus escritos,   possível perceber a complexidade, vínculo e sobreposições entre os conceitos.

É comum pesquisadores da educação científica utilizarem unicamente a obra magna de Fleck como base para compreensão da sua Epistemologia, uma vez que ela traz a consolidação de conceitos e ideias presentes nos artigos iniciais do autor no campo epistemológico. No intuito de ampliar a compreensão e a historicidade dos conceitos fleckianos, busquei t mbe m apresentar as principais ideias desenvolvidas nos seus artigos em Epistemologia.

Os conceitos Estilo de Pensamento e Coletivo de Pensamento, normalmente são explorados nos trabalhos fundamentados pela Epistemologia de Fleck, o qual adverte que “um indivíduo pertence a vários estilos de pensamento” (Fleck, 1935/2010, p. 87). Talvez a definição mais conhecida para o Estilo de Pensamento seja a que o qualifica como constituído por ideias e práticas compartilhadas pelos membros de uma comunidade de cientistas (Coletivo de Pensamento). No entendimento do médico polonês:

[...] *percepção direcionada em conjunto com o processamento correspondente no plano mental e objetivo*. Este estilo é marcado por características comuns dos problemas, que interessam a um coletivo de pensamento; dos julgamentos, que considera como evidentes e dos métodos, que aplica como meios do conhecimento. É acompanhado, eventualmente, por um estilo técnico e literário do sistema do saber (Fleck, 1935/2010, p. 149, grifo do autor).

O Coletivo de Pensamento é definido na mesma obra como a “*comunidade das pessoas que trocam pensamentos ou se encontram numa situação de influência recíproca de pensamentos*” (Fleck, 1935/2010, p. 82, grifo do autor). O Fato

Científico precisa estar alinhado ao interesse intelectual desse grupo de indivíduos, que compartilham o mesmo objetivo.

Martins comenta sobre o termo ‘pensamento’ na expressão ‘estilo de pensamento’, que pode levar a uma interpretação limitada do significado do principal conceito fleckiano, no sentido de que este conceito estaria associado somente ao âmbito das ideias, da cognição, afastado das práticas. O autor esclarece, no entanto, que “Fleck enfatiza que o ‘perceber direcionado’ proporcionado pelo estilo é adquirido e moldado paulatinamente em um processo de formação em uma área específica, marcado, reforçado e retroalimentado pela *prática* nesse campo” (Martins, 2020, p. 1204, grifo do autor). O médico torna mais clara essa ideia no artigo ‘Observação científica e percepção’, publicado também em 1935, sobre o qual discorrerei neste capítulo.

Possivelmente, em consequência dos diversos aspectos que o influenciaram, Fleck parece optar pela problematização do conceito de Fato Científico desde o título de sua obra principal. O Fato Científico teria uma gênese e um desenvolvimento, ele nasce e evolui (usando termos biológicos, característica fleckiana). Não é dado, fixo, engessado, objetivo, sólido, como afirmam os empiristas/neopositivistas. No decorrer da obra, com apoio dos conceitos desenvolvidos, ele deixa clara a influência do contexto histórico e social que condiciona a construção do Fato pelos cientistas conforme o Estilo de Pensamento vigente naquela época, naquele grupo, o qual pode afetar e ser afetado por outros modos de pensar um determinado objeto científico.

Otte nos oferece uma oportunidade de reflexão acerca da palavra *fato*, que revela tanto seu caráter inabalável, firme, sólido quanto seu aspecto dinâmico, processual, produzido por um agente. Essa reflexão abrange a compreensão de duas Epistemologias antagonistas quanto aos fundamentos dos processos envolvidos na atividade científica: a neopositivista e a fleckiana.

Por meio da análise etimológica, o autor afirma que de um lado ‘fato’ é “derivado de *factum*, que, por sua vez, é derivado de *facere*. ‘Fato’ é aquilo que está ‘feito’, sendo que o particípio perfeito reforça a ideia de que se trata de algo encerrado e imutável” (Otte, 2012, p. 109, grifo do autor); por outro lado, “se considerarmos o fato como algo que foi *feito*, que foi produzido *por alguém*, ele não apenas perde seu caráter fixo e estável, mais ainda sugere que alguém ou alguma força esteja por trás dele” (Otte, 2012, p. 110, grifo do autor).

Otte (2012) ainda examina o subtítulo do livro de Fleck⁶⁵, ‘Introdução na teoria do estilo de pensamento e do coletivo de pensamento’, indicando a relevância conferida por Fleck ao sujeito da pesquisa científica, num ponto de vista histórico-temporal e espacial, ou seja, ao Coletivo de Pensamento orientado pelo Estilo de Pensamento num determinado período.

A respeito do Fato Científico, Fleck discorre:

Assim nasce o fato: primeiro um sinal de resistência no pensamento inicial caótico, depois uma certa coerção de pensamento e, finalmente, uma forma (*Gestalt*) a ser percebida de maneira imediata. Ele sempre é um acontecimento que decorre das relações de um determinado estilo de pensamento (Fleck, 1935/2010, p. 144-145, grifo do autor).

Fleck defende que o conhecimento é desenvolvido por meio dos Tráfegos de Ideias⁶⁶ entre os Círculos Esotérico e Exotérico que podem resultar em mudança do Estilo de Pensamento. O médico polonês afirma:

A circulação intercoletiva de ideias ocorre entre dois ou mais coletivos de pensamento, contribuindo, de modo significativo, com a transformação do estilo de pensamento, pois [...] qualquer tráfego intercoletivo de pensamento traz consigo um deslocamento ou uma alteração dos valores de pensamento (Fleck, 1935/2010, p. 161).

Martins chama a atenção para dois conceitos fleckianos considerados grandes novidades epistemológicas - Acoplamento Ativo e Acoplamento Passivo⁶⁷ – os quais não são desenvolvidos explicitamente por Fleck em seus artigos, mas no

⁶⁵ O subtítulo não aparece na tradução inglesa e na publicação em língua portuguesa.

⁶⁶ Conforme pode ser constatado na citação subsequente, na tradução da obra de Fleck para a língua portuguesa, encontramos os termos ‘circulação’ e ‘tráfego’ com o mesmo significado. O termo ‘tráfego’ foi adotado majoritariamente. Não obstante, de acordo com Martins (2020) e Setlik e Silva (2021), nas publicações no campo da educação em ciências, ocorre uma predileção pelo uso de ‘circulação’. Os autores defendem que este último termo seria mais apropriado no contexto em que se aplica. Setlik e Silva (2021) complementam os esclarecimentos citando o trabalho de Jarnicki (2016), que discute os problemas de linguagem resultantes das traduções dos textos de Fleck, os quais foram escritos em alemão e em polonês. Os autores sintetizam a análise sobre os termos: “Denkverkehr (como aparece em alemão) e Krzzenie (como aparece em polonês) se aproximam da ideia de um tipo de movimento (movement), fluxo sem necessariamente ter um sentido definido” (Setlik; Silva, 2021, p. 4). Nas palavras de Jarnicki: “A conclusão é que Denkverkehr é mais uma espécie de ‘movimento’ de pensamento do que uma espécie de ‘troca’ ou ‘comunicação’ de pensamento. O krzzenie polaco é também uma espécie de movimento – o primeiro significado é ‘mover-se ou formar um círculo’, mas há também um segundo: ‘mover-se não diretamente para o alvo’, ‘mover-se para frente e para trás’, ‘divagar’” (Jarnicki, 2016, n.p).

⁶⁷ Cohen e Schnelle (1986) indicam o uso dos termos *linkage* (*coupling*)- acoplamento - para o termo alemão *Koppelungen*.

livro ‘Gênese e desenvolvimento de um fato científico’ é possível localizar referências precisas a respeito desses conceitos (Martins, 2020). São relações interdependentes as quais, segundo Fleck, têm duas tendências: podem ser esclarecidas pela história cultural (relações ativas) ou não podem ser compreendidas nem pela história nem pela psicologia (relações passivas).

Fleck associa o processo de conhecimento às relações ativas (aquilo que comumente é visto como subjetivo) e passivas (aquilo que é percebido como objetivo, passando a impressão de serem relações “reais” “objetivas ou “efetivas”) estabelecidas pelo Coletivo de Pensamento.

Conhecer, portanto, significa, em primeiro lugar, constatar os resultados inevitáveis sob determinadas condições dadas. Estas condições correspondem aos acoplamentos ativos, formando a parte coletiva do conhecimento. Os resultados inevitáveis equivalem aos acoplamentos passivos e formam aquilo que é percebido como realidade objetiva (Fleck, 1935/ 2010, p. 83).

Admite que não existem proposições alicerçadas somente em Acoplamentos Passivos, pois sempre haverá a existência de algo ativo. Para ele, “de acordo com um outro ponto de vista, um Acoplamento Passivo é considerado como ativo e vice-versa” (Fleck, 1935/2010, p. 93). A interdependência entre os Acoplamentos Ativos e Passivos, bem como a mudança de posição entre eles é explicitada por Fleck por meio de exemplos.⁶⁸ Nogueira explica: “o que tradicionalmente ocuparia o lugar privilegiado de objeto do conhecimento da ciência constitui um processo em construção, condicionado pela atuação conjugada dos acoplamentos (*Koppelungen*)⁶⁹ passivos e ativos” (Nogueira, 2021, p. 57).

O médico polonês amplia a discussão sobre o Fato Científico considerando as ‘conexões’ ativas e passivas dentro do seu contexto de gênese e evolução histórica, tendo em vista que o Fato precisa se alinhar ao interesse intelectual do Coletivo de Pensamento, se apresentar como um sinal de resistência e ser expresso

⁶⁸ Fleck retoma o exemplo da mudança no Estilo de Pensamento sobre o teorema da inalterabilidade das características da espécie, vigente por muito tempo na bacteriologia e a relação entre a reação de Wassermann e a sífilis (Fleck, 1935/2010, p. 150).

⁶⁹ Cohen e Schnelle indicam o uso dos termos *linkage* (*coupling*)- acoplamento- para a palavra alemã *Koppelungen*, cuja tradução correspondente na obra inglesa é *connections* e *associations* (Cohen; Schnelle, 1986, p. xv). Na tradução em língua portuguesa, o termo ‘acoplamento’ foi adotado.

no estilo do Coletivo de Pensamento (Fleck, 1935/2010, p. 152-153). Novamente deslocando o conceito de Fato da visão neopositivista, que o concebe como algo permanente, fixo e livre das crenças do pesquisador, para sua própria concepção de Fato, amplamente defendida em toda sua produção epistemológica, Fleck elucidada:

Quando se considera um fato que foi extraído do seu contexto evolutivo, faz parte da natureza dessa separação que apenas um determinado acoplamento coercitivo pareça ser importante dentro dessa relação artificialmente isolada. As partes ativas aparecem como estorvos a serem combatidos [...]. Mas, quando se analisam os fatos em seus contextos e em sua evolução, logo se percebe como as partes ativas e passivas de um saber trocam os papéis reciprocamente e que depende das propriedades do estilo de pensamento se algo se *apresenta* de maneira ativa ou passiva em relação ao processo de conhecimento (Fleck, 1935/2010, p. 152, grifo nosso).

Como enunciado no início do capítulo, podemos conhecer mais sobre a teoria da ciência de Fleck em seus artigos de cunho epistemológico. No livro *Cognition and Fact: materials on Ludwik Fleck* (Cognição e Fato: materiais de Ludwik Fleck) (Cohen; Schnelle, 1986) encontra-se a compilação de sete artigos de Fleck em Epistemologia⁷⁰. São eles: ‘Algumas características específicas do modo de pensar médico’ (1927); ‘Sobre a crise da realidade’ (1929); ‘Observação científica e a percepção em geral’ (1935); ‘O problema da epistemologia’ (1936); ‘Problemas da ciência da ciência’ (1946), ‘Olhar, ver, saber’ (1947) e ‘Crise na ciência’ (1960)⁷¹, este último escrito em inglês.

Apesar do crescente interesse pela teoria epistemológica da ciência de Fleck na atualidade, existem, como destaquei anteriormente, críticas ao pensamento do epistemólogo. Se os pontos de vista mencionados previamente são controvérsias à gênese, os seguintes dizem respeito ao desenvolvimento das ideias fleckianas. Nogueira adverte que “os conceitos elaborados pelo pensador polonês, como não possuem definição rigidamente delimitada, são acusados equivocadamente de inconsistentes, mal fundamentados epistemologicamente” (Nogueira, 2021, p. 126). Além do mais, a autora reforça o fato de que Fleck usufruía da prerrogativa de não

⁷⁰ Localizei outros escritos epistemológicos de Fleck na bibliografia primária do arquivo virtual sobre o autor em *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, cujas referências indicam que os artigos se encontram em polonês ou alemão. URL = <<https://plato.stanford.edu/archives/win2021/entries/fleck/#Bib>>.

⁷¹ *Crisis in Science* (Crise na Ciência), último escrito de Fleck, foi recusado por quatro periódicos, teve publicação póstuma em *Cognition and Fact* (Cognição e Fato) (Martins, 2020).

estar envolvido com a tradicional perspectiva neopositivista, o que lhe dava autonomia para difundir novidades acerca da produção do conhecimento nas ciências.

A suposta fragilidade do arcabouço conceitual elaborado por Fleck nos artigos em Epistemologia publicados a partir de 1927 e no livro ‘Gênese e desenvolvimento de um fato científico’ (1935) é contestada pela autora:

[...] a (pseudo) fraqueza da malha conceitual criada por Fleck constitui o principal mecanismo garantidor da vitalidade e da força da teoria da ciência do pensador polonês [...]. Particularmente, o grande potencial de renovação da teoria da ciência de Fleck reside na plasticidade da malha conceitual disponibilizada [...]: quanto maior a capacidade de adaptação dos conceitos às exigências de cada conjectura intelectual em que serão apropriados, maior a tendência a sobreviverem ‘atuais’ ao longo do tempo (Nogueira, 2021, p. 126).

Schlünder corrobora a convicção de que as ideias apresentadas por Fleck têm o potencial de serem desenvolvidas e refletidas, sustentando que “o fato dos conceitos de Fleck não se encaixarem como uma luva, ou de que eles sejam muito amplos, abre um espaço de possibilidades que oferece uma grande variedade de conexões em termos de outras teorias” (Schlünder, 2012, p. 151) e, por meio de analogias biológicas, também presentes nas obras de Fleck, a autora explica:

[...] Esse espaço potencial na teoria de Fleck corresponde a algo como os meristemas, isto é, as áreas de crescimento da planta com sua divisão de tecidos, ou ainda as cobiçadas células-tronco em pesquisas biomédicas: elas são indiferenciadas, não específicas e, portanto, cheia de possibilidades (Schlünder, 2012, p. 151).

Voltando às produções epistemológicas fleckianas, os dois primeiros artigos foram divulgados antes da publicação de sua obra magna ‘Gênese e desenvolvimento de um fato científico’. Em ambos, é possível constatar o processo de amadurecimento de muitas ideias e conceitos consolidados posteriormente no seu livro. No seu primeiro estudo epistemológico ‘Algumas características específicas do modo de pensar médico’ (1927), Fleck enfatiza o Estilo de Pensamento médico, apesar de não citar o termo nem definir o conceito de Estilo de Pensamento⁷². São abordadas muitas especificidades da forma médica de pensar

⁷² Martins esclarece que nos dois primeiros artigos de Fleck, publicados nos anos de 1927 e 1929, ainda que a origem do conceito de Estilo de Pensamento possa ser identificada, Fleck não o define.

os fatos. O epistemólogo polonês considera o amplo alcance e a antiguidade da Ciência Médica, que teria levado à formação de um estilo peculiar na apreensão dos problemas e na maneira de tratar o fenômeno médico, ou seja, um tipo de pensamento específico.

Nenhum lugar fora da medicina, em nenhum outro ramo da ciência, tem espécies com tantas características específicas, ou seja, características não analisáveis não podem ser reduzidas a elementos comuns. Nesse caminho, o processo de abstração que tem sido levado muito longe produz a noção de espécies enquanto ficções são consideradas maiores que nenhum outro campo da ciência e a noção de elemento (ou propriedade) como uma generalidade igualmente específica (Fleck, 1927/1986, p. 42, tradução nossa).

A ideia de incomensurabilidade entre Estilos de Pensamento aparece nesse escrito, no sentido de não ser viável, segundo Fleck, existir um ponto de vista global da doença humana, mas uma variedade de pontos de vista parciais (bioquímico, fisiológico, genético, epidemiológico, psicológico), os quais são incomensuráveis por natureza (Löwy, 1994, p. 8; Löwy, 2012, p. 18-19).

Isso reflete a defesa de uma abordagem holística para a compreensão da ciência desde o seu primeiro estudo epistemológico. Löwy (1990) comenta sobre a alegação de Fleck de que os fenômenos patológicos não podem ser entendidos a partir de um ponto de vista simples e reducionista. Conforme explicitado anteriormente sobre as Ciências da Vida como modelo para as ciências (Segundo Capítulo), a autora ressalta a ideia da Epistemologia fleckiana como um modelo para as ciências, ao elucidar:

Fleck, com certeza, não se via como um filósofo da medicina. Embora a maioria dos exemplos em suas obras sejam retirados de sua especialidade profissional - microbiologia médica e imunologia – estes exemplos reforçam, segundo ele, o *desenvolvimento do conhecimento científico em geral* e não simplesmente o desenvolvimento de conhecimentos médicos ou biológicos conhecimento. Levou, entretanto, sua experiência profissional como bacteriologista e como imunologista como ponto de partida de suas reflexões epistemológicas (Löwy, 1990, p. 216, grifo nosso, tradução nossa).

O autor comenta que na tradução do artigo de 1927 em inglês, diversos termos são utilizados: *specific style* (estilo específico), *type of thinking* (tipo de pensamento), *way of thinking* (modo de pensar), *field of thought* (campo/domínio do pensamento) e *style of thinking* (estilo de pensar). No artigo de 1929, encontra-se os termos *style of thought* (estilo de pensamento) e *style of thinking* (estilo de pensar) (Martins, 2020, p. 1202).

Baseando-se na obtenção de resultados contrários à teoria da reação de Wassermann, Fleck argumenta a favor da motivação própria da medicina, que não segue a linha das teorias clássicas, mas requer uma mudança na atitude mental, uma alteração no ângulo de visão.

[...] Só assim, o mundo dos fenômenos patológicos, o qual é irracional na sua totalidade, torna-se racional nos seus detalhes. Assim como, por um lado, abstração de longo alcance permite ao pensamento médico encontrar modelos entre os fenômenos atípicos, assim também, por outro lado, é apenas a renúncia às consequências que permite aplicar uma lei aos fenômenos irregulares. Isto resulta na incomensurabilidade das ideias desenvolvidas a partir das maneiras variadas de aprender os fenômenos patológicos. Por essa razão, uma compreensão uniforme da morbidade não é possível. Nem a teoria celular, nem a humoral, nem a compreensão funcional das doenças, nem o condicionamento psicogenético, por si só, nunca vão esgotar toda a riqueza dos fenômenos patológicos (Fleck, 1927/1986, p. 43-44, tradução nossa).

Ao utilizar o termo ‘mutações’ do Estilo de Pensamento (*Mutationen des Denkstiles*) no livro ‘Gênese e desenvolvimento de um fato científico’, Fleck pode estar sugerindo que a incomensurabilidade, para ele, não seria absoluta, uma vez que mutações são processos evolutivos de mudanças que ocorrem gradativamente. De acordo com Condé, “o que ocorre, na maioria dos casos, é uma dificuldade de comunicação entre estilos de pensamento *muito diferentes*” (Condé, 2017, p. 81, grifo nosso).

[...] em cada estilo de pensamento há sempre traços da descendência de muitos elementos da história evolutiva. Provavelmente, poucos conceitos novos se formam sem qualquer relação com estilos de pensamento anteriores. Apenas seus matizes mudam na maioria dos casos [...]. Dessa maneira, surge uma coesão histórica dos estilos de pensamento (Fleck, 1935/2010, p. 150).

No artigo ‘Sobre a crise da realidade’ (1929), a Epistemologia de Fleck é aprimorada para além da análise das concepções envolvidas no conceito de doença. Fleck esclarece que todo conhecimento científico depende do contexto envolvido na sua produção e da finalidade da investigação, refere-se ao Estilo de Pensamento, ao Coletivo de Pensamento, expresso em termos de comunidades científicas e parece esboçar o que mais tarde chamaria de Harmonia das Ilusões.

Todo conhecimento tem seu próprio estilo de pensamento com tradição e educação específicas. Fora da quase infinita multiplicidade de possibilidades, toda forma de conhecimento seleciona diferentes questões, as conecta de acordo com diferentes regras e para finalidades diferentes. Membros de diferentes comunidades científicas vivem em sua própria realidade científica e profissional. Em seu cotidiano, essas pessoas podem se relacionar umas com as outras em perfeita harmonia, pois elas podem ter uma realidade comum todos os dias. Existem culturas, por exemplo, a cultura chinesa, a qual, em áreas importantes como a medicina, chegou a realidades bem diferentes de nós ocidentais. Será que devemos puni-los por isso? Eles têm uma história diferente, aspirações diferentes e demandas que são decisivas para sua cognição (Fleck, 1929/1986, p. 49, tradução nossa).

A partir desse artigo, o pensador polonês manifesta sua preocupação em relação ao processo de aquisição do conhecimento científico, antes mesmo de explorar o Tráfego de Ideias no contexto dos Coletivos de Pensamento⁷³. Em ‘Sobre a crise da realidade’ (1929), Fleck enfatiza o aspecto da aprendizagem e fatores envolvidos nesse processo, considerando que três sistemas de fatores contribuem para todo processo de cognição, os quais estão interrelacionados e em interação: “o peso da tradição, o peso da educação e a sequência dos atos de cognição” (Fleck, 1929/1986, p. 47-48, tradução nossa). Esses fatores sociais e qualquer nova Epistemologia deve, portanto, ser trazida para um contexto social e histórico-cultural, a fim de que não contradiga seriamente a história da cognição e a experiência cotidiana do professor e do estudante.

Numa clara oposição ao empirismo ingênuo, Fleck coloca o fator social na gênese da cognição e argumenta que não somos “uma folha em branco, uma tábula rasa ou uma tela antes da projeção”. Ao contrário, a cognição é vista pelo médico polonês como um processo recíproco, entre sujeito e objeto, gerado ativamente e defende que “cada cognição, cada sistema de cognições, cada introdução na esfera social tem sua própria realidade correspondente” (Fleck, 1929/1986, p. 49, tradução nossa). Nas palavras de Fleck:

Pois a cognição não é contemplação passiva nem aquisição do único insight possível sobre algo dado. É uma inter-relação ativa e viva, um remodelar e ser remodelado, em suma, um ato de criação [*Schaffen*]. Nem o “sujeito” nem o “objeto” recebem uma realidade própria; toda existência é baseada na interação e é relativa”. (Fleck, 1929/1986, p. 49, tradução nossa, grifo do autor).

⁷³ Em ‘Gênese e desenvolvimento de um fato científico’ (1935), Fleck faz uma discussão robusta sobre a circulação das ideias científicas utilizando os termos ‘ciência dos periódicos’, ‘ciência dos manuais’, ‘ciência dos livros didáticos’ e ‘ciência popular’.

Quanto à posição política de Fleck, é possível constatar, segundo Saito, referências e argumentações reiteradas ao caráter genuinamente democrático do ‘pensamento típico das ciências naturais’, entre os anos de 1929 e 1939. No entanto, esse é o aspecto menos presente nos trabalhos sobre Fleck. Segundo a autora, isso pode ser explicado devido ao interesse dos pesquisadores pelos conceitos específicos e pela perspectiva geral que a epistemologia fleckiana oferece à área da Sociologia do conhecimento e à ausência de relações entre os conceitos de Estilo/Coletivo de Pensamento e uma perspectiva política na sua obra mais conhecida, o livro publicado em 1935 (Saito, 2020).

No artigo de 1929 encontra-se uma declaração do autor que pode ser considerada como a gênese da visão política de Fleck, aparentemente com uma certa reserva quanto ao aspecto democrático atribuído à ciência.

Estou chamando de democrático o pensamento que é típico das ciências naturais porque se baseia na organização e no controle em todos os momentos, rejeita o privilégio da origem divina e deseja ser acessível e útil a todos. Contudo, nós temos aprendido pela experiência que toda democracia contém pequenas inverdades, já que o que se deseja é um governo impressionante e majestoso, não apenas útil e sábio. Portanto, as ciências naturais têm sua própria filosofia natural e sua própria *Weltanschauung* (visão de mundo) (Fleck, 1929/1986, p. 50, tradução nossa, grifo do autor).

Após o ano de 1939, a expressão ‘democrática’ para se referir à ciência é abandonada por Fleck. Conforme Saito, é possível considerar que ele teria perdido a sua convicção de que a democracia existe no funcionamento das ciências em virtude dos “eventos e pontos de virada na história da civilização, que formaram a sua biografia, e as catástrofes políticas que Fleck teve que vivenciar” (Saito, 2020, p. 1226). De qualquer forma, Schlünder (2012) considera que Fleck projeta um modelo que enfatiza o caráter democrático da produção do conhecimento científico. Ele não fala de uma tecnocracia da palavra que transmite o conhecimento unidirecionalmente aos leigos, mas salienta que todos participam da formação do conhecimento.

Martins associa certa ingenuidade e otimismo excessivo de Fleck à sua crença acerca do caráter democrático da ciência. Em consonância com a análise anterior de Saito, o autor, orientado pela própria sociologia fleckiana, infere que:

[...] sua perspectiva é marcada por seu contexto sócio-histórico e que, na década de 1930, a humanidade ainda não havia vivenciado a segunda grande guerra e avaliado criticamente muitas das consequências políticas, econômicas e sociais decorrentes do progresso científico e tecnológico e vinculadas aos acontecimentos do período entre 1939 e 1945 e posterior (questões ecológicas, inclusive). Fleck compartilha, nesse sentido, um otimismo próprio de sua época em relação à ciência. E é interessante que esse “caráter democrático” também tenha sido uma das características da ciência apontadas por Robert Merton em sua obra (Martins, 2020, p. 1213).

No terceiro artigo intitulado ‘Observação científica e a percepção em geral’, publicado no mesmo ano da sua obra magna (1935), Fleck destaca que não se pode falar em boas ou más observações, mas somente numa observação que é consistente ou não com uma certa área da ciência. Para o pensador polonês, “a arte da observação não é geral. Não inclui todos os campos da ciência ao mesmo tempo. Ao contrário, é sempre limitada a um único campo” (Fleck, 1935/1986, p. 60, tradução nossa).

Fleck comenta sobre a convenção epistemológica, um acordo científico implícito entre os pesquisadores, que os leva a pensar que suas escolhas são direcionadas por um objetivo, quando na verdade, o pesquisador não tem consciência delas. A escolha, segundo Fleck, é uma imposição direta a ele, de uma maneira obrigatória, seguindo de sua disposição de pensamento, de suas práticas de pensamento mentais, chamado por ele de Estilo de Pensamento (*Denkstil*).

O estilo de pensamento assim compreendido é o resultado da educação teórica e prática de um dado indivíduo; passando do professor ao aluno, é um certo valor tradicional que está sujeito a um desenvolvimento histórico específico e a leis sociológicas específicas (Fleck, 1935/1986, p. 66, tradução nossa, grifo do autor).

“Onde está essa observação pura, sem viés? Uma ‘boa’ observação, válida de uma vez por todas, independe do meio, das suas tradições e época?” (Fleck, 1935/1986, p. 77, tradução nossa), questiona Fleck. Para o médico polonês, esse tipo de observação não se encontra em nenhum lugar na história ou no momento presente, e nem mesmo é possível como um modelo que se possa abordar por meio de análise e crítica, uma vez que “qualquer identificação dos dados de observação também está sujeita ao estilo de pensamento que sempre provavelmente estará entre os últimos elementos revelados da estrutura lógica da ciência” (Fleck, 1935/1986, p. 77, tradução nossa).

Utilizando exemplos da história da Medicina/Biologia (observações microscópicas e Anatomia) e de sua própria atividade profissional, Fleck ocupa-se, nesse escrito, em discorrer sobre o conceito de Estilo de Pensamento e em conclusão afirma ser impossível um investigador verdadeiramente isolado, um investigador sem viés e tradição, assim como uma ‘descoberta’ ahistórica ou uma observação sem estilo. Fleck também expressa sua defesa acerca do Coletivo de Pensamento, ao destacar que:

Pensar é uma atividade coletiva, assim como o canto de um coral ou uma conversa. Está sujeita a mudanças específicas no tempo e exibe uma continuidade histórica dessas mudanças. Seu produto é uma certa imagem, que é visível apenas para quem participa dessa atividade social ou um pensamento que também é claro apenas para o membro do coletivo. O que nós pensamos e como nós vemos depende do coletivo de pensamento do qual pertencemos (Fleck, 1935/1986, p. 77, tradução nossa) .

Fleck apresenta um exemplo voltado à Anatomia⁷⁴ que ilustra de forma incisiva o conceito de Estilo de Pensamento a partir do trabalho de Jacob Berengar de Carpi (1520) acerca da origem das veias, o qual expõe a antiga controvérsia existente entre as ideias de Aristóteles e Galeno e propõe uma ‘origem das veias metafórica e imprópria’. Fleck explica que não somos capazes de estabelecer uma discussão lógica a respeito da tese de Berengar, pelo fato de termos alterado o Estilo de Pensamento. Da mesma forma, continua Fleck, não apenas Berengar seria incapaz de enxergar as relações que conhecemos hoje, como também teria sido impossível mostrá-las a ele.

Não se pode, simplesmente e imediatamente, ver algo novo e diferente. Primeiro, o estilo de pensamento deve ser mudado completamente, o estado de espírito intelectual deve estar instável, a força bruta da prontidão mental dirigida deve cessar. Uma inquietação intelectual específica deve surgir e uma mudança de ânimos do coletivo de pensamento, a qual é a condição necessária para criar simultaneamente a possibilidade e necessidade de ver algo novo e diferente (Fleck, 1935/1986, p. 74-75, tradução nossa).

‘O problema da epistemologia’ (1936) parece ser uma reafirmação das ideias de Fleck expostas no livro ‘Gênese e desenvolvimento de um fato científico’, publicado no ano anterior. Tal como no artigo precedente, ele retoma conceitos

⁷⁴ Igualmente descrito em ‘Gênese e desenvolvimento de um fato científico’ (1935/2010).

abordados, repete alguns exemplos usados para ilustrar esses conceitos e amplia a discussão, tendo como pano de fundo uma preocupação exposta no início do artigo:

O erro fundamental em muitas discussões no campo da epistemologia é a manipulação do sujeito epistemológico simbólico, conhecido como “espírito humano”, mente humana, pesquisador ou simplesmente homem, o qual não tem posição de vida concreta, basicamente não sofre mudanças mesmo ao longo dos séculos, o qual representa todo homem ‘normal’ sem considerar os arredores e a época. Assim, deve ser absoluto, imutável e geral (Fleck, 1936/1986, p. 79, tradução nossa).

Ainda sustentando o caráter democrático da ciência no artigo, Fleck argumenta que o moderno Coletivo de Pensamento científico deve ser chamado de democrático, uma vez que o critério de verdade é encontrado, ao menos em tese, no ‘público geral’, isto é, na massa e não na elite, que serviria ao ‘público geral’. Para ele, não existem poderes secretos, toda ação epistemológica deveria ser derivada de poderes universais, poderes os quais todos teriam direito.

Nesse escrito, Fleck vai além e estabelece comparações entre a estrutura de pensamento dos coletivos de pensamento de caráter dogmático e democrático. Particularmente no ensino de ciências, quando se opta pelo estudo epistemológico de um Fato Científico e/ou dos conceitos envolvidos, considero a possibilidade dessa distinção muito relevante, especialmente quando se deseja investigar a ocorrência ou não de mudanças (Mutações) num Estilo de Pensamento consolidado na ciência e no ensino, como na presente investigação. Fleck explica que a relação entre um Círculo Esotérico menor e um Círculo Exotérico maior, que é uma das formas conhecidas da relação sociológica elite/massa, pode adquirir diferentes formas.

Fleck define os conceitos de Círculo Esotérico e Exotérico no livro ‘Gênese e desenvolvimento de um fato científico’ (1935). Para Fleck, a estrutura do coletivo de pensamento compõe-se de “um pequeno círculo esotérico e um círculo exotérico maior” (Fleck, 1935/2010, p. 157). A leitura da obra proporciona a compreensão de que o Círculo Esotérico é formado por especialistas que desenvolvem uma forma de pensar, os iniciados, segundo Fleck. O Círculo Exotérico refere-se ao público que recebe e utiliza as ideias produzidas pelo grupo esotérico, constituindo a opinião pública e a visão de mundo, que podem ter efeito retroativo no Estilo de Pensamento esotérico, quando a relação se dá de modo democrático.

A relação dos círculos esotéricos com seus círculos exotéricos é interpretada por Fleck sob o olhar da Sociologia, denominada como relação entre a elite e as massas, explicada pelo médico polonês nos seguintes termos:

Quando as massas têm uma posição mais forte, um traço democrático se impõe a essa relação: de certo modo, a opinião pública é lisonjeada, e a elite tende a conservar a confiança das massas. Atualmente, o coletivo de pensamento das ciências exatas, em sua maior parte, encontra-se nessa situação. Quando a posição da elite é mais forte, ela procura o distanciamento e se isola da multidão: segredos e dogmatismo passam a dominar a vida do coletivo de pensamento. Nessa situação, encontram-se os coletivos religiosos de pensamento. A primeira forma, a democrática, leva inevitavelmente ao desenvolvimento das ideias e ao progresso; a segunda, em determinadas circunstâncias, ao conservadorismo e ao enrijecimento (Fleck, 1935/2010, p. 157).

Acerca do sistema democrático do Coletivo de Pensamento da ciência moderna ocidental, aquele que Fleck toma como modelo para desenvolver sua teoria comparada do conhecimento, Fleck esclarece:

A natureza democrática do coletivo científico se manifesta também no fato de que todo especialista em um determinado campo científico é um leigo na maioria dos outros campos, diferentemente do coletivo de pensamento religioso, onde os sacerdotes formam a totalidade da elite. (...) O sistema democrático do coletivo de pensamento científico se mostra externamente (...) em verdadeiros mecanismos democráticos, como congressos, imprensa científica, discussões científicas, e no estabelecimento democrático das opiniões da “maioria dos pesquisadores”, i.e., na produção da opinião pública (Fleck, 1936/1986, p. 105-106, tradução nossa).

Ainda que escrito em poucas linhas, outro ponto relevante desse artigo são as referências à perspectiva política reivindicada por Fleck à sua teoria. Muito atual, o posicionamento de Fleck pode colaborar, dentre outras possibilidades, para reflexões acerca do cenário político brasileiro recente, como pode ser observado na seguinte fala: “Se essa teoria apenas derrubar aquele feitiço maligno de obstinação com que os fanáticos do seu próprio estilo combatem pessoas de um estilo diferente, seu papel cultural será considerado de alto valor” (Fleck, 1936/1986, p. 112, tradução nossa). Martins considera significativa essa posição de Fleck “às vésperas da segunda guerra mundial e no contexto de ascensão do nazifascismo” (Martins, 2020, p. 1213).

A produção epistemológica de Fleck foi pausada pela guerra. Durante a Segunda Guerra, ele, sua esposa e filho foram deportados pelos alemães para o

gueto judeu construído na região de Lwów, depois transferidos pelos alemães para os campos de concentração de Auschwitz e Buchenwald, onde foi obrigado a trabalhar no desenvolvimento de uma vacina para o tifo. Com o término da guerra e a recuperação da saúde, volta a se dedicar à pesquisa biomédica na Polônia, onde exerceu cargos em universidades e centros de pesquisa (Nogueira, 2021; Schäffer; Schnelle, 2010; Sady, 2021).

No período entre 1947 e 1957, Fleck teve ampla produção científica no campo da Microbiologia, mas também manteve interesse nos estudos epistemológicos (Nogueira, 2021; Schnelle, 1986). Inevitavelmente influenciado pelo contexto da Segunda Guerra, Fleck escreve seus três últimos artigos em Epistemologia, nos anos de 1946, 1947 e na década de 1950.

No ano seguinte ao término da guerra, Fleck divulga ‘O problema da ciência da ciência’ (1946). Sady comenta que tanto esse texto quanto o publicado no ano seguinte, ‘Olhar, ver, saber’ (1947) não teriam acrescentado nada de importante à teoria que Fleck elaborou na década de 1930, pois nestes anos teria se dedicado prioritariamente à publicação de dezenas de artigos médicos relacionados principalmente à sua pesquisa sobre um mecanismo de defesa identificado no ano de 1942, o qual nomeou de ‘leucergia’.

Divergindo desse autor, considero valiosa a compreensão de Fleck sobre ciência, expressa nas páginas iniciais do artigo de 1946. Podemos notar, nas palavras do pensador polonês, aspectos consensuais sobre a natureza da ciência elencados por diversos autores mais recentes, tais como William McComas, Douglas Allchin, Norman Lederman⁷⁵.

[...] Não existe, além de sonhos, somente um tipo de ciência; existem no presente somente algumas ciências específicas que, em muitos aspectos, falta alguma conexão entre elas e que são às vezes divergentes em suas características básicas. Nós podemos discutir ciência da mesma forma que nós usamos a palavra ‘arte’ para documentar a natureza comum das tendências em música, pintura, poesia etc. Similarmente, todas as ciências possuem uma tendência comum em direção a um estado ideal final que é conhecido como conhecimento verdadeiro. Mas assim como a arte não é uma soma total da música, pintura, poesia etc., assim também as ciências não se somam para formar um todo consistentemente homogêneo (Fleck, 1946/1986, p. 113, tradução nossa).

⁷⁵ Conforme já sinalizado na introdução deste trabalho, compreendo que, pedagogicamente, os pontos de concordância acerca natureza do conhecimento científico agregam qualidade ao ensino de ciências/Biologia, quando este se propõe fazer uso da abordagem histórico-filosófica como estratégia nas aulas.

De modo semelhante ao que encontramos em autores como Thomas Kuhn, Paul Feyerabend, Hugh Lacey, é possível perceber em Fleck uma crítica à objetividade do conhecimento⁷⁶, ao defender que nenhuma ciência compreende uma imagem objetiva do mundo. Fleck acrescenta que se assim fosse, teríamos uma ciência imutável e o conhecimento científico aumentaria devido a um acréscimo de informações, somente. O médico polonês sustenta que, ao contrário, a experiência ensina que o conhecimento muda continuamente como um todo.

Em 'Olhar, ver, saber' (1947), Fleck retoma a ideia de que ver é uma atividade dirigida e que pensar é uma atividade coletiva, concepções consideradas nas obras anteriores, especialmente no artigo e livro de 1935. Por meio de exemplos expressos em imagens, a percepção da forma (*Gestaltsehen*) é explorada.

Para Fleck, uma pequena falha não comprometeria a *Gestalt*, desde que conheçamos o contexto a qual pertence.

Nós escrevemos, tendo esquecido os princípios da caligrafia, nós imediatamente reorganizamos as letras em toda a escala de possibilidades de transposição, sem analisar os detalhes, sem o conhecimento atualizado dos detalhes. [...] Para ver, é preciso primeiro conhecer, e então 'saber como' e esquecer parte do conhecimento. É preciso adquirir uma disposição direcionada para ver (Fleck, 1947/1986, p. 134, tradução nossa).

Argumentando a favor da percepção da forma como um todo, o que se alinha ao pensamento holístico atribuído a Fleck, o autor constata:

Andamos sem ver nenhum ponto, linha, ângulo, luz ou sombra de onde teríamos que organizar 'o que é isso' por síntese ou raciocínio, mas vemos ao mesmo tempo uma casa, um memorial em uma praça, um destacamento de soldados, uma montra de livreria, um grupo de crianças, uma senhora com um cão, todas elas já prontas (Fleck, 1947/1986, p. 134, tradução nossa).

O último artigo de cunho epistemológico foi escrito por Fleck na segunda metade dos anos 1950, em Israel. Intitulado 'Crise na ciência: por uma ciência livre e mais humana'. Fleck submeteu o texto em 1960, um ano antes da sua morte, mas foi rejeitado por quatro periódicos: revistas *Science*, *American Scientist*, *New*

⁷⁶ Conforme a noção tradicional de objetividade científica, relacionada ao positivismo e ao realismo (Cupani, 1989).

Scientist e *The British Journal for the Philosophy of Science* e somente foi publicado em 1986 no livro 'Cognição e Fato' (Nogueira, 2021; Martins, 2020; Carneiro, 2015).

O epistemólogo polonês inicia esse escrito em tom de denúncia acerca da forte influência dos setores industrial e político na atividade científica, em detrimento da sua missão cultural. Fleck alerta que tais setores decidem sobre o trabalho dos cientistas, interferem em suas crenças e convicções, em virtude da necessidade de financiamento das pesquisas científicas e, mais ainda, acusa a atitude oportunista de jovens cientistas frente a essa situação.

Fleck atribui esse comportamento à lacuna existente entre a concepção sobre a natureza da ciência e a visão prática da ciência sustentada pelo cientista comum. “‘Verdade’, ‘objetividade’ são ideais sagrados”, explica Fleck (1960/1986, p. 153, tradução nossa). No entanto, em seu significado clássico, adverte que essas convicções são ingênuas e sem valor na vida científica diária.

Para o epistemólogo polonês, o problema da organização, planejamento, ensino, popularização da ciência, deveria estar baseada na Sociologia do conhecimento. Fleck defende nesse artigo que essa disciplina seja desenvolvida como uma ciência fundamental em igual valor à Matemática. Almejava que estudos comparativos de estilos pudessem tornar os estudantes mais tolerantes em relação a Estilos de Pensamento pertencentes a outros indivíduos/coletivos.

Enquanto o artigo foi inaugurado com certa descrença quanto ao futuro da ciência, é concluído com a perspectiva de que “a verdade científica se voltará de algo rígido e estacionário, para uma verdade dinâmica, desenvolvendo a verdade humana criativa” (Fleck, 1960/1986, p. 157, tradução nossa).

Aparentemente como forma de reafirmar o papel central do Estilo de Pensamento na sua teoria epistemológica da ciência, Fleck sintetiza sua abrangência e conceito, no sentido de que ele não somente determina o desenvolvimento de ideias complexas, problemas e padrões, mas também o próprio conteúdo e limitação de uma observação. “O estilo de pensamento tem sido definido como a tendência comunal para uma percepção seletiva e para a correspondente utilização mental e prática do percebido” (Fleck, 1960/1986, p. 155, tradução nossa).

Fehr recapitula que, nas reflexões de Fleck, percepção e cognição estão intimamente conectadas, o que pode ser encontrado com ênfase no artigo ‘Observação científica e a percepção em geral’ (1935). A partir de ‘Crise da realidade’ (1929) o fator social é colocado por Fleck como origem da cognição, o que

é reafirmado em 'Gênese e desenvolvimento de um fato científico' (1935) (Fehr, 2012, p. 42). Ao discorrer sobre o condicionamento histórico e social da construção do conhecimento, Fleck afirma que "o processo de conhecimento representa a atividade humana que mais depende das condições sociais, e o conhecimento é o produto social por excelência" (Fleck, 1935/2010, p. 85).

O pensador polonês defende que o conhecimento científico, portanto, é construído para além dos limites da relação sujeito-objeto, incorporando o 'estado do saber', ou seja, o contexto histórico, social e cultural de uma comunidade numa determinada época. Nas palavras de Fleck:

A teoria comparada do conhecimento não deve considerar o processo do conhecimento como uma relação binária entre sujeito e objeto, entre o ator do conhecimento e algo a ser conhecido. O respectivo estado do saber, enquanto fator fundamental de cada conhecimento novo, deve entrar como o terceiro elemento nessa relação (Fleck, 1935/2010, p. 81).

Dita em outras palavras, essa ideia é reafirmada no último artigo de Fleck, o que não deixa dúvidas sobre a inter-relação entre os três elementos acima mencionados. "Os três componentes do ato de cognição estão inseparavelmente conectados. Entre o sujeito e o objeto existe uma terceira coisa, a comunidade. Ela é criativa como o sujeito, insubordinada como o objeto e perigosa como um poder elementar" (Fleck, 1960/1986, p. 156, tradução nossa).

Após um infarto e diagnóstico de câncer (1956), Fleck muda-se para Israel com a esposa para ficar próximo ao seu filho, únicos membros da família sobreviventes ao genocídio nazista. Trabalhou na direção do Departamento de Patologia Experimental no Instituto Israelense de Pesquisa Biológica, porém enfrentou problemas com o idioma. Após piora na sua condição de saúde, Fleck sofre um segundo infarto no ano de 1961 e não resiste (Nogueira, 2021; Martins, 2020; Schäffer; Schnelle, 2010).

Considero que a convicção e persistência com que Ludwik Fleck trilhou os caminhos da Epistemologia para explicar a ciência durante mais de três décadas, são dignas de serem tomadas como exemplo. Isso pode contribuir para ampliar a construção e propagação de concepções que colaborem para a compreensão da ciência como uma atividade em elaboração ao longo do tempo.

Esse posicionamento acerca da ciência nos leva a ter consciência da sua provisoriedade, dinamicidade, caráter coletivo, pluralidade metodológica, da

influência dos contextos histórico, filosófico, social, político, cultural. Uma vez identificadas, essas e outras concepções sobre a ciência favorecem a assimilação de que o conhecimento científico apresentado como verdade no contexto atual está sujeito a mudanças, o que implica em reavaliá-lo constantemente.

3.1 MUTAÇÕES NO ESTILO DE PENSAMENTO: AS VERDADES PROVISÓRIAS NA CIÊNCIA

Tal solução [de um problema] conforme a um estilo, somente possível de forma singular, chama-se verdade. Ela não é “relativa” ou até mesmo “subjetiva” no sentido popular da palavra. Ela sempre – ou quase sempre – é totalmente determinada dentro de um estilo de pensamento.

Ludwik Fleck⁷⁷

Investigar se a existência da célula mínima levaria à mudança no Estilo de Pensamento clássico sobre a célula e, por conseguinte, sobre a vida, no contexto desta pesquisa, requer uma aproximação com a noção de Mutação do Estilo de Pensamento em Fleck, o que implica em compreender a noção de verdade para este epistemólogo.

Para o médico polonês, “qualquer teoria abrangente passa por uma fase clássica, na qual se percebe fatos que se enquadram com exatidão, e uma fase de complicações, quando as exceções se manifestam” (Fleck, 1935/2010, p. 71). A Consciência das Complicações é essencial para as Mutações no Estilo de Pensamento. Segundo Lorenzetti e Delizoicov:

A consciência da complicação ocorre quando o Coletivo de Pensamento passa a ter compreensão dos problemas e incongruências não solucionadas pelo estilo de pensamento que compartilham, o que contribui para a transformação e instauração de um novo estilo de pensamento (Lorenzetti; Delizoicov, 2009, p. 10).

No entanto, antes das Complicações surgirem, o caráter coercitivo do Estilo de Pensamento mantém a Harmonia das Ilusões – ou harmonia interior do Estilo de Pensamento - em torno de um Fato Científico. Nas palavras de Fleck:

⁷⁷ Em ‘Gênese e desenvolvimento de um fato científico’ (Fleck, 1935/2010, p. 150-151).

O caráter fechado dos sistemas, os efeitos recíprocos entre o conhecido, as coisas a serem conhecidas e os atores do conhecimento garantem a harmonia de ilusões, que não se resolvem, de maneira alguma, dentro dos limites de um determinado estilo de pensamento (Fleck, 1935/2010, p. 81).

Por conseguinte, a concordância do Coletivo de Pensamento é mantida pela Harmonia das Ilusões, que resiste, mas não impossibilita as mudanças no Estilo de Pensamento com o passar do tempo. Em relação a essa característica do conhecimento científico, Condé comenta que:

Ainda que um coletivo de pensamento tenha uma coesão interna garantida por uma “harmonia das ilusões” que faz com que seus membros vejam a mesma *Gestalt* mantendo assim o “sistema de opiniões”, existe uma abertura dentro de um estilo de pensamento que permitirá futuras mudanças gradativas desse estilo (Condé, 2018, p. 175, grifo do autor).

Como mencionado anteriormente, Fleck explica essas mudanças graduais por meio de uma analogia ao processo de evolução biológica, afirmando que o desenvolvimento do pensamento se dá de maneira dinâmica, “de modo que assistimos constantemente às mutações do estilo de pensamento” (Fleck, 1935/2010, p. 67-68). Esse modelo biológico é apresentado por Condé como “importante fator epistemológico para uma compreensão mais efetiva da história da ciência” (Condé, 2018, p. 160).

Fleck apresenta exemplos de Mutações nas ciências, talvez sem se dar conta de ter sido um dos protagonistas quando se trata da evolução da concepção de ciência diretamente relacionada à ‘nova’ concepção de mundo holística, orgânica, sistêmica, evolutiva. De qualquer modo, Fleck chamou a atenção para esse contexto de mudança com a seguinte explicação: “a transformação da física e do seu estilo de pensamento em virtude da teoria da relatividade ou da bacteriologia em virtude da teoria da variabilidade e da teoria da ciclogenia assemelham-se a essas mutações” (Fleck, 1935/ 2010, p. 68).

Depreende-se daí que um caminho possível para a compreensão da origem e evolução de conceitos científicos, ou seja, uma forma de perceber que os conceitos científicos mudam ao longo do tempo, a partir de sua gênese, é admitir que a verdade na ciência é provisória e reconhecida no contexto do Estilo de Pensamento de cada época. Essa ideia é fortemente ancorada na Epistemologia

fleckiana, uma vez que Fleck considera a verdade como a resposta temporária a um problema, conforme um Estilo de Pensamento, ao esclarecer que:

Tal solução [de um problema] conforme a um estilo, somente possível de forma singular, chama-se verdade. Ela não é “relativa” ou até mesmo “subjetiva” no sentido popular da palavra. Ela sempre – ou quase sempre – é totalmente determinada dentro de um estilo de pensamento. [...] Se A e B pertencerem ao mesmo coletivo de pensamento, o pensamento é verdadeiro ou falso para ambos (Fleck, 1935/2010, p. 150-151).

Enquanto Fleck relativiza a noção de verdade - assumida dentro de um Estilo de Pensamento - em outras epistemologias essa noção parece ser rígida. Isso sugere que Fleck não sustenta a elaboração de sua teoria do conhecimento em um dos principais problemas da Filosofia da Ciência estabelecido em Kant. Sua pergunta sobre os limites do conhecimento científico conduz ao problema da demarcação científica, ou seja, o estabelecimento de critérios para diferenciar a ciência de outras formas de conhecimento⁷⁸. Importante considerar que o critério de demarcação científica requer o posicionamento do (s) pensador (es) sobre sua compreensão de ciência e que a concepção de ciência difere entre os epistemólogos.

Se pensarmos em Filosofias da Ciência contemporâneas a Fleck, temos no positivismo lógico a procura pela demarcação entre ciência e pseudociência (metafísica) por meio de enunciados verificáveis empiricamente; o racionalismo

⁷⁸ Na obra ‘A Lógica da pesquisa científica’, Popper atribui a Kant a origem do problema da demarcação científica, mais de um século antes da sua própria elaboração. O filósofo britânico aponta que Hume tentou resolvê-lo, mas passou a ser o problema central da teoria do conhecimento com Kant. “Se, acompanhando Kant chamamos ao problema da indução de ‘problema de Hume’, poderíamos chamar ao ‘problema de Kant’ o problema da demarcação (Popper, 1934/2004, p. 35).

No prefácio à segunda edição da ‘Crítica da razão pura’ Kant demonstra preocupação com a definição de critérios para delimitar a ciência, distinguindo-a da metafísica, por meio do método que propõe. “Só o resultado permite imediatamente julgar se a elaboração dos conhecimentos pertencentes aos domínios próprios da razão segue ou não a via segura da ciência” (Kant, 1787/2001, B VII)

E levanta diversas questões, como: “Por que será então que ainda aqui não se encontrou o caminho seguro da ciência? Acaso será ele impossível? De onde provém que a natureza pôs na nossa razão o impulso incansável de procurar esse caminho como um dos seus mais importantes desígnios?” (Kant, 1787/2001, B XV). Ao que responde: “Este ensaio dá resultado e promete o caminho seguro da ciência para a metafísica, na sua primeira parte, que se ocupa de conceitos a priori, cujos objetos correspondentes podem ser dados na experiência conforme a esses conceitos” (Kant, 1787/2001, B XIX). A solução para o problema da demarcação de Kant parece estar expressa na sua definição de ciência: ‘A ciência da natureza (*physica*) contém em si, como princípios, juízos sintéticos a ‘piori’” (Kant, 1787/2001, B XIX).

crítico de Karl Popper colocava essa demarcação em termos de falseabilidade das teorias, em oposição ao verificacionismo.

Na Epistemologia histórica de Gaston Bachelard há distinção entre conhecimento não-científico e conhecimento científico, mas não no sentido kantiano, Tal diferenciação é expressa, dentre outros aspectos, na ideia de que a ciência se constitui pela ruptura com o conhecimento comum/sensível e superação de outros obstáculos epistemológicos, como conhecimento geral/universal e animismo.

Thomas Kuhn questiona a busca por uma divisão total e definitiva entre ciência e não-ciência, tal como o critério de demarcação de Popper. O físico estadunidense considera que a 'ciência normal' diferencia a ciência de outras formas de conhecimento. Isto significa que o conhecimento somente pode ser considerado científico quando há aceitação de um único paradigma como orientador da pesquisa num determinado período histórico de uma disciplina científica.

Em Fleck, encontramos um afastamento maior de um possível critério de demarcação. A ideia de que o indivíduo pode participar de vários Coletivos de Pensamento concomitantemente, a coexistência de Estilos de Pensamento diferentes num determinado período histórico acerca de um mesmo problema, as relações dinâmicas entre especialistas e leigos pertencentes aos Círculos Esotérico e Exotérico, respectivamente, revelam mais uma diferenciação de Estilos de Pensamento e menos a defesa de um critério de demarcação científica.

Numa perspectiva histórica, não podemos desconsiderar o esclarecimento de Beltran, Saito e Trindade de que as diferentes epistemologias propuseram modelos explicativos para caracterizar a ciência e, desse modo, precisam ser "contextualizadas e analisadas segundo a concepção de conhecimento de suas respectivas épocas, visto que tais propostas estão ancoradas a certos pressupostos discursivos próprios de uma época" (Beltran; Saito; Trindade, 2014, p. 51-52).

Considerando tal constatação e retomando a ideia de verdades provisórias, o conceito de Mutação fleckiana poderia ser aplicado à própria evolução da ciência, como sinalizei anteriormente, o que ampliaria as potencialidades da Epistemologia de Fleck na compreensão da dinâmica inerente à construção do conhecimento científico em diferentes épocas e contextos, bem como na reflexão sobre as verdades provisórias na própria concepção de ciência. Como exemplo, temos a afirmação de Beltran, Saito e Trindade sobre a ciência antiga e moderna:

[...] essas duas expressões de conhecimento da natureza são diferentes porque estão ancoradas em concepções diferentes de ciência. Contudo, deve-se ressaltar que isso não significa que a passagem de uma expressão de conhecimento a outra se fez porque a ciência antiga era inferior, imprecisa e menos verdadeira em relação à moderna (Beltran; Saito; Trindade, 2014, p. 82).

Na publicação de 1936, 'O problema da epistemologia', Fleck enfatiza sua posição sobre a verdade científica. "Onde está a verdade na interpretação da epistemologia clássica? Em que fase do conhecimento científico?" indaga. E responde:

A noção de verdade em seu significado clássico, como um valor independente do sujeito de cognição e dos fatores sociais, obriga alguém a aceitar a verdade como um ideal inatingível, e a história da ciência nos ensina que não nos aproximamos desse ideal, pois o desenvolvimento da ciência não é unidirecional e não consiste apenas em acumular novas partes de informações, mas também na derrubada das antigas [...]. As teorias clássicas da cognição devem distinguir entre: (1) o ideal, inalcançável de verdade, (2) as "verdades" oficiais as quais "deveríamos" de alguma forma nos aproximar, (3) ilusões e erros. Ao mesmo tempo, elas devem admitir que não há um critério geral de verdade (Fleck, 1936/1986, p. 111, tradução nossa).

Considerando o contexto de pandemia⁷⁹ em que parte desta tese foi produzida, outras perguntas podem ser elaboradas. Assumir indiscriminadamente que o conceito de verdade seja determinado de acordo com o Estilo de Pensamento de um coletivo pode se tornar um risco? Implicaria em não existir certo ou errado, melhor ou pior, mais ou menos adequada interpretação do mundo?

A vacina contra o novo vírus, cuja eficácia está 'cientificamente comprovada', tem sido rejeitada, não reconhecida por pessoas que comungam do Estilo de Pensamento negacionista da ciência. Numa situação como essa - uma

⁷⁹ No dia 11 de março de 2020, a Organização Mundial da Saúde (OMS) declarou que a emergência causada pelo novo coronavírus -SARS-CoV-2- atingiu o patamar de uma pandemia. O novo vírus é causador de uma infecção respiratória aguda, a COVID -19 (união das letras que se referem a (co)rona (vi)rus (d)isease, em português, doença do coronavírus; o número 19 está ligado a 2019, quando os primeiros casos foram diagnosticados), que pode provocar quadros clínicos com impactos que vão além dos danos ao sistema respiratório. Oficialmente, em março de 2023 o Brasil alcançou 700 mil mortes causadas pela doença e aproximadamente 7 milhões de mortes foram relatadas em todo o mundo. Especialistas enfatizam a necessidade de se completar o esquema vacinal contra a doença e que algumas medidas de prevenção devem ser incorporadas ao comportamento social. No dia 05 de maio de 2023, a OMS declarou que a COVID-19 não configura mais emergência em saúde pública de importância internacional. De acordo com a entidade, o vírus se classifica agora como "problema de saúde estabelecido e contínuo" (Agência Brasil, 2023- <https://agenciabrasil.ebc.com.br/saude/>).

emergência sanitária - ressalvas à teoria fleckiana deveriam ser consideradas? Neste caso, o reconhecimento de que o controle de uma pandemia viral está sujeito à imunização de cada indivíduo para beneficiar o coletivo é essencial. Isso depende da aceitação ampla do Estilo de Pensamento científico acerca do êxito, segurança e vantagens da vacina para a saúde da população.

Ainda que o Estilo de Pensamento reposicione a noção de verdade, Fleck recomenda que deveríamos nos aproximar de algumas 'verdades' oficiais. Como essa orientação não tem lugar de destaque na Epistemologia de Fleck, seria necessário um olhar mais atento a esse posicionamento para discorrer a respeito, o que não está no escopo desta investigação.

Em 'Crise na Ciência' (1960) podemos encontrar a concepção de Fleck sobre a História da Ciência e sobre o papel do estudo histórico da gênese e evolução de conceitos científicos, ideia que conduz a presente investigação, a qual tem como objeto de estudo o conceito de célula. Embora Fleck tenha direcionado aos cientistas sua expectativa acerca da compreensão sobre a provisoriedade das verdades científicas, considero de grande valor para o ensino de ciências a assimilação desse pensamento por parte dos professores, dos autores de livros didáticos e por pesquisadores que se dedicam ao estudo de episódios históricos das ciências.

A história da ciência, e do pensamento em geral, considerada como uma evolução de estilos de pensamento comuns e baseada em mudanças estruturais nas diferentes comunidades, deixa de ser uma coleção de anedotas ridículas e apoteose sentimental. A gênese das ideias torna-se explicável. A evolução histórica de alguns conceitos fundamentais como composto, elemento, realidade, causa, existência, indivíduo, indica que seu presente estágio não precisa ser de forma alguma o último. A compreensão disso ajudará os cientistas a serem mais ousados em suas concepções criativas. O problema estéril do idealismo e materialismo desaparecerá (Fleck, 1960/1986, p. 157, tradução nossa).

A ideia de que conceitos científicos não possuem caráter permanente, portanto, tem potencial de colaborar com o enfrentamento ao anacronismo, com a desmitificação da crença habitual no conhecimento científico verdadeiro e definitivo, com a compreensão de que ciência é uma construção coletiva. Na perspectiva fleckiana, o Estilo de Pensamento que prevalece num determinado contexto histórico, social, cultural, filosófico, está diretamente envolvido no processo de desenvolvimento de um conceito ou de um Fato Científico.

Entendo que a assimilação da História da Ciência como uma evolução de Estilos de Pensamento, tal como admite Fleck, seja importante aos profissionais que pesquisam, divulgam e ensinam sobre ciências. Ao considerar a gênese e o desenvolvimento dos conhecimentos científicos, a verdade só poderá ser concebida quando analisada no interior de um Estilo de Pensamento, sendo, por conseguinte, dinâmica, contextual, provisória - estratégia didática favorável à compreensão sobre os processos de construção da ciência.

3.2 ESTILOS DE PENSAMENTO BIOLÓGICO COMO CAMINHO PARA A COMPREENSÃO DA CÉLULA

Retomando o objeto de estudo desta tese, um exemplo importante da provisoriedade da verdade na ciência pode ser encontrado na demarcação desenvolvida por Bertoni (2012) dos 'estilos de pensamento biológico que historicamente predominaram no modo de explicar e ao mesmo tempo compreender o fenômeno vida'.

Dentre os diversos problemas que deram origem à elaboração da teoria celular - “o que é a vida?”, “o que é o organismo?” “qual a unidade estrutural básica que compunha os seres vivos?” (Silva, 2014; Silva; Aires, 2016), este último requer atenção especial no presente estudo, pois é possível inferir que sua resposta dependeu dos Estilos de Pensamento constituídos historicamente.

Vale ressaltar que a concepção de um componente elementar comum aos seres vivos não foi originalidade de Schleiden (1838) e Schwann (1839), considerados oficialmente os propositores da teoria celular. Vários pesquisadores também se dedicaram ao estudo da célula anteriormente à proposição dessa teoria, como: Xavier Bichat (1802), Lorenz Oken (1805), Henri Dutrochet (1824)⁸⁰.

Ainda que muito relevante para atingir outros objetivos de pesquisas, a investigação historiográfica acerca da origem e evolução do conceito de célula não

⁸⁰ Em 1805, Oken publicou um estudo onde sugeriu a célula (ou bexiga) como a unidade da qual se pudesse originar a grande diversidade de organismos, a partir de argumentos puramente filosóficos, pois desaprovava o uso de microscópios. Porém, suas ideias foram rejeitadas pela comunidade científica por não incluir descrições de suas observações e não possuir elaboração teórica. Com Dutrochet, não houve aceitação da ideia de que as células constituem a estrutura básica de formação dos órgãos animais no ano de 1824, devido a distorções causadas pelas lentes cromáticas nos seus estudos microscópicos (Prestes, 1997).

se constitui como objetivo deste trabalho. Pesquisas diversas sobre o desenvolvimento da teoria celular a partir da segunda metade do século passado que comunicam tacitamente o processo de constituição do conceito de célula já existem na literatura. Estudos historiográficos sobre a teoria celular desenvolvidos por John Randal Baker (1948-1955), Arthur Hugues (1959) e Henry Harris (1999) são destaques nas produções que buscam uma reconstrução histórica aprofundada dessa teoria biológica. Uma síntese dos episódios históricos envolvidos na proposição da teoria celular foi apresentada em Silva (2014) e Silva e Aires (2016).

Ademais, o acesso a fontes primárias relacionadas ao processo de construção do conceito clássico de célula⁸¹ proporcionou um aparato robusto para atingir um dos objetivos desta pesquisa: a análise histórico-epistemológica sobre o conceito clássico de célula a partir da Epistemologia fleckiana. Isso se traduz num novo olhar sobre a célula que privilegie não a historiografia em si, mas a origem e desenvolvimento desse conceito numa vertente epistemológica, uma teoria da ciência que auxilie na compreensão de fato científico 'conceito de célula' como potencialmente dinâmico e mutável, em virtude dos Estilos de Pensamento predominantes na forma de enxergar esse elemento biológico historicamente e na atualidade.

Como exemplo de análise semelhante, Bertoni (2012) a partir do referencial teórico e epistemológico de Ludwik Fleck, estabelece um olhar histórico para o pensamento biológico sobre o fenômeno vida e identifica quatro Estilos de Pensamento por meio de pesquisa exploratória: 1. *Estilo de Pensamento biológico descritivo*; 2. *Estilo de Pensamento biológico mecanicista*; 3. *Estilo de Pensamento biológico evolutivo* e 4. *Estilo de Pensamento biológico da manipulação genética*.

Sendo a Biologia a ciência que estuda a vida, entendo que Estilos de Pensamento biológico sobre o fenômeno vida têm o potencial de contemplar uma gama de conceitos relacionados a essa ciência, tais como, organismo, célula, gene, reprodução. Isso significa que a abordagem do fenômeno vida em diferentes contextos pode colaborar na compreensão da célula e de outros conceitos biológicos, dada a complexidade e abrangência desse fenômeno. Fundamentada no resgate histórico da construção do conceito clássico de célula e no estudo da

⁸¹ 'Micrographia', de Hooke (1665); 'Contribuições à Fitogênese', de Schleiden (1838); 'Pesquisas microscópicas sobre a analogia da estrutura e do desenvolvimento entre as plantas e animais', de Schwann (1839); 'Patologia Celular, de Virchow' (1859).

emergência da célula mínima pela Biologia Sintética, busquei caracterizar epistemologicamente a concepção de célula.

Não tenho o intuito de localizar na minha análise os quatro Estilos de Pensamento biológico sobre a vida elencados por Bertoni (2012), mas tê-los como um importante referencial, uma vez que abrangem os contextos em que a Biologia surgiu e foi se consolidando como uma ciência estruturada. A análise histórico-epistemológica proposta nesta investigação revelará se os Estilos de Pensamento envolvidos na origem e evolução do conceito de célula coincidem com os Estilos de Pensamento sobre a vida supracitados.

Bertoni adverte que os Estilos de Pensamento demarcados e especificados no seu estudo, abrangem uma linha de pensamento a respeito da construção e da disseminação do conhecimento biológico.

Mais do que buscar definições para o conceito vida em cada um dos estilos, ou para cada sujeito que compartilha determinado estilo, a proposta [...] centra-se em estabelecer as bases de fundamentação ao conhecimento biológico a fim de compreender como emergiu o conceito de vida da antiguidade até a contemporaneidade. Nesse sentido, ao delimitar os estilos de pensamento biológico, procuro estabelecer as pressuposições básicas a partir das quais o conhecimento biológico se constituiu historicamente (Bertoni, 2012, p. 100).

Analogamente, não pretendo apenas definir o conceito de célula em cada um dos Estilos de Pensamento identificados nesta investigação, mas buscar elementos que indiquem a origem e evolução desse Fato Científico. A história da Biologia nos mostra continuidades e descontinuidades que inibem qualquer movimento no sentido de buscar definições isoladas. Em Fleck, compreendemos que, apesar da coerção imposta por um determinado Estilo de Pensamento aos membros do coletivo em diferentes épocas, “[...] alguma coisa de cada estilo de pensamento permanece” (Fleck, 1935/2010, p. 150).

Embora não tenha feito referência a Georges Canguilhem, os quatro Estilos de Pensamento biológico sobre a vida apresentados por Bertoni (2012) parecem se alinhar às concepções de vida do epistemólogo francês. Quando Canguilhem escreve sobre a historicidade do conceito de vida em *Vie* (1973), nos apresenta quatro concepções: 1. *Vida como animação*; 2. *Vida como mecanismo*, 3. *Vida como organização* e 4. *Vida como informação*. Depreende-se daí que as epistemologias de Fleck e Canguilhem dialogam quando exploram o mesmo conceito - a vida - algo

esperado em autores que optaram pelas Ciências da Vida como modelo para as ciências.

Recentemente, Simão, Paranho e Guimarães discutem as construções epistemológicas do fenômeno vida a partir de considerações sobre o desenvolvimento do pensamento biológico como Estilos de Pensamento biológico encontrados em Bertoni (2012). Os autores alertam sobre a “coexistência de mais de um estilo em diferentes períodos” (Simão; Paranho; Guimarães, 2021, p. 249), o que corrobora a ideia de não linearidade do desenvolvimento do pensamento científico, uma das características da construção do Fato Científico em Fleck. E acrescentam que a identificação teórica dos Estilos de Pensamento pode colaborar para a assimilação da Biologia como ciência autônoma.

Avançando no caminho para compreensão da origem e evolução do conceito de célula e sabendo que o Estilo de Pensamento anterior pode permanecer atuante no cenário de pesquisa corrente, considero relevante delinear uma síntese das principais ideias de cada Estilo de Pensamento biológico sobre a vida.

Optei por apresentar as explicações de Bertoni (2012) sobre os Estilos de Pensamento biológico, especialmente nos aspectos que podem subsidiar minha análise, no intuito de me aproximar dos eventos e/ou contextos relevantes para esta investigação. Visto que esse autor pesquisou amplamente sobre cada um dos estilos e apresentou um robusto detalhamento, recomendo a leitura do seu trabalho para uma perspectiva abrangente no âmbito do desenvolvimento das pesquisas biológicas ao longo da História da Ciência⁸².

A seguir, apresento uma síntese das ideias de Bertoni (2012) acerca dos quatro Estilos de Pensamento biológico referidos anteriormente, levando em conta a não linearidade do desenvolvimento do pensamento científico, fundamental para esta investigação acerca da origem e evolução do conceito de célula.

O *Estilo de Pensamento descritivo* manifesta uma concepção holística de vida. É inicialmente marcado por uma visão holista da natureza e a crença na concepção aristotélica animista de que a vida é causada por um ‘sopro vital’ que se apropria da matéria, ou um princípio vital que o animal possui em si mesmo (potência).

⁸² Disponível em <http://www.ppge.ufpr.br/teses%20d2012/d2012_Danislei%20Bertoni.pdf>

Marcadamente para a biologia, os estudos de Aristóteles⁸³ contribuíram com a classificação dos animais, configurando o estilo de pensamento biológico descritivo; estudos sobre as partes anatômicas, configurando também o mesmo estilo de pensamento, porém aos poucos passaram a fazer parte de estudos voltados a relação causa-efeito, configurando anos mais tarde e com outros pensadores, o estilo de pensamento biológico mecanicista; e estudos sobre a origem e geração dos seres vivos, formando as bases que sustentaram a abiogênese por longos séculos (Bertoni, 2012, p. 100).

Segundo o autor, o estilo descritivo obteve seguidores ao longo da história da ciência, uma vez que sobreviveu ao período de fortalecimento da Igreja e se estendeu por toda a Idade Média e Renascimento, até os séculos XVI e XVII. A partir desse momento, passou a sofrer interferências, em virtude “do surgimento de complicações, fragilidades e novas necessidades e relações sociais, econômicas e políticas” (Bertoni, 2012, p. 109).

Bertoni destaca que de Aristóteles até Lineu, a classificação dos seres vivos manteve aspectos alinhados ao Estilo de Pensamento descritivo. Esses aspectos continham uma concepção de mundo baseada nas ideias criacionistas e fixistas, predominantemente holístico na sua concepção de vida, por aproximadamente 2000 anos.

Quanto ao *Estilo de Pensamento biológico mecanicista*, Bertoni esclarece que “fica evidente a necessidade de fragmentação [...] dos corpos vivos, para entender o funcionamento das suas partes isoladas, o que dificulta compreender o todo, pelo menos no fervor da ciência moderna em que o método cartesiano se impunha” (Bertoni, 2012, p. 141).

O autor comenta que o estabelecimento do método indutivo como modelo de investigação científica, favoreceu as sistematizações do médico Willian Harvey sobre o modelo de circulação sanguínea, no início do século XVII, contribuindo para uma nova forma de pensar o fenômeno vida, por meio do estilo mecanicista, o qual mantém seus efeitos duradouros na atualidade, como o conceito homem-máquina, instituído por Descartes.

Acerca da concepção mecanicista na interpretação dos fenômenos biológicos, Bertoni esclarece que:

⁸³ Influenciado pelo filósofo pré-socrático Anaximandro.

O pensamento biológico mecanicista ganhou adeptos e o fortalecimento de suas proposições “*vitalis*” acontecia também com os questionamentos sobre a origem da vida, por conta das ideias sobre biogênese, e com o aperfeiçoamento do microscópio. Sob a influência do pensamento positivista e a exigência das ciências experimentais no final do século XVIII, o estilo mecanicista contribuiu para compreender os organismos a partir do fracionamento em partes cada vez mais especializadas e menores. Dessa forma, compreender as relações de causa e efeito no funcionamento de cada uma de suas partes, ascendendo discussões para uma concepção de vida fundamentada nas “*forças mecânicas*” (Bertoni, 2012, 164-165, grifo do autor).

Enquanto o *Estilo de Pensamento biológico mecanicista* possibilitou o desenvolvimento da Fisiologia, teoria celular, Embriologia, o *Estilo de Pensamento biológico evolutivo*, nas palavras de Bertoni, “se caracteriza por apresentar, a partir do século XVIII, proposições consistentes para a teoria da evolução da vida, e posteriormente, no século XX, para teorias sobre a origem da vida” (Bertoni, 2012, p. 136), em contraposição à concepção de mundo imutável.

No século XX, os conhecimentos genéticos e os avanços adquiridos a partir da teoria celular, possibilitaram o reconhecimento dos trabalhos de Gregor Mendel acerca da transmissão das características entre os seres vivos no século XIX. Tal validação contribuiu para a apresentação da teoria sintética da evolução ou neodarwinismo, um modelo explicativo dos processos evolutivos vinculados aos processos relacionados ao programa genético, como por exemplo, a mitose, a meiose e a síntese proteica. Bertoni acrescenta que:

Esses acontecimentos marcam a influência para a constituição e consolidação do pensamento biológico evolutivo. Não obstante, a primeira metade do século XX acentua a caminhada para tal consolidação do pensamento evolutivo, pois entra em cena uma nova visão de mundo, a do pensamento sistêmico. A maneira holística de enxergar o todo, avançou na perspectiva de que o todo é mais do que a soma das partes que o compõe. Assim, fragmentar esse todo holístico, como aconteceu com a ascensão da mecanização da alma animal para entender com mais especificidade as partes do organismo, permitiu ampliar a compreensão da organização dos organismos vivos e destes no ambiente (Bertoni, 2012, p. 137-138).

Sobre o *Estilo de Pensamento biológico da manipulação genética*, Bertoni discute sobre a possibilidade da emergência desse novo Estilo de Pensamento. Importante ressaltar que muitos avanços no campo da Genética, Biologia Molecular, Engenharia Genética e Biologia Sintética ocorreram desde essa proposição. O autor considera que “ao mesmo tempo em que o desenvolvimento das pesquisas moleculares propiciou avanços na biotecnologia, o estilo evolutivo passou a se

estabilizar e ceder espaços diante das mudanças com a manipulação genética” (Bertoni, 2012, p. 187).

Quanto às demandas deste novo Estilo de Pensamento biológico, na perspectiva fleckiana, temos que:

Os desafios deste estilo de pensamento biológico parecem ser infindáveis, porém estes procedimentos envolvendo a manipulação genética se encontram num momento histórico de consolidação do processo de desenvolvimento, procurando se sustentar pela sintonia com a visão de mundo do final do século XX. Também pela forma de observar, pensar, agir e enfrentar as pressuposições que se formam, une e mantém os membros do coletivo de pensamento formado pelos que pertencem ao círculo esotérico de pesquisa da biologia molecular e genética molecular, em torno de técnicas que possibilitam ao ser humano a manipulação do material genético das espécies, inclusive sua própria espécie, assegurando as bases que sustentam a emergência do estilo de pensamento biológico da manipulação genética (Bertoni, 2012, p. 202).

Concepções de vida perpassam esta investigação. Quando optei em discorrer sobre as concepções de vida em Canguilhem e adotar os Estilos de Pensamento biológico sobre a vida como elementos relevantes da análise proposta, baseie-me na relação intrínseca que tradicionalmente se estabelece entre o fenômeno vida e a célula e na possibilidade de compressão da relação que atualmente se estabelece entre célula mínima e vida.

Além disso, a forma como se entendeu a célula historicamente implicou no curso de muitas pesquisas biológicas, ou seja, no estudo da vida. Com os avanços recentes da ciência e tecnologia do século XXI, a Biologia Sintética tem produzido células controladas por um genoma sintetizado quimicamente (Gibson *et al.*, 2010), o que pode ser motivo de mudanças no conceito vigente de célula - elemento que diferencia biologicamente o ser vivo do ser não vivo - ou da própria vida.

Em face do exposto e, no contexto da Biologia Sintética, o conceito clássico de célula pode ser aplicado? Os pressupostos da teoria celular clássica se sustentam? Estamos diante de um novo Estilo de Pensamento biológico para além do estilo mais recente? Este estilo permanece? A associação entre célula e vida pode ser mantida no cenário da célula mínima? Foi o que pretendi responder, ou pelo menos me aproximar, com esta investigação. A metodologia utilizada possibilitou visitar a história do conceito de célula com o objetivo de caracterizar/identificar os Estilos de Pensamento nos episódios históricos estudados por meio de análise histórico-epistemológica. Do mesmo modo, a análise proposta

visa apreender o Estilo de Pensamento dominante no contexto da produção da célula mínima nos episódios contemporâneos selecionados.

4 PARA COMPREENDER A CIÊNCIA: SOBRE A HISTÓRIA DA FORMAÇÃO DOS CONCEITOS EM FLECK E CANGUILHEM

Ironizar sobre a importância conferida aos conceitos é mais fácil que compreender por que sem eles não existe ciência.

Georges Canguilhem⁸⁴

Retomando a perspectiva de convergência das ideias de Fleck e Canguilhem, vale ressaltar que ambos valorizam a origem e evolução histórica dos conceitos para a compreensão da ciência. A história conceitual parece ser mais evidente na obra de Canguilhem, por privilegiar o estudo da formação de uma multiplicidade de conceitos, tal como o conceito de vida descrito anteriormente.

Em Fleck, dois conceitos ocupam papel central: os conceitos de sífilis e da reação de Wassermann, que se constituíram em Fato Científico para o desenvolvimento da sua teoria do conhecimento. Em Canguilhem, as análises históricas abrangem uma pluralidade de conceitos científicos. O pensador francês buscou desenvolver a história epistemológica de conceitos não relacionados diretamente entre si: conceito de reflexo (1955), de tireoide (1958), de teoria celular/célula (1945), de meio (1952), de normatividade vital (1943) são exemplos que se destacam.

Mayr (2008) também considera a importância dos conceitos para a compreensão da ciência e compartilha dessa ideia ao argumentar que os conceitos na Biologia têm um papel muito mais relevante do que as leis na formação de teorias, enquanto a Filosofia da Ciência Clássica faz raras referências à importância dos conceitos para a formação de teorias. Para o biólogo evolucionista, uma das maiores contribuições para o estabelecimento de uma teoria nas Ciências da Vida vem do desenvolvimento de novos conceitos. “Um biólogo praticamente nunca tem dúvidas sobre quão importantes são os conceitos nesse campo” (Mayr, 2008, p. 95).

Anteriormente, ao comentar sobre as ideias fisicalistas não aplicáveis à Biologia, Mayr aponta as razões para a menor importância das leis nesta ciência: “o papel principal do acaso e da aleatoriedade em sistemas biológicos e o caráter único de um alto percentual dos fenômenos em sistemas vivos e também a natureza histórica dos eventos” (Mayr, 2005, p. 44).

No processo de formação do conceito, Fleck e Canguilhem enfatizam o papel das imagens originais, das ideias primitivas. Canguilhem comenta que “as teorias científicas, no que concerne aos conceitos fundamentais que elas fazem

⁸⁴ Em ‘Objeto da história das ciências’ (Canguilhem, 1966/2012, p. 15).

sustentar em seus princípios de explicação, enxertam-se em antigas imagens e diríamos nós, em mitos [...] (Canguilhem, 1952/2012, p. 81). Fleck salienta que é comum que Fatos Científicos se associem, “por meio de ligações evolutivas incontestáveis, as protoideias (pré-ideias) pré-científicas afins, mais ou menos vagas, sem que essas ligações pudessem ser legitimadas pelos conteúdos” (Fleck, 1935/2010, p. 64).

Numa reflexão acerca da relação entre conceito e teoria, Canguilhem afirma que:

[...] as teorias não nascem dos fatos que coordenam e que são supostos de tê-las suscitado. Ou, mais exatamente, os fatos suscitam as teorias, mas não engendram os conceitos que as unificam interiormente, nem as intenções intelectuais desenvolvidas por elas. Essas intenções vêm de longe, esses conceitos são em número pequeno e, por essa razão, os temas teóricos sobrevivem à sua destruição aparente que uma polêmica e uma refutação se gabam de haver obtido (Canguilhem, 1952/2012, p. 81-82).

Delaporte enfatiza que Georges Canguilhem “aplicou as categorias da epistemologia bachelardiana ao campo da história das Ciências da Vida”⁸⁵ (Delaporte, 2002, p. 23). Assim, ele teria equiparado a Epistemologia da Biologia com a das Ciências Físico-químicas, sem, no entanto, deixar de destacar a especificidade do vivo. Para a autora, o ‘vitalismo’ de Canguilhem demonstra isso.

No intuito de elucidar alguns aspectos da Epistemologia histórica de Canguilhem, uma breve análise histórica da teoria celular e do conceito de célula, recorrentes em alguns textos do médico francês, pareceu apropriada no contexto desta investigação. Ao discorrer sobre o processo de construção da teoria celular num texto publicado em 1945, Canguilhem fornece um rico material de análise, que foi selecionado como fonte secundária da análise dos episódios históricos sobre o conceito clássico de célula.

Canguilhem defende que a consolidação dessa teoria foi atrasada pela influência dos trabalhos de Bichat, o qual considerava o tecido como último elemento da análise anatômica, imagem de uma continuidade, influenciadora da Filosofia biológica de Comte, controvérsia que se constituiu como um grande entrave ao reconhecimento do conceito de célula como unidade fundamental dos seres vivos

⁸⁵ Canguilhem foi discípulo de Gaston Bachelard.

Sobre a obra ‘A Teoria Celular’, Delaporte (2002) comenta que:

Canguilhem aplica um princípio de inversão: onde epistemologia bachelardiana traçaria descontinuidades, seria preciso, antes, ver a continuidade histórica do saber. A aplicação deste princípio comporta certas exigências de método: descobrir condições de possibilidade e não obstáculos; registrar filiações e não rupturas; inscrever em uma história do sancionado aquilo que, à primeira vista, pertenceria à história do superado. Sem dúvida, Canguilhem reativa um tema com o qual Bachelard havia rompido: a continuidade (Delaporte, 2002, p. 24-25).

No entanto, a autora adverte que, quando se analisa o estudo da teoria celular, não é possível inferir que sua história seria exclusivamente do tipo continuísta, uma vez que descontinuidades podem ser encontradas, ainda que não de forma explícita⁸⁶. Para conciliar os temas da continuidade e descontinuidade na História da Ciência, Canguilhem privilegia a história da formação do conceito em detrimento da história da formação de uma teoria. Delaporte adverte:

[...] é fazendo a história do conceito que podemos afirmar que uma mitologia e uma metáfora podem contribuir para a formação da ciência e, ao mesmo tempo, dela serem excluídas. É ainda no plano da história do conceito que podemos ser levados a perguntar o que uma construção discursiva deve conter para que o conceito possa ter um sentido de verdade; daí a distinção entre uma teoria que autoriza a formação de um conceito e aquela que o encobre [...] no plano da história do conceito que podemos fazer aparecer a inatualidade do conteúdo de uma teoria; é, contudo, trabalhando nesta região mediadora, situada a meio caminho da teoria e do objeto, que podemos reorientar a teoria em direção ao objeto e mostrar a atualidade de seu ponto de vista (Delaporte, 2002, p. 28).

Quanto à Ludwik Fleck, a partir do estudo de caso elaborado sobre o conceito de sífilis, o médico polonês elucida que este conceito “deve ser investigado como o resultado do desenvolvimento e da coincidência de algumas linhas coletivas de pensamento, da mesma maneira que se investiga um acontecimento da história do pensamento” (Fleck, 1935/2010, p. 64).

Fleck também considera a história dos conceitos para compreensão da ciência. Com uma abordagem que valoriza o condicionamento histórico, social, cultural do saber, ele associa diretamente o estabelecimento de conceitos ao Estilo de Pensamento de uma época, explicando que “existe um vínculo no estilo de todos – ou muitos – conceitos de uma época, vínculo que consiste em sua influência

⁸⁶ É possível conferir episódios históricos envolvidos na proposição da teoria celular em Silva (2014); Silva e Aires (2016); Silva e Aires (2021).

mútua. Por isso, pode-se falar em estilos de pensamento (*Denkstil*) que determinam o estilo de todo conceito” (Fleck, 1935/2010, p. 49).

Um Estilo de Pensamento tem potencial de acomodar vários conceitos, os quais contêm elementos ativos e passivos. Nesse sentido, o Fato Científico em Fleck pode ser compreendido como:

[...] uma relação de conceitos conforme o estilo de pensamento, que, embora possa ser investigável por meio de pontos de vista históricos e da psicologia individual e coletiva, nunca poderá ser simplesmente construída em sua totalidade, por meio desses pontos de vista (Fleck, 1935/2010, p. 132).

Depreende-se, então, que, embora a historicidade do conceito seja importante na Epistemologia de Canguilhem e Fleck, para este último, ocorre uma associação dos conceitos de uma época no desenvolvimento do Fato Científico, enquanto Canguilhem, parece ter pesquisado a história de conceitos, independente da constituição de um Fato Científico, mas pela compreensão do conceito em si.

Uma vez que a Biologia é apresentada como modelo para compreensão dos processos da ciência, por esses autores, a opção por explorar a história da formação dos conceitos parece fornecer, portanto, uma fundamentação adequada para a presente investigação. O papel expressivo dos conceitos para a elaboração de teorias biológicas e a coerência epistemológica de ambos os autores ao optar pelo conceito enquanto se dedicam ao estudo das Ciências da Vida são pontos relevantes na busca por respostas ao problema que orienta esta tese.

Ademais, as contribuições de Fleck se dão majoritariamente no sentido epistemológico, acerca da compreensão dos Estilos de Pensamento sobre a célula, enquanto a participação de Canguilhem, como apoio à compreensão do conceito de vida, por meio de suas concepções de vida elencadas na obra *Vie* (1973).

Analogamente, na educação em ciências/Biologia, entendo que a compreensão de teorias possa ser amparada pelo estudo histórico-epistemológico dos conceitos envolvidos. Isto significa que a reconstrução histórica de um conceito pode contribuir, por exemplo, para nos aproximarmos de reflexões sobre as concepções filosóficas que permeiam as explicações científicas acerca desse conceito e da teoria relacionada.

Segundo Abrantes, tradicionalmente, uma das principais tarefas filosóficas é o esclarecimento de conceitos. No caso da Filosofia da Ciência, o autor destaca que:

[...] esse esclarecimento pode voltar-se tanto para conceitos que se referem a entidades, propriedades e processos no mundo —como os conceitos de ‘átomo’, ‘onda’, ‘gene’, ‘aptidão’, ‘evolução’ etc. —, quanto para conceitos *metacientíficos* que têm por objeto os tipos de representação de conhecimento configurados no discurso científico de modo geral, ou que se referem aos procedimentos empregados para gerar essas representações e submetê-las à prova. Exemplos desses conceitos são os de ‘teoria’, ‘lei’, ‘explicação’, ‘confirmação’ etc. (Abrantes, 2018, p. 6).

Abrantes considera que “uma filosofia *especial* da Biologia deve abordar não somente os conceitos metacientíficos relevantes — [...] —, mas também os conceitos utilizados no âmbito dessa ciência particular” (Abrantes, 2018, p. 10). O autor sustenta que em determinados momentos da atividade científica, a resolução de problemas conceituais é de extrema importância e elenca alguns desses problemas na área biológica, tais como: função biológica, espécie biológica, adaptacionismo, seleção natural.

A célula, estudada nesta investigação, aparentemente não seria um problema conceitual da Biologia. Ainda assim, é possível considerar historicamente, de acordo com Silva e Aires (2019), pelo menos três tipos de pensamento ou correntes filosóficas envolvidos no desenvolvimento do conceito de célula: mecanicista (cartesiano e físico-químico), vitalista e organicista (sistêmico). Esses pensamentos influenciaram a concepção de vida em diversas épocas e, em decorrência, a construção e o estabelecimento do conceito de célula e da teoria celular.

Quando se pensa nessa temática, algumas perguntas surgem: Qual posição filosófica adotar quando se aborda o conceito clássico de célula? De que modo conceitos biológicos foram construídos historicamente e são construídos na atualidade? Atualmente, no contexto da Biologia Sintética, o conceito clássico de célula pode ser aplicado?

Responder a essas perguntas não é algo trivial, pois depende de reflexões que envolvam a área da Biologia a qual estamos nos referindo, o método de investigação utilizado, a estrutura teórica disponível em cada época, as características internas daquela ciência, a possibilidade de influência de fatores externos na prática científica. Nos próximos capítulos, pretendo trazer mais elementos que colaborem na busca dessa e outras respostas a questionamentos científicos e filosóficos que permeiam a Biologia Sintética.

5 ORGANISMO COMO MÁQUINA: UMA METÁFORA HISTÓRICA, UMA QUESTÃO ATUAL

Diversos conceitos e contextos estão envolvidos na questão do *organismo como máquina*. Uma investigação que pretenda buscar caminhos que orientem a compreensão acerca da unidade da vida, historicamente, tenderá a chegar nesta temática. No caso de um estudo que avança para tal compreensão no contexto de um campo de pesquisa que se empenha na fabricação de moléculas necessárias à vida a partir de informações digitais - a Biologia Sintética - esta abordagem se torna imprescindível.

Desse modo, o objetivo deste capítulo é abordar a historicidade da metáfora do *organismo como máquina*, e sua versão contemporânea impregnada na submetáfora do *programa genético*. Essas metáforas perpassam conceitos básicos nas Ciências da Vida e na Biologia Sintética e, por esse motivo, entendo que devam ser tratadas no ensino de ciências/Biologia da educação básica como um modo de enfrentar o reducionismo mecanicista existente nessas disciplinas.

Por englobar diferentes perspectivas, análises, divergências e considerações ao longo da História da Filosofia, da História das Ciências e na atualidade, tratar do problema do *organismo como máquina* requer um recorte direcionado aos objetivos da presente investigação. Essa orientação necessária encontro no texto 'Máquina e Organismo' de Canguilhem, escrito a partir de conferências ministradas em 1946-1947, publicado originalmente no ano de 1952⁸⁷.

Metáfora famosa e reconhecida habitualmente como sustentada por René Descartes no século XVII, essa ideia apareceu bem antes, pelo menos no século IV a. C, em Aristóteles. Tal correspondência esteve associada de maneira velada ou explícita em muitas elaborações teóricas que envolvem as ciências e a Filosofia da Ciência.

Os pensadores que estabeleceram de alguma maneira relações entre o organismo vivo e a máquina são numerosos. Aqueles cujos pensamentos acerca dessa temática procurei elucidar, se respaldam com maior ou menor intensidade em

⁸⁷ Canguilhem avisa ao leitor que os ensaios contidos na coletânea 'O conhecimento da vida' foram revistos, remanejados e completados na primeira edição (1952) a partir do que foi apresentado em 1946-1947. Na segunda edição (1965), ele informa que não houve nenhuma mudança no texto inicial, apenas algumas notas de referência e alguns títulos de bibliografia foram acrescentados. Por esse motivo, o ano da publicação original é mantido na citação.

princípios metafísicos que sustentam suas filosofias e, conseqüente amparam suas interpretações acerca dessa associação⁸⁸.

5.1 O ORGANISMO, A MÁQUINA: UMA HISTÓRIA QUE SE PROLONGA NO CONTEXTO FILOSÓFICO E CIENTÍFICO

Novamente encontramos em Aristóteles o início de uma tradição influenciadora das ciências e, em Canguilhem, um estudo acerca de conteúdo histórico-filosófico por meio da sua Epistemologia. No entendimento do autor, “é incontestável ter sido Aristóteles que encontrou, na construção de máquinas para o cerco de cidades, como as catapultas, a permissão de assimilar os movimentos dos animais aos movimentos mecânicos automáticos” (Canguilhem, 1952/2012, p. 112).

Aristóteles assimila efetivamente os órgãos do movimento animal aos *organa*, ou seja, a partes de máquina de guerra, por exemplo, ao braço de uma catapulta que lançará um projétil, e o desenrolar desse movimento ao das máquinas capazes de restituir, depois da liberação por desencadeamento, uma energia estocada, máquinas automáticas das quais as catapultas eram o tipo, na época (Canguilhem, 1952/2012, p. 112, grifo do autor).

Desse modo, examino inicialmente a relação histórica entre a máquina e o organismo na perspectiva filosófica de Canguilhem. O médico francês ressalta que, ordinariamente, o problema foi investigado no sentido da busca pela compreensão da estrutura e do funcionamento do organismo com base na máquina já construída, ou seja, filósofos e biólogos mecanicistas tomaram a máquina como dada. A busca pela interpretação da construção da máquina a partir da estrutura e do funcionamento do organismo foi incomum. E lança a questão: “como explicar que se tenha buscado nas máquinas e nos mecanismos [...] um modelo para a inteligência da estrutura e das funções do organismo?” (Canguilhem, 1952/2012, p. 110).

⁸⁸ A metafísica aristotélica primava pelo estudo do ‘ser enquanto ser’; a metafísica cartesiana forneceu provas racionais da existência de Deus e foi fundamento da ciência e do método de Descartes; a metafísica kantiana considerava o conhecimento à priori, a primazia da razão sobre os sentidos; a metafísica bergsoniana esteve relacionada ao problema da evolução da vida.

Durante muito tempo, os mecanismos cinemáticos receberam seu movimento do esforço muscular humano ou animal. Naquele estágio, era evidentemente tautológico explicar o movimento do vivente por assimilação ao movimento de uma máquina, dependendo, quanto a esse próprio movimento, do esforço muscular do vivente. Por conseguinte, a explicação mecânica das funções da vida supõe historicamente - o que é mostrado com muita frequência - a construção de autômatos cujo nome significa, a um só tempo, o caráter miraculoso e a aparência de autossuficiência de um mecanismo transformando uma energia que não é, pelo menos de imediato, o efeito de um esforço muscular humano ou animal (Canguilhem, 1952/2012, p. 110).

A aparente autossuficiência da máquina, que Descartes encontra nos autômatos, a torna 'semelhante' ao organismo e justificaria, portanto, a assimilação do organismo a uma máquina, num sentido muito diferente do que encontramos em Aristóteles. Nas máquinas da Antiguidade, o movimento era obtido a partir do esforço muscular de um homem ou outro animal, não havia a imagem de uma suposta máquina autônoma.

A interpretação mecanicista dos fenômenos biológicos, ou, como diz Canguilhem, 'a explicação do organismo pela máquina' não pôde acontecer, portanto, durante o tempo em que o vivente humano ou animal esteve preso à máquina.

Essa explicação só pôde ser concebida no dia em que a engenhosidade humana construiu aparelhos imitando movimentos orgânicos, por exemplo, o jato de um projétil, o vaivém de uma serra, cuja ação, pondo-se à parte a construção e o desencadeamento, prescinde do homem (Canguilhem, 1952/2012, p. 113).

Partidário da originalidade do fenômeno técnico em relação ao fenômeno científico, Canguilhem nos leva a pensar sobre a oposição entre a ciência e a técnica na Filosofia Antiga. Da suposta superioridade da primeira sobre a segunda, decorre, em Aristóteles, "a hierarquia do liberal e do servil, da teoria e da prática, da natureza e da arte, é paralela a uma hierarquia econômica e política, a hierarquia na cidade do homem livre e dos escravos" (Canguilhem, 1952/2012, p. 114).

Canguilhem explica a relação máquina-organismo na Filosofia vitalista aristotélica, a qual concebe o corpo submetido à alma: "Segundo Aristóteles, o princípio de todo movimento é a alma. Todo movimento requer um primeiro motor. O movimento supõe o imóvel. O que move o corpo é o desejo e o que explica o desejo é a alma" (Canguilhem, 1952/2012, p. 112). Recorrer à conhecida frase do filósofo

grego, “O escravo é uma máquina animada” da obra ‘A política’, talvez tenha sido a melhor maneira de Canguilhem sintetizar o sentido da analogia.

A alma cartesiana, ao contrário, não anima o corpo, mas continua sua existência, mesmo na ausência do corpo vivo. O modelo corpo-máquina de Descartes, rejeita o vitalismo herdado de Aristóteles e o pensamento medieval.

Contentei-me em supor Deus havia formado o corpo de um homem inteiramente semelhante a um dos nossos, tanto na aparência exterior dos seus membros quanto na conformação de seus órgãos, sem o compor com matéria diferente da que eu descrevera [corpos inanimados e plantas], e sem nele pôr, no início, qualquer alma racional ou qualquer outra coisa que lhe servisse de alma vegetativa, ou alma sensitiva, apenas excitando no seu coração um desses fogos sem luz (Descartes, 1637/1996, p. 52, grifo do autor).

A Fisiologia em Descartes é abordada como parte da Física, prática comum no século XVII e se desenvolve de acordo com o caráter matemático da ciência moderna. Quanto à analogia corpo e máquina, Vasconcellos destaca que o mecanicismo cartesiano busca, por meio de redução do mundo físico à geometria e às leis da Física “aplicar toda a realidade do corpo nos limites da extensão, movimento e figura: depurando da natureza essas “potências imaginárias” é possível explicar as funções fisiológicas por meio de leis mecânicas” (Vasconcellos, 2013, p. 53). Logo, todo o mundo físico, incluindo o corpo humano, seria formado pelo mesmo tipo de matéria e estaria sujeito às mesmas leis naturais.

Em *Le traité de l'homme* (O Tratado do Homem), publicação póstuma em 1662, Descartes se dedica a explicar mecanicamente as estruturas e funções do corpo humano como matéria em movimento, utilizando a expressão *esta máquina* durante toda a obra, ou seja, a analogia do *organismo como máquina*, a comparação do corpo humano com um autônomo hipotético⁸⁹. Ao final desta obra, o filósofo francês reitera:

⁸⁹ Vasconcellos (2013) destaca a emergência da Mecânica moderna no século XVII e a construção de autômatos nessa época, tomados como modelos por Descartes para as explicações fisiológicas do corpo humano nesta obra.

[...] desejo que você considere que todas as funções descritas como pertencentes a esta máquina [...] são apenas uma consequência natural da disposição dos órgãos nesta máquina. Acontece, nem mais nem menos, o mesmo que com os movimentos de um relógio de parede ou de outro autômato, pois tudo acontece em virtude da disposição de seus contrapesos e de suas rodas. Portanto, não devemos conceber nesta máquina nenhuma alma vegetativa ou sensitiva, nem qualquer outro princípio de movimento e de vida. Tudo se explica em virtude de seu sangue e de seus espíritos agitados pelo calor do fogo que arde continuamente em seu coração e cuja natureza não difere da de outros fogos que se registram em corpos inanimados (Descartes, 1662/1990, p. 47, tradução nossa).

Embora a Fisiologia de Descartes não se desprenda da Física, o filósofo francês não renuncia à especificidade do corpo vivo⁹⁰.

[...] aos que, sabendo quantos *autômatos* diferentes, ou máquinas que se movem, o engenho dos homens pode fazer, só empregando muito poucas peças, em comparação com a grande multidão de ossos, músculos, nervos, artérias, veias, e todas as demais partes que há no corpo de cada animal, considerarão esse corpo como uma máquina que, feita pelas mãos de Deus, é incomparavelmente mais bem ordenada e tem em si movimentos mais admiráveis que qualquer das que possam ser inventadas pelos homens (Descartes, 1637/1996, p. 62-63, grifo do autor).

Voltando ao pensamento de Canguilhem acerca da assimilação do organismo à máquina, o problema das relações da Filosofia mecanicista com as condições econômicas e sociais da época pode ter sido resolvido numa relação de causalidade com a economia capitalista que emergia. O médico francês aponta que, nesse caso, “o cálculo do trabalho como pura quantidade suscetível de tratamento matemático seria a base e o ponto de partida de uma concepção mecanicista do universo da vida” (Canguilhem, 1952/2012, p. 116). As normas econômicas vigentes, portanto, estariam na retaguarda da teoria do animal-máquina e Descartes teria sido um dos emissários involuntários da revolução econômica capitalista, assim como Galileu Galilei e Thomas Hobbes⁹¹.

⁹⁰ Numa perspectiva mecanicista/materialista extrema e radical, no século seguinte o filósofo e médico francês Julien Offray de La Mettrie publica seu conhecido *L'Homme Machine* (O homem-máquina) em 1747. La Mettrie se opõe ao dualismo corpo-alma cartesiano, reduzindo o homem à matéria, a um artefato mecânico, à máquina. Exatamente por tamanha disparidade, considero pertinente excluir a Filosofia lamettrieana do escopo da reflexão acerca da metáfora do *organismo como máquina*, a qual tem o sentido de associação ou comparação entre organismo e máquina e não de concebê-los como iguais.

⁹¹ Canguilhem recorre a diversos autores e obras para construir e sustentar esse pensamento, procedimento recorrente nos seus textos. Optei por não os trazer, no intuito de manter o foco nas ideias do médico francês.

Porém, Canguilhem chega à conclusão de que a evolução do maquinismo, cuja origem remonta ao Renascimento, teria sido a causa legítima da emergência da concepção mecanicista do mundo. Segundo o autor, Descartes “racionalizou conscientemente uma técnica maquinista bem mais do que traduziu inconscientemente as práticas de uma economia capitalista” (Canguilhem, 1952/2012, p. 117).

Canguilhem se empenha em buscar explicações que validem a construção de um modelo mecânico de corpo vivo. Sendo a alma racional em Descartes, não se pode conceber uma alma animal, uma vez que são desprovidos de linguagem e de invenção, não há indícios de que os animais sejam capazes de julgar. A negação da alma, da razão, aos animais não significa em Descartes, a negação da vida, “que consiste apenas no calor do coração, nem a recusa da sensibilidade, uma vez que ela depende da disposição dos órgãos” (Canguilhem, 1952/2012, p. 118).

O médico francês evidencia um princípio moral da obra de Descartes, também encontrado em Aristóteles e Leibniz, a depreciação do escravo para justificar sua utilização pelo homem como instrumento. Para Canguilhem:

[...] A mecanização da vida, do ponto de vista teórico, e a utilização técnica do animal são inseparáveis. O homem só pode se tornar senhor e possuidor da natureza se ele negar toda finalidade natural e se puder sustentar toda a natureza, inclusive a natureza aparentemente animada, fora dele mesmo, para um meio (Canguilhem, 1952/2012, p. 119).

Na contramão das análises habituais, Canguilhem não enxerga na teoria de Descartes uma ruptura com a concepção aristotélica da causalidade.

[...] parece que a teoria do animal-máquina só tome um sentido graças ao enunciado dos dois postulados que se esquece, com frequência, de ressaltar claramente. O primeiro, é que existe um Deus fabricante; o segundo, é que o vivente seja dado como tal, previamente à construção da máquina. Em outras palavras, para compreender a máquina-animal, é preciso considerá-la como precedida, no sentido lógico e cronológico, a um só tempo por Deus, como *causa eficiente*, e por um vivente preexistente a ser imitado, como *causa formal e final* (Canguilhem, 1952/2012, p. 119, grifo nosso).

Na concepção de Canguilhem, um aspecto assertivo no projeto de Descartes teria sido a supressão da teleologia da vida na perspectiva antropomórfica. No entanto, a finalidade permanece, ficando restrita à técnica de produção, o que seria a substituição de um antropomorfismo político por um

antropomorfismo tecnológico. Logo, “se o funcionamento de uma máquina *se explica* por relações de pura causalidade, a construção de uma máquina não *se compreende* nem sem a finalidade, nem sem o homem” (Canguilhem, 1952/2012, p. 122, grifo do autor), visto que não existem máquinas que constroem máquinas, em outras palavras, não há autoprodução mecânica.

Canguilhem se dedica a elencar características dos organismos e, especialmente das máquinas, no sentido de refletir sobre sua dificuldade expressa em contrapor mecanismo e finalidade na máquina, bem como definir diferenças ontológicas básicas entre organismos e máquinas.

Em um organismo, observamos [...] fenômenos de autoconstrução, de autoconservação, de autorregulação, de autorreparação. No caso da máquina, a construção lhe é estranha e supõe a engenhosidade do mecânico. A conservação exige a vigilância e a fiscalização constantes do maquinista, e sabemos até que ponto algumas máquinas complicadas podem ficar irremediavelmente perdidas por uma falta de atenção ou de vigilância. Quanto à regulação e à reparação, elas também supõem a intervenção periódica da ação humana. Há, sem dúvida, dispositivos de autorregulação, mas são superposições, pelo homem, de uma máquina a outra. A construção de *servomecanismos* ou de autômatos eletrônicos desloca a relação do homem com a máquina sem alterar seu sentido. [...] há a verificação estrita das regras de uma contabilidade racional. O todo é rigorosamente a soma das partes. O efeito é dependente da ordem das causas. Ademais, uma máquina apresenta rigidez funcional nítida [...] (Canguilhem, 1952/2012, p. 125, grifo nosso).

Meu destaque no texto serve para reforçar o fato de que Canguilhem mantinha-se muito atento à produção de conhecimento da sua época. Nesse texto, escrito a partir de conferências ministradas em 1946-1947, o médico francês menciona os *servomecanismos*⁹² como exemplo do deslocamento/inversão da relação do organismo com a máquina. Importante destacar que a Cibernética foi estimulada pelo desenvolvimento de pesquisas financiadas pelos Estados Unidos durante a Segunda Guerra Mundial para o aperfeiçoamento de máquinas que tivessem o desempenho de funções humanas. No ano de 1946 ocorreu o primeiro encontro das Conferências Macy, onde o arcabouço conceitual da Cibernética começou a ser desenvolvido.

Wiener considera não existir diferença funcional entre o ser humano e a máquina cibernética (os *servomecanismos*) devido à capacidade de

⁹² Servomecanismos são sistemas de controle automático utilizados na Segunda Guerra, desenvolvidos por Wiener e colaboradores sob os princípios da Cibernética.

retroalimentação (*feedback*) que ambos possuem, ou a “capacidade de poder ajustar a conduta futura em função do desempenho pretérito” (Wiener, 1954/1965, p. 29).

Quando dou uma ordem a uma máquina, a situação não difere essencialmente da que surge quando dou uma ordem a uma pessoa. [...] Para mim, pessoalmente, o fato de o sinal, em seus estágios intermediários, ter passado por uma máquina em vez de por uma pessoa, é irrelevante, e em nenhum caso altera significativamente minha relação com o sinal (Wiener, 1954/1965, p. 14).

O matemático, contudo, se afasta da preocupação em definir o fenômeno da vida, ao mesmo tempo em que esclarece que sua teoria não expressa a redução do organismo vivo à máquina. A especificidade do vivo se mantém, embora busque convergências entre o vivo e o artefato por meio da sua compreensão dos processos de controle e transmissão de informação.

Na minha opinião, o melhor, portanto, é evitar todos os epítetos que possam suscitar discussões, como “vida”, “alma”, “vitalismo”, e outros que tais, e dizer apenas, no tocante às máquinas, que não há razão para que não possam assemelhar-se aos seres humanos no representar bolsões de entropia decrescente numa estrutura em que a entropia geral tende a aumentar. [...] Quando comparo o organismo vivo como tal à máquina, nem por um momento pretendo dizer que os processos físicos, químicos e espirituais, específicos da vida, tal como a conhecemos habitualmente, sejam os mesmos que os das máquinas simuladoras de vida. Quero simplesmente dizer que ambos podem exemplificar localmente processos antientrópicos, que talvez possam ser exemplificados de muitas maneiras que, naturalmente, não chamaremos nem de biológicas nem de mecânicas (Wiener, 1954/1965, p. 29).

Interessante destacar que, na mesma década da divulgação do Fato Científico tomado por Canguilhem anos depois como reorientador da sua Filosofia biológica - a identificação da estrutura do DNA (1953) - numerosas discussões e pesquisas científicas interdisciplinares de enfoque sistêmico ocorriam com intensidade. Por exemplo, os três últimos anos dos encontros interdisciplinares com o objetivo de discutir causalidade circular e feedback em sistemas biológicos e sociais, conhecidos como Conferências Macy (1946-1953) e a criação do *Biological Computer Laboratory* (BCL) ao final da década de 50, fortemente influenciado pela Cibernética desenvolvida nas Conferências.

Pereira Jr. (2020) explica que a correspondência entre informação e entropia negativa das máquinas cibernéticas, favoreceu aproximação entre a teoria físico-química da Auto-organização e a Teoria Sistêmica, com acréscimo da Cibernética e

Teoria da Informação. Nesse contexto interdisciplinar foi inaugurado o *Biological Computer Laboratory* (BCL) em 1958 no Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade de Illinois, Estados Unidos, sob a direção do físico austríaco Heinz von Foerster (1911 - 2002)⁹³. Pereira Jr. comenta que “para este autor, o termo Auto-Organização definia o objetivo de seu laboratório, e traduzia-se, na prática, na construção de máquinas cuja organização estrutural e funcional conferiria propriedades semelhantes às dos sistemas vivos” (Pereira Jr., 2020, p. 1099).

Pesquisadores de especialidades físicas diversas faziam parte do BCL, inicialmente. Os biólogos Humberto Maturana e Francisco Varela posteriormente passaram a integrar as pesquisas do grupo⁹⁴. O pensamento sistêmico e processual dos autores pode parecer incompatível com a abordagem mecanicista. Contudo, em ‘De Máquinas e Seres Vivos’ (1973), Maturana e Varela expressam sua concepção acerca dos sistemas vivos.

Nosso enfoque será mecanicista: não serão utilizadas argumentações nem se recorrerá a forças que não se encontrem no universo físico. No entanto, nosso problema é a organização do vivo, e, por consequência, o que nos interessa não são as propriedades de seus componentes, mas os processos, e relações entre processos, realizados por meio dos componentes (Maturana; Varela, 1973/1997, p. 67).

Mesmo justificando o uso do termo ‘mecanicista’ no contexto da organização do vivo, Maturana e Varela não se afastam da máquina. Os chilenos possuem sua própria concepção de ‘máquina’, na qual não precisamos conhecer seus componentes e sua organização independe das propriedades desses componentes. A metáfora *do organismo como máquina* toma contornos diferentes, mas persiste. Na perspectiva fleckiana, essa persistência de elementos de um Estilo de Pensamento em outro é considerada natural, uma vez que não há rupturas,

⁹³ Esse grupo de pesquisas interdisciplinares era, segundo Capra, “um círculo fechado de amigos e colegas que trabalhavam afastados da corrente principal reducionista e cujas idéias, estando à frente do seu tempo, não foram amplamente divulgadas. No entanto, essas idéias foram as sementes de muitos dos modelos bem-sucedidos de sistemas de auto-organização desenvolvidos no final da década de 70 e na década de 80” (Capra, 1997, p. 68).

⁹⁴ Por volta de 1968 Maturana compreendeu que os fenômenos associados à percepção só podiam ser entendidos caso se concebesse o operar do sistema nervoso como uma rede circular fechada de correlações internas, e simultaneamente compreendeu que a organização do ser vivo se explicava a si mesma ao ser vista como um operar circular fechado de produção de componentes que produziam a própria rede de relações de componentes que os gerava (teoria que ele posteriormente chamou de *autopoiese*) (Behncke, 1984/1995, p. 39, grifo do autor).

descontinuidades totais entre Estilos de Pensamento, pois “[...] alguma coisa de cada estilo de pensamento permanece” (Fleck, 1935/2010, p. 150).

Nós sustentamos que os sistemas vivos são máquinas; ao fazê-lo, estamos apontando a várias noções que deveriam ficar claras. Primeiro, consideramos um critério não-animista que deveria ser desnecessário comentar mais. Segundo, estamos sublinhando que um sistema vivo é definido por sua organização, e, portanto, que é possível explicá-lo como se explica qualquer organização, quer dizer, em termos de relações, não de propriedades dos componentes. Por último assinalamos o dinamismo visível nos sistemas vivos conotado pela palavra máquina (Maturana; Varela, 1973/1997, p. 68).

Embora reconheça a autorregulação dos servomecanismos, a rigidez funcional da máquina é uma propriedade que sustenta a defesa de Canguilhem sobre haver mais finalidade na máquina que no organismo, uma vez que “uma máquina não pode substituir uma outra máquina. Quanto mais a finalidade é limitada, mais a margem de tolerância é reduzida [...]. No organismo, ao contrário [...] observamos uma vicariância das funções, uma polivalência dos órgãos” (Canguilhem, 1952/ 2012, p. 125).

Canguilhem fala, portanto, numa inversão da relação cartesiana entre a máquina e o organismo e cita Henri Bergson (1859-1941) como possivelmente o único filósofo francês que vê a máquina como um aspecto da organização da matéria pela vida. Tal como Canguilhem, diferencia a técnica (invenção mecânica) da ciência. Em sua obra *L'évolution créatrice* (Evolução criadora), de 1907, Bergson havia sinalizado ideia semelhante à que Canguilhem desenvolveu acerca da permanência da finalidade na teoria mecanicista. Segundo Bergson, ao considerar que as partes foram unidas por meio de um programa preconcebido, possuindo uma meta planejada, a teoria da finalidade está incorporada ao mecanicismo, uma vez que

[...] assimila o trabalho da natureza ao do operário que procede, ele também, por junção de partes tendo em vista a realização de uma idéia ou a imitação de um modelo. O mecanicismo, então, censurará com razão o finalismo por seu caráter antropomórfico. Mas não percebe que ele próprio procede segundo esse método, simplesmente mutilando-o. Sem dúvida, faz tábua rasa do fim perseguido ou do modelo ideal. Mas quer, ele também, que a natureza tenha trabalhado como o operário humano, juntando partes. Um simples lance de olhos no desenvolvimento de um embrião ter-lhe-ia mostrado, no entanto, que a vida procede de modo inteiramente diferente. *Ela não procede por associação e adição de elementos mas por dissociação e desdobramento* (Bergson, 1907/2005, p. 97, grifo do autor).

Canguilhem também acredita que as pesquisas no campo da Embriologia experimental teriam motivado o afastamento das representações de modelos mecânicos na interpretação dos processos biológicos, “mostrando que o germe não contém uma espécie de ‘maquinaria específica’, que seria, uma vez posta em ação, destinada a produzir automaticamente tal ou tal órgão” (Canguilhem, 1952/2012, p. 128).

A motivação de Bergson em abordar as concepções finalistas e mecanicistas é especialmente para fundamentar sua própria elaboração teórica acerca da evolução biológica, no sentido de contrapor às teorias evolutivas explicadas pelo mecanicismo e pelo finalismo. Por meio de exemplos, ele expõe críticas à “ambigüidade do termo adaptação, a necessidade de superar ao mesmo tempo o ponto de vista da causalidade mecânica e o da finalidade antropomórfica” (Bergson, 1907/2005, p. 64) e propõe o *elã vital* (impulso vital) como princípio explicativo dos processos evolutivos.

Na Filosofia biológica bergsoniana a vida é considerada como transcendente tanto à finalidade quanto ao mecanismo. Considero relevante, neste ponto, apresentar algumas críticas de Bergson a essas duas correntes filosóficas, no tocante a explicações sobre a vida e a irreducibilidade do organismo vivo a um objeto mecânico. Bergson expõe seu pensamento contrário ao reducionismo mecanicista, numa visão global da vida:

[...] um ser vivo distingue-se de tudo que nossa percepção ou nossa ciência isola ou fecha artificialmente. Seria, portanto, um erro compará-lo a um *objeto*. Se quiséssemos procurar no inorganizado um termo de comparação, não é a um objeto material determinado, mas, com toda certeza, é antes à totalidade do universo material que deveríamos assimilar o organismo vivo. É verdade que a comparação não seria de grande valia, pois um ser vivo é um ser observável, ao passo que o todo do universo é construído ou reconstruído pelo pensamento. Mas assim, pelo menos, nossa atenção teria sido chamada para o caráter essencial da organização (Bergson, 1907/2005, p. 16, grifo do autor).

Bergson explica sua recusa ao mecanicismo e ao finalismo radicais. Acerca da essência das explicações mecânicas, encontra-se “em considerar o porvir e o passado como calculáveis em função do presente e pretender assim que *tudo está dado*” (Bergson, 1907/2005, p. 41, grifo do autor). Quanto à doutrina da finalidade, “implica que as coisas e os seres não façam mais que realizar um programa já

traçado. Como na hipótese mecanicista, também aqui se supõe que *tudo está dado*” (Bergson, 1907/2005, p. 43, grifo do autor).

Mecanismo e finalismo como teorias explicativas da vida ignoram o tempo, no sentido bergsoniano de duração (tempo qualitativo). Bergson argumenta que “a evolução do ser vivo [...] implica um registro contínuo da duração, uma persistência do passado no presente e, por conseguinte, pelo menos uma aparência de memória orgânica” (Bergson, 1907/2005, p. 21).

O problema da vida, em Bergson, é abordado a partir do conceito de élan vital, impulso inicial e finito da vida, evolução criadora que se renova continuamente. No processo evolutivo, o élan vital se depara com a resistência da matéria, na qual a vida está intrinsecamente associada. A criação é, portanto, limitada pelo obstáculo da materialidade. Nas palavras do filósofo:

A vida que evolui na superfície de nosso planeta está vinculada à matéria. Caso fosse pura consciência, com mais razão ainda supraconsciência, seria pura atividade criadora. Na verdade, está cravada em um organismo que a submete às leis gerais da matéria inerte. Mas tudo se passa como se fizesse todo o possível para libertar-se dessas leis. Não tem o poder de inverter a direção das mudanças físicas, tal como o princípio de Carnot a determina. Pelo menos se comporta absolutamente como o faria uma força que, abandonada a si mesma, trabalhasse na direção inversa. Incapaz de *deter* a marcha das mudanças materiais, consegue no entanto *retardá-la* (Bergson, 1907/2005, p. 267, grifo do autor).

Ao defender a técnica como um fenômeno biológico universal, Canguilhem propõe a solução ao problema do antropomorfismo impregnado tanto na concepção mecânica do organismo quanto na concepção teleológica do mundo, reconhecendo “o homem como continuidade com a vida por meio da técnica” (Canguilhem, 1952/2012, p. 138).

Parece-nos, então, que nos iludimos ao pensarmos expulsar a finalidade do organismo por assimilação deste último a uma composição de automatismos tão complexos quanto queiramos. Enquanto a construção da máquina não for uma função da própria máquina, enquanto a totalidade do organismo não for equivalente à soma das partes descobertas por uma análise, uma vez que esse organismo é dado, poderá parecer legítimo considerar a anterioridade da organização biológica como uma das condições necessárias à existência e ao sentido das construções mecânicas. Do ponto de vista filosófico, importa menos explicar a máquina do que compreendê-la. E compreendê-la é inscrevê-la na história humana, inscrevendo a história humana na vida, sem desconhecer, contudo, a aparição, com o homem, de uma cultura irreduzível à simples natureza (Canguilhem, 1952/2012, p. 129-130).

A máquina inscrita na cultura é uma percepção de Canguilhem, com a ressalva de que a relação entre a máquina e organismo deva ser o oposto daquela que Descartes defendeu. Em Descartes, encontramos o argumento - e Canguilhem o destaca - de que não existe diferença entre as coisas naturais e as artificiais⁹⁵.

[...] não vejo, efectivamente, nenhuma diferença entre as máquinas feitas pelos artesãos e os diversos corpos formados exclusivamente pela Natureza [a não ser que aqueles feitos pelas máquinas dependem apenas da disposição de certos tubos, molas ou outros instrumentos] e que são proporcionais às mãos daqueles que os fabricam, e como são sempre tão grandes as suas formas e movimentos podem ser facilmente percebidos; ao passo que os tubos ou molas que causam os efeitos nos corpos naturais são normalmente demasiado pequenos para que os sentidos os possam perceber. É verdade que todas as regras da Mecânica pertencem à Física, de modo que todas as coisas artificiais são, por isso, naturais. Por exemplo, quando um relógio marca as horas por meio das rodas que o compõem, isso não lhe é menos natural do que uma árvore produzir frutos (Descartes, 1644/1997, p. 274-275).

Anteriormente, Francis Bacon havia concebido que não há diferença entre o natural e o artificial⁹⁶, situando tal semelhança no âmbito da ontologia do mesmo modo que Descartes. Nas palavras de Bacon:

⁹⁵ O conceito de artificial assumido nesta investigação está alinhado à concepção do filósofo Paul Valéry, citado por Canguilhem (1945/2012, p. 126), “Artificial quer dizer que tende a um objetivo definido. Por isso, opõe-se a *vivo*. Artificial, humano ou antropomorfo se distinguem do que é somente vivo ou vital. Tudo o que chega a aparecer sob a forma de um objetivo nítido e acabado se torna artificial, e é a tendência crescente da consciência. É também o trabalho do homem quando este se aplica em *imitar* o mais exatamente possível um objeto ou um fenômeno espontâneo. O pensamento consciente de si mesmo se faz por si mesmo um sistema artificial. Se a vida tivesse um objetivo, ela não seria mais a vida (P. Valéry, *Cahier B*, 1910)”.

⁹⁶ Assim como o francês Descartes, os ingleses Francis Bacon e Thomas Hobbes são exemplos de filósofos da era moderna que compartilham a ideia de equiparar o natural e o artificial e recusam a utilização das causas finais na explicação dos fenômenos naturais. Para esses pensadores, os fenômenos devem ser analisados exclusivamente considerando suas causas eficientes (Hirata, 2018). Bacon e Hobbes não são mencionados na análise histórica de Canguilhem.

Classificamos a história das artes como um setor da história natural. Se tornou muito firme a opinião de que a arte seja algo diverso da natureza, e as coisas artificiais, das naturais. Disso decorreu o inconveniente de que muitos escritores de coisas naturais acreditam ter conseguido o seu propósito compondo uma história dos animais, dos vegetais e dos minerais, e omitindo os experimentos das artes mecânicas. Mas um prejuízo mais sutil se insinuou nas mentes: a arte é considerada apenas uma espécie de apêndice da natureza, cuja única função seria dar acabamento ao que a natureza apenas iniciou, ou secundá-la quando tende ao pior, ou liberá-la quando está impedida, mas nunca lhe competiria revolvê-la profundamente, transformá-la, sacudi-la até o fundo. Isso provocou uma desesperação precipitada nas coisas humanas. Pelo contrário, este outro princípio deveria ter penetrado a fundo nas mentes: as coisas artificiais não diferem das naturais pela forma ou essência, mas apenas pela causa eficiente. [...] Quando as coisas estão dispostas para a consecução de um determinado efeito, pouco importa que este seja conseguido pelo homem ou sem o homem (Bacon⁹⁷, 1623 *apud* Rossi, 1966, tradução nossa).

Canguilhem evoca o filósofo alemão Immanuel Kant, para confirmar sua tese de que organismos são irreduzíveis às máquinas⁹⁸. É possível constatar claramente a visão de Kant acerca dos seres organizados (organismos). Não podemos deixar de ver em Kant uma alternativa à concepção mecanicista de organismo naquele momento histórico, onde a Biologia estava prestes a emergir como ciência. O organismo é concebido como totalidade organizada, ou mais especificamente, auto-organizada. Podemos perceber também que a ideia de finalidade - as partes pensadas em função do todo - adquire nova conotação.

Num tal produto da natureza cada uma das partes, assim como só existe *mediante* as restantes, também é *pensada em função das outras* e por causa do todo, isto é, como instrumento (órgão). No entanto isto ainda não basta (pois que ela também poderia ser instrumento da arte e desse modo ser representada em geral somente como fim). Pelo contrário, quando um órgão *produz* as outras partes (por consequência cada uma produzindo reciprocamente as outras), não pode ser instrumento da arte, mas somente da natureza, a qual fornece toda matéria aos instrumentos (mesmo aos da arte). Somente então e por isso poderemos chamar a um tal produto, enquanto *ser organizado* e *organizando-se* a si mesmo, um *fim natural* (Kant, 1790/2012, p. 239, grifo do autor).

Em Kant, o conceito de finalidade da natureza, no que se refere a seus produtos, é fundamental para a faculdade de juízo, mas não à determinação dos objetos. A finalidade, então, seria um princípio subjetivo da razão para a faculdade

⁹⁷ BACON, Francis. **Historia vitae et mortis**, London: The Wellcome Library, 1623.

⁹⁸ Em 'Crítica da Faculdade do Juízo Teleológico' na segunda parte de *Kritik der Urteilskraft* (Crítica da Faculdade do Juízo) de Kant, especificamente o §65 intitulado 'As coisas como fins naturais são seres organizados'.

de juízo. Mesmo sendo tão somente regulativo, o filósofo alemão considera esse princípio conveniente para a nossa faculdade de juízo reflexiva, como se fosse um princípio objetivo (Kant, 1790/2012).

Acerca das entidades mecânicas, Canguilhem chama a atenção para o fato de que Kant faz uso de um exemplo recorrente em Descartes, o relógio de algibeira, porém com ênfase no que o afasta de um ser organizado (organismo) e não aquilo que os aproxima, como o fez Descartes.

Num relógio uma parte é o instrumento do movimento das outras, mas uma roda não é causa eficiente da produção da outra; uma parte existe na verdade em função de outra, mas não é através <durch> dessa outra que ela existe. Daí também que a causa produtora da mesma e da sua forma não esteja contida na natureza (desta matéria) mas fora dela, num ser que pode atuar segundo ideias de um todo possível mediante a sua causalidade. Daí também que uma roda no relógio não produza a outra, muito menos um relógio outro relógio, de forma que para tanto utilizasse outra matéria (a organizasse). Por isso ele também não substitui, pelos seus próprios meios, as partes que lhe são retiradas ou corrige sequer a sua falta na construção original, pela intervenção das restantes, ou se corrige a si mesmo depois de ter entrado em desordem. Ora, pelo contrário, podemos esperar tudo isto da natureza organizada. Um ser organizado é por isso não simplesmente máquina: esta possui apenas força motora <bewegende>; ele pelo contrário possui em si força formadora <bildende> e na verdade uma tal força que ele comunica aos materiais que não a possuem (ela organiza). Trata-se, pois, de uma força formadora que se propaga a si própria, a qual não é explicável só através da faculdade motora (o mecanismo) (Kant, 1790/2012, p. 240, grifo do autor).

Na Filosofia de Kant, somente pensando numa causa suprema (Deus) que atue intencionalmente é que se pode conceber o conceito de seres organizados e de mundo, representados por nós como produtos desse ser inteligente, de modo subjetivo, nunca de modo objetivo e dogmático, pois *não observamos* os fins da natureza como intencionais, “pensamos este conceito como fio condutor da faculdade do juízo” (Kant, 1790/2012, p. 269).

Do mesmo modo, somente no campo da razão, a união dos princípios da teleologia com o mecanismo pode ser utilizada para explicação dos seres organizados. Ambos os princípios, para Kant, “articulam-se, num e mesmo produto da natureza, num mesmo princípio superior e dele decorrem em conjunto, porque doutro modo não poderiam subsistir em conjunto na consideração da natureza” (Kant, 1790/2012, p. 284).

Quanto à explicação das máquinas, Canguilhem encontra primeiramente em Kant (§ 43 da ‘Crítica do Juízo estético’) e depois em outros autores o afastamento

entre técnica e operação intelectual humana, para sustentar sua defesa de aproximação entre Biologia e tecnologia no sentido inverso da relação tradicional máquina-organismo. O médico francês acredita que essa relação tenha sido produzida “por uma compreensão sistemática das invenções técnicas como comportamentos do vivente” (Canguilhem, 1952/2012, p. 136) e pode ser confirmada na medida em que o uso disseminado das máquinas pelas sociedades industriais contemporâneas lhes obrigou a tal mudança de postura.

Essa tese de Canguilhem é reforçada pela obra do sociólogo e filósofo Georges Friedmann (1902-1977) *Problèmes humains du machinisme industriel* (Problemas humanos da maquinaria industrial), de 1946. Segundo Canguilhem, este escrito “mostra com clareza quais foram as etapas da reação que reconduziu o organismo ao primeiro plano dos termos da relação máquina-organismo humano” (Canguilhem, 1952/ 2012, p. 136), em outras palavras, a constituição de uma técnica de adaptação das máquinas ao organismo humano aos moldes primitivos, a qual

[...] parece ser a redescoberta erudita de procedimentos totalmente empíricos por meio dos quais as tribos primitivas sempre buscaram adaptar suas ferramentas às normas orgânicas de uma ação a um só tempo eficaz e biologicamente econômica, ou seja, uma ação em que o valor positivo de apreciação das normas técnicas é situado no organismo a trabalho, defendendo-se espontaneamente contra toda subordinação exclusiva do biológico ao mecânico (Canguilhem, 1952/2012, p. 137).

Com o organismo em primeiro plano, a construção das máquinas em Canguilhem é compreendida em função da estrutura do corpo vivo. Essa visão pode ter contribuído para que o médico francês não chegasse a atribuir um caráter mecanicista (ou exclusivamente mecanicista) ao achado atribuído a Watson e Crick sobre a estrutura da molécula de DNA (1953). Seria um contrassenso a toda sua construção epistemológica em torno da concepção de vida.

Segundo Portocarrero, na segunda metade do século XX “a biologia dispõe na célula reprodutora aquilo que tinha sido, até então, reservado para o corpo em sua totalidade” (Portocarrero, 2009, p. 136). Ancorada na leitura de Dagognet, a autora esclarece acerca da mudança de escala, mas não de premissa, promovida pelo deslocamento da mecânica para a teoria da informação e da comunicação na concepção de vida.

Tão logo esteve ciente desse feito da ciência, Canguilhem o incorpora na obra *La nouvelle connaissance de la vie* (O novo conhecimento da vida) no texto *Le*

concept et la vie (O conceito e a vida), em 1966, reconhecendo que a Biologia passa a utilizar novos conceitos, advindos da teoria da linguagem e da teoria das comunicações, para constituir o conhecimento da vida.

Num primeiro momento, a físico-química apreende este fenômeno em seu aspecto material, sempre presente; mas, num segundo momento, ele lhe escapa, porque isto significa uma informação que continua instaurando uma ordem, constituída de uma seqüência nucleica regular ou de uma combinação individualmente especificada; a vitalidade não pára de se auto-regular (Portocarrero, 2009, p. 137).

Essa elaboração teórica expressa por Portocarrero, proveniente das ideias de Francois Dagognet⁹⁹ (1924-2015), pode ser considerada mais uma ratificação de que Canguilhem não rejeita sua tese original de que a partir do estabelecimento de valores, cada vivente desenvolve e instaura suas próprias normas em relação ao meio - a vida continua sendo considerada uma atividade normativa. O que ocorre, com efeito, é sua constatação da mudança de escala nos estudos biológicos e uma reorientação da sua Filosofia.

A tese de Canguilhem, que antes considerava as interações macroscópicas/fisiológicas entre o vivente e seu meio, passa a conceber as relações entre o código genético do vivente e o meio celular e extracelular. Em Canguilhem, vemos, portanto, uma aproximação com o que conhecemos como reducionismo genético, mas um afastamento da concepção que considera o organismo como um artefato mecânico. Talvez numa tentativa de manter a vitalidade do seu 'vitalismo'.

Ao contrário, não é difícil depreender que os adeptos do modelo mecanicista para explicação dos organismos vivos viram na aproximação da Biologia com a teoria da comunicação/informação uma possibilidade de reforço da metáfora do *organismo como máquina* numa nova manifestação. A identificação da estrutura helicoidal do DNA e a elaboração do dogma central da Biologia, estão relacionadas ao conceito de *programa genético* o qual, segundo Daniel J. Nicholson (2014b), é considerado uma submetáfora da concepção do *organismo como máquina*.

Outra discussão importante no bojo do *organismo como máquina* desenvolvida por Nicholson (2019) é a visão mecanicista da célula viva, metáfora denominada por ele de *modelo mecânico de célula*. Para além de um modelo

⁹⁹ Filósofo francês, aluno de Canguilhem, que atribuiu ao mestre a qualificação de vitalista.

didático que estabelece comparações de células com máquinas, essa metáfora pode suscitar problemas conceituais relacionados à estrutura e funcionamento da célula.

A mensagem codificada localizada no DNA contém as informações biológicas, a célula concebida como uma máquina contém o DNA. Quais as implicações dessas elaborações reducionistas no contexto das Ciências da Vida? A Biologia Sintética parece ter feito bom proveito dessas construções, o que torna a metáfora *organismo como máquina* uma questão muito atual.

5.2 A INFORMAÇÃO NO CONTEXTO BIOLÓGICO: O PROGRAMA GENÉTICO COMO SUBMETÁFORA DO ORGANISMO COMO MÁQUINA

A metafísica, que se mostrou presente em muitas construções teóricas de associação entre o organismo e a máquina, ao que parece, foi afastada da discussão a partir do momento em que essa conexão organismo-máquina se constituiu a base da ciência Cibernética e, ainda mais, quando a Cibernética se aproximou da Biologia Molecular e Genética. Reforçando a tese do *organismo como máquina* sob novas bases, a informação passou a ser interesse da Biologia na explicação do organismo vivo por meio do seu programa genético.

Contudo, o próprio conceito de informação não é absoluto. Basta olhar para a história e para a atualidade e constatar que existem diversos conceitos de informação que integram teorias das mais variadas áreas do conhecimento. De qualquer modo, a submetáfora do *programa genético* (Nicholson, 2014a) popularizada em meados de 1960 por Monod e Jacob como responsável pela vida das células, precisa ser elucidada no contexto desta investigação. A informação no contexto biológico se constitui um dos caminhos para compreender a célula mínima como produto da Biologia Sintética, que lida diretamente com genes projetados num computador. A máquina não saiu de cena!

A máquina mecânica cartesiana, hegemônica nas explicações científicas e filosóficas pelo menos até o século XVIII; a máquina a vapor da Revolução Industrial, tomada como inspiração ao desenvolvimento da Cibernética; o computador, máquina eletrônica que processa informações, aliada da síntese biológica, dentre inúmeras outras funções. Matéria, energia, informação associadas às suas respectivas máquinas ao longo da história da ciência, estiveram/estão relacionadas ao estudo do organismo vivo.

Esta seção trata da informação como um elemento tomado no âmbito biológico. Considerando que todas as tentativas de aproximação às compreensões acerca da dinâmica dos organismos vivos me levaram à informação biológica¹⁰⁰, abordá-la tornou-se fundamental. Isso não significa adesão ao progresso linear da Biologia que desemboca na compreensão da vida como informação codificada nos genes e na concepção estanque de célula como unidade morfofisiológica dos seres vivos, cujos processos dependem das moléculas produzidas pelas instruções de determinado gene.

Segundo Keller (2002), o dogma central da Biologia Molecular levou a associações de imagens questionáveis, como, por exemplo, o DNA com um programa genético. Desse modo, o dogma central da Biologia Molecular precisa ser discutido/problematizado. Os pressupostos epistemológicos fleckianos que me levaram a pensar a célula como um objeto de estudo histórico-epistemológico me mobilizam nesse sentido. Além disso, numerosas pesquisas teóricas desenvolvidas por pensadores sistêmicos também podem integrar a construção e/ou reelaboração de conceitos biológicos. Estas se contrapõem ao modelo de fluxo da informação no interior da célula como suficiente para explicar a estrutura, a organização, o metabolismo dos seres vivos.

Questões científicas, filosóficas, históricas e sociológicas permeiam a metáfora do *programa genético*. Nicholson evidencia a onipresença dessa metáfora nos livros didáticos de Biologia, na literatura técnica, nas obras de divulgação científica e até mesmo na concepção de alguns filósofos da Biologia (Nicholson, 2014a). O autor esclarece as origens dessa metáfora, citando os biólogos envolvidos e seus críticos:

¹⁰⁰ As concepções de vida em Canguilhem e sua própria concepção de vida; os estilos de pensamento sobre o fenômeno vida em Bertoni; a metáfora do *organismo como máquina*.

Esta noção, proposta simultaneamente por Jacob e Monod (1961) e Mayr (1961), “passou a ser amplamente considerada como um conceito explicativo fundamental para o desenvolvimento biológico, se não o conceito fundamental” (Keller, 2000a, p. 74). Ao explicar as motivações para a sua formulação, Jacob (1973, p. 9) reconheceu claramente a ligação ao MCO: “O programa é um modelo emprestado dos computadores eletrônicos. Ele iguala o material genético de um ovo à fita magnética de um computador. Segundo Jacob, “tudo leva a comparar a lógica da hereditariedade com a de um computador. Raramente um modelo sugerido por uma época específica provou ser mais fiel” (Jacob, 1973, p. 265). Mayr (1982, p. 55) não foi menos explícito: ‘Todos os organismos possuem um programa genético historicamente evoluído, codificado no DNA do núcleo do zigoto [...] Nada comparável a ele existe no mundo inanimado, exceto os computadores feitos pelo homem.’. Nas palavras de Mayr (1997, p. 123), “o programa genético é o fator subjacente a tudo o que os organismos fazem. Desempenha um papel decisivo na definição da estrutura de um organismo, do seu desenvolvimento, das suas funções e das suas atividades” (Nicholson, 2014a, p. 164, tradução nossa).

No clássico livro *The century of the gene* (O século do gene) publicado no início deste século, Keller considera o programa genético uma das inovações linguísticas mais notáveis no campo da Biologia Molecular, já considerado um (ou o) principal conceito explicativo para o desenvolvimento biológico. A autora argumenta que a introdução desse termo “estabelece uma distinção crucial entre a genética clássica e a genética molecular, e tem desfrutado de uma enorme popularidade desde então” (Keller, 2002, p. 29).

A autora identifica os textos dos biólogos Jacob e Monod como os primeiros a utilizarem o termo ‘programa’ em Biologia Molecular, não no sentido de um programa para o desenvolvimento, mas um programa contido no genoma. A metáfora de um programa se popularizou com grande velocidade e “tinha ressonâncias poderosas com desenvolvimentos recentes na ciência da computação e, o mais importante de tudo, ela podia englobar o novo trabalho sobre regulação gênica” (Keller, 2002, p. 32). Keller destaca a concepção que Jacob tem de organismo e sua crença de que o programa genético explicaria o problema do desenvolvimento.

Jacob descreveu o organismo como “a realização de um programa receitado por sua hereditariedade”. Ainda mais, ele argumentava, “quando a hereditariedade é descrita como um programa codificado em uma seqüência de radicais químicos, o paradoxo (do desenvolvimento) desaparece. Jacob via o programa genético, escrito no alfabeto de nucleotídeos, como a fonte da intencionalidade aparente do desenvolvimento biológico (Keller, 2002, p. 32)

As estratégias reducionistas da Biologia Molecular costumam ser contestadas pelos adeptos da Biologia de Sistemas teórica. De um modo geral, pode-se considerar que a “biologia molecular é descrita como um campo que estuda, de modo isolado, elementos e vias moleculares, enquanto a biologia de sistemas integra as peças do quebra-cabeça no contexto do sistema como um todo” (Green, 2022, p. 5, tradução nossa).

Embora estabeleça aproximação entre a corrente pragmática da Biologia de Sistemas e a Biologia Molecular, Green comenta que a Biologia de Sistemas pode reformular a máxima de Aristóteles, no contexto da Biologia contemporânea. Os sistemas vivos seriam mais e menos do que a soma das partes. Em outras palavras, “o sistema como um todo restringe o grau de liberdade das partes de nível inferior e fornece uma organização funcional destas que são necessárias para algumas capacidades do sistema” (Green, 2022, p. 5, tradução nossa). A autora elucida a questão no interior da Biologia dos Sistemas:

Os proponentes da *teoria dos sistemas* veem a biologia de sistemas como uma oportunidade para reviver importantes questões teóricas que durante meio século permaneceram na sombra do sucesso da biologia experimental. Exemplos de tais questões são o que caracteriza os sistemas vivos e se os princípios organizacionais genéricos podem ser identificados. Em contraste, a *corrente pragmática* vê a biologia de sistemas como uma sucessora da genômica e como uma poderosa extensão da biologia molecular (Green, 2022, p. 1, tradução nossa, grifo da autora).

A despeito destas diferenças, o enfoque sistêmico tem se mostrado importante para biólogos que relativizam a extrema importância habitualmente atribuída aos genes nos processos biológicos. Um desses biólogos, Jorge Mpodozis¹⁰¹, entende os organismos como sistemas históricos e questiona firmemente a ideia de um programa genético.

¹⁰¹ Neurobiólogo chileno, estuda fenômenos perceptuais e cognitivos em vertebrados. É reconhecido por desenvolver importantes reflexões epistemológicas acerca da natureza sistêmico/histórica dos organismos em seu viver. Em conjunto com Humberto Maturana, é coautor de uma abordagem evolutiva denominada Deriva Natural (Vaz *et al.*, 2011, p. 203).

[...] os genes carregam a informação? Podemos mesmo dizer que tudo o que resultou nesse processo histórico está contido nos genes? Isso violaria essa condição constitutiva *sistêmica* e *histórica* do viver. Corresponde a supor que o que é próprio ao sistema pertence a um componente que contém as propriedades do sistema. E isso não pode se passar assim. Se houvesse um sistema que tem componentes tais que contém as propriedades da totalidade, estaríamos falando de outra coisa, não de um sistema (Mpodozis, 2011, p. 41, grifo do autor).

Mpodozis apresenta, inclusive, uma visão mais radical que a de Maturana e Varela quanto à informação nos sistemas vivos. Maturana e Varela reconhecem a informação genética como elemento importante para a constituição da estrutura celular, porém a especificação do ser vivo é dada pela rede de interações autopoieticas, na qual o DNA é um dos seus componentes. Mpodozis, ao contrário, chega a reivindicar “o direito a uma biologia livre do conceito de informação”¹⁰² (Mpodozis, 2011, p. 44).

Para o autor, este conceito não possui valor operacional no contexto da Biologia. Seria metafórico e metafísico, uma vez que quando se conhece os processos nos sistemas biológicos, recorrer à noção de informação torna-se desnecessário. No intuito de esclarecer sua recusa à aplicação do conceito de informação na Biologia, o biólogo chileno utiliza uma analogia didática do sistema chave-fechadura e a noção de gene, que em nada lembra o conceito molecular clássico.

¹⁰² Naturalmente, Mpodozis se respalda na sua própria elaboração do conceito de informação: uma metáfora que usamos quando não sabemos qual é a matriz de operações sob condições que usamos quando queremos nos referir a situações de complementaridade estrutural – e não se sabe qual é a matriz estrutural sob a qual essa relação de complementaridade ocorre (Mpodozis, 2011, p. 44).

Quando dizemos que o DNA codifica as proteínas, o que estamos dizendo? Estamos pronunciando: “A chave abre a fechadura”. Não obstante, se isolo o DNA e o coloco em um frasco, está-se codificando algo? Em que momento isso se torna um código? Em que ocasião esta chave que trago na mão é um código para a fechadura? No momento em que está inserida numa matriz estrutural em particular, porque, se a coloco em outra fechadura, não há informação. Ela aparece no momento em que introduzo a chave na fechadura que pode abrir. Então, onde está a importância: no componente que digo “codificador” – porque a este, frequentemente, se dá uma atenção preferencial –, ou à matriz estrutural na qual esse componente opera com tal? Afinal de contas, é possível separar o DNA de toda a maquinaria proteica, metabólica de maturação pós-transcricional que determina o efeito sobre o conjunto metabólico que tem o DNA? Quando falamos modernamente de um gene, já não falamos de uma partícula hereditária; quer dizer, um gene é uma espécie de *processo* molecular, não tem a ver com moléculas particulares enfileiradas sobre os cromossomos (Mpodozis, 2011, p. 43).

Por meio do entendimento sobre a reprodução como um processo sistêmico, Mpodozis reconhece a relação íntima e necessária do material genético com os demais elementos constituintes da célula, responsáveis pelo metabolismo. Todos os componentes participam da reprodução da célula, de modo que “quando a célula se reproduz, está se reproduzindo um sistema, ou seja, uma trama de relações, uma matriz de relações entre componentes” (Mpodozis, 2011, p. 48).

[...] se tenho ácidos nucleicos, posso ter um metabolismo que pode ser estável e, ademais, que pode ser herdável, porque, se herdo o material nuclear, vou herdar uma rede proteica que especifica uma dinâmica metabólica particular. Mas isso não torna o DNA responsável pela herança. Evidentemente, o DNA participa da reprodução, mas todos os outros componentes celulares também participam. Se deixássemos todas as mitocôndrias de um lado, mesmo que os genes se reproduzissem, não haveria divisão celular. As linhagens são estáveis como consequência de uma estabilidade metabólica. A rede proteica que faz o metabolismo conserva-se; e o DNA faz parte da conservação transgeracional dessa rede (Mpodozis, 2011, p. 43).

Na mesma linha de pensamento de Maturana, Varela e Mpodozis, expressamente contrária ao reducionismo genético, Keller também suprime o protagonismo do material genético e o condiciona ao metabolismo celular. Segundo a autora, a estabilidade genética e a autorreplicação seriam produtos de um processo celular dinâmico e complexo.

A estabilidade da estrutura do gene [...] surge não como um ponto de partida, mas como o resultado final de um processo dinâmico finamente orquestrado que requer a participação de um grande número de enzimas organizadas em redes metabólicas complexas que regulam e asseguram tanto a estabilidade do DNA quanto sua fidelidade na replicação (Keller, 2002, p. 12).

A definição de Kant acerca do organismo (seres organizados), explica Keller, faz a primeira referência ao termo ‘auto-organizado’ com relação aos seres vivos¹⁰³, ou seja, a dinâmica interna da natureza é responsável por sua própria organização. No final do século XVIII e início do século XIX, parecia esclarecido que “nem o acaso cego nem um mero mecanismo e certamente nenhuma máquina então disponível, podia recriar as propriedades autogeradoras e auto-organizadoras da vida que eram tão manifestas nos seres vivos reais” (Keller, 2002, p. 41).

Logo, no século de Kant, não teria nenhum artefato mecânico, nenhum autômato com a capacidade de ‘imitar’ o organismo vivo. Em meados do século XX, o desenvolvimento do computador eletrônico e a emergência da Cibernética possibilitaram a construção de máquinas fundamentadas nos princípios de causalidade circular, artefatos que seriam dotados de intencionalidade, equivalentes a seres vivos nos seus processos.

Keller chama a atenção para o fato de que um princípio encontrado na Cibernética, a causalidade circular, coincide com o que foi utilizado por Kant para definir o organismo, no qual “um produto organizado da natureza é aquele em que tudo é fim e reciprocamente meio. Nele nada é em vão, sem fim ou atribuível a um mecanismo natural cego” (Kant, 1790/ 2012, p. 242).

No entanto, a concepção genecêntrica da vida tomou espaço na segunda metade do século XX, de modo que se deu, de acordo com Nicholson (2014b), o desaparecimento do organismo como um conceito explicativo na Biologia. O autor atribui essa consequência teórica para as Ciências da Vida a dois eventos que, historicamente, definiram a Biologia do século XX,

¹⁰³ Esta definição pode ser encontrada na seção 5.1 deste capítulo.

[...] a Síntese Moderna da evolução e a revolução da biologia molecular. A Síntese Moderna combinou a seleção natural darwiniana com a genética mendeliana na forma de genética populacional, que foi usada para reunir muitos aspectos da anatomia comparativa, sistemática, ecologia e paleontologia sob um conjunto comum de princípios explicativos. A biologia molecular adotou as novas técnicas analíticas da biofísica e da bioquímica na tentativa de explicar - fazendo uso de ideias que surgem na cibernética, na teoria da informação e na ciência da computação - todos os principais fenômenos celulares em termos das propriedades estruturais das macromoléculas. Tomados em conjunto, estes dois desenvolvimentos resultaram numa visão assumidamente genecêntrica da vida. Tal visão não deixava espaço para uma consideração independente do organismo, que era visto como nada mais do que um epifenômeno dos seus genes (Nicholson, 2014b, p. 348, tradução nossa).

Antes, porém, como mencionado no Segundo Capítulo, a corrente filosófica da Biologia denominada organicismo emergiu no início do século XX como crítica ao reducionismo extremo mecanicista. Nicholson comenta que, para os organicistas, a categoria fundamental da biologia sobre a qual qualquer teorização sobre a vida deveria ser apoiada é o organismo. Após décadas de ocultamento, o autor evidencia, de modo otimista, o retorno do organismo como um conceito explicativo central na Biologia e sugere que a corrente organicista possa estar reemergindo na filosofia da biologia. Essa nova versão do organicismo, teria a incumbência de “reunir as perspectivas suborganísmicas e supraorganísmicas, a fim de facilitar a eventual formulação de uma estrutura teórica geral para a biologia que faça plena justiça às todas as características próprias da vida” (Nicholson, 2014b, p. 356, tradução nossa).

Nicholson fundamenta sua constatação, citando publicações desde o início dos anos 2000 que analisam o conceito de organismo como papel unificador na biologia e atribui causas para a reemergência do organismo neste século.

Embora ninguém duvide que o século XX será lembrado como “O Século do Gene” cada vez mais biólogos e filósofos têm clamado por “Uma Nova Biologia para um Novo Século” que irá restabelecer o organismo de volta ao palco central da teoria biológica. Podemos distinguir três causas principais para o atual ressurgimento do organismo. A primeira foi a constatação de que *o quadro teórico da Síntese Moderna não proporciona uma compreensão completa ou totalmente satisfatória do processo evolutivo*. A segunda é *a crescente consciência dos limites das abordagens reducionistas na biologia molecular e na biologia de sistemas*. E o terceiro tem sido *o interesse renovado na natureza da vida como um problema básico na biologia teórica* (Nicholson, 2014b, p. 348, tradução nossa, grifo nosso).

Keller expressa razões históricas mais específicas da Biologia Molecular pelas quais o modelo hegemônico de explicação das propriedades dos seres vivos se estabeleceu como um recurso ao programa genético. Um dos motivos para o estabelecimento do que chamamos de reducionismo genético, apontados pela autora, teria sido o modo como a ativação gênica foi abordada na pesquisa de Francois Jacob e Jacques Monod.

Os mecanismos envolvidos na regulação gênica em bactérias foram denominados pelos biólogos franceses de ‘mecanismos regulatórios genéticos’ e não ‘mecanismos de regulação dos genes’. Com essa expressão, “eles sugeriam que tais mecanismos eram também genéticos, deixando de lado qualquer noção de que os genes poderiam depender de fatores não genéticos para instruções sobre como e onde agir” (Keller, 2002, p. 32).

A autora salienta que, embora existissem outras pesquisas na época que buscassem compreender a ativação gênica pautadas em estudos citológicos ou genéticos da Biologia do Desenvolvimento¹⁰⁴, o entusiasmo dos geneticistas se deu a partir das investigações bioquímicas e genéticas da adaptação bacteriana desenvolvidas por Jacob e Monod, que resultou num modelo de grande influência para explicar a regulação da atividade gênica.

Segundo Keller, o biólogo inglês Waddington era um dos maiores representantes da concepção desenvolvimental na Genética, mas possuía pouca influência entre os geneticistas.

¹⁰⁴ Keller cita as pesquisas de Conrad Hal Waddington (1905-1965) e Wolfgang Beermann (1921-2000). O trabalho citológico de Beermann e seus colegas, na década de 1950 e a pesquisa de Waddington em genética do desenvolvimento/fisiologia do desenvolvimento na mesma época, buscavam conexões entre a Embriologia e a Genética. O grupo de Beermann concluiu que os genes são sujeitos à ativação diferencial em células com diferentes funções, fato importante para a relação entre a genética e o desenvolvimento.

Segundo Keller, Waddington era um dos maiores representantes da concepção desenvolvimental na Genética, mas possuía pouca influência entre os geneticistas. Waddington defendeu que o estudo dos estados estacionários de redes de processos metabólicos poderia favorecer a compreensão do tipo de sistema analisado (Keller, 2002)

[...] pode ser dito que suas contribuições são melhor apreciadas hoje em dia do que eram então. Em sua vida, Waddington foi meio alienado. Com um pé na genética, outro na embriologia, ele nunca pertenceu à linha central dessas disciplinas; nem era um participante ativo do campo da biologia molecular. Mais ainda, como um seguidor comprometido de Alfred North Whitehead, ele era um crítico perene do que ele chamava "a teoria genética dos genes", procurando através de sua vida suplementar essa teoria como uma "teoria epigenética", mais dinâmica e orientada para processos. Finalmente, Waddington tinha uma inclinação para a especulação teórica que era manifestamente fora de compasso com as disposições mais estritamente empíricas de seus contemporâneos (Keller, 2002, p. 31).

Conforme o argumento de Keller, outro motivo relevante para a instituição de um programa genético como responsável pela informação que determina as propriedades da célula/organismo teria sido a diferença dos objetivos das duas novidades que se mostravam na metade do século XX, no contexto da Segunda Guerra Mundial. Enquanto o computador eletrônico, isoladamente, foi desenvolvido para o processamento de dados produzidos pela tecnologia bélica, a Ciência Cibernética enfatizava princípios de organização/auto-organização a partir da prática de Wiener e colaboradores na produção de servomecanismos, artefatos automatizados de controle de tiros na artilharia antiaérea (autodirigidos e orientados para objetivos)¹⁰⁵.

A metáfora do *programa genético* de Jacob teria se aproximado da visão computacional (também presente na Cibernética) e se afastado da auto-organização/ autorregulação Cibernética, conforme elucida Keller:

Sua metáfora de um programa, foi tirada diretamente da modelo original de Turing¹⁰⁶ de um computador ([...] ele comparava o material genético à fita magnética do computador), mas a idéia de uma máquina intencional, ele tomou da visão cibernética de Wiener. A dificuldade está em que, ao localizar este programa no genoma, muito da visão cibernética de busca-de-objetivos e auto-organização foi perdida. E também foi perdido o reconhecimento da importância da confiabilidade e com ela, uma apreciação dos tipos de princípios organizadores que seriam necessários para manter tal confiabilidade (Keller, 2002, p. 42).

¹⁰⁵ Ao mesmo tempo em que atuava como professor no Massachusetts Institute of Technology (MIT), Wiener participava de encontros da escola de Medicina de Harvard no início da década de 1940, período em que teve contato com as ideias dos fisiologistas Walter Cannon (criador do conceito de homeostase) e Arturo Rosenblueth. A partir dessas discussões, Wiener desenvolveu suas concepções iniciais sobre a Cibernética (Vasconcellos, 2013).

¹⁰⁶ No artigo *Computing machinery and intelligence*, de 1950 Alan Turing (1912-1954) propôs a seguinte questão: "Podem as máquinas pensar?". Atualmente, o conceito de *máquina de Turing*, criado em 1936, figura na matemática, na ciência da computação, nas ciências cognitivas, na biologia teórica e em outras áreas do conhecimento. O artigo descreve o chamado "teste de Turing"

Estamos cercados por essa metáfora e pelo significado biológico da informação codificada materialmente no DNA/genes como se este fosse o único caminho para explicar os organismos vivos. Mas o que é informação? Onde está a informação? Como e em que momento a informação passou a ser um conceito significativo na Biologia? É fundamental esclarecer sobre o significado desse conceito, tão popular no século atual, utilizado em áreas de estudo muito diversificadas, como exemplo, a Linguística, Ciências da Computação, Biologia, Física, Cibernética.

Um dos caminhos para que a informação se aproximasse da Biologia foi seu uso na Ciência Cibernética, ainda que a confluência com esta ciência não tenha se destacado naquele momento histórico, dada a preferência de Jacob e Monod pela associação do material genético ao computador, na elaboração do modelo explicativo da regulação gênica. Anos mais tarde, uma reformulação da Cibernética (Cibernética de Segunda Ordem) influenciou diretamente a teoria da autopoiese, conforme explicitado na seção 2.3.1.

O físico americano Robert K. Logan¹⁰⁷, ao apresentar sua investigação acerca da natureza da informação, adverte que “não é um conceito simples e direto, mas uma noção muito escorregadia, usada de muitas maneiras diferentes e em muitos contextos diferentes” (Logan, 2012, p. 8). O autor acrescenta que, em termos linguísticos e gramaticais, o termo ‘informação’ é um substantivo (coisa), porém, efetivamente, descreve um processo, tal como um verbo.

A ampla abordagem da informação nos sistemas bióticos desenvolvida por Logan, por sua abrangência e historicidade, contempla aspectos que podem ser relevantes à análise do que ocorre nas células naturais e nas células artificiais, sob o olhar da epistemologia fleckiana. Com efeito, a teoria da propagação da organização, desenvolvida por Logan e outros pesquisadores (Kauffman, Goebel, Hobill e Shmulevick) no ano de 2007 me pareceu constituir-se uma contraposição pertinente ao *programa genético* como definidor absoluto dos atributos dos seres vivos, para além da teoria da autopoiese, habitualmente conduzida a essa

e constitui a pedra angular da teoria da inteligência artificial. Turing também produziu sozinho um plano bastante avançado para a fabricação e uso de um computador eletrônico, do qual construiu várias versões. *A máquina de Turing* é uma máquina universal de computar, raciocinar, calcular e, segundo seu criador, até mesmo capaz de pensar (Alonso, 2008, p. 2, grifo do autor)

¹⁰⁷ A opção por esse autor justifica-se pela ampla abordagem que Logan (1939-) apresenta sobre o conceito de informação, inclusive em termos históricos. Logan concebe a informação como propagação em diferentes esferas - os sistemas bióticos e os sistemas simbólicos (linguagem, cultura, mente).

incumbência e anteriormente indicada como uma possibilidade para a concepção de vida nessa investigação.

Ao tratar do desenvolvimento histórico do conceito de informação, Logan pontua que no século XX emergem duas concepções, “a noção de informação como algo que possa ser ‘armazenado em’, transferido ou comunicado a um objeto inanimado e a noção de informação como uma quantidade definida matematicamente” (Logan, 2012, p. 26). Antes disso, contudo, o sentido era imaterial ou abstrato.

O autor recorre à etimologia expressa no *OED (Oxford English Dictionary)* no século XIV, advertindo que o termo deriva do latim por meio do francês, unindo a palavra ‘informar’, que significa ‘dar uma forma para a mente’, ao sufixo ‘ção’, que significa ‘ação’. Informação representava nesse contexto, ‘treinamento ou moldagem da mente’. No século XV, foi acrescentado ao termo ‘informação’ mais uma característica, ‘comunicação do conhecimento’.

Avançando para o século XX, o conceito de informação é originalmente atribuído ao engenheiro e matemático estadunidense Claude Elwood Shannon (1916- 2001), como uma mensagem enviada por um emissor a um receptor, na sua teoria da informação divulgada no ano de 1948 no artigo intitulado *A Mathematical Theory of Communication*. Shannon introduziu o conceito de entropia da informação (entropia de Shannon), o que levou à matematização do processo, definindo-a como a medida da redução da incerteza para um receptor, codificada por um código alfanumérico (Logan, 2012). A entropia, no modelo matemático de Shannon, seria a medida da informação, o conhecido *bit*, *binary digit* (dígito binário).

Logan explica a relação de oposição entre entropia e informação, no sentido de uma entropia negativa, uma vez que “a aquisição da informação causa um aumento da entropia maior do que a diminuição da entropia representada pela informação” (Logan, 2012, p. 30), em outros termos, ele evoca o físico-químico estadunidense Gilbert Newton Lewis (1875-1946) quando afirma que um ganho na entropia significa uma perda da informação.

O físico austríaco Erwin Schrödinger¹⁰⁸ (1887-1961), no seu clássico estudo teórico sobre o que é a vida, em *What is life?* (1944) teria sido o primeiro a expressar

¹⁰⁸ Schrödinger associou a origem da vida com as condições físicas e químicas existentes naquele momento, propondo que a origem tenha sido uma decorrência do estado do planeta. O livro introduz

a noção de entropia negativa, responsável pela “maravilhosa faculdade do organismo vivo, pela qual ele atrasa o decaimento no equilíbrio termodinâmico (morte)” (Schrödinger, 1944/1997, p. 80), o que pode ser visto como uma conciliação da Termodinâmica com a teoria da informação (ou teoria matemática da comunicação).

Todo processo, evento, ocorrência -chame-se-lhe como se quiser - numa palavra, tudo o que acontece na Natureza significa um aumento da entropia da parte do mundo onde acontece. Assim, um organismo vivo aumenta continuamente sua entropia - ou, como se poderia dizer, produz entropia positiva - e, assim, tende a se aproximar do perigoso estado de entropia máxima, que é a morte. Só posso me manter distante disso, isto é, vivo, através de um processo contínuo de *extrair entropia negativa do ambiente*, o que é algo muito positivo, como já veremos. Um organismo se alimenta, na verdade, de *entropia negativa*. Ou, exprimindo o mesmo de modo menos paradoxal, o essencial no metabolismo é que o organismo tenha sucesso em se livrar de toda a entropia que ele não pode deixar de produzir por estar vivo (Schrödinger, 1944/1997, p. 79, grifo nosso).

Logan comenta que na Cibernética, Wiener assume, tal como Shannon, a informação como propriedade física relacionada com a entropia. Considerando a predisposição natural dos sistemas passarem para estados de maior entropia (maior desordem), Wiener considera informação como entropia negativa, por influência de Schrödinger. Em outras palavras, ele considera que nos sistemas da natureza, “quanto mais aumenta a entropia, menor a quantidade de informação que temos sobre o sistema e, conseqüentemente, entropia é a informação negativa, ou vice-versa, informação é o negativo da entropia” (Logan, 2012, p. 32).

Com a famosa frase “Informação é informação, não matéria ou energia” (Wiener, 1948/1961, p. 132, tradução nossa), o matemático americano confere à informação um *status* que difere do meio material e da energia do sistema. Para Wiener, informação “designa o conteúdo daquilo que permutamos com o mundo exterior ao ajustar-nos a ele, e que faz com que nosso ajustamento seja nele percebido” (Wiener, 1954/1965, p. 19). Segundo o autor, os ciclos de retroalimentação (*feedback*) significam uma luta permanente contra a entropia dos sistemas, ou seja, “o processo de receber e utilizar informação é o processo de

ainda a ideia de um cristal aperiódico que continha a informação genética armazenada pelas diferentes configurações de ligações químicas, o que estimulou a busca para desvendar a estrutura química do DNA (ácido desoxirribonucleico, macromolécula biológica), sendo por isso considerado a base para o desenvolvimento dos fundamentos moleculares da vida, ou, simplesmente, *Biologia Molecular* (Galante *et al.*, 2016).

nosso ajuste às contingências do meio ambiente e de nosso efetivo viver nesse meio ambiente” (Wiener, 1954/1965, p. 19).

Retomando a questão da natureza da informação nos sistemas biológicos (ou bióticos), Logan comenta que pouco tempo após a formalização do conceito por Shannon (1948), o qual revela ter sofrido influência de Wiener, o termo ‘informação’ passa a fazer parte do vocabulário de biólogos, conforme citado pelo OED (*Oxford English Dictionary*) no ano de 1953 em referência ao trabalho de Watson e Crick¹⁰⁹: *Em uma molécula longa são possíveis muitas permutações diferentes. Logo, parece provável que a exata sequência de bases no código seja portadora da informação genética* (Logan, 2012, p. 42).

Em trabalho desenvolvido com outros pesquisadores no ano de 2007 intitulado *Propagating organization: an enquiry* (Propagação da organização: um estudo) Logan esclarece que o argumento principal do grupo é acerca de uma constatação: a informação de Shannon não se aplica à evolução da biosfera, pois

a informação de Shannon requer que uma distribuição de probabilidade pré-estabelecida (frequência interpretada) seja bem definida em relação ao conjunto de mensagens, a partir do qual a sua entropia pode ser calculada. Mas se as pré-adaptações darwinianas não podem ser pré-estabelecidas, então o cálculo da entropia não pode ser realizado antecipadamente no que diz respeito à distribuição das características dos organismos na biosfera. Isto, acreditamos, é uma condição suficiente para afirmar que a informação de Shannon não descreve o conteúdo da informação na evolução da biosfera (Kauffman *et al.*, 2007, p. 34, tradução nossa).

Outras dificuldades estão relacionadas à informação de Shannon e os sistemas bióticos em evolução, como a pergunta sobre qual seria a fonte da informação. Os autores discorrem:

¹⁰⁹ Conforme já explicitado, embora Watson e Crick tenham recebido todo o reconhecimento por publicarem os resultados da pesquisa, ocorreu um trabalho coletivo, pois propuseram um novo modelo com base em modelos anteriores. A refutação feita por Rosalind Franklin do modelo de tripla hélice apresentado por Linus Pauling para a estrutura do DNA e sua especulação sobre um número par de fitas do DNA foram adotadas por Watson e Crick (Souza; Aires, 2022, p. 26).

Comece na origem da vida, ou no último ancestral comum. Qual é a fonte de algo como “mensagens” que estão sendo transmitidas no processo de evolução a partir dessa fonte? A resposta não é totalmente clara. Além disso, qual é o canal de transmissão? A vida terrestre contemporânea é baseada em DNA, RNA e proteínas através do código genético. Não é suficiente afirmar que o canal é a transmissão do DNA de uma geração para a seguinte. Em vez disso, teríamos de dizer que o verdadeiro “canal” envolve ciclos de vida sucessivos de organismos inteiros. Para os organismos sexuais, isso envolve a geração do zigoto, o desenvolvimento do adulto a partir desse zigoto, o acasalamento desse adulto com um parceiro e um ciclo de vida adicional. Portanto, parte de uma resposta sobre o que poderia ser o “canal” é que o óvulo fertilizado é um canal com a informação de Shannon para produzir o adulto subsequente. Mas descobriu-se que mesmo que todas as orientações de todas as moléculas no zigoto fossem utilizadas, não há capacidade de informação suficiente para armazenar a informação para produzir o adulto (Kauffman *et al.*, 2007, p. 35, tradução nossa).

Kauffman e colaboradores ressaltam que a evolução da biosfera não está relacionada à transmissão de informação a partir de alguma fonte por meio de um canal, mas a co-construção permanente, através da propagação da organização, da variação hereditária e da seleção natural da biosfera. Para os sistemas vivos, esse estudo definiu um tipo de informação denominada *informação instrucional ou biótica*, “restrições que direcionam o fluxo de energia livre para realizar trabalho” (Kauffman *et al.*, 2007, p. 37). Segundo os autores, as células são autocatalíticas e realizam ciclos de trabalho termodinâmicos, sendo que parte deste trabalho seria

[...] para construir restrições à liberação de energia. Quando liberada, esta energia constitui trabalho adicional que impulsiona processos não espontâneos, constrói estruturas, impulsiona processos e também cria restrições adicionais à liberação de energia, que quando liberada pode criar ainda mais restrições deste tipo [...]. Ao fazer isso, a célula realiza um conjunto de tarefas interligadas que alcançam um encerramento de tarefas por meio do qual a célula literalmente constrói uma cópia aproximada de si mesma [...]. Este encerramento de trabalho, restrições, tarefas e informação [...], é um novo estado de matéria, energia, informação e organização que constitui o estado vivo (Kauffman *et al.*, 2007, p. 37, tradução nossa).

Em outras palavras, Logan afirma que “as restrições¹¹⁰ que atuam como informação instrucional são essenciais para o funcionamento de uma célula e a propagação de sua organização” (Logan, 2012, p. 44). Os autores assumem que a concepção da informação é teleológica e dizem acreditar que “os agentes autônomos [organismos vivos] constituem o sistema físico mínimo ao qual a

¹¹⁰ Os autores consideram a informação semiótica em agentes moleculares como os organismos um caso especial de informação como restrição.

linguagem teleológica se aplica corretamente” (Kauffman *et al.*, 2007, p. 30). A vida é concebida como propagação da organização. Logan toma o conceito de organismo vivo como sistema aberto de Bertalanffy (1968)¹¹¹ e conclui que a informação biótica pode ser definida como a organização da troca de matéria e energia entre o sistema vivo e o ambiente.

Para Logan, a informação biótica ou instrucional não é fixa, quantitativa, imaterial ou objetiva, como a informação matemática de Shannon, mas depende do contexto de referência, é qualitativa e dotada de materialidade. Assim, genótipos idênticos podem originar diferentes fenótipos, de acordo com o ambiente (contexto). A informação de Shannon é simbólica, a informação biótica não, ao contrário,

A informação codificada no alfabeto químico de biomoléculas que compõem os organismos vivos age através das interações químicas dessas biomoléculas. [...] Não é a natureza simbólica do DNA que dá origem ao RNA mensageiro, e não é a natureza simbólica do RNA que dá origem às proteínas; são as propriedades químicas do DNA que produzem ou catalisam as proteínas, e são as propriedades químicas das proteínas que realizam suas diversas funções. [...] DNA, RNA e proteínas são o meio e o conteúdo, a mensagem e o mensageiro (Logan, 2012, p. 58-59).

Isto significa que a informação, segundo Logan, está incorporada no DNA, no RNA e nas proteínas. Além do número infinito de informações nos sistemas bióticos, Kauffman *et al.* também explicam outros problemas que emergem da concepção de informação de Shannon.

¹¹¹ A Teoria Geral dos Sistemas de Bertalanffy foi apresentada na seção 2.1 que trata da constituição das Ciências da Vida como área de pesquisa e como possibilidade de modelo epistemológico para as ciências.

[...] para Shannon a semântica ou o significado da mensagem não importa, enquanto na biologia o oposto é verdadeiro. Os agentes bióticos têm propósito e, portanto, significado. [...] A informação de Shannon é definida independentemente do meio de sua instanciação. Esta independência do meio está no cerne de uma forte abordagem de Inteligência Artificial, na qual se afirma que a inteligência humana não necessita de um computador úmido, o cérebro, para funcionar, mas pode ser instanciada num computador baseado em silício. Na biosfera, entretanto, não se pode separar a informação do material em que ela é instanciada. O DNA não é um sinal de outra coisa, é a própria coisa, que regula outros genes, gera RNA mensageiro, que por sua vez controla a produção de proteínas. A informação contida num computador ou num dispositivo de telecomunicações pode passar de um computador ou dispositivo para outro e depois, através de uma impressora, para o papel e não mudar realmente, deixando de lado o “meio é a mensagem” [...]. Isto não é verdade para os seres vivos. O mesmo genótipo nem sempre produz o mesmo fenótipo (Kauffman *et al.*, 2007, p. 38, tradução nossa).

Logan estabelece uma aproximação entre sua teoria da propagação da organização e a teoria da autopoiese, embora não desenvolva seu pensamento acerca dessa associação. Apoiado nas conclusões de Hayles¹¹² sobre a relação entre informação e organização estabelecida pela autora e assumindo os organismos vivos como sistemas auto-organizados, Logan acolhe a ideia de que num sistema autopoietico a informação possa existir, ainda que não se consiga discerni-la das propriedades organizacionais definidoras do sistema. Tal inferência, segundo o autor, está em consonância com a noção desenvolvida por seu grupo “de que o conjunto de restrições ou a organização que dá origem a um sistema de auto-organização autônoma é uma forma de informação” (Logan, 2012, p. 61-62).

Interessante pontuar que Kauffman *et al.* (2007) consideram sua teoria sobre a propagação da organização como um desdobramento da afirmação de Kant acerca dos seres organizados¹¹³, os quais, segundo o filósofo alemão, seriam dotados do poder formativo de um tipo de autopropagação que comunica à sua matéria e a organiza.

Décadas antes, Norbert Wiener, reconhecido como fundador da ciência Cibernética, havia igualmente desenvolvido vínculo entre organização e informação, ao entender que “assim como a entropia é uma medida de desorganização, a informação conduzida por um grupo de mensagens é uma medida de organização”

¹¹² Katherine Hayles (1943 -) é uma crítica literária e teórica pós-moderna americana, autora de *How We Became Posthuman: : virtual bodies in cybernetics, literature, and informatics* (Como nos tornamos pós-humanos: corpos virtuais em Cibernética, Literatura e Informática) no ano de 1999.

¹¹³ A citação completa encontra-se na seção 5.1, primeira parte da metáfora do *organismo como máquina*.

(Wiener, 1954/1965, p. 19). Ao estudar os padrões de organização, de comunicação e de controle comuns aos animais e máquinas, o matemático americano concebe a organização como mensagem.

Wiener fala num padrão de homeostase (de retroalimentação negativa) que também pode ser encontrado em autômatos mecânicos. No seu entendimento, “não somos matéria-prima que permanece, mas padrões que se perpetuam” e Um padrão é uma mensagem e pode ser transmitido como tal (Wiener, 1954/1965, p. 89). A informação, em Wiener está diretamente relacionada à organização e manutenção da vida. A ideia da informação transmitida por uma mensagem, em Wiener, fundamentalmente, tem relação com o recebimento de mensagens do exterior e seu processamento pelo sistema sensorial e sistema nervoso no interior dos indivíduos.

Na teoria da autopoiese, ao contrário, Maturana e Varela entendem que, biologicamente, não há informação transmitida na comunicação. Isto porque a informação não poderia existir independentemente de um observador e do seu acoplamento estrutural (processo contínuo de relação do meio com o sistema autopoietico). Logo, a ideia da informação como algo que é propagado do ambiente externo até o ser vivo, é descartada. Maturana e Varela criticam a metáfora *do tubo para a comunicação*,

[...] porque supõe uma unidade não determinada estruturalmente, em que as interações são instrutivas, como se o que ocorre com um organismo numa interação fosse determinado pelo agente perturbador e não por sua dinâmica estrutural. No entanto, é evidente no próprio dia-a-dia que a comunicação não ocorre assim: cada pessoa diz o que diz e ouve o que ouve segundo sua própria determinação estrutural. Da perspectiva de um observador, sempre há ambigüidade numa interação comunicativa. O fenômeno da comunicação não *depende* do que se fornece, e sim do que acontece com o receptor. E isso é muito diferente de "transmitir informação" (Maturana; Varela, 1984/1995, p. 219).

“A informação é sempre relacional”, diz Luisi, “em relação com a capacidade do receptor, em um contexto particular” (Luisi, 2013, p. 236). O autor esclarece que, na perspectiva da autopoiese, os estímulos que vêm do ambiente, um componente químico ou um sinal de adaptação, somente podem ser considerados informação se forem reconhecidos pela estrutura interna do sistema autopoietico.

A compreensão hegemônica sobre a informação genética também é censurada e relativizada por Maturana e Varela:

É muito freqüente ouvirmos dizer que os genes constituem a "informação" que especifica um ser vivo. Isso é um erro por duas razões fundamentais. Primeiro, porque confunde o fenômeno da hereditariedade com o mecanismo de réplica de certos componentes celulares (os DNAs), de grande estabilidade transgeracional. Segundo, porque dizer que o DNA contém o necessário para especificar um ser vivo tira esses componentes (parte da rede autopoiética) de sua inter-relação com o restante da rede. É a rede de interações em sua totalidade que constitui e especifica as características da célula, não um de seus componentes. É certo que modificações nos genes trazem conseqüências dramáticas para a estrutura de uma célula. O erro está em confundir participação essencial com responsabilidade única (Maturana; Varela, 1984/1995, p. 107).

Contudo, aquilo que os pensadores sistêmicos/processuais contestam - a metáfora do *programa genético* - foi o fundamento que alavancou pesquisas que resultaram no desenvolvimento da Genética/Biologia Molecular e das tecnologias de Engenharia Genética desde o início da década de 1970, além do Projeto Genoma Humano (PGH)¹¹⁴, iniciado em 1990. Mais recentemente, a Biologia Sintética parece estar em conformidade com a premissa de que os genes contêm as informações responsáveis por funções biológicas específicas. Na metáfora do *programa genético*, parece não haver espaço para o pensamento sistêmico.

Visões alternativas, que minimizam ou desconsideram a informação inscrita nos genes, historicamente, não tiveram boa recepção ou foram incompreendidas. Como exemplo, convém expor as ponderações de Maturana à crítica que Augusto Fedanzo Jr.¹¹⁵ apresentou em *All things are full of gods – or information* (Todas as

¹¹⁴ O Projeto Genoma Humano (PGH) é um projeto público internacional criado para desenvolver mapas genéticos e físicos detalhados do genoma humano, bem como conhecer toda a sua sequência de nucleotídeos. Esse projeto iniciou, oficialmente, no dia 3 de outubro de 1990, nos Estados Unidos, sob os auspícios do Departamento de Energia e Instituto Nacional da Saúde, com a participação de outros países, como Reino Unido, França, Japão, Canadá, Alemanha, Brasil abrangendo 20 grupos de pesquisa e centenas de pesquisadores individuais que formaram o Consórcio Internacional de Sequenciamento do Genoma Humano (*International Human Genome Sequencing Consortium*). O objetivo essencial do PGH era adquirir informação fundamental relativa à constituição genética do organismo humano, permitindo a localização cromossômica de cada gene, sua estrutura molecular e o papel dos vários genes na saúde e na doença (Borges-Osório; Robinson, 2013, p. 601).

O primeiro esboço da sequência do DNA humano foi concluído ano de 2000 por duas equipes em competição: o Consórcio Internacional do Projeto Genoma Humano, financiado pelo governo americano e um laboratório privado norte-americano, propriedade de Craig Venter (denominado, então, de *Celera Genomics*). De modo independente, cada grupo divulgou seu esboço no ano de 2001, porém o sequenciamento inteiro do genoma humano foi finalizado em 2003 de modo colaborativo pelos grupos. No ano de 2004 o PGH publicou artigo com a sequência completa do genoma humano (Borges-Osório; Robinson, 2013).

¹¹⁵ Fedanzo Jr. considera que o conceito de informação possui dois sentidos: "um sentido estrito, que é uma restrição imposta a um conjunto de possibilidades; e um sentido mais impreciso e metafórico de informação como significado" (Fedanzo Jr., 1983, p. 1). O autor desenvolve críticas a diversos artigos da época que utilizam diretamente um ou ambos os sentidos do termo 'informação'.

coisas estão cheias de deuses - ou de informação) acerca da suposta noção de informação no seu artigo em parceria com Glória D. Guiloff.¹¹⁶ Fedanzo Jr. analisa:

Maturana e Guiloff discutem a inteligência como produto de organismos autopoieticos que podem criar "um acoplamento estrutural ontogenético" com outros organismos para formar o conhecimento consensual, e com o ambiente para outros propósitos. O consenso supõe o sentido de significado do termo informação, mas eles não o relacionam aos fatores genéticos ou ambientais caracterizados pelo sentido estrito de informação (Fedanzo Jr., 1983, p. 3).

Ao que Maturana argumenta:

O Prof. Fedanzo está certo em dizer que em meu artigo com G. Guiloff (Maturana e Guiloff, 1980), o consenso pode ser relacionado ao significado se alguém o contempla. Mas nós não falamos em informação naquele artigo, em qualquer de seus sentidos [estrito ou metafórico] e não o fazemos porque não é pertinente. Na verdade, nós não usamos o consenso como uma noção explicativa: somente apontamos para a consensualidade como uma expressão do fenômeno da inteligência como um exemplo de acoplamento estrutural. [...] Quando o observador considera os organismos em suas próprias operações como membros de um domínio de acoplamento estrutural recíproco, ele os vê interagindo sob condições de uma complementaridade estrutural preexistente que lhe parece ser comparável a uma situação de comunicação projetada por um engenheiro, e para a qual ele pode aplicar uma descrição em termos de transferência de informação no sentido estrito. Quando o observador considera os organismos operando em um domínio consensual [interagir com seu ambiente], ele os vê numa coordenação de condutas que ele pode descrever em termos semânticos, isto é, como se os organismos em interação estivessem utilizando informação em seu sentido metafórico (significado) para sua coordenação operacional estrutural (Maturana, 1983, p. 156-157).

Maturana denuncia o mau uso da noção de informação pelos biólogos, tal como o fez Fedanzo, porém por motivos distintos. O biólogo chileno acredita que nenhum dos dois sentidos de informação tem valor explicativo para os fenômenos biológicos, de modo que esta deveria ser excluída das explicações biológicas. Maturana ilustra seu argumento com o exemplo da Evolução Biológica (denominada por ele deriva natural).

¹¹⁶ *The quest for the intelligence of intelligence* (A busca pela inteligência da inteligência) publicado em 1980.

A constituição genética de uma população é o resultado da evolução das linhagens às quais pertencem os organismos que integram esta população, e não a causa da evolução dessas linhagens. A constituição genética de um organismo individual é uma parte desse organismo como uma entidade viva até que ele morra, como resultado da conservação da adaptação do organismo (seu acoplamento estrutural ao meio em que vive) através de sua realização fenotípica como um organismo. É o organismo, o ser vivo, a unidade autopoiética que é adaptada e vive, ou perde sua adaptação e se desintegra, não os genes; é a autopoiese e a adaptação que são conservadas durante a evolução biológica, não os genes (Maturana, 1983, p. 158).

No início deste século, Keller fala numa crise do conceito de gene ocasionada pelo Projeto Genoma Humano (PGH). Ao contrário de todas as expectativas, diz Keller, “em vez de apoiar as noções familiares de determinismo genético que adquiriam tão grande poder na imaginação popular, esses sucessos criaram desafios críticos a essas noções clássicas” (Keller 2002, p. 2). O conceito de gene, que demonstrou não ser absoluto ou estável historicamente, foi afetado pelas novidades impostas pelo PGH. Keller adverte que “as complicações criadas pelos novos dados são vastas; [...] ameaçam colocar em completo desmantelamento o próprio conceito de ‘gene’- quer como uma unidade de estrutura, quer como unidade de função” (Keller, 2002, p. 26).

Alinhado às ideias de Keller, Nicholson (2014b) comenta acerca dos motivos que levaram à redução da crença no determinismo genético, ao que o autor denomina ‘anticlímax’ pós sequenciamento do genoma humano, inclusive com destaque a uma declaração de um dos pesquisadores mais envolvidos na missão de ‘catalogar’ todos os genes de um ser humano:

[...] à medida que o século XX se aproximava do fim, o apoio generalizado à determinação genética – tão entusiasticamente defendido pelos primeiros defensores da biologia molecular – estava a desaparecer rapidamente. Tornou-se claro que as sequências de DNA em si não contêm a informação necessária para especificar como os produtos genéticos (isto é, proteínas) interagem para produzir a função orgânica. Na verdade, não existe uma correspondência simples e individual entre genes e fenótipos. Como resultado, a publicação da sequência do genoma humano em 2001 não cumpriu a sua promessa de revolucionar a investigação biomédica, permitindo a previsão e o tratamento de doenças humanas. Até mesmo os arquitetos do PGH foram forçados a reconhecer a impossibilidade de prever a vida dos organismos a partir dos seus genomas: “uma das descobertas mais profundas que fiz em toda a minha investigação é que não se pode definir uma vida humana ou qualquer vida baseada apenas no DNA” (Venter, 2007) (Nicholson, 2014b, p. 351, tradução nossa).

Nicholson comenta sobre a emergência da Biologia de Sistemas, concebida como um programa de pesquisa que mudaria o foco das moléculas para a complexidade dos organismos por defender na sua prática que:

[...] se quisermos ter sucesso na compreensão da complexidade de um organismo, devemos não apenas catalogar e caracterizar o todo conjunto de genes, mas também o conjunto completo de transcritos de RNA (ou seja, o 'transcriptoma'), o conjunto completo de proteínas (ou seja, o 'proteoma') e o conjunto completo de moléculas envolvidas no metabolismo (ou seja, o 'metaboloma'). Para este fim, tecnologias de alto rendimento começaram a ser utilizadas em grande escala, resultando na produção em larga escala de vastos conjuntos de dados que os biólogos estão agora a tentar decifrar utilizando modelos matemáticos e simulações computacionais (Nicholson, 2014b, p. 352, tradução nossa).

As características dessa vertente da Biologia de Sistemas constituem, de acordo com Nicholson (2014b), um equívoco quanto ao enfrentamento do reducionismo, já que o enfoque das explicações biológicas continua a ser as moléculas, ou seja, a visão molecular da vida permanece.

À época da publicação do livro de Keller, mais de duas décadas atrás, a autora vislumbrou um chamamento a uma nova fase na pesquisa genética – a substituição de uma genômica estrutural para uma genômica funcional. Naturalmente, as pesquisas da genômica funcional são ancoradas na ideia da informação contida nos genes para determinar suas funções no organismo. Keller pontua uma constatação interessante acerca da mudança na concepção de vida entre os séculos XIX e XX, indicando a hegemonia do reducionismo genético na compreensão da vida e a sobrevivência da noção de auto-organização/autorregulação dos sistemas vivos adotada por uma minoria de pesquisadores.

[no século XIX] a tradição dominante afirmava que o traço característico da vida era sua organização. Mas [...] uma tradição diferente passou a ser dominante [no século XX], uma tradição que tendia a definir a vida em termos de genes e sua replicação. Ainda assim, uma tradição minoritária continuou a encarar os sistemas metabólicos auto-mantenedores (ou autocatalíticos) como a essência da vida (Keller, 2002, p. 17).

Considerando que a função do gene deveria ser compreendida em termos dos processos dinâmicos que ocorrem em toda a célula, Keller sintetiza sua proposta

[...] argumentei a admissão de um programa inscrito no DNA precisa ser reformulada, e sugeri para o seu lugar o conceito mais dinâmico de um programa distribuído com todos os componentes (proteínas, RNA e DNA) funcionando alternativamente como instruções e como dados. Na verdade, argumentei que a noção de um programa distribuído combina muito melhor com o quadro da regulação celular e do desenvolvimento que emergiu durante o último quarto de século [1975-2000] do que a noção inicial de programa genético (Keller, 2002 p. 17).

Além da reformulação da noção de programa genético proposta por Keller, o pensamento sistêmico sobre a auto-organização/autorregulação dos seres vivos e outras abordagens que consideram a complexidade da vida, diluem (reduzem) a importância hegemônica da informação genética ao enxergarem nos processos da célula/organismo a possibilidade de compreensão das funções vitais no contexto amplo que a vida requer.

Os propositores da teoria da propagação da informação sugerem que a discussão sobre a informação precisa ser abordada num contexto mais amplo que o debate contemporâneo entre filósofos da biologia e biólogos sobre o *status* da informação mantido pelo dogma central da Biologia Molecular (DNA → RNA → cadeias de proteínas). Discussões e teorias não faltam para esse debate. Selecionei algumas no intuito de anunciar caminhos possíveis para a percepção da ciência como atividade histórica, dinâmica e o caráter provisório das verdades científicas, uma vez que um mesmo fenômeno pode ser interpretado de acordo com o Estilo de Pensamento vigente no grupo.

Embora não tenha feito neste momento uma abordagem fleckiana por meio da correlação direta entre o conhecimento aqui apresentado e o Coletivo de Pensamento envolvido em cada elaboração, a análise dos episódios históricos e contemporâneos proposta nesta investigação resgata diversas concepções, cujos fundamentos são encontrados nas linhas anteriores.

No próximo capítulo, me aproximo da Biologia Sintética, no intuito de compreender as ideias e práticas - históricas e atuais - desse campo interdisciplinar de pesquisa, de onde emergiu a célula mínima, objeto desta investigação.

6 BIOLOGIA SINTÉTICA: ALGUNS QUESTIONAMENTOS, REFLEXÕES E EVIDÊNCIAS

Ainda que não tenhamos respostas sobre possíveis alterações no conceito de célula, em virtude da emergência da célula mínima, a reflexão sobre a ideia da célula como manifestação de vida pode suscitar diversas questões filosóficas. Este capítulo tem o objetivo de aproximação com um campo de pesquisa em expansão nas últimas décadas, a Biologia Sintética, no contexto da produção da célula mínima.

Em que medida o natural e o artificial se aproximam? E se afastam? Voltando alguns séculos na história da ciência, encontramos Francis Bacon, filósofo que instituiu um novo método científico, experimental e indutivo, contrário à concepção de ciência aristotélica, conforme mencionado previamente.

Em diversos trabalhos, Zaterka (2010, 2015, 2017, 2018), discorre acerca do programa baconiano, que preconiza o domínio sobre a natureza pelo homem e uma ciência operativa, tendo como principal objetivo a longevidade humana. A autora esclarece:

[...] a grande virada imposta pela modernidade diz respeito à possibilidade, inimaginada até então, não só de o homem ser capaz de acelerar o curso ordinário da natureza, como na arte alquímica, por exemplo, mas de o homem ser capaz, de agora em diante, de produzir novas naturezas – naturezas artificiais ontologicamente semelhantes às naturezas originais (Zaterka, 2015, p. 500).

Zaterka comenta que Francis Bacon reformulou a concepção aristotélica de ciência contemplativa, propondo que “o homem deve desvencilhar-se da metafísica escolástica e voltar-se para a natureza” (Zaterka, 2015, p. 501). O homem poderia, a partir de então, produzir naturezas artificiais semelhantes às originais. O experimento em Bacon, segundo Zaterka, é “uma intervenção sobre o curso da natureza, pois somente com essa intervenção [...] ela se manifestará da melhor maneira possível” (Zaterka, 2015, p. 501).

No aforismo I da segunda parte do ‘Novo Organum’, diz Bacon: “engendrar e introduzir nova natureza ou novas naturezas em um corpo dado, tal é a obra e o fito do poder humano” (Bacon, 1979, p. 93). Podemos considerar essa frase como uma anunciação da técnica empregada pela equipe de Craig Venter no ano de 2010,

apesar de que o artefato criado, a ‘nova natureza’, a criação da célula com genoma sintético originado de um computador, corresponda a um nível de controle da natureza que certamente não estava no pensamento do filósofo inglês.

Em Descartes, do mesmo modo que no filósofo inglês, não existe diferença entre as coisas naturais (corpos da natureza) e as artificiais (máquinas construídas pelos artesãos). Sem transformar a ideia num programa de pesquisa como o fez Bacon, o filósofo francês também sustentava a crença de que o conhecimento e o domínio da natureza poderiam impedir a corrupção dos corpos (morte), uma vez que possibilitaria a manutenção da vida. Descartes sugere:

[...] em vez dessa Filosofia especulativa que se ensina nas escolas, se pode encontrar uma outra prática, pela qual, conhecendo a força e as ações do fogo, da água, do ar, dos astros e dos céus e de todos os outros corpos que nos cercam, [...] poderíamos empregá-los da mesma maneira em todos os usos para os quais são próprios, e assim nos tornar como que senhores e possuidores da natureza. O que é de desejar, não só para a invenção de uma infinidade de artificios [...], mas principalmente também para a conservação da saúde, que é sem dúvida o primeiro bem e o fundamento de todos os outros bens desta vida; [...] (Descartes, 1637/1996, p. 71).

A semelhança entre o natural e o artificial concebida por Bacon e Descartes no século XVII poderia ser usada como justificativa para práticas científicas a partir dos produtos da Biologia Sintética, em especial a célula mínima? Essas práticas promoveriam uma mudança na concepção de célula? E de vida?

Embora essas perguntas pareçam anacrônicas, na medida em que o termo ‘célula’ é utilizado para nomear um produto da Biologia Sintética, poderíamos considerar que os cientistas admitem a não existência de diferença ontológica entre as coisas naturais e as coisas artificiais, assim como Bacon e Descartes? O alinhamento desse caso contemporâneo da ciência com a Filosofia da Biologia poderia afastar ou enfraquecer o debate filosófico, ético, social? As práticas descontextualizadas¹¹⁷ da atividade científica seriam reforçadas, enfraquecendo a reflexão sobre a concepção de vida?

Acredito que a aproximação com a Filosofia da Ciência no geral com a Filosofia da Biologia no particular seja um caminho pertinente e fecundo para a compreensão e reflexão acerca das ideias e práticas da Biologia Sintética. A

¹¹⁷ Conceito do filósofo da ciência austríaco Hugh Lacey (2007), aplicado aos organismos geneticamente modificados.

historicidade deste campo de pesquisa também é relevante para apreender o estilo de pensamento que vem direcionando as pesquisas que culminaram na produção da célula mínima.

Mayr reflete sobre os diversos modos pelos quais as ideias da Biologia foram afetadas pelas correntes dominantes do pensamento ocidental- vitalista, mecanicista e organicista - inclusive sobre as interpretações a respeito do fenômeno da vida no contexto da ciência Biologia, o qual mantém uma relação intrínseca com a compreensão da célula. Um aspecto muito interessante apontado por Mayr (2008) é o fato de que quando os biólogos e filósofos falam da vida, fazem referência à vida em oposição à falta dela num objeto inanimado e não em oposição à morte.

A célula mínima seria um objeto inanimado? Qual o objetivo da Biologia Sintética? Martins dos Santos *et al.* (2009) elucidam que:

A biologia sintética é um campo que visa a criação de células artificiais ou componentes biológicos não celulares com funções que não podem ser encontradas no ambiente natural, bem como sistemas feitos de partes bem definidas que lembram células vivas e propriedades biológicas conhecidas por meio de uma arquitetura diferente. Em vez de chamá-la de uma nova ciência, é mais apropriado descrevê-la como uma extensão de uma ampla gama de conhecimentos científicos, de engenharia e computacionais para sistemas biológicos. Sua característica interdisciplinar é inédita e sua aplicabilidade abrange desde o nível do par de bases do DNA até todo o genoma celular (Martins dos Santos *et al.*, 2009, p. 25, tradução nossa).

Em relação à célula mínima, os autores destacam que os pesquisadores da Biologia Sintética têm a intenção de desenvolver a célula viva mais simples possível, uma vez que os genomas dos organismos na natureza contêm partes redundantes que podem interferir nas construções artificiais. Essa célula pode ser sintetizada apenas com genes essenciais para manter sua sobrevivência básica (genoma mínimo) ou 'simplesmente' uma protocélula com capacidade de autorreplicação, que possa dar suporte aos dispositivos sintéticos (Martins dos Santos, *et al.*, 2009).

A criação de protocélulas e o genoma mínimo são duas áreas de pesquisa em Biologia Sintética com abordagens distintas. A primeira faz uso da abordagem *bottom-up* (ascendente), a qual parte de componentes simples para construir um sistema que possua (ou imite) propriedades da vida. A segunda, segue a abordagem *top-down* (descendente), que parte de uma célula íntegra, da qual são eliminados genes com o objetivo de alcançar o sistema mais simples possível.

A compreensão de célula mínima não é a mesma em todos os grupos que estudam o assunto. Por exemplo, a concepção adotada por Xavier, Patil e Rocha é bem mais ampla que o conceito de célula com genoma mínimo, pois considera importante uma série de características que definem uma célula mínima como viva. Antes de apresentar os atributos da célula mínima, os autores expõem algumas limitações da pesquisa em Biologia Sintética, como a não produção de células em laboratório partindo do 'zero'.

Apesar de várias conquistas na identificação e caracterização dos constituintes moleculares da vida, estamos longe de compreender como estes constituintes interagem entre si e dão origem a um sistema robusto e autorreplicante. Além disso, não existe uma teoria amplamente aceita sobre como as primeiras células surgiram na Terra, nem foi alcançada em laboratório a síntese completa de células vivas mais simples, a partir do zero. Portanto, a célula mínima pode ser definida apenas num nível semi-abstrato como uma célula viva com um número mínimo e suficiente de componentes e tendo três características principais: (i) alguma forma de metabolismo para fornecer blocos de construção moleculares e energia necessária para sintetizar os componentes celulares, (ii) replicação genética a partir de um modelo ou maquinário equivalente de processamento e transferência de informações e (iii) uma fronteira (membrana) que separa a célula de seu ambiente. A necessidade de coordenação entre a fissão dos limites e a segregação total dos modelos genéticos gêmeos gerados anteriormente poderia ser adicionada a esta definição. Outra característica fundamental que poderia ser adicionada às características essenciais de uma célula mínima é a capacidade de evoluir, que é uma característica universal entre todas as células vivas conhecidas (Xavier; Patil; Rocha, 2014, p. 487-488, tradução nossa).

Existem na literatura diversas classificações acerca da diversidade de práticas de produção de conhecimento no campo da Biologia Sintética. A classificação de O'Malley *et al.* (2008) tem sido adotada em muitos trabalhos de investigação teórica da área. Os autores consideram três categorias de práticas: construção de dispositivos baseados em DNA (tecnologia usada na competição internacional de Engenharia Genética - IGEM); engenharia celular baseada no genoma (mais conhecida como genoma mínimo) e criação de protocélulas.

Green comenta que os investigadores do campo da protocélula, geralmente se concentram na antiga questão sobre o que é a vida. Historicamente, a autora constata que a discussão teórica sobre o que é a vida tem sido integrada às pesquisas sobre a origem da vida, como a síntese em laboratório de compostos associados à vida primitiva ou mínima. A Biologia Sintética amplia as técnicas dessa investigação por meio da "síntese e manipulação de vesículas que imitam células

primitivas, além de simulações computacionais de redes reguladoras de genes” (Green, 2022, p. 4 tradução nossa). Quanto às pesquisas de Engenharia Celular baseada no genoma, Green esclarece que “a noção de genoma mínimo destaca a ideia de que os organismos existentes podem ter genomas mais complexos do que o necessário para as funções básicas de sobrevivência e reprodução” (Green, 2022, p. 3, tradução nossa).

O grande feito da célula com genoma mínimo foi apresentado à comunidade científica em 20 de maio de 2010 num artigo publicado na revista *Science* pela equipe coordenada por Craig Venter. Após cerca de 15 anos de pesquisas, foi obtida a célula artificial bacteriana *Mycoplasma mycoides* JCVI-syn1.0 com capacidade de continuar sua própria replicação. Tal célula continha apenas genes considerados essenciais (por isso chamada Célula Mínima), a partir de uma sequência digitalizada do DNA que foi projetada e armazenada num computador. Segundo os pesquisadores, o “seqüenciamento de DNA de um genoma celular permite o armazenamento das instruções genéticas para vida como um arquivo digital” (Gibson *et al.*, 2010, p. 55, tradução nossa).

A concepção de vida como um arquivo digital evidentemente ultrapassa as ambições de Bacon para o aperfeiçoamento da natureza humana e quaisquer análises nesse sentido seriam anacrônicas, portanto, infrutíferas. Porém, essa ideia implica em amplas possibilidades de reflexão sobre questões filosóficas, éticas e científicas, de modo que é oportuna a exposição de algumas ideias a respeito desta constatação.

Em Bacon é possível constatar a meta ousada de aumentar a longevidade humana por meio da manipulação da natureza como um dos principais aspectos do programa de reforma das ciências. A Biologia Sintética parece trazer essa premissa indiretamente, por meio de seus produtos que visam facilitar e melhorar a qualidade de vida, tais como produção de medicamentos, vacinas, novos tecidos, novos aditivos alimentares etc.

No entanto, ao se pensar na obtenção desses benefícios por meio de um artefato biológico denominado célula mínima, a questão biológica e filosófica da vida vem à tona. A ausência de diferença ontológica entre o natural e o artificial, concebida pelos filósofos supracitados, pode ajudar a discorrer sobre as questões suscitadas anteriormente.

Visões antagônicas à concepção de Bacon e Descartes acerca da concepção do natural e artificial não são difíceis de serem encontradas. Canguilhem, Simondon¹¹⁸, bem como o filósofo grego Aristóteles são exemplos. Tais concepções também podem ser relevantes para compreender se o Estilo de Pensamento que orienta o conceito clássico de Célula está sendo aplicado à célula mínima ou se estamos diante de uma mudança na concepção do conceito de célula e, conseqüentemente, do conceito de vida dentro dos parâmetros da Biologia.

No ano de 2007, Hugh Lacey já alertava para os riscos das inovações biotecnológicas voltadas para o mercado, tais como a tecnologia dos transgênicos, devido a uma 'aura científica' presente nestes artefatos. É possível fazer uma analogia da pesquisa que resultou na produção das células artificiais com um conceito de Lacey aplicado aos organismos geneticamente modificados - a abordagem descontextualizada:

[...] sujeitados às suas restrições, os objetos e as respectivas possibilidades são investigados nos termos dos seus componentes, processos, interações e estruturas subjacentes, bem como das leis que os governam, de forma desassociada dos contextos humano, social e ecológico nos quais estão inseridos e são utilizados (Lacey, 2007, p. 32).

O trecho seguinte também é muito esclarecedor, pois podemos pensar de maneira análoga sobre as células mínimas:

Os transgênicos são claramente objetos biológicos e uma boa quantidade de conhecimentos sobre eles e suas potencialidades podem ser obtidas por pesquisas que adotam a abordagem descontextualizada. Entretanto, os transgênicos não são apenas objetos biológicos, mas também socioeconômicos: são, na maior parte, mercadorias ou detentores de direitos de propriedade intelectual. Não levar em consideração o contexto socioeconômico impede que os benefícios, os riscos e as alternativas sejam investigados de forma apropriada. Embora as pesquisas moleculares e biotecnológicas subjacentes ao desenvolvimento e à implementação da tecnologia de transgênicos sejam indispensáveis à investigação, não são suficientes, pois estão alienadas dos seus contextos (Lacey, 2007, p. 33).

A Biologia Sintética tem sua história e, como mencionado anteriormente, recorrer a eventos passados que constituíram a base das pesquisas mais recentes é fundamental nesta investigação. Ao contrário do que possa parecer, a Biologia

¹¹⁸ Gilbert Simondon (1924-1989), discípulo de Canguilhem, filósofo francês que desenvolveu estudos sobre a Filosofia da técnica.

Sintética não emergiu neste século, e esse fato pode ser um aspecto significativo para sua compreensão atual.

O registro mais antigo relacionado ao termo 'Biologia Sintética' refere-se a um capítulo intitulado *La biologie synthétique* (A Biologia Sintética) no livro *Theorie physico-chimique de la vie et générations spontanées* (Teoria físico-química da vida e gerações espontâneas) do biólogo, químico e professor de Medicina francês Stéphane Leduc (1853-1939), publicado em 1910. A ideia central defendida nesse texto é que o desenvolvimento futuro da Biologia seria semelhante ao da Química. No ano de 1912, após anos de experimentação, Leduc publicou uma obra completa sobre Biologia Sintética no livro nomeado *La biologie synthétique, étude de physique* (A Biologia Sintética, estudo de Física) (Keller, 2003; Campos, 2009; Nouvel, 2015).

O propósito de Leduc em fechar a lacuna entre o vivo e o não vivo poderia ser conquistado com fabricação de formas semelhantes às dos organismos mais inferiores por meios exclusivamente físicos, decompondo o fenômeno mais complexo para determinar o fenômeno físico subjacente a ele. Seus primeiros esforços experimentais foram concentrados na reconstrução física de um dos fenômenos biológicos mais importantes, a cariocinese (divisão mitótica do núcleo), descrita primeiramente em 1876 por Hermann Fol. Paralelamente, Leduc desenvolvia um projeto focado não no nível nuclear, como na cariocinese artificial, mas no nível celular, com objetivo de sintetizar 'organismos artificiais' (Keller, 2003).

Campos esclarece que nos seus 'jardins químicos', Leduc cultivava em crescimentos osmóticos e cristalinos em solução e "esperava mostrar como processos físico-químicos básicos como osmose e difusão poderiam produzir formas novas e complexas, até mesmo formas reconhecidamente 'orgânicas'" (Campos, 2009, p. 7, tradução nossa). O autor afirma que a abordagem 'sintética' de Leduc sobre o problema da morfologia na Biologia foi contestada por muitos pesquisadores contemporâneos que consideravam suas formas produzidas imitações frágeis da vida, sem relevância para ampliar o conhecimento dos seres vivos.

Leduc acreditava que a Biologia seguiria os passos da Química, por ser esta uma ciência mais avançada, partindo da análise até chegar à síntese. Advertindo sobre a ausência de conhecimento acerca do material genético naquele momento histórico, Nouvel relata a conclusão a que químico e biólogo francês chega,

[...] desde que a química passou, ao longo da sua história, no século XIX, da análise para a síntese, a biologia, que, segundo ele [Leduc], ainda estava em fase de análise [1912], chegaria mais cedo ou mais tarde à era da síntese, quando os biólogos poderiam compor a vida como os químicos conseguiram compor moléculas dos átomos, na época em que ele escreveu. Estávamos no início da ciência da hereditariedade mas, lembremo-nos, ainda não tínhamos ideia da natureza do suporte material da edição genética hereditária. Tínhamos ainda menos, é claro, instrumentos possíveis de manipular este meio desconhecido (Nouvel, 2015, p. 560, tradução nossa).

Uma simples busca na literatura pelo início da história da Biologia Sintética, mostra que tem raízes em diversos campos de estudo e contextos. Destes, a Biologia Molecular Clássica é o mais comum. Logo, a ressalva de Nouvel parece estar relacionada ao episódio que habitualmente é considerado como marco inicial da Biologia Sintética - a publicação do estudo de Monod e Jacob em 1961 sobre a regulação gênica do *operon lac* em *Escherichia Coli*, no qual identificaram circuitos reguladores que determinam a resposta da célula ao ambiente. Contudo, é notável a tentativa encontrada em Leduc e outros de sintetizar organismos artificiais em condições puramente físico-químicas, sem os recursos da Genética, da Biologia Molecular, da Computação, da Cibernética.

A crença no uso da síntese na Biologia como um indicativo de avanço desta ciência, revela um atributo epistemológico preconizado por Leduc de que a ciência mais avançada possibilita conhecer o futuro da ciência menos avançada. A comparação, no caso, foi feita com a Química, na qual historicamente passou por um deslocamento da análise para a síntese. Nesse sentido, Campos esclarece que

No seu papel como um dos primeiros a tentar utilizar experimentalmente a síntese como um meio para compreender a biologia básica do crescimento orgânico e da morfologia, os primeiros trabalhos de Leduc fornecem uma afinidade reconhecível com um objetivo principal da biologia sintética atual (Campos, 2009, p. 7-8, tradução nossa).

A inovação terminológica cunhada por Leduc, mesmo sem obter sucesso no momento histórico em que foi cunhada, corresponde, segundo Nouvel, “a uma necessidade intrínseca da linguagem nas suas relações com as novas realidades que as ciências da vida estão a desenvolver” (Nouvel, 2015, p. 560, tradução nossa).

Teorias sobre a origem das primeiras células foram comuns no século XX e, de certa forma, estão relacionados à premissa da Biologia Sintética na atualidade, a

criação de vida. No século anterior, a teoria que explicava o modo pelo qual surgimos de um ancestral comum, nada falou sobre como esse primeiro ancestral surgiu, a origem da primeira célula, da primeira forma de vida não integrou a teoria da evolução de Charles Darwin. Isso não significa que o naturalista britânico não tenha se importado com a questão. Em carta escrita no ano de 1871 para o botânico Joseph Hooker¹¹⁹, Darwin manifesta conjecturas sobre o que poderia ocorrer quando a água de uma lagoa misturada a moléculas orgânicos simples, recebe radiação solar¹²⁰.

Costuma-se dizer que todas as condições para a produção inicial de um organismo vivo estão presentes e sempre poderiam estar presentes. Mas se (e Oh! esse é um grande “se”) pudéssemos conceber em alguma pequena lagoa quente, com todo tipo de sais de amônia e fósforo, luz, calor, eletricidade etc., todos eles presentes, de modo que um composto proteico fosse quimicamente formado, pronto para sofrer alterações ainda mais complexas. No tempo presente tal composto seria instantaneamente devorado ou absorvido, o que não seria o caso no período anterior a formação dos seres vivos.” (Darwin, 1871, [s.p], tradução nossa)

Dentre diversos experimentos que visavam a criação de células artificiais, destaco a investigação do físico irlandês John Butler Burke (1873-1946) em 1905, alinhada aos debates sobre geração espontânea da época, ou seja, o vivo poderia ser produzido a partir do não vivo? Sua divulgação, segundo Campos, teve grande apelo popular. A crença no poder vivificante do elemento químico rádio levou Burke à convicção “de que havia produzido algo relevante, mesmo que não fosse exatamente vivo, e seus contemporâneos rotularam seus resultados sintéticos de ‘vida artificial’” (Campos, 2009, p. 9, tradução nossa).

Campos discorre acerca deste importante episódio histórico da Ciência, cuja visibilidade e discussão teria sido comparável ao que ocorreu com a publicação da ‘Origem das Espécies’, de Darwin (1859).

¹¹⁹ *Darwin Correspondence Project*, Letter n. 7471, Disponível em: <https://www.darwinproject.ac.uk/letter/?docId=letters/DCP-LETT-7471.xml>.

¹²⁰ Na hipótese heterotrófica de Oparin é evidente a adesão à teoria evolutiva de Darwin, das formas mais simples para as mais complexas.

Conforme relatado à *Nature*, as experiências sensacionais de Burke envolveram colocar um pouco de rádio numa placa de Petri com caldo, com a produção resultante de formas celulares que eram, se não totalmente vivas, pelo menos semelhantes à vida. Parecendo crescer e subdividir-se ao longo de vários dias e demonstrando outros fenômenos semelhantes à vida a nível citológico, eles, no entanto, decaíram à luz do sol e dissolveram-se na água, provando que não eram simplesmente contaminantes bacterianos (Campos, 2009, p. 9, tradução nossa).

As formas meio-vivas que Burke acreditou ter produzido, os populares ‘radiobes’ (metade rádio e metade micróbio), foram objeto de debates e controvérsias, mas depois abandonadas. O próprio físico irlandês foi invisibilizado, conforme comenta Campos:

Embora os seus resultados experimentais tenham sido posteriormente desconsiderados e explicados, e embora tenha morrido desconhecido e quase completamente ignorado pela comunidade científica, ele [Burke] conseguiu lançar as bases para o estudo de um novo campo: a investigação experimental sobre a origem histórica da vida. A síntese não se tratava mais apenas de imitar a vida; agora tinha sido organizada para ajudar a explorar as propriedades mais fundamentais da vida, incluindo a sua história e origem¹²¹ (Campos, 2009, p. 9, tradução nossa).

O início da estreita relação da Biologia Sintética e Engenharia Genética pode ter ocorrido por volta das décadas de 1920 e 1930, quando biólogos tradicionais criticavam a abordagem artificial da vida de pesquisadores como Leduc e Burke. Esses biólogos, contudo, passaram a contribuir para o desenvolvimento de uma outra abordagem da vida, explicitamente baseada na Engenharia, com foco no melhoramento de espécies e variedades. Especialmente a partir do trabalho do botânico americano Albert F. Blakeslee (1874-1954), sob inspiração das conhecidas pesquisas do biólogo neerlandês Hugo de Vries (1848-1935) sobre mutações, a ‘engenharia genética’ da década de 1930 ajudou nas pesquisas que visavam a criação de ‘novas espécies sintéticas’ como resultado de mutações cromossômicas, para fins humanos (Campos, 2009).

Nesse período pode-se falar, portanto, numa Genética Sintética, onde se induziam mutações em plantas e animais por meio de radiações e produtos

¹²¹ Habitualmente, quando se fala de teorias sobre a origem das primeiras células (ou teorias sobre a origem da vida), são mencionadas as hipóteses formuladas independentemente por Oparin e Haldane, na década de 1920 e a abordagem experimental do químico Stanley Miller na década de 1950. Burke e diversos outros cientistas que desenvolveram pesquisas na busca de compreender a origem da vida anteriormente foram negligenciados pela história.

químicos. Segundo Campos, “o estudo da mutação rapidamente se tornou central para a prática da genética clássica, como parte de uma visão da evolução da engenharia para atender aos propósitos humanos” (Campos, 2009, p. 13, tradução nossa).

Algumas décadas depois, com a descrição da estrutura molecular do DNA em 1953, o cenário das pesquisas começou a mudar novamente. A ‘engenharia’ do cromossomo deu lugar à ‘engenharia’ do DNA, com as técnicas de DNA recombinante nos anos 1970-1980, que se tornaram comuns nos laboratórios de Biologia Molecular/Genética, mas raramente eram identificadas com o termo ‘biologia sintética’ (Nouvel, 2015).

Por volta de 1974, o biólogo americano de origem polonesa Waclaw Szybalski (1921-2020) utilizou o termo nos seus escritos, no contexto da Engenharia Genética, também sem êxito. A integração da Biologia Sintética representaria, de acordo com o biólogo, uma superação das fase descritiva da Biologia Molecular, no sentido de projetar novos elementos de controle genético e inseri-los aos genomas existentes na natureza ou até mesmo construir genomas completamente novos (Nouvel, 2015). Naquele momento, no entanto, não havia o conhecimento e/ou instrumentos adequados para que a Biologia Sintética atingisse esse objetivo.

De acordo com Martins dos Santos *et al.*, nas três décadas seguintes, com o conhecimento das propriedades e funções dos componentes celulares essenciais, “a biologia sintética acabou por emergir como uma nova disciplina na academia e na indústria onde peças e sistemas biológicos artificiais são criados e estudados” (Martins dos Santos *et al.*, 2009, p. 24). Numerosas pesquisas de grupos variados passaram a ocorrer, sendo possível notar a forte influência da ideia de programa genético nas elaborações teóricas e experimentais que consideraram a noção de um genoma mínimo.

Na década de 1990 fica evidente a aproximação da Biologia Molecular com a Engenharia, Ciência da Computação, Física e a emergência da Biologia de Sistemas.

Em meados da década de 1990, o sequenciamento automatizado de DNA e ferramentas computacionais aprimoradas permitiram que genomas microbianos completos fossem sequenciados, e técnicas de alto rendimento para medir RNA, proteínas, lipídios e metabólitos permitiram aos cientistas gerar um vasto catálogo de componentes celulares e suas interações. Esta “ampliação” da biologia molecular gerou o campo da biologia de sistemas, à medida que biólogos e cientistas da computação começaram a combinar a experimentação e computação para engenharia reversa de redes celulares. O que emergiu deste enorme e contínuo esforço de investigação básica foi a visão de que as redes celulares, embora vastas e intrincadas, eram organizadas como uma hierarquia de módulos funcionais claramente discerníveis, semelhantes a muitos sistemas de engenharia.[...] No final da década de 1990, um pequeno grupo de engenheiros, físicos e cientistas da computação reconheceu a oportunidade e começou a migrar para a biologia molecular para tentar a sorte na bancada (Cameron; Bashor; Collins, 2014, p. 381, tradução nossa).

Naturalmente, nesse contexto da Biologia Sintética, os sistemas biológicos são estudados com ênfase no genoma. O desenvolvimento e sucesso da Genética e posteriormente da Biologia Molecular conduziu as pesquisas da Biologia de síntese ao nível do gene. Mas não só! “Pragmaticamente”, diz Luisi, “a noção de célula mínima deveria estar ligada à do genoma mínimo” (Luisi, 2013, p. 324). O químico italiano Pier Luigi Luisi (1938 -) aborda a questão da célula mínima no contexto da Biologia Sistêmica e estabelece relação direta entre o conceito de célula mínima e a concepção de vida, tomando essa associação como uma possibilidade de flexibilidade do conceito, o qual não identifica uma estrutura particular.

Para Luisi, célula mínima é a “célula que tem o número mínimo de componentes para merecer a especificação de vivente” (Luisi, 2013, p. 323), propondo uma definição operacional de vida: vivente, no nível celular comporta [...], a concomitância de autossustentação (metabolismo), autorreprodução e capacidade de evoluir, podendo-se estender esse significado a uma *família de possibilidades*, uma vez que, “por estarem desprovidas de muitos componentes, sejam menos eficientes que as células modernas completas” (Luisi, 2013, p. 323).

As técnicas e objetivos com foco exclusivo no genoma para a construção em laboratório de uma célula mínima são muito distintas de uma abordagem como a do grupo de Luisi, reconhecida por ele próprio como contextual, sem prescindir das modernas técnicas de Biologia Molecular. Nessa abordagem, mesmo utilizando técnicas sintéticas, as moléculas já são existentes (enzimas e genes), logo, Luisi não considera apropriado o uso do termo ‘artificial’ para a célula mínima, mas ‘semiartificial’, ‘semissintético’ ou ‘protocélula’.

O termo ‘protocélula’ parece ser preferido do grupo, e possui, de acordo com Luisi, “uma conotação histórico-evolutiva mais do que operacional e serve para indicar uma estrutura que, na evolução molecular pré-biótica, precede a célula propriamente dita” (Luisi, 2013, p. 323). Um caminho possível sugerido por Luisi para a construção de uma célula mínima em laboratório é o aprisionamento de componentes em vesículas lipídicas (lipossomos), divulgado no ano de 2001 no artigo *Synthesizing life* (Sintetizando vida) da revista *Nature*, em parceria com os biólogos moleculares americanos Jack Szostak e David Bartel.

Luisi esclarece que sua técnica demanda “ignorar muitos modelos teóricos de célula mínima propostos por peritos de informática e teóricos da complexidade e também abrir mão de trabalhos experimentais conduzidos *in vitro* em extratos celulares” (Luisi, 2013, p. 324). De fato, quando se trata de pesquisas sobre a origem da vida, muitos modelos teóricos e experimentais desenvolvidos foram rejeitados ou desconsiderados e, na segunda metade do século XX, isso ocorreu especialmente quando não havia ênfase no material genético; questões de nacionalidade e a tradução da obra para a língua inglesa também costumam interferir na divulgação e/ou aceitação de teorias.

Foi o que ocorreu com o biólogo e bioquímico húngaro Tibor Gánti (1933 - 2009), proponente do *chemoton*¹²² (abreviação de *chemical automaton*), modelo teórico ignorado pela comunidade científica da época e que só veio à tona após sua morte. Gánti desenvolveu um modelo do organismo vivo mais simples possível, um modelo mínimo de sistemas vivos. As primeiras ideias afloraram em 1952 e, quase vinte anos depois, Gánti desenvolveu a teoria do chemoton, publicada no livro *The Principles of Life* (Os Princípios da Vida), escrito em húngaro no ano de 1971 e traduzido para o inglês quase três décadas depois, em 2003.

Com base na teoria do *chemoton* (quemoton), Gánti objetivou revelar o segredo da natureza da vida, identificando as diferenças fundamentais entre sistemas vivos e não vivos e, com isso, elaborar hipóteses sobre a geração

¹²² Luisi comenta que a teoria da autopoiese e a teoria do *chemoton*, praticamente contemporâneas, correspondem a “visões sistêmicas em que os ácidos nucleicos não têm o papel de heróis principais” (Luisi, 2013, p. 239), o que explica a dificuldade de reconhecimento por parte da Bioquímica praticada naquela época. O autor argumenta que, mesmo com a ausência de detalhes estruturais e mecânicos, a simplicidade da autopoiese, no âmbito da fenomenologia, possibilitou a criação de sistemas autopoieticos artificiais em laboratório químico.

espontânea de vida a partir dos resultados da sua teorização (Gánti, 1971/2003). O biólogo húngaro faz sua própria busca pela unidade fundamental da vida.

Na nossa busca pelos princípios básicos da vida, temos que considerar o sistema vivo mais simples - um sistema mínimo que já apresenta as propriedades características da vida como 'vida' e do qual nada pode ser removido sem a perda dessas propriedades. Este sistema mínimo será a unidade elementar última da vida e poderá ser a unidade fundamental de uma biologia teórica exata (Gánti, 1971/2003, p. 73, tradução nossa).

O *chemoton*, de formação abiótica, é composto pela combinação de três subsistemas - redes de reação autocatalítica (metabolismo), membranas fluidas bidimensionais (delimitação do sistema) e o sistema de informação química (polimerização/autorreplicação). Segundo Gánti, nestes sistemas, não existe nada indispensável, pois “eles são construídos a partir do número mínimo de elementos, ou seja, subsistemas, necessários para a existência das propriedades qualitativas dadas” (Gánti, 1971/2003, p. 72). Nesse sentido, nenhum sistema vivo existente na atualidade poderia ser considerado um sistema mínimo, uma vez que

Os sistemas vivos atuais têm muitas partes acessórias, propriedades e capacidades que não são essenciais para a vida em si, mas são apenas necessárias para uma vida que é diferenciada, qualificada e refinada dentro da comunidade do mundo vivo, em determinadas condições ambientais, pelo atual estado de evolução (Gánti, 1971/2003, p. 72-73, tradução nossa).

Acerca da ausência de regulação enzimática no *chemoton*, Gánti esclarece:

Sem dúvida, a descrição do mundo vivo atual deve conter regulação enzimática. As enzimas não ocorreram na teoria dos quimiotons e, portanto, os quimiotons nunca foram chamados de células. Na verdade, evitamos usar os termos “células primitivas” ou “protocélulas” em conexão com quimiotons. No entanto, um quimioton incluindo regulação enzimática certamente poderia ser considerado um modelo da célula (Gánti, 1971/2003, p. 141, tradução nossa).

Ao recusar o uso do termo ‘protocélula’ para denominar o modelo *chemoton* original, desconsiderar a necessidade de material genético e não determinar moléculas específicas na sua composição, Gánti, ao mesmo tempo, se afasta da concepção da célula como unidade fundamental da vida (ele não precisa de uma célula mínima para explicar a vida) e da metáfora do *programa genético*. É demonstrada a possibilidade de sintetizar artificialmente sistemas vivos não constituídos por células.

Luisi aproxima a teoria do *chemoton* de outra teoria do mesmo período – a autopoiese, no sentido de ambas corresponderem a “visões sistêmicas em que os ácidos nucleicos não têm o papel de heróis principais” (Luisi, 2013, p. 239), o que explica a dificuldade de reconhecimento destas teorias por parte da Bioquímica praticada naquela época. O autor argumenta que, mesmo com a ausência de detalhes estruturais e mecânicos, a simplicidade da autopoiese, no âmbito da fenomenologia, possibilitou a criação de sistemas autopoieticos artificiais em laboratório químico por volta da década de 1990.

A implementação experimental da autopoiese nos laboratórios de Química, por meio de modelos experimentais de autorreprodução (micelas e vesículas) mostrou que tais sistemas são autopoieticos, mas não são sistemas cognitivos, portanto, não podem ser definidos como viventes, uma vez que Maturana e Varela estabelecem uma relação íntima entre vida e cognição.

Já nos laboratórios de informática, mais recentemente, Bianchini explorou a relação entre sistemas e cognição no contexto do uso de arquiteturas computacionais cognitivas na inteligência artificial (IA), “considerando desenvolvimentos recentes em sistemas artificiais e tendências de Inteligência Artificial (IA) que podem ser conectadas à autopoiese e conceitos relacionados, como autonomia e organização (Bianchini, 2023, p. 2, tradução nossa). O autor constata que, atualmente, não é possível explicar vida e cognição a partir dos sistemas artificiais, embora não descarte o potencial teórico futuro da autopoiese nas abordagens artificiais.

[...] na maioria dos casos, as características fundamentais da autopoiese não estão presentes em sistemas artificiais. Embora estes avanços recentes na IA estejam a evoluir no sentido de abordagens mais incorporadas à cognição, não podem ser totalmente reconhecidos como abordagens autopoieticas. Esta limitação dificulta a sua capacidade de atingir o objetivo desejado de funcionar como sistemas cognitivos com “vida” autônoma. Em outras palavras, o desafio de explicar a vida e a cognição através de uma abordagem artificial e sintética ainda está longe de ser realizado, principalmente porque as características autopoieticas são parcial ou completamente negligenciadas (Bianchini, 2023, p. 2, tradução nossa).

Assumindo que sua proposta corresponde a uma linha investigativa muito incipiente, o autor lança a hipótese de que, “no contexto da estrutura autopoietica da modelagem artificial, as abordagens ‘químicas’ de IA bioinspiradas (juntamente com os seus modelos e simulações) servem como candidatas promissoras para

preencher a lacuna entre a vida e a cognição” (Bianchini, 2023, p. 8, tradução nossa).

Bianchini aproxima a Biologia Sintética da sua análise como uma possibilidade de obter sucesso na sua proposta inovadora, argumentando que nos casos em que autopoiese pode ser identificada nos sistemas de IA, a organização autopoietica é o aspecto que aproxima esses sistemas dos objetivos e técnicas da Biologia Sintética.

Se for possível fazer a transição de sistemas vivos para sistemas vivos artificiais, como pretende a Biologia Sintética, poder-se-ia ponderar se é viável dar um passo em frente e passar de sistemas vivos para sistemas cognitivos utilizando as mesmas técnicas. Embora a Biologia Sintética ainda pareça distante de fornecer uma resposta a esta questão, poderia ser valioso considerar a noção de autopoiese e os seus fundamentos conceituais como elementos úteis para alcançar sistemas cognitivos artificiais dentro do campo mais amplo da IA cognitiva (Bianchini, 2023, p. 4, tradução nossa).

O início da década de 2000 é considerado como o momento da reemergência da Biologia Sintética, onde se buscou distinguir esta nova abordagem da vida baseada na Engenharia da Engenharia Genética implementada anteriormente (Campos, 2009). Cameron, Bashor, Collins, esclarecem sobre o que teria sido o ponto de partida da fase contemporânea da Biologia Sintética.

[...] a criação de circuitos reguladores genéticos simples que desempenham funções de maneira análoga aos circuitos elétricos. A dinâmica desses circuitos genéticos simples poderia ser descrita usando modelos matemáticos correspondentemente simples, permitindo aos engenheiros de circuitos avaliar os méritos de uma abordagem de projeto baseada em modelo. O carro-chefe da biologia molecular - *E. coli* - foi um banco de testes ideal para este trabalho devido ao nosso profundo conhecimento mecanicista de sua biologia, sua facilidade de manipulação genética e o número relativamente grande de sistemas reguladores de genes bem estudados que forneceram uma fonte inicial conveniente de circuito de 'partes'. No primeiro mês do novo milênio (janeiro de 2000), foram publicados os primeiros relatórios de circuitos genéticos que foram projetados para executar funções (Cameron; Bashor; Collins, 2014, p. 382, tradução nossa).

A conferência inaugural *Synthetic Biology 1.0* (SB1.0), foi realizada no verão de 2004 no *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), EUA. Pesquisadores de Biologia, Química, Física, Engenharia e Ciência da Computação comprometeram-se com a construção e caracterização de sistemas biológicos, com o objetivo a longo prazo da engenharia do genoma completo. Mas o termo 'Biologia Sintética' se

consolidou no contexto da primeira competição de genética¹²³ conhecida como IGEM, realizada nesse mesmo ano no MIT (Nouvel, 2015; Campos, 2009).

Portanto, em meados dos anos 2000, devido o sucesso e ampliação da competição internacional IGEM, a Biologia Sintética passou a despertar o interesse das universidades, dos estudantes de graduação e do público em geral. Paralelamente, obteve reconhecimento da imprensa acadêmica e da imprensa popular (Cameron; Bashor; Collins, 2014).

Damiano e Stano fazem um retrospecto da ‘nova era’ da Biologia Sintética a partir do início do novo milênio, reafirmando os principais objetivos envolvidos na emergência deste campo de pesquisa, “projetar e construir peças ou sistemas biológicos não existentes na natureza para atingir objetivos práticos (biossíntese de química fina, biocombustíveis, farmacêuticos etc.)” (Damiano; Stano, 2023, p. 367, tradução nossa). Os autores também atualizam, de modo geral, algumas técnicas e metas e da Biologia Sintética, relacionas tanto à abordagem *bottom-up* (ascendente), quanto à abordagem *top-down* (descendente).

Porém, cada vez mais, a Biologia Sintética supera propósitos meramente aplicativos e contribui de uma nova forma para abordar a exploração científica da vida. As atuais técnicas de fronteira de síntese (bio)química, montagem e manipulação molecular e supramolecular permitem que a Biologia Sintética não apenas modifique efetivamente células biológicas existentes, mas também construa a partir do zero células sintéticas (ou artificiais), o que permite a Biologia Sintética expressar plenamente uma veia exploratória original. Na verdade, as células artificiais podem ser construídas como meios de modelar células primitivas, células simplificadas (mínimas), ou mesmo formas celulares alternativas e, assim, estudar em nível experimental as características fundamentais da vida, colocando sistemas vivos juntos a partir do zero – isto é, a partir de moléculas (bio)químicas – em vez de desmontá-los (Damiano; Stano, 2023, p. 367-368, tradução nossa).

Green também busca atualizar os objetivos e visões da área e concorda que grande parte da pesquisa em Biologia Sintética tem se dedicado a inovações orientadas para aplicações que utilizam e modificam estruturas biológicas. Porém, defende que a Biologia Sintética é um termo genérico que abrange práticas de

¹²³ IGEM (Máquina Internacional de Engenharia Genética, mas na época o I de ‘internacional’ significava ‘interuniversidade’). As equipes de competidores devem projetar e criar em poucos meses um dispositivo genético original usando fragmentos de DNA padronizados chamados *biobricks* (biotijolos), que lhes são disponibilizados. Estes fragmentos têm a particularidade de serem flanqueados por sítios de reconhecimento por enzimas de restrição, o que permite produzir facilmente, a partir deles, montagens genéticas variadas. Hoje, a competição se espalhou por todo o mundo e centenas de equipes participam todos os anos (Nouvel, 2015, p. 560, tradução nossa).

pesquisa muito diversas. A autora reforça a permanência das pesquisas relacionadas à célula mínima com objetivos distintos

[...] alguns biólogos sintéticos seguem uma abordagem científica básica para compreender a origem da vida ou as condições para a vida mínima. Outros são movidos pelo desejo de criar vida artificial em laboratório, inspirados na visão de Von Neumann (1966) de um autômato auto reprodutor (Green, 2022, p. 3, tradução nossa).

Contudo, nenhum grupo de pesquisadores ao redor do mundo, conseguiu anunciar que, de fato, a primeira célula totalmente artificial foi obtida até o momento. Embora numerosas variedades de técnicas sejam divulgadas numa frequência cada vez maior, não temos a consolidação da síntese de uma célula artificial com biogênese de componentes celulares que não ocorrem no mundo natural. Enquanto isso, o objetivo de modificar as vias reguladoras dos genes, de modo a controlar as reações bioquímicas e produzir produtos de valor social vem obtendo sucesso. A autora destaca “o rápido desenvolvimento de vacinas sintéticas de mRNA eficazes contra a Covid-19 aponta para o potencial da Biologia Sintética no apoio à preparação para pandemias” (Green, 2022, p. 3, tradução nossa).

Ao refletir sobre o significado do desenvolvimento da Biologia Sintética, Nouvel explicita o que considera como o sistema de legitimação deste campo de pesquisa.

Encontramos [...] pelo menos três princípios na raiz do biologia sintética. Eles retornam regularmente a palavras dos seus promotores: um princípio lúdico, segundo em que a biologia possa ser praticada como um jogo criativo; um princípio de fatalismo do progresso, segundo o qual tudo o que pode ser feito será feito aconteça o que acontecer; e, finalmente, uma convicção tecnocêntrica, segundo a qual toda a vida é tecnologia (Nouvel, 2015, p. 561, tradução nossa).

Acerca do último princípio, Nouvel considera uma convicção essencial de filósofos que refletem sobre o significado do desenvolvimento da Biologia Sintética, como processeu Robert Carlson no seu livro *Biology is Technology* (Biologia é Tecnologia), publicado em 2010. Nouvel estabelece um contraponto das ideias de Carlson e a Filosofia de Descartes e La Mettrie, aproximando o organismo da tecnologia e o afastando da máquina.

[...] Isso é a crença mais fundamental que está no cerne da biologia sintética e está plenamente expressa no título do livro. As coisas vivas, a vida, são técnicas. “Biologia é tecnologia”: esta afirmação parece óbvia para o autor do livro. Uma evidência cujas consequências, segundo ele, a biologia sintética teria a tarefa de explorar. Carlson, observemos, não diz que os organismos vivos são máquinas, como fez Descartes (na quinta das *Meditações Metafísicas* ou, mais tarde, *La Mettrie* (em *L’homme machine*) Tecnologia não significa máquina. Uma máquina é sempre projetada para um determinado propósito, com uma determinada intenção. Nada parecido com isto nos seres vivos que não têm objetivos específicos, mas apenas propriedades específicas, e em particular a de reprodução. Mas não é porque os seres vivos não respondam a um objetivo específico que não sejam produto de uma organização técnica da matéria (Nouvel, 2015, p. 561, tradução nossa).

Não parece coincidência que a publicação de Carlson tenha sido contemporânea à divulgação do grupo de Craig Venter sobre a ‘criação’ de uma célula bacteriana controlada por um genoma mínimo quimicamente sintetizado. O contexto histórico e científico em que a Biologia se desenvolvia naquele ano e em anos anteriores a 2010 estava muito próximo da tecnologia. Basta lembrar o entusiasmo dos cientistas e o apelo popular que a clonagem da ovelha Dolly provocou no ano de 1997.

O Projeto Genoma Humano, desde a última década do século anterior, também popularizou o conhecimento sobre o uso da tecnologia nos laboratórios de Genética/Biologia Molecular, assim como ampliou os investimentos financeiros em estudos que envolviam o material genético, o ‘livro da vida’. Com o campo já consolidado, numerosas pesquisas teóricas e experimentais em Biologia Sintética ocorreram desde o início dos anos 2000.

Possivelmente pela notoriedade de Craig Venter no sequenciamento do genoma humano e pela publicação do seu próprio genoma no ano de 2007, a criação de uma célula mínima pela equipe de Venter esteve nas notícias de jornais e revistas pelo mundo. Esse projeto não tem o alcance de construir um organismo a partir do ‘zero’, como pode ter sido compreendido por muitas pessoas em virtude de alguns termos utilizados na ampla divulgação científica ao público em geral. Logo, não se trata da biogênese de ácidos nucleicos e outras moléculas para construção de uma estrutura com vida celular.

No entanto, considero que a bactéria com genoma mínimo desenvolvida em laboratório, para além de ser um marco na literatura científica e popular, pode ser o objeto científico mais próximo de uma associação entre célula e vida no contexto da Biologia Sintética. Além dos interesses próprios dos cientistas envolvidos expressos

no famoso artigo da *Nature* no ano de 2010, temos eventos anteriores e, mais de uma década após este feito, pesquisas decorrentes, argumentos científicos e opiniões da mídia a respeito. Esses elementos podem subsidiar a identificação do Estilo de Pensamento que direciona as pesquisas nesse campo específico da Biologia Sintética.

Como mencionado anteriormente, não se pode falar numa Biologia Sintética unívoca, nem num método único de produção de células mínimas. Desse modo, foi necessário definir o tipo de célula mínima a ser analisado, incluindo seu contexto de produção e outros elementos que fizeram parte da análise dos episódios contemporâneos que constituem o Fato Científico célula mínima.

A célula mínima criada em 2010 é uma bactéria, organismo simples, apenas com genes essenciais para garantir sua sobrevivência básica, sendo capaz de autorreplicação, segundo seus criadores. Todavia, enquanto a gênese da célula natural difere da gênese da célula artificial, a evolução teria semelhanças. Segundo Cupani “os objetos técnicos evoluem de maneira análoga às espécies vivas [...], mas essa analogia não é perfeita, principalmente porque os objetos técnicos não têm a capacidade de produzir seus próprios descendentes” (Cupani, 2016, p. 65).

Poderia estar aqui a grande diferença entre a célula natural e a célula artificial, entretanto a célula mínima tem capacidade de autorreprodução, o que a torna uma objeção ao pensamento de Cupani. Quando o objeto técnico é um artefato que simula uma das condições mais reconhecidas como propriedade do ser vivo - a reprodução - podemos estar diante de questões de cunho epistemológico, científico, ontológico, ético. A busca pela compreensão do Estilo de Pensamento implícito nesse empreendimento científico multidisciplinar pode ser o caminho para esclarecer estas questões e outras, além de promover reflexões que se estendam à concepção de vida na atualidade.

Para tal, é relevante considerar as mudanças ocorridas historicamente no pensamento biológico em relação ao conceito de célula, que podem se refletir na concepção atual sobre a unidade da vida. Essa convicção suscitou o desenho da metodologia que passo a esclarecer no próximo capítulo.

7 PERCURSO METODOLÓGICO: NOTAS INICIAIS E PROCEDIMENTOS

Em tentativa de contraposição aos métodos investigativos de orientação filosófica positivista/neopositivista, de acordo com a classificação de Magalhães Junior e Batista (2023), a presente investigação foi orientada por uma abordagem de natureza qualitativa, utilizando como método a pesquisa documental e bibliográfica, tendo como instrumento para constituição dos dados a análise documental. A técnica de análise dos dados adotada foi do tipo histórico-epistemológica, a partir da história da construção do conceito clássico de célula e do conceito de célula mínima analisados com base nos fundamentos epistemológicos de Ludwik Fleck, sobretudo, na noção de Estilos de Pensamento. Como o conceito clássico de célula está intrinsicamente ligado à manifestação de vida, a Epistemologia histórica de Georges Canguilhem acerca das suas concepções de vida foi adotada como apoio.

Com o objetivo de atender a estruturação necessária a uma abordagem qualitativa, optei por utilizar elementos do *ciclo da pesquisa* de Minayo, que assim o define: “um peculiar processo de trabalho em espiral que começa com uma pergunta e termina com uma resposta ou produto que, por sua vez, dá origem a novas interrogações” (Minayo, 2016, p. 25). A autora considera três fases no desenvolvimento da pesquisa qualitativa, a *fase exploratória*, a *fase de campo* e a *fase de tratamento e análise do material*.

Segundo Minayo (2016), na *fase exploratória* da pesquisa o objeto é definido e delimitado, as hipóteses ou pressupostos para o encaminhamento da investigação são desenvolvidos, o arcabouço teórico é elaborado (Pesquisa bibliográfica), a metodologia apropriada é selecionada. Na *fase de campo* da pesquisa é necessário conectar a construção teórica elaborada na primeira etapa com a realidade concreta (no caso desta pesquisa, ocorreu o levantamento do material documental).

A fase de *tratamento e análise do material* é quando ocorre a *análise documental*. Nesta fase, foram utilizadas duas etapas propostas por Cellard (2008). A Primeira Etapa, denominada pelo autor de *análise preliminar dos documentos*, é uma avaliação crítica aplicada em cinco dimensões: *Contexto*; *Interesses do autor (ou autores)*; *Autenticidade e confiabilidade do texto*; *Natureza do texto* e *Conceitos-chave*.

Concluído esse momento, seguiu-se a Segunda Etapa, que corresponde à *análise propriamente dita*, momento de reunir os elementos da problemática ou do

quadro teórico com os elementos da análise preliminar dos documentos (Cellard, 2008). Nesta investigação, optei por desenvolver essa etapa por meio da análise histórico-epistemológica a partir de fundamentos epistemológicos de Ludwik Fleck, particularmente, a noção de Estilos de Pensamento e apoio da Epistemologia histórica de Georges Canguilhem acerca das suas concepções de vida.

Tal análise possibilitou responder à problemática principal: A produção da célula mínima pela Biologia Sintética teria potencial para fazer emergir um novo Estilo de Pensamento, em contraposição ao Estilo de Pensamento que orienta o conceito clássico de célula como unidade fundamental da vida?

Para alcançar este propósito, realizei dois estudos. O primeiro refere-se à análise de episódios históricos sobre o conceito clássico de célula em livros históricos (fontes primárias) e o clássico artigo de Canguilhem sobre o tema (fonte secundária). O segundo estudo analisa episódios contemporâneos sobre a célula mínima produzida pela Biologia Sintética em artigos científicos (fonte primária) e textos jornalísticos de divulgação científica.

De acordo com Martins (2005), documentos de vários tipos podem ser utilizados numa pesquisa histórica da ciência. Estes são classificados em ‘fonte primária’ quando se trata de “material da época estudada escrito pelos pesquisadores estudados” e ‘fonte secundária’, relacionada a “estudos historiográficos e obras de apoio a respeito do período e dos autores investigados” (Martins, 2005, p. 310).

Estas obras de apoio, segundo a autora, podem ser trabalhos de filósofos e biógrafos. Tomando o conceito adotado por historiadores da ciência, os textos jornalísticos de divulgação científica presentes no segundo estudo não se constituem, portanto, fontes secundárias. Tais produções do Círculo Exotérico são, contudo, relevantes nesta investigação, dadas as peculiaridades da Epistemologia fleckiana, que considera a importância da ciência popular na circulação do conhecimento e a possibilidade de sua contribuição na transformação do Estilo de Pensamento.

Ciente das diferentes classificações sobre os documentos, adoto a classificação das fontes documentais elaborada por Gil (2007), a qual inclui textos de jornais e revistas como fontes de ‘comunicação em massa’. Ademais, segundo Fontana e Pereira (2023) as fontes da pesquisa documental podem apresentar-se

no modo de documentação eletrônica – encontrada de forma *on-line*, como é o caso dos textos jornalísticos de divulgação científica presentes nesta investigação.

A justificativa para o primeiro estudo consiste no fato de que a identificação do Estilo de Pensamento atual sobre o conceito clássico de célula é imprescindível para investigar a possibilidade da emergência de um novo estilo no cenário da célula mínima, no segundo estudo. Considerarei que a demarcação de um modelo explicativo para compreensão da célula mínima, a partir de um Estilo ou Estilos de Pensamento, pudesse viabilizar a resposta para a problemática principal desta investigação, por meio do confronto entre as características identificadas no estudo dos episódios analisados em ambos os casos. Em outras palavras, esse confronto poderia me permitir verificar se no cenário da Biologia Sintética: 1) o Estilo de Pensamento sobre o conceito clássico de célula se mantém? 2) houve emergência de um novo Estilo de Pensamento? 3) ocorreu alguma complementação ou ampliação do Estilo de Pensamento?

Tradicionalmente, a célula é compreendida como unidade fundamental da vida. Enquanto, historicamente, a concepção mecanicista da vida foi evidenciada antes de qualquer menção a uma unidade constitutiva dos seres vivos, nesta investigação, defendo um movimento contrário. As propriedades da célula mínima podem sustentar (ou não) uma nova concepção sobre a vida. Logo, suponho que uma mudança no Estilo de Pensamento sobre a célula possa corresponder também à emergência de um novo Estilo de Pensamento sobre o conceito de vida, o qual foi indiretamente examinado.

Considerarei que a identificação da concepção de vida em cada episódio histórico analisado, possibilitaria a compreensão da relação estabelecida entre o conceito de célula e o conceito de vida, ou mesmo se existe essa associação num dado momento histórico. Nas análises dos episódios contemporâneos, considerarei a premissa de que caracterizar a concepção de vida poderia indicar se existe atualmente a associação entre a célula mínima e a vida, no âmbito da Biologia Sintética, o que poderia contribuir para o reconhecimento do Estilo de Pensamento sobre a vida, como desdobramento dessa análise.

O *corpus* da presente investigação apresenta a seguinte composição¹²⁴:

¹²⁴ Precedendo os quadros de identificação e codificação das fontes são expostos os critérios de seleção.

- a) Estudo 1. Para o estudo de episódios históricos sobre o conceito clássico de célula foram selecionadas: fontes primárias (textos históricos/obras clássicas) e fonte secundária (o clássico artigo de Canguilhem sobre a teoria celular).
- b) Estudo 2. Para o estudo de episódios contemporâneos sobre a célula mínima produzida pela Biologia Sintética foram selecionadas fontes primárias (artigos científicos) e textos jornalísticos de divulgação científica).

O QUADRO 1 sintetiza o desenvolvimento da fase de *tratamento e análise do material* desta investigação constituída de duas etapas propostas por Cellard (2008) para a pesquisa documental: Etapa 1- a análise preliminar dos documentos e Etapa 2 - análise propriamente dita (análise histórico-epistemológica). Essa fase foi aplicada integralmente às fontes primárias de ambos os estudos. Nas demais fontes documentais dos estudos histórico e contemporâneo, a análise foi direcionada por uma categoria específica que atende e justifica a inclusão dessas fontes no processo de identificação do Estilo de Pensamento, com adaptações na metodologia explicadas no início de cada sessão.

QUADRO 1 - ANÁLISE DOCUMENTAL: FASE DE TRATAMENTO E ANÁLISE DAS FONTES PRIMÁRIAS

<p>Estudo de episódios históricos sobre o conceito clássico de célula.</p> <p>I) Análise preliminar dos documentos (Etapa 1- Cellard, 2008) 1. <i>Contexto</i>; 2. <i>Interesses do autor (ou autores)</i>; 3. <i>Autenticidade e confiabilidade do texto</i>; 4. <i>Natureza do texto</i> e 5. <i>Conceitos-chave</i>;</p> <p>II) Localização e codificação dos excertos;</p> <p>III) Análise propriamente dita - Análise histórico-epistemológica: Descrição e interpretação do conceito clássico de célula com base no Estilo de Pensamento de Fleck e apoio nas concepções de vida de Canguilhem (Etapa 2- Cellard, 2008).</p>	<p>Estudo de episódios contemporâneos sobre o conceito de célula mínima.</p> <p>I) Análise preliminar dos documentos (Etapa 1- Cellard, 2008) 1. <i>Contexto</i>; 2. <i>Interesses do autor (ou autores)</i>; 3. <i>Autenticidade e confiabilidade do texto</i>; 4. <i>Natureza do texto</i> e 5. <i>Conceitos-chave</i>;</p> <p>II) Localização e codificação dos excertos;</p> <p>III) Análise propriamente dita - Análise histórico-epistemológica: Descrição e interpretação do conceito de célula mínima com base no Estilo de Pensamento de Fleck e apoio nas concepções de vida de Canguilhem (Etapa 2- Cellard, 2008).</p>
---	---

Fonte: A autora (2024) adaptado de Minayo (2016).

No intuito de não incorrer em anacronismos, a apresentação dos dados (excertos retirados do material selecionado) foi orientada pelo critério epistemológico (levando em consideração os contextos da produção científica), de modo que a cronologia dos episódios não deve ser vista como fator limitante da análise em ambos os estudos realizados: Estudo de episódios históricos sobre o conceito clássico de célula e Estudo de episódios contemporâneos sobre o conceito de célula mínima.

Dos documentos selecionados foram extraídos excertos que se referem direta ou indiretamente ao conceito de célula, definidos por ideias que possam revelar o Estilo de Pensamento sobre a célula. Além da investigação sobre o Estilo de Pensamento acerca da célula, a concepção de vida que se apresenta foi indiretamente examinada, com apoio de Canguilhem. No caso do estudo de episódios contemporâneos, com essa análise foi possível entender se existe correlação entre a célula mínima e o fenômeno da vida no contexto da Biologia Sintética.

Episódios Históricos

A escolha das fontes documentais primárias para análise dos episódios históricos foi pautada no recorte histórico-temporal de aproximadamente três séculos (século XVII a século XIX). Tal recorte corresponde à publicação das obras clássicas de cientistas habitualmente associados a algum aspecto envolvido na construção histórica do conceito clássico de célula (Silva, 2014; Silva; Aires, 2016).

As fontes primárias selecionadas para análise dos episódios históricos sobre o conceito clássico de célula e seus respectivos códigos de identificação encontram-se no QUADRO 2.

Algumas obras produzidas no século XX foram analisadas como complemento às discussões e são identificadas no texto após a análise das quatro obras históricas.

QUADRO 2 – FONTES PRIMÁRIAS: OBRAS CLÁSSICAS SOBRE A CONSTRUÇÃO DO CONCEITO CLÁSSICO DE CÉLULA (CCC)

CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO	FONTES PRIMÁRIAS (FP) CONCEITO CLÁSSICO DE CÉLULA (CCC)
FP/CCC -1	HOOKE, R. Micrographia or some physiological descriptions of minute bodies made by magnifying glasses with observations and inquiries thereupon. London :Royal Society, 1665.
FP/CCC -2	SCHLEIDEN, M. Contributions to Phytogenesis. Tradução de Henry Smith. London: The Sydenham Society, 1847. (Trabalho original publicado em 1838).
FP/CCC -3	SCHWANN, T. Microscopical Researches on the Similarity in Structure and Growth of Animals and Plants. Tradução de Henry Smith. London: The Sydenham Society, 1847. (Trabalho original publicado em 1839).
FP/CCC -4	VIRCHOW, R.L.K. Cellular pathology, London: John Churchill, 1978. (Trabalho original publicado em 1859).

Fonte: A autora (2024).

Com exceção de FP/CCC-4 - por motivos esclarecidos na Segunda Etapa da Análise Documental dessa fonte - as demais obras foram analisadas por completo. O episódio histórico (EH) correspondente a cada obra recebeu denominação e numeração específicas. Cada excerto foi codificado com base na identificação da fonte. Os excertos selecionados e suas categorizações estão apresentados nos apêndices. No intuito de manter o contexto de cada excerto, destaque em negrito as frases que contêm as ideias sobre as quais a categorização foi aplicada. Estas receberam letras em seus códigos para diferenciá-las dentro de um mesmo excerto. Categorias que emergiram durante o processo foram indicadas como categorias emergentes.

No QUADRO 3 encontra-se a fonte secundária selecionada para análise dos episódios históricos sobre o conceito clássico de célula (CCC) e seu código de identificação. Esta fonte documental foi escolhida em virtude da riqueza de informações não expressas nas fontes primárias e que podem auxiliá-las a compreender os contextos da origem e desenvolvimento do conceito clássico de célula.

QUADRO 3 – FONTE SECUNDÁRIA SOBRE O PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DO CONCEITO CLÁSSICO DE CÉLULA

CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO	FONTE SECUNDÁRIA (FS) CONCEITO CLÁSSICO DE CÉLULA (CCC)
FS/CCC-1	CANGUILHEM, G. A Teoria Celular. <i>In</i> : CANGUILHEM, G. O Conhecimento da Vida . Tradução de Vera Lucia Avellar Ribeiro. Rio de Janeiro: Forense, 2012, p. 39-82. (Trabalho original publicado em 1945).

Fonte: A autora (2024).

Episódios Contemporâneos

Quanto ao estudo de episódios contemporâneos sobre o conceito de célula mínima (CCM), além do artigo principal, no qual a equipe coordenada por Craig Venter apresenta a construção da primeira célula mínima no ano de 2010 (FP/CCM-1) outra fonte primária foi selecionada a partir das publicações disponibilizadas pelo site do J. Craig Venter Institute (JCVI), instituição que vem se destacando há mais de 20 anos na pesquisa em Biologia Sintética. Os artigos principais selecionados para análise e seus códigos de identificação estão descritos no QUADRO 4. Outros artigos complementares são analisados e identificados no texto após a análise dos dois artigos principais.

QUADRO 4 – FONTES PRIMÁRIAS SOBRE O PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DO CONCEITO DE CÉLULA MÍNIMA (ARTIGOS CIENTÍFICOS)

CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO	FONTES PRIMÁRIAS (FP) – CONCEITO DE CÉLULA MÍNIMA (CCM)
FP/CCM -1	GIBSON, D. <i>et al.</i> Creation of a bacterial cell controlled by a chemically synthesized genome. Science , New York, v. 329, p. 52-56, 2010.
FP/CCM -2	HUTCHISON, C. A. <i>et al.</i> Design and synthesis of a minimal bacterial genome. Science , New York, v. 351, p. 1-12, 2016.

Fonte: A autora (2024).

Textos jornalísticos de divulgação científica (TJ) sobre a célula mínima foram selecionados por meio do site do J. Craig Venter Institute (JCVI) e pelo mecanismo de pesquisa mais popular da internet - o Google - a partir do ano de 2010¹²⁵, no intuito de analisar a circulação do conhecimento atual sobre a célula mínima no

¹²⁵ Ano da publicação do artigo intitulado *Creation of a Bacterial Cell Controlled by a Chemically Synthesized Genome* (Gibson *et al.*, 2010), que descreve a obtenção da 'célula mínima' bacteriana *Mycoplasma mycoides*, a qual continha apenas genes considerados essenciais a partir de uma sequência digitalizada do DNA.

âmbito da ciência popular. Potencialmente influenciadora do Estilo de Pensamento dominante, segundo Fleck, a versão popular da ciência tem papel relevante nesta investigação. Tal escolha se justifica em Cellard (2008), o qual destaca o empenho exigido pela Pesquisa documental quanto ao reconhecimento das fontes potenciais de informação, não somente em relação ao objeto de investigação, mas também quanto à problemática da pesquisa.

Logo, a primeira estratégia para selecionar os textos foi uma pesquisa sobre as notícias divulgadas ao público pelo site do J. Craig Venter Institute (JCVI) - fontes TJ/CCM-1A e TJ/CCM-2A - nos anos das publicações científicas consideradas na análise das fontes primárias. Outro modo de seleção foi uma consulta geral no ano dessas publicações, utilizando palavras-chave relacionadas ao artigo científico. No primeiro momento dessa busca, uma imensa variedade de textos nacionais e internacionais foram localizados. Na seção 9.3 são detalhados os critérios de seleção dessas fontes. No QUADRO 5 encontra-se as referências dos textos.

QUADRO 5 – TEXTOS JORNALÍSTICOS DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA SOBRE A CÉLULA MÍNIMA ASSOCIADOS ÀS FONTES PRIMÁRIAS FP/CCM-1 E FP/CCM-2

FONTE PRIMÁRIA (FP)	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO DO TEXTO JORNALÍSTICO DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA	TEXTOS JORNALÍSTICOS DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA (TJ)
FP/CCM-1	TJ/CCM-1A	JCVI. First Self-Replicating, Synthetic Bacterial Cell Constructed by J. Craig Venter Institute Researchers. 20 mai. 2010. Disponível em: < https://www.jcvi.org/media-center/first-self-replicating-synthetic-bacterial-cell-constructed-j%C2%A0craig-venter-institute >. Acesso em: 20 nov. 2023.
	TJ/CCM-1B	G1. Cientistas montam célula controlada por genoma fabricado em laboratório. 20 mai. 2010. Disponível em: < https://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2010/05/cientistas-montam-celula-controlada-por-genoma-fabricado-em-laboratorio.html > Acesso em: 11 jul. 2023.
	TJ/CCM-1C	Folha de São Paulo. Grupo nos EUA fabrica 1ª célula sintética. 21 mai. 2010. Disponível em:< https://www1.folha.uol.com.br/fsp/ciencia/fe2105201001.htm >. Acesso em: 11 jul. 2023
	TJCCM-1D	UOL. Imaculada criação: o nascimento da primeira célula sintética. 21 mai. 2010. Disponível em: < https://gizmodo.uol.com.br/imaculada-criacao-o-nascimento-da-primeira-celula-sintetica/ >. Acesso em: 11 jul. 2023.
	TJ/CCM-2A	JCVI. First Minimal Synthetic Bacterial Cell Designed and Constructed by Scientists at Venter Institute and Synthetic Genomics. 24 mar. 2016. Disponível em: < https://www.jcvi.org/media-center/first-minimal-synthetic-bacterial-cell-designed-and-constructed-scientists-venter >. Acesso em: 20 nov. 2023.

FP/CCM-2	TJ/CCM-2B	DVORSKY, G. O ser vivo com o menor número de genes foi criado em laboratório. UOL , 2016. Disponível em: < https://gizmodo.uol.com.br/syn30-473-genes/ >. Acesso em: 11 jul. 2023.
	TJ/CCM-2C	SOARES, V. Pesquisadores criam células compostas apenas por genes que se multiplicam. Correio Brasiliense , 2016. Disponível em: < https://www.correiobrasiliense.com.br/app/noticia/ciencia-e-saude/2016/03/25/interna_ciencia_saude,524064/pesquisadores-criam-celula-composta-apenas-por-genes-que-se-multipliqu.shtml >. Acesso em: 11 jul. 2023.

Fonte: A autora (2024).

Quanto às categorias *a priori* que orientam a análise histórico-epistemológica em ambos os estudos, apresento a seguir a origem e a explicação de cada uma. Conforme ressalva apresentada na parte introdutória, no contexto deste trabalho, o termo ‘categoria’ representa os indícios, as pistas, as características possíveis de serem reconhecidas nos documentos analisados e que auxiliem na identificação do Estilo de Pensamento. Logo, ao decidir por uma elaboração prévia de categorias, não estou aderindo à concepção *a priori* kantiana, mas constituindo uma tentativa de caracterizar o Estilo de Pensamento que pode ser revelado a partir dos documentos.

7.1 DESENVOLVIMENTO DAS CATEGORIAS *A PRIORI* PARA A ANÁLISE HISTÓRICO-EPISTEMOLÓGICA

As categorias de análise *a priori* foram definidas com base nos conceitos epistemológicos fleckianos abordados na fundamentação teórica, em consonância com os objetivos propostos. Essas categorias possibilitaram identificar o Estilo de Pensamento sobre a célula relativo a cada episódio analisado e foram construídas a partir de tópicos, com o objetivo de auxiliar na compreensão e explicação do conceito de célula.

O desenvolvimento dessas categorias, portanto, ocorreu com base num conjunto de ideias biológicas e epistemológicas pertinentes à assimilação do Estilo de Pensamento sobre a célula, relacionados a alguns elementos temáticos: identificação do problema/ orientação da pesquisa; construção do conhecimento; visão de ciência; método utilizado; concepção filosófica; concepção de organização; relação entre os conceitos de célula e vida; uso da palavra célula. No caso da análise das fontes primárias dos episódios históricos e dos episódios

contemporâneos todos os elementos temáticos e suas categorias foram adotados como possibilidade.

Na análise da fonte secundária associada aos episódios históricos (QUADRO 3) e dos textos jornalísticos de divulgação científica relacionados aos episódios contemporâneos (QUADRO 5), o terceiro componente da teoria fleckiana - o estado do saber/conhecimento – foi considerado de maior relevância para identificação dos contextos envolvidos na pesquisa. Considerando que o maior objetivo desses documentos foi trazer à tona os contextos da produção científica, adotei essa estratégia metodológica na expectativa de obter tais informações, também relevantes para compreensão do Estilo de Pensamento.

No cenário desta investigação, a fonte secundária adotada no estudo histórico tem potencial de mostrar os 'bastidores' dos processos da ciência e evidenciar alguma influência do Círculo Exotérico nas pesquisas ou nas compreensões relacionadas ao conceito clássico de célula. Já os textos jornalísticos de divulgação científica, publicados paralelamente à produção da célula mínima, podem revelar a coerção do Estilo de Pensamento dominante na Biologia Sintética e/ ou a influência retroativa da ciência popular na pesquisa científica, segundo Fleck.

A seguir apresento as ideias envolvidas na elaboração das categorias utilizadas na análise histórico-epistemológica.

A) Problema da pesquisa/Orientação da pesquisa

O problema que orienta a pesquisa da fonte primária analisada é um aspecto importante para a identificação do Estilo de Pensamento sobre a célula e concepção de vida decorrente.

Tendo por base a premissa de Fleck sobre a não existência de da observação pura, sem teoria ou tradição que a oriente (Estilo de Pensamento) sobre a qual há consenso entre os cientistas (Coletivo de Pensamento), foi possível depreender do contexto dos episódios históricos relativos ao conceito clássico de célula e a partir do contato inicial com as fontes, alguns dos possíveis problemas que orientaram as escolhas desses pesquisadores, a partir dos quais as seguintes categorias foram constituídas: Categoria 1. Busca por uma unidade estrutural e funcional comum aos seres vivos; Categoria 2. Descrição direta das células visualizadas ao microscópio; Categoria 3. Busca pela compreensão dos processos

fisiológicos celulares (Silva, 2014; Silva; Aires, 2016). No contexto da Biologia Sintética, é possível inferir a Categoria: 4. Busca pela criação de uma célula mínima, com genoma artificial como orientação da pesquisa (Gibson *et al.*, 2010).

B) Construção do conhecimento

Uma das principais argumentações epistemológicas de Fleck se refere à incorporação do estado do saber na relação entre o sujeito e o objeto do conhecimento. Ou seja, os contextos histórico, social e cultural interferem no modo coercitivo de pensar e interpretar uma pesquisa científica, em outras palavras, no Estilo de Pensamento (Fleck, 1935/2010).

Essa visão de ciência se contrapõe à visão empírico-indutivista, que privilegia a observação neutra e o experimento como meios de validação do conhecimento científico. Esse método, instituído por Francis Bacon no século XVII e adotado com rigor pelo positivismo lógico do Círculo de Viena no século XX, foi diretamente criticado por Fleck. Por meio do seu estudo sobre a gênese e desenvolvimento da história da sífilis e da reação de Wassermann, o pensador polonês defendeu que os Fatos Científicos (objetos do conhecimento) não são dados e nem fixos, mas condicionados a um Estilo de Pensamento, podendo passar por mudanças graduais ao longo da história da construção do conhecimento.

Esse forte argumento de Fleck acerca do estado do saber, levou à elaboração de três categorias. As duas primeiras alinhadas à Epistemologia fleckiana, denominadas Categoria 1. Influência do contexto na interpretação do objeto de investigação; e Categoria 2. Observação e/ou experimentos orientados por uma teoria científica. A terceira categoria está relacionada à concepção de ciência contestada pelo médico polonês, Categoria 3. Ênfase na observação e/ou experimentos na interpretação do objeto de investigação.

A Categoria intitulada 'Influência do contexto na interpretação do objeto de investigação', correspondente ao terceiro elemento da teoria fleckiana – o estado do saber/conhecimento – foi eleita para direcionar o processo de análise da fonte secundária do primeiro estudo e dos textos jornalísticos de divulgação científica do segundo estudo. Uma vez que a ciência é sempre desenvolvida dentro de um contexto histórico e social, raramente mencionado ou percebido de modo amplo pelo pesquisador, este pode ser mais bem apreendido a partir de textos que se propõem

a abordar um Fato Científico a partir da perspectiva de um autor que escreveu sobre o fato. No caso do estudo histórico, levando em consideração a história e o âmbito sociopsicológico da produção do conhecimento e, no caso do estudo contemporâneo, sua divulgação à sociedade.

C) Concepção filosófica em relação ao objeto de investigação

Durante o século XIX, questões filosóficas estavam associadas a novos campos e, novas técnicas da investigação biológica. O debate sobre a relação entre os processos orgânicos e inorgânicos e as discussões sobre a natureza da vida eram temas intimamente relacionados com o mecanicismo (Frezzatti Jr., 2003). A origem da vida também correspondeu a um assunto muito debatido na comunidade científica no século XIX, de modo que a simples explicação da célula não seria suficiente, pois deveria ser inserida num contexto mais amplo dos fenômenos vitais (Prestes, 1997), uma vez que o estudo isolado de uma estrutura biológica não traria grandes contribuições.

Também no século XIX a ciência Biologia lidava com pelo menos três concepções para a explicação do mundo vivo: mecanicista, vitalista e organicista (Silva, 2014; Silva; Aires, 2019). Todavia, desde o século XVI, as discussões científicas sobre o que é vida e a compreensão dos processos vitais tem gerado controvérsias e, em certos períodos da história e localidades, as ideias mecanicistas pareciam predominar e em outras épocas e centros intelectuais, os argumentos vitalistas pareciam vencer o debate (Mayr, 2008).

A escola vitalista surgiu a partir da necessidade dos naturalistas de propor argumentos 'científicos' (não metafísicos e não teológicos) contra o mecanicismo. Desde a Revolução Científica do século XVII até parte significativa do século XIX, a contraposição ao reducionismo físico-químico e a explicação dos seres vivos a partir do modelo animal-máquina, foi a atividade principal dos vitalistas. Este contramovimento se configurou como um protesto contra a Filosofia da chamada Revolução Científica (Mayr, 2008; Prestes, 1997).

Nesse contexto de rivalidade entre as correntes filosóficas vitalista e mecanicista, Jacob esclarece que a ideia de organização emerge no século XVIII. Segundo esta concepção, seria no interior dos corpos que existe a possibilidade de sua existência. "É a interação das partes que dá significado ao todo. [...]. O que rege

a forma, as propriedades e o comportamento de um ser vivo é sua organização. É pela organização que os seres se distinguem das coisas [...]” (Jacob, 1970/1983, p. 81).

Jacob (1970/1983) comenta que, no século XIX, a análise da organização dos seres vivos passa a avançar para o nível da microestrutura, o qual mantém a totalidade do ser, na medida em que as células não estão simplesmente reunidas conservando sua própria individualidade, mas estas unidades elementares juntam-se em uma individualidade de ordem superior, o organismo.

Considerando a importância dessas correntes filosóficas no desenvolvimento da ciência Biologia e especificamente, na história do conceito de célula, elas sustentam pelo menos seis categorias de análise: Categoria 1. Propriedades da célula compreendidas pelo recurso à força vital; Categoria 2. Propriedades da célula compreendidas pelo reducionismo físico-químico; Categoria 3. Propriedades da célula compreendidas pelo reducionismo genético; Categoria 4. Propriedades da célula compreendidas por sua organização; Categoria 5. Assimilação dos seres vivos às máquinas; Categoria 6. Organismo como sistema biológico.

D) Modelo de ciência adotado

Desde o século XVII, a Física tem sido adotada como modelo para todas as outras ciências, sendo o exemplo notável de uma ciência exata (Capra, 2006; Mayr, 2005; Zaterka; Mocellin, 2022) de modo que o estudo dos corpos vivos foi orientado pela metáfora da máquina na era moderna e pelo reducionismo imbricado no mecanismo. No entanto, modelos mecanicistas para funções biológicas não tiveram êxito (Capra, 2006).

Durante o século XIX, a Biologia se consolidou como ciência. Diversas teorias biológicas, tais como a teoria celular e a teoria da evolução emergiram. Porém, Capra (2006) esclarece que os conceitos da Física Clássica só foram questionados a partir das primeiras décadas do século XX pela Física Moderna.

Nesse contexto da percepção holística/orgânica do conhecimento científico, as Ciências da Vida emergiram como modelo para as ciências, e foram incorporadas à Epistemologia de Ludwik Fleck e Georges Canguilhem. Tais considerações direcionaram a construção de duas categorias de análise dos modelos explicativos

para caracterizar o conhecimento científico: Categoria 1. Física Clássica/Matemática como modelo para explicar a ciência; Categoria 2. Ciência explicada a partir dos conceitos da Biologia.

E) Concepção sobre a organização dos seres vivos/individualidade biológica

A explicação de Jacob (1970/1983) para o tema da organização dos seres vivos nos auxilia a compreender o contexto do posicionamento dos pesquisadores. Segundo o autor, para a concepção vitalista, o organismo não seria uma coletividade, mas um monólito. Considerar um organismo com sua unidade, sua coordenação, suas regulações, formado por elementos vivos, requer assumir que tais elementos não estão meramente reunidos, mas integrados.

Para que o ser indivisível pudesse se compor de unidades elementares, “as unidades devem amalgamar-se em uma outra unidade de ordem superior. É necessário que se submetam ao organismo, que abduquem de toda individualidade diante da individualidade do todo” (Jacob, 1970/1983, p. 122). Esta visão dos corpos vivos corresponde à Categoria 1. Indivíduo como totalidade indivisível, típica do vitalismo.

No século XIX, as propriedades do ser vivo passam a ser atribuídas à cada célula, que pode ser considerada como um indivíduo. Com isso, o organismo não pode ser uma estrutura monolítica, uma vez que os seres são decompostos em células (JACOB, 1970/1983). Os corpos entendidos dessa maneira correspondem à Categoria 2. Indivíduo como agregado de células individualizadas e independentes, ideia alinhada ao mecanicismo cartesiano. Importante destacar que no século XIX, os biólogos adotaram a concepção mecanicista da vida como uma crença sólida, contribuindo para aprimoramentos relevantes na Biologia, tais como a teoria celular (Capra, 1997).

No contexto da teoria celular, Canguilhem aponta o problema da individualidade biológica em relação a diversos pensadores e biólogos que abordaram a ideia de uma composição elementar dos seres vivos desde o século XVII até o século XX. O autor considera que a história do conceito de célula e a história do conceito de indivíduo são inseparáveis. E questiona: “Se o corpo é realmente uma soma de células independentes, como explicar o fato de ele formar

um todo funcionando de maneira uniforme?” (Canguilhem, 1945/2012, p. 76). Essas reflexões conduziram à elaboração de mais uma categoria neste tópico, Categoria 3. Indivíduo constituído por células individualizadas e interdependentes que mantêm a totalidade.

F) Célula e vida

Sobre as interpretações a respeito do fenômeno da vida, vitalismo e mecanicismo apresentaram-se como duas correntes filosóficas divergentes desde a época de Aristóteles até as primeiras décadas do século XX (Mayr, 1998). Portanto, apesar da discussão sobre o que é vida existir desde a Antiguidade, este parece ter sido um problema do âmbito da Filosofia e somente quando passou a ser um problema científico, as interpretações se tornaram importantes para a compreensão da célula. O fenômeno da vida como qualidade específica da organização dos seres, ou seja, como uma questão de âmbito biológico, passou a ser reconhecido no século XIX.

Isso significa que nem sempre o entendimento do conceito de vida esteve associado à ideia de uma estrutura elementar dos seres vivos. De fato, essa relação passou a ocorrer com a proposição da teoria celular (Silva, 2014; Silva; Aires, 2019). Atualmente, com a célula mínima, podemos refletir se o conceito de vida teria se afastado da célula ou o contrário, o conceito de célula se desprende do conceito de vida.

Essas reflexões levaram ao desenvolvimento de duas categorias de análise acerca da célula e do fenômeno da vida: Categoria 1. Correlação entre célula e manifestação de vida; Categoria 2. Ausência de compreensão da célula como manifestação de vida.

G) Uso do termo cell (célula)

Em que momento da história do conceito de célula a palavra *cell* (célula) passou a refletir a compreensão acerca deste elemento biológico? Fleck esclarece que “as palavras em si não possuem um significado fixo e recebem seu significado somente no contexto, numa área de pensamento” (leia-se Estilo de Pensamento) (Fleck, 1935/2010, p. 98).

A adoção da palavra ‘célula’ como terminologia de uma estrutura observada ao microscópio pode remeter a pelo menos três situações, que se constituem em categorias da análise histórico-epistemológica: Categoria 1. Uso do termo *cell* (célula) como identificação da unidade constitutiva dos seres vivos; Categoria 2. Uso do termo *cell* (célula) como identificação da unidade morfofisiológica dos seres vivos; Categoria 3. Uso inespecífico do termo *cell* (célula).

No quadro a seguir (QUADRO 6) encontra-se uma síntese das 23 categorias *a priori* desenvolvidas a partir dos elementos temáticos mencionados anteriormente. Estas foram consideradas na análise histórico-epistemológica realizada nesta pesquisa como possibilidades de integrarem as ideias e práticas associadas a cada episódio histórico, não de modo determinante, mas como orientadoras do processo metodológico. A ocorrência de categorias emergentes aparece na análise dos resultados.

QUADRO 6 – CATEGORIAS *A PRIORI* UTILIZADAS NA ANÁLISE HISTÓRICO-EPISTEMOLÓGICA

ELEMENTOS TEMÁTICOS	CATEGORIAS <i>A PRIORI</i>
Problema da pesquisa/Orientação da pesquisa	<i>Busca por uma unidade estrutural e funcional comum aos seres vivos.</i>
	<i>Descrição direta das células visualizadas ao microscópio.</i>
	<i>Busca pela compreensão de processos fisiológicos celulares.</i>
	<i>Busca pela criação de uma célula mínima, com genoma artificial.</i>
Construção do conhecimento	<i>Influência do contexto na interpretação do objeto de investigação.</i>
	<i>Ênfase na observação e/ou experimentos na interpretação do objeto de investigação.</i>
	<i>Observação e/ou experimentos orientados por teoria.</i>
Concepção filosófica em relação ao objeto de investigação	<i>Assimilação dos seres vivos às máquinas.</i>
	<i>Organismo como sistema biológico.</i>
	<i>Propriedades da célula compreendidas pelo recurso à força vital.</i>
	<i>Propriedades da célula compreendidas pelo reducionismo físico-químico.</i>
	<i>Propriedades da célula compreendidas pelo reducionismo genético.</i>
	<i>Propriedades da célula compreendidas por meio da sua organização.</i>
Modelo de ciência adotado	<i>Física Clássica/Matemática como modelo para explicar a ciência.</i>
	<i>Ciência explicada a partir dos conceitos da Biologia.</i>
Concepção sobre a organização dos seres/individualidade biológica	<i>Indivíduo como totalidade indivisível.</i>
	<i>Indivíduo como agregado de células individualizadas e independentes.</i>
	<i>Indivíduo constituído por células individualizadas e interdependentes que mantêm a totalidade.</i>

Célula e vida	<i>Correlação entre célula e manifestação de vida.</i>
	<i>Ausência de compreensão da célula como manifestação de vida.</i>
Uso do termo cell (célula)	<i>Uso do termo cell (célula) como identificação da unidade constitutiva dos seres vivos.</i>
	<i>Uso do termo cell (célula) como identificação da unidade morfológica e fisiológica dos seres vivos.</i>
	<i>Uso inespecífico do termo cell (célula).</i>

Fonte: A autora (2024).

Conforme explicitado, meus esforços estiveram concentrados em investigar se a produção da célula mínima pela Biologia Sintética teria potencial para fazer emergir um novo Estilo de Pensamento, em contraposição ao Estilo de Pensamento que orienta o conceito clássico de célula como unidade fundamental da vida.

Nos próximos capítulos apresento separadamente o desenvolvimento da análise documental nos dois estudos propostos: Estudo de episódios históricos sobre o conceito clássico de célula e Estudo de episódios contemporâneos sobre o conceito de célula mínima.

8 ESTUDO DE EPISÓDIOS HISTÓRICOS (EH) SOBRE O CONCEITO CLÁSSICO DE CÉLULA – ANÁLISE DOCUMENTAL

A análise dos episódios históricos¹²⁶ relacionada ao conceito clássico de célula foi orientada nesta investigação pela Epistemologia fleckiana, mais especificamente pelo conceito de Estilo de Pensamento. Procurei apreender a ‘percepção direcionada’ (Estilo de Pensamento) dos pesquisadores sobre o conceito clássico de célula utilizando as categorias de análise *a priori*, descritas no QUADRO 6.

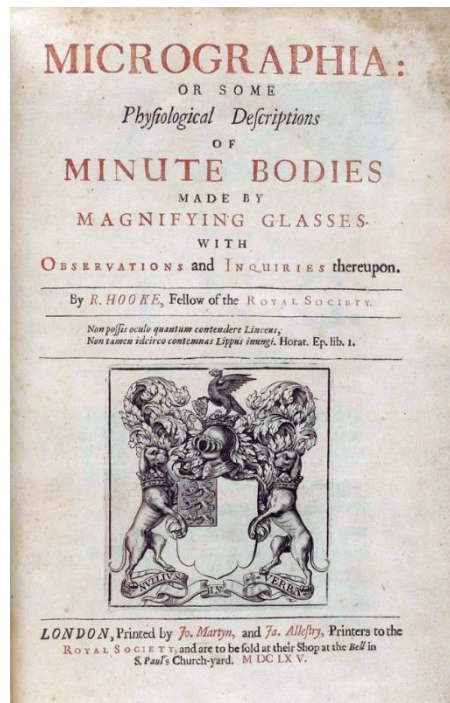
Ao sustentar/orientar a compreensão sobre a evolução histórica dos conceitos na constituição do Fato Científico, o Estilo de Pensamento nos permite conhecer e compreender as construções epistemológicas envolvidas, o estágio do conceito num determinado período da história da ciência e o conceito no presente. A identificação do Estilo de Pensamento sobre a concepção de vida em cada episódio analisado, possibilita estabelecer em que momento na história da Biologia o entendimento deste conceito esteve associado ao conceito de célula e, na análise dos episódios contemporâneos, compreender se ainda existe esta associação.

Na expectativa de investigar o contexto da origem e a evolução do conceito clássico de célula foram selecionadas quatro fontes primárias e uma fonte secundária, dispostas anteriormente nos QUADROS 2 e 3, a fim de realizar análise documental por meio da análise histórico-epistemológica. Primeiramente, foi desenvolvida a análise das fontes primárias referenciadas no QUADRO 2, cujas etapas são detalhadas a seguir.

¹²⁶ De cada fonte primária selecionada, foi identificado um episódio histórico referente à ideia principal da obra, num total de quatro episódios históricos (EH).

8.1 FP/CCC-1 'MICROGRAFIA' - ROBERT HOOKE (1665)

FIGURA 1 – FOLHA DE ROSTO DO LIVRO 'MICROGRAPHIA'



Fonte: <https://scolarcardiff.files.wordpress.com/2012/08/p11902601.jpg>

8.1.1 Primeira Etapa: Análise preliminar de FP/CCC-1

Conforme explicitado na metodologia, a análise do material documental tem como Primeira Etapa a análise preliminar dos documentos, que leva em consideração o *contexto*, os *interesses do autor*, a *autenticidade/confiabilidade do texto*, a *natureza do texto* e *conceitos-chave* (Cellard, 2008).

No que se refere à Primeira Etapa (análise preliminar dos documentos) da FP/CCC -1, cada um dos aspectos acima citados foi examinado e, a seguir exponho uma síntese das informações consideradas mais relevantes.

Sobre o contexto da obra

Em 'Micrographia', Robert Hooke (1635-1703) publicou no ano de 1665, aos 30 anos de idade, os resultados de uma série de observações e experimentos desenvolvidos entre 1661 e 1664 e demonstra como investigações físicas podem ser

ecléticas, mas rigidamente controladas. Como exemplos dessas investigações, mostrou como o exame microscópico de cristais de gelo poderia levar a uma discussão sobre estruturas atômicas; como o primeiro reconhecimento da estrutura *celular* da madeira iniciou a pesquisa sobre o papel do ar na combustão; e como a descrição anatômica de uma mosca se desenvolveu em um ensaio experimental em aerodinâmica, acústica e padrões de onda (Chapman, 1996, tradução nossa, grifo nosso).

No período da publicação de 'Micrographia', de acordo com Martins, Hooke mantinha contato com membros da *Royal Society*, e alguns anos depois (1662) foi escolhido como curador de experimentos desta importante sociedade científica de Londres, a qual "procurava seguir o pensamento de Francis Bacon, fugindo de especulações teóricas vazias e dedicando-se mais ao conhecimento direto da natureza" (Martins, 2011, p. 110).

Sobre os interesses do autor

As 60 ilustrações de diversos materiais observados sob as lentes do microscópio óptico construído pelo cientista inglês¹²⁷, são acompanhadas de descrições detalhadas das características/propriedades desses objetos (vegetais, animais, minerais). Não havia intenção de pesquisar uma estrutura biológica específica, o interesse de Hooke era referente à microscopia óptica (Prestes, 1997; Martins, 2011; Silva, 2014).

As descrições de objetos microscópicos feitas por grandes microscopistas como Nehemiah Grew (1628-1711), Marcelo Malpighi (1628-1694) e Antonie van Leeuwenhoek (1632-1723) nos anos posteriores às observações de Hooke teriam ocorrido mais por entretenimento do que por ciência propriamente dita (Mayr, 1998; Silva, 2014).

¹²⁷ Fios de seda, areia, lâmina de uma navalha, vidro, carvão, plantas, cabelo, insetos, penas de aves, cristais de gelo, uma fina fatia de cortiça, fósseis são alguns exemplos.

Autenticidade e confiabilidade do texto

Quanto à *autenticidade e confiabilidade do texto*, a fonte primária FP/CCC-1 é reconhecida científica e historicamente. A obra foi obtida por meio de pesquisa eletrônica em sites de bibliotecas virtuais confiáveis. O livro é digitalizado, com marcas do tempo e do registro da Missouri Botanical Garden Library, localizada em St. Louis, Missouri, EUA e recebido em 25 de fevereiro de 1930.

Natureza do texto e conceitos-chave

No que concerne à *natureza do texto*, a obra possui natureza científica de caráter empírico. Os *conceitos-chave* são predominantemente associados ao conhecimento básico de Biologia Celular e Microscopia.

8.1.2 Segunda Etapa: Análise Documental propriamente dita (Análise histórico-epistemológica)

Em relação ao livro 1 - 'Micrographia', no que se refere aos episódios históricos sobre o conceito clássico de célula (FP/CCC-1), foram selecionados 14 (quatorze) excertos dispostos no APÊNDICE A. O episódio histórico (EH) correspondente a esta fonte primária foi denominado 'Descrições e ilustrações de materiais observados por Robert Hooke em seu microscópio óptico' (EH1). Cada excerto foi codificado com base na identificação da fonte primária (FP/CCC-1), iniciando com o código FP/CCC -1.1 até FP/CCC -1.14.

A categorização dos excertos está apresentada no APÊNDICE B. Importante ressaltar que as categorias de análise não foram determinantes, mas orientadoras da análise histórico-epistemológica, na expectativa de identificar o Estilo de Pensamento que orienta o conceito de célula encontrado em Hooke e, por inferência, do coletivo de pesquisadores ao qual ele pertencia. Categorias que emergiram durante o processo foram indicadas como categorias emergentes.

No intuito de manter o contexto de cada excerto, destaco em negrito as frases que contêm as ideias sobre as quais a categorização foi aplicada. Estas receberam letras em seus códigos para diferenciá-las dentro de um mesmo excerto,

por exemplo, FP/CCC-1.1A e FP/CCC-1.1B. O mesmo padrão de codificação dos excertos foi adotado para as demais fontes, com base na identificação das obras.

Habitualmente, as referências a essa fonte primária limitam o episódio histórico à famosa Observação XVIII – ‘Do esquema ou textura da cortiça’. A opção por considerar a publicação completa na seleção dos excertos foi uma tentativa de desenvolver uma análise mais ampla, que contemplasse o contexto da obra, tanto conceitual quanto histórico e epistemológico.

Destaco que foram localizadas citações similares às que são apresentadas no APÊNDICE A e poderiam fazer parte dos excertos que compõem a análise. Contudo, se constitui objetivo realizar uma análise qualitativa legítima, sem menção à contagem ou frequência de categorias. Estas tiveram apenas função orientadora no processo de identificação do Estilo de Pensamento que orienta o conceito de célula. Desse modo, decidi reduzir a quantidade de excertos, sem prejuízo à análise.

Após a categorização dos excertos, com base nas categorias *a priori* e emergentes (APÊNDICE B), apresento a descrição qualitativa dos dados acompanhada da interpretação da FP/CCC-1 orientada pela Epistemologia fleckiana, particularmente pelo conceito de Estilo de Pensamento. Recorrendo à categorização, busco apreender a ‘percepção direcionada’ dos pesquisadores sobre o conceito de célula

Embora a intenção tenha sido iniciar a discussão pelas categorias *a priori*, já descritas, durante a categorização dos excertos da FP/CCC-1 houve a emergência de uma categoria que parece alicerçar o método e a concepção filosófica sobre o objeto de estudo. A categoria intitulada Oposição ao pensamento aristotélico, caracteriza a recusa ao método de investigação da natureza promovido pelo filósofo Aristóteles (384 a. C – 322 a. C), que perdurou por séculos, sendo criticado veementemente por Francis Bacon com seu método experimental e indutivo, do qual Robert Hooke era praticante.

O programa baconiano de investigação da natureza preconizava a observação e a experimentação, uma nova concepção de ciência experimental, operativa, indutiva, que intencionava uma reforma do saber. Zaterka adverte, no entanto, que o experimento em Bacon não é uma observação empírica comum, mas uma intervenção sobre o curso da natureza, “pois somente com essa intervenção – ou com o ato de atormentar a natureza – ela se manifestará da melhor maneira possível, ou seja, nas suas partes mais diminutas” (Zaterka, 2015, p. 502). Segundo

Zaterka, a natureza passa a ser modificada pela intervenção humana, de modo que “os instrumentos técnicos, como o telescópio, o barômetro, o microscópio e a bomba a vácuo, por exemplo, ganham um lugar central nas novas investigações” (Zaterka, 2018, p. 7).

Martins corrobora essa ideia ao comentar que além das descrições detalhadas do corpo de pequenos animais, em ‘Micrographia’, Hooke realizou alguns experimentos com eles, como da picada do piolho na própria mão, “observando os resultados de autoexperimentação, que realizava com frequência” (Martins, 2011, p. 126). Hooke fala, inclusive, numa ‘reforma na filosofia’ em FP/CCC-1.1B e defende uma ‘filosofia real, mecânica e experimental’ em FP/CCC-1.2A.

Por consequência desse posicionamento filosófico e metodológico de Hooke, a ênfase na observação e/ou experimentos na interpretação do objeto de investigação é marcante na descrição de cada um dos ‘pequenos corpos’ e aparece desde o prefácio da obra, conforme pode ser constatado em FP/CCC-1.1A, “como uma mão sincera e um olho fiel, para examinar e registrar as próprias coisas como elas aparecem” (Hooke, 1665, prefácio, tradução nossa).

A confiança nas lentes do seu microscópio é expressa tanto na descrição e ilustração detalhadas do instrumento por ele construído quanto em citações que reforçam sua relevância para seu estudo, como no excerto FP/CCC-1.6A, que se refere à Observação XVII (Da madeira petrificada e outros corpos petrificados), “eu fui capaz de descobrir claramente a olho nu, mas mais perfeita e distintamente com meu microscópio” (Hooke, 1665, p. 111, tradução nossa). Vemos, assim, um posicionamento epistemológico alinhado à visão empírico-indutivista, comum aos membros da Royal Society, no qual a interação com a natureza ou a manipulação da natureza é favorecida pela intervenção com o uso de instrumentos.

Isso significa a crença de Hooke no êxito de uma relação entre sujeito e objeto, mediada pelo microscópio, para alcançar as ‘descobertas’ de um mundo invisível a olho nu. Isoladamente, esse procedimento pode ser caracterizado como um Estilo de Pensamento empirista, contrário à compreensão de Fleck sobre a construção da ciência, o qual introduz um terceiro elemento - o estado do saber/conhecimento - na relação binária sujeito-objeto. Embora numa análise fleckiana seja certo que o estado do saber esteja sempre presente na investigação científica, Hooke não faz menção ao contexto social ou histórico da sua pesquisa. Logo, a partir da obra analisada, tal aspecto não foi identificado.

Em diversas observações, é possível notar explicitamente a filiação do cientista inglês ao mecanicismo cartesiano, quando se refere a seres vivos e seus processos como autômatos, conforme exemplificado no excerto FP/CCC-1.14A, extraído da Observação XLIV (Do Mosquito com tufos ou chifres de escova):

Assim seja com esses curiosos motores de corpos de insetos; o Todo-sábio Deus da Natureza, pode ter assim ordenado e dispuseram os pequenos autômatos que, quando alimentados, acionados ou animados por essa causa, produzem um tipo de efeito ou forma animada, quando por outro eles agem de maneira bem diferente, e outro animal é produzido. Assim, ele pode ordenar vários materiais, de modo a fazê-los, por vários tipos de métodos, produzir autômatos semelhantes (Hooke, 1665, p. 194, tradução nossa).

A concepção de *seres vivos considerados máquinas* aparece como uma forte convicção na Observação XX (Do mofo azul e dos primeiros princípios de vegetação surgindo da Putrefação), representada pelo excerto FP/CCC-1.11A:

E, nesse meio tempo, devo concluir que, tanto quanto fui capaz de examinar a natureza desse tipo primário de vida e vegetação, não consigo encontrar o argumento menos provável para me persuadir de que outra causa concorrente é puramente mecânica e que os efeitos ou produções são tão necessários após a concordância dessas causas quanto um navio, quando as velas são içadas e o leme é colocado em tal posição, deve, quando o vento sopra, ser movido de tal maneira ou curso para aquele ou outro lugar (Hooke, 1665, p. 130-131, tradução nossa).

Tendo como base as características das suas ilustrações, bem como seu posicionamento filosófico nas descrições dos materiais biológicos observados, é possível inferir que o *Estilo de Pensamento biológico mecanicista* (Bertoni, 2012), marcado fortemente pelo pensamento empírico-indutivo baconiano orientava as observações de Hooke.

Numa clara *objeção ao pensamento aristotélico* (FP/CCC-1.3B) e adesão ao empirismo baconiano (FP/CCC-1.3A), o cientista inglês diz no seu prefácio:

[...] E não proponho este tipo de Filosofia Experimental apenas como questão de alto êxtase e deleite da mente, mas também como prazer material e sensível. Tão vasta é a variedade de objetos que virão sob suas inflexões, tantas maneiras diferentes de manipulá-los, tão grande é a satisfação de descobrir coisas novas, que ousa comparar o contentamento que eles terão, não apenas com aquele de contemplação, mas também para o que a maioria dos homens prefere dos próprios sentidos (Hooke, 1665, prefácio, tradução nossa).

É possível constatar que essa precisão empírica vem acompanhada da matematização do conhecimento científico, especialmente no âmbito da Física, padrão de ciência dominante no mundo ocidental no século XVII e que em muitos aspectos, ainda perdura (Zaterka; Mocellin, 2022). Até mesmo o estudo dos seres vivos foi fortemente influenciado por esse modelo de ciência. Hooke chegou a contar a quantidade de ‘células de cortiça’ na área de observação do seu microscópio, como descrito no excerto FP/CCC-1.10A. Dessa maneira, é esperado encontrar na obra de Hooke, a *Física Clássica /Matemática como modelo para explicar a ciência*, o que foi constatado também a partir de seu próprio esclarecimento na Observação I (Da ponta de uma pequena agulha afiada), localizada no excerto FP/CCC-1.4A:

Como na Geometria, a forma mais natural de começar é a partir de um ponto Matemático; assim o mesmo método em Observações e História Natural é o mais genuíno, simples e instrutivo. Nós devemos primeiro nos esforçar para tornar as letras verdadeiras e traçar traços únicos antes de nos aventurarmos a escrever frases inteiras ou a desenhar figuras grandes. E nas Investigações Físicas, devemos nos esforçar para seguir a Natureza nos caminhos mais claros e fáceis que ela trilha nos corpos mais simples e descompostos, traçar seus passos e conhecer sua maneira de andar lá, antes de nos aventurarmos no multidão de meandros ela tem em corpos de natureza mais complicada; para que, sendo incapazes de distinguir e julgar nosso caminho, rapidamente percamos tanto a Natureza, nosso Guia, quanto a nós mesmos, e sejamos deixados a vagar no labirinto de opiniões infundadas; querendo tanto o julgamento, essa luz, quanto a experiência, essa pista, que deve direcionar nossos procedimentos (Hooke, 1665, p. 1, tradução nossa).

Uma leitura minuciosa de ‘Micrographia’, para além da famosa Observação XVIII (Do esquema ou textura da cortiça), nos revela o uso do termo ‘cell’ ou ‘cells’ em diversas descrições nas quais Robert Hooke não faz referência à cortiça. Hooke parece usar o termo com base no seu conhecido significado original (do latim *cella* = pequena cavidade ou compartimento) não exclusivamente às ‘células da cortiça’, que hoje reconhecemos como as paredes celulares de células mortas do tecido vegetal da casca do sobreiro, assim descritas em FP/CCC-1.7A:

Mas a julgar pela leveza e qualidade da cortiça, certamente a textura não poderia ser tão curiosa, mas possivelmente, se eu pudesse usar um pouco mais de diligência, poderia descobri-la com um microscópio, eu com o mesmo canivete afiado, cortei da superfície lisa anterior um pedaço extremamente fino colocando-o em uma placa de objeto preto, porque ele próprio era um corpo branco, e lançando a luz sobre ele com um vidro plano-convexo profundo, pude percebê-lo claramente como sendo todo perfurado e poroso, muito parecido com um favo de mel, mas que os *poros* não eram regulares; no entanto, não era diferente de um *favo de mel* nesses detalhes.

Primeiro, porque tinha muito pouca substância sólida, em comparação com a cavidade vazia que estava contida no meio, [...] para o interstício, ou paredes (como posso chamar eles) ou partições desses *poros* eram tão finos em proporção a seus poros, como aquelas finas películas de cera em um favo de mel (que envolvem e constituem os celtas sexangulares) são para os deles (Hooke, 1665, p. 112-113, tradução nossa, grifo nosso).

Hooke registra o fato de possivelmente ser o primeiro a observar poros microscópicos e não dá ênfase ao chamá-los de células em FP/CCC-1.8B.

[...] esses *poros, ou células*, não eram muito profundos, mas consistiam em muitas *pequenas caixas*, separadas de um poro longo e contínuo, por certos diafragmas [...]. Tão logo os discerni (que foram de fato os primeiros poros microscópicos que eu já vi, e talvez, que já foram vistos, pois eu não encontrei nenhum escritor ou pessoa, que fez qualquer menção a eles antes disso), pensei que a descoberta deles, atualmente me deu a entender a verdadeira e inteligível razão de todos os fenômenos da cortiça (Hooke, 1665, p. 113, tradução nossa, grifo nosso).

Em outros momentos da sua pormenorizada descrição do fino corte da cortiça, Hooke também não utiliza a palavra célula como terminologia preferencial da estrutura que caracterizava por meio de desenhos e palavras. Como no excerto FP/CCC-1.9B, “[...] nosso microscópio nos informa que a substância da cortiça é totalmente preenchida com o ar, e que esse ar está perfeitamente encerrado em pequenas *caixas ou células* distintas umas das outras” (Hooke, 1665, p. 113, tradução nossa, grifo nosso).

Disso depreende-se que a tradicional explicação que busca desmitificar Robert Hooke como descobridor da célula, parece estar incompleta. Além de não ter identificado a célula (no sentido biológico tradicional), não cunhou o termo exclusivamente para os espaços cheios de ar encontrados na cortiça. Hooke utilizou o termo ‘cell’ ou ‘cells’ como sinônimo de poros e caixas (na observação XVIII - Do esquema ou textura da cortiça), caixas (na observação VIII - Das faíscas de fogo lançadas de uma pederneira ou aço), cavernas (na observação XVII - De madeira petrificada e outros corpos petrificados).

Considerando o objetivo de registrar detalhes, especificidades dos diversos materiais observados com as lentes do seu microscópio, o uso do termo ‘cell’, nesse contexto, não parece estranho. Diversos materiais continham pequenas cavidades, compartimentos, orifícios, que Hooke explorou no sentido da tradição baconiana de intérprete da natureza.

Portanto, tomando a Epistemologia fleckiana como modelo de análise da construção do conceito de célula, analisando a concepção filosófica de Hooke e o contexto da obra em que utilizou o termo 'cell', fica evidente que o Estilo de Pensamento do cientista inglês era mecanicista, mas isso **não** permite considerar que a descrição dos poros, caixas, células da cortiça de Hooke correspondam a um Estilo de Pensamento mecanicista sobre o conceito de célula. O fato de fazer referência aos seres vivos como autômatos, motores, máquinas reflete o Estilo de Pensamento biológico mecanicista de Hooke (Bertoni, 2012) e a compreensão da *vida como mecanismo* (Canguilhem, 1973).

Hooke falou da palavra, não do conceito de célula, o que foi considerado nesta análise como *uso inespecífico do termo cell*. A Epistemologia fleckiana também auxilia nessa análise. Fleck (1935/2010) orienta que as palavras possuem significado dentro de um contexto, de um Estilo de Pensamento. Para o médico polonês, essas mudanças sutis, gradativas do significado das palavras (que ele chama de matização) somente podem ser percebidas por meio de uma 'introdução' histórica ou didática, um dos objetivos da presente investigação.

Além do uso genérico do termo 'célula', a *ausência de compreensão da célula como manifestação de vida* pode ser indubitavelmente percebida na Observação VIII (Das faíscas de fogo lançadas de uma pederneira ou aço), onde Hooke descreve em FP/CCC-1.5A: "nem precisamos nos incomodar para examinar por que Prometeu, o Elemento do Fogo vem ser trazido de cima das Regiões do Ar, em quais *Células* ou *Caixas* ele é mantido" (Hooke, 1665, p. 46, tradução nossa, grifo nosso).

As duas últimas categorizações referenciadas possibilitam refletir sobre dois pontos que se relacionam: a palavra 'célula', naquele momento histórico não denotava uma unidade biológica, mas uma simples estrutura física, como um compartimento ou partes dos objetos descritos. Hooke, inclusive, usa o termo para explicar o funcionamento do seu microscópio e, nesse sentido, temos a impossibilidade de associá-la à manifestação de vida, como algo que diferencia o vivo do não-vivo. Assim, na época de Hooke, todos os corpos 'continuavam submetidos' às mesmas leis da mecânica.

Portanto, de acordo com a análise histórico-epistemológica de 'Micrografia' desenvolvida, **não existia**, na época de Hooke, um Estilo de Pensamento sobre o conceito de célula. A busca por uma unidade funcional dos seres vivos não era tema

de pesquisa, a Biologia estava longe de ser consolidada como ciência (esse fato ocorreu no século XIX). O fenômeno da vida, no século XVII, era pensado numa vertente filosófica. Ou seja, a correlação que hoje naturalmente fazemos entre o conceito de vida e o conceito de célula não existia no século XVII. Efetivamente, nem mesmo existia um conceito para a célula. Isso passou a ocorrer com a proposição da teoria celular no século XIX.

Importante destacar que as modificações na percepção da célula do século XVII ao século XIX foram lentas, gradativas, processuais (Silva, 2014). Nem Hooke, nem outros microscopistas do século XVII tinham condições de visualizar células sob as lentes dos microscópios, pois lhes faltava qualquer concepção acerca de uma unidade elementar dos seres vivos. As estruturas representadas em seus desenhos eram designadas pelos mais diferentes termos: glóbulos, poros microscópicos, utrículos, sáculos, bolhas, bexigas e até células¹²⁸ (Baker, 1948; Prestes, 1997). Prestes destaca que “ao consultarmos hoje, os livros ilustrados por Hooke, Malpighi, Grew e Leeuwenhoek¹²⁹ ‘vemos’ células desenhadas com precisão e detalhe” (Prestes, 1997, p. 30)¹³⁰.

A autora acrescenta que, frequentemente, as estruturas denominadas por esses termos não eram células e, por serem estudadas independentemente por cada microscopista, “não era esperado nem mesmo pensar que um único nome pudesse referir-se a todas elas” (Prestes, 1997, p. 30). Na segunda metade do século XVIII, segundo Jacob, a noção de uma composição elementar dos seres

¹²⁸ No final do século XVII, sob o domínio da *fibra*, Malpighi tinha notado a existência de *utriculi siu sacculi* na estrutura vegetal e que Grew, usou indiscriminadamente os termos *bexiga*, *poros* e, tomando emprestado o termo de Hooke, *células*, este último, evidentemente, não possuía o significado atual (Baker, 1948; Teulón 1982; Silva, 2014).

¹²⁹ Interessante pontuar as contribuições de Anton van Leeuwenhoek às observações biológicas, por volta de 1675. Sem formação acadêmica, o holandês Leeuwenhoek desenvolveu um instrumento constituído por uma lente convexa e uma armação de metal para observar a qualidade dos tecidos de linho que comercializa. A curiosidade de Leeuwenhoek pelo “mundo microscópico” levou-o a observar os mais variados objetos, seres vivos, tecidos orgânicos e fluidos corporais humanos. Desenvolveu lentes com um poder de ampliação e resolução altos para a época. Segundo os seus registos teria produzido lentes com uma amplificação de 270 vezes e com um poder de resolução de 1 µm. A observação de seres vivos em amostras de água, levou-o a descrever aquilo a que chamou de ‘animálculos’, atualmente conhecidos como protozoários. Em 1677, descreveu os espermatozoides dos seres humanos (Teles; Fonseca, 2019, p. 129). De acordo com Lene (2015), houve resistência da Royal Society ao estilo coloquial das suas cartas. Contudo, cientistas posteriores não conseguiram igualar a resolução e a clareza dos microscópios de Leeuwenhoek, então suas descobertas foram questionadas ou mesmo descartadas ao longo dos séculos, limitando sua influência direta na história da biologia; porém um trabalho no século XX confirmou a identificação de células bacterianas por Leeuwenhoek, com uma resolução de menos de 1 µm.

¹³⁰ Baker (1948) apresenta uma explanação acerca das variadas interpretações desses microscopistas sobre as estruturas visualizadas.

vivos passa a aparecer na maior parte dos escritos. Todavia, o termo ‘célula’ só foi validado num período muito próximo à proposição da teoria celular. Mais um dado importante para corroborar a ideia de não existir um Estilo de Pensamento sobre a célula na época de Hooke.

Atualmente, com a célula mínima, podemos refletir se o conceito de vida teria se afastado da célula ou o contrário, o conceito de célula escapa do conceito de vida. A defesa de uma vida artificial ‘poderia ter respaldo ao considerar a célula artificial semelhante à célula natural, no sentido baconiano¹³¹? Qual Estilo de Pensamento biológico estaria por trás da relação entre célula e vida no contexto atual? Quais implicações dessa trama para o ensino de ciências/Biologia?

O caminho de análise percorrido, ancorado na Epistemologia Fleckiana possibilitou discussões e reflexões acerca desses questionamentos. Por ser histórica, social, evolutiva, dinâmica, holística¹³², alinha-se ao modelo de ciência que, na minha concepção, uma vez apresentado aos estudantes, favorece a aprendizagem dos conceitos científicos.

O aspecto coletivo da produção de conhecimento científico é algo que pode ser explorado na obra de Hooke e nas demais obras clássicas aqui analisadas, como no parágrafo final do prefácio de FP/CCC-1, onde o cientista inglês se coloca como integrante de um coletivo de pesquisadores que realizava observações microscópicas:

Depois de quase completar essas imagens e observações (tendo gravado várias delas e estando pronto para enviá-las à imprensa), fui informado de que o engenhoso médico Dr. Henry Power havia feito várias observações microscópicas, [...], ao vermos os Documentos uns dos outros de forma intercambiável, descobrimos que eles eram em sua maior parte diferentes dos meus, seja no próprio assunto, seja nas particularidades notadas (Hooke, 1665, prefácio, tradução nossa).

As próximas obras analisadas sobre o Estilo de Pensamento referente ao conceito clássico de célula foram publicadas quase dois séculos após a obra de Hooke. Nesse intervalo de tempo, a unidade elementar dos seres vivos foi

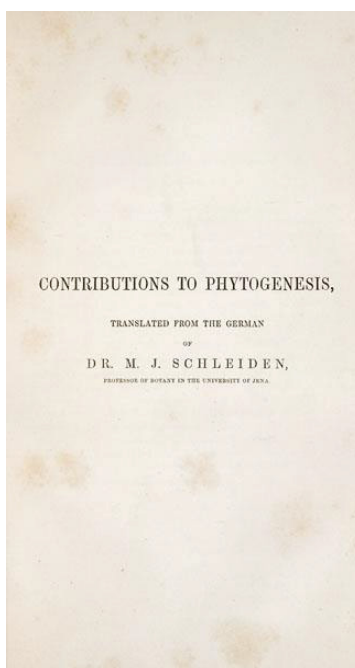
¹³¹ Bacon concebia semelhança ontológica entre o natural e o artificial (Zaterka, 2015).

¹³² Conforme explicitarei no Terceiro Capítulo desta tese, o modelo biológico adotado por Fleck, para explicar a construção da ciência, apresenta tais características, especialmente por influência da teoria da evolução darwiniana, mas também de algum modo pela teoria da relatividade e da Física Quântica.

considerada como sendo os glóbulos, a fibra, o tecido e por último a célula, estrutura sobre a qual se baseia o interesse da presente investigação.

8.2 FP/CCC-2 'CONTRIBUIÇÕES À FITOGÊNESE' - MATHIAS SCHLEIDEN (1838)

FIGURA 2 – FOLHA DE ROSTO DO LIVRO 'CONTRIBUIÇÕES À FITOGÊNESE'



Fonte: <https://assets-us-01.kc-usercontent.com/9dd25524-761a-000d-d79f-86a5086d4774/6ee7c516-cd80-47dd-8ff2-dc2c31fb9c32/schleiden6.jpg?w=392&h=600&auto=format&q=75&fit=crop>

8.2.1 Primeira Etapa: Análise preliminar de FP/CCC-2

A análise do material documental tem como Primeira Etapa a *análise preliminar dos documentos*, cujos aspectos mais pertinentes da FP/CCC -2 são delineados na sequência. Estes serviram de suporte para a Segunda Etapa da análise, uma vez que ajudam a revelar as circunstâncias da obra, as intenções do autor e outras características que colaboram para a qualidade da análise (Cellard, 2008).

Sobre o contexto da obra

Mayr (1998) esclarece que as poucas referências feitas às 'células' de 1740 a 1820 evidenciavam mais as fibras e demais estruturas longitudinais do que as próprias 'células'. Isto não significa, segundo Silva (2014), que houve estagnação do conhecimento biológico nesse período, ao contrário, existiam outros interesses de pesquisa, tais como os estudos anatômicos, fisiológicos, histológicos, embriológicos, geração dos organismos, além da busca pela unidade estrutural básica dos seres vivos.

Segundo Jacob (1970/1983), a ideia de uma composição elementar dos seres vivos passa a aparecer nas publicações da segunda metade do século XVIII. No entanto, até o final deste século, não existia uma fronteira bem definida entre os seres vivos e as coisas, de forma que a diferenciação entre animal, vegetal e mineral tinha a finalidade de instituir grandes categorias entre os corpos do mundo. Segundo o autor, "existem órgãos que funcionam. O objetivo da fisiologia consiste em reconhecer suas engrenagens e sua articulação" (Jacob, 1970/1983, p. 40), influência clara do mecanicismo. O fenômeno vida como qualidade específica da organização passou a ser reconhecido no século XIX.

No século XVIII, partículas vivas e moléculas orgânicas representavam apenas o meio de encontrar nos corpos vivos a natureza descontínua da matéria e de ordenar o mundo dos seres como o mundo das coisas, de acordo com a visão mecanicista do século XVIII (Jacob, 1970/1983). O componente elementar dos corpos vivos neste século era a fibra (Baker, 1948; Teulón, 1982).

Já no começo do século XIX, com as pesquisas do anatomista e fisiologista francês Xavier Bichat, o componente elementar dos corpos vivos passou a ser o tecido (Mayr, 2008). Essa definição atendia aos padrões da Biologia do começo do século XIX, uma vez que a continuidade do tecido corresponde de certa forma à totalidade do ser vivo (Jacob, 1970/1983).

Com o aumento do poder de resolução dos microscópios no século XIX, acumulam-se uma série de observações sobre a composição de plantas e animais. Ao examinarem os tecidos, os olhos dos histologistas munidos do microscópio enxergam vesículas, utrículos, células. Os seres vivos apareciam decompostos em unidades justapostas, cenário favorável ao estudo da célula (Jacob, 1970/1983).

Isso possibilitou superar a ideia vitalista da individualidade do todo, criticada por Schleiden, mas ainda presente em pesquisas no campo da Biologia da época.

Sobre os interesses do autor

Em 'Contribuições à Fitogênese', o botânico alemão Mathias Jacob Schleiden escreve sobre sua pesquisa acerca da estrutura interna das plantas e o crescimento das plantas, dando papel de destaque ao núcleo celular, em função da presença constante do núcleo nas células de embriões jovens. Isso o levou a considerar que os núcleos das células devem manter alguma relação próxima com o desenvolvimento da própria célula.

Segundo Prestes (1997), a preocupação teórica do botânico era explicar a função do núcleo na célula, logo o botânico ignorou explicações anteriores sobre a multiplicação das células vegetais por divisão, uma vez que não era atribuído um papel importante ao núcleo.

Autenticidade e confiabilidade do texto

Quanto à *autenticidade e confiabilidade do texto*, a fonte primária FP/CCC-2 é reconhecida científica e historicamente. A obra foi obtida por meio de pesquisa eletrônica em sites de bibliotecas virtuais confiáveis. O livro é digitalizado, com marcas do tempo e com registro da biblioteca do Max-Planck-Institute for the History of Science, localizada em Berlin, Alemanha. Não foi possível identificar a data de aquisição do livro.

Natureza do texto e conceitos-chave

No que concerne à *natureza do texto*, a obra possui natureza científica de caráter empírico. Os *conceitos-chave* são predominantemente associados ao conhecimento básico de Biologia Celular, Anatomia e Fisiologia Vegetal, concepção de indivíduo/organismo.

8.2.2 Segunda Etapa: Análise Documental propriamente dita de FP/CCC-2 (Análise histórico-epistemológica)

Em relação ao livro 2 - 'Contribuições à Fitogênese', no que se refere aos episódios históricos sobre o conceito clássico de célula (FP/CCC-2), foram selecionados 9 (nove) excertos apresentados no APÊNDICE C. O episódio histórico (EH) correspondente a esta fonte primária foi denominado 'Investigação de Mathias Schleiden sobre o processo de formação das células vegetais' (EH2). A publicação completa foi examinada na seleção dos excertos, os quais foram codificados seguindo o mesmo padrão estabelecido na análise anteriormente comunicada.

A categorização dos excertos está apresentada no APÊNDICE D. As categorias de análise foram orientadoras da análise histórico-epistemológica, a fim de conhecer o Estilo de Pensamento sobre a célula do autor da obra, Mathias Schleiden e, conseqüentemente do coletivo de botânicos pesquisadores ao qual ele pertencia, na década de 1830. Não houve emergência de categorias durante o estudo, ou seja, as pistas fornecidas pelas categorias *a priori* se mostraram suficientes para caracterizar o modo de pensar e agir (Estilo de Pensamento) daquela comunidade científica (Coletivo de Pensamento) acerca da célula.

A obra faz referência constante a termos botânicos e à descrição da Anatomia e Fisiologia de plantas. Nesses casos, as citações não foram selecionadas para compor o quadro de análise, visto que não agregariam conhecimento relevante à identificação do Estilo de Pensamento sobre a célula.

Após a categorização dos excertos com base nas categorias *a priori* (APÊNDICE D), apresento na sequência a descrição qualitativa dos dados acompanhada da interpretação do episódio histórico (EH) relacionado à FP/CCC-2, intitulado 'Investigação de Mathias Schleiden sobre o processo de formação das células vegetais' (EH2).

Em 'Contribuições à Fitogênese', Schleiden estuda a estrutura interna das plantas e considerou que as células são suas unidades constitutivas. Iniciou o texto com uma crítica à ideia vitalista de totalidade na ciência, e comenta sobre a dificuldade dos pesquisadores da época em estabelecer analogias entre os grupos animal e vegetal em FP/CCC-2.1A, uma demonstração da *influência do contexto na interpretação do objeto de investigação* em termos filosóficos. A busca por características em comum entre os dois grandes reinos de seres vivos reconhecidos

à época estaria sendo dificultada pela concepção especulativa de indivíduo da *Naturphilosophie*.

A lei geral fundamental da razão humana, sua tendência invariável à unidade em sua aquisição de conhecimento sempre foi evidenciada na área que trata dos corpos organizados como totalidade, assim como em todos os outros ramos da ciência; e muitos têm se empenhado em estabelecer as analogias entre as duas grandes divisões dos reinos animal e vegetal. Mas, por mais eminentes que tenham sido os homens que dedicaram sua atenção a esse assunto, não se pode negar que todas as tentativas feitas até agora com esse ponto de vista devem ser consideradas totalmente infrutíferas [...] (Schleiden, 1838, p. 231, tradução nossa).

É possível identificar em FP/CCC-2.1B a distinção entre a ideia de indivíduo no mundo animal e vegetal, manifestando sua visão dos corpos animais como totalidade indivisível, típica do vitalismo, e dos corpos vegetais como um tipo de *agregado de células individualizadas*, pensamento em conformidade com o mecanicismo.

[...] A causa disso, no entanto, é que a ideia do indivíduo, no sentido em que ocorre na natureza animal, não pode de forma alguma ser aplicado ao mundo vegetal. É apenas nas ordens mais baixas de plantas, em algumas algas e fungos, por exemplo, que consistem somente de uma simples célula, que nós podemos falar de um indivíduo nesse sentido. Mas toda planta desenvolvida em qualquer grau superior é um agregado de seres totalmente individualizados, independentes e separados, até mesmo as próprias células (Schleiden, 1838, p. 231, tradução nossa).

Em toda obra, Schleiden revela sua posição empírico-indutiva, típica do método científico da época, onde o Fato Científico seria dado, a observação neutra e, a partir das imagens visualizadas ao microscópio, os fenômenos são descritos. Quase um século depois, Ludwik Fleck se opõe às ideias positivistas do Círculo de Viena, alicerçadas no mesmo método indutivo e empírico para legitimar a ciência. O método adotado na investigação científica de um coletivo de pesquisadores participa da constituição do Estilo de Pensamento, por esse motivo é importante constatá-lo na análise histórico-epistemológica. Fleck critica o mito sobre a observação e o experimento, no qual o sujeito do processo de conhecimento que “quer saber alguma coisa, faz a observação ou o experimento e logo sabe” (Fleck, 1935/2010, p. 133).

Neste caso, Schleiden enfatizou a observação do objeto científico – o desenvolvimento das células vegetais - como orientadora das suas investigações,

como na afirmação identificada em FP/CCC-2.2A, em que critica a investigação a partir de hipóteses, característica do método dedutivo.

[...] já que nenhum avanço real na ciência resulta da tentativa de explicar os fenômenos naturais hipoteticamente, e muito menos, quando todas as condições para a construção de uma hipótese tangível, ou seja, fatos orientadores, estão faltando, eu posso omitir toda introdução histórica pois, até onde eu sei, não existem observações diretas até o momento sobre o desenvolvimento das células de plantas (Schleiden, 1838, p. 231, tradução nossa).

De início, o botânico alemão esclarece no excerto FP/CCC-2.3A seu principal problema de pesquisa: “Como se origina este pequeno organismo peculiar, a célula?”, revelando que a busca por processos fisiológicos celulares orientava sua investigação. Em diversos momentos, Schleiden deixa evidente seu objetivo de investigação em Fisiologia Vegetal, como pode ser verificado na afirmação feita pelo botânico alemão em FP/CCC-2.6A: “O processo de formação das células, o qual eu tenho me esforçado para descrever em detalhes” (Schleiden, 1838, p. 247, tradução nossa).

Schleiden apresenta duras críticas a investigadores que o precederam, ignorando o trabalho de F. J. F. Meyen (1804-1840) o qual, segundo Mayr (2008) publicou uma monografia com informações precisas sobre as células vegetais, sugerindo que que novas células se originavam a partir da divisão de células preexistentes, não surgindo livremente.

O botânico reforça a visão empírico-indutiva, ao mesmo tempo em que reafirma seu interesse na Fisiologia das plantas, respectivamente em FP/CCC-2.4A e FP/CCC-2.4B, ao considerar que a atenção especial que resolveu dar ao núcleo lhe rendeu sucesso. Ele justifica seu interesse em função da presença constante do núcleo nas células de muitos embriões jovens e albumens recém-formados tê-lo afetado em suas pesquisas sobre o desenvolvimento de embriões vegetais. Isso o levou a considerar que “os diversos modos de ocorrência do núcleo poderiam levar ao pensamento que os núcleos das células devem manter alguma relação próxima com o desenvolvimento da própria célula” (Schleiden, 1838, p. 233, tradução nossa).

O botânico alemão se empenha em descrever minuciosamente o núcleo de monocotiledôneas e dicotiledôneas quanto ao formato, cor, tamanho, estruturas internas e tece outras considerações acerca de células de diversos tecidos vegetais e do ‘seu’ citoblasto (como passa a nomear o núcleo em virtude da sua função).

Nesse ponto da história da construção do conceito de célula, convém discorrer sobre a Filosofia imbricada no método de pesquisa de Schleiden. Recio apresenta reflexões importantes que podem colaborar na identificação do Estilo de Pensamento do botânico sobre a célula.

Schleiden está tão convencido da função geradora do núcleo que decide chamá-lo de 'citoblasto'. Com isso, ele enfatiza que o foco de sua pesquisa está no aspecto ativador ou dinâmico que corresponde às células — incluindo suas organelas—, e não apenas em uma exploração descritiva. Mas ainda há algo que tem maior importância: alertado pela filosofia neokantiana [...], Schleiden condena o vitalismo como uma doutrina metafísica que toma partido da essência dos fenômenos vitais. Ele acreditará que o método da botânica só pode ser o método analítico-causal baseado na indução. [...] (Recio, 1990, p. 89, tradução nossa).

O método indutivo de Schleiden o levou a tentar responder sua pergunta de 'Como se origina a célula?' por meio de observações sistemáticas da estrutura que ele associou ao desenvolvimento da célula - o núcleo, revelando o reducionismo imbricado no pensamento mecânico.

Sobre o processo de formação das células, Schleiden considerava a existência de algumas modificações que tornavam a observação direta muito difícil ou até impossível em certas plantas. Em FP/CCC-2.6B é possível constatar que essa dificuldade seria devido ao não conhecimento das propriedades físicas e químicas das substâncias que precedem a formação das células dessas plantas, o que deveria ser considerado exceções. Diz Schleiden: “[...] embora, apesar disso, a lei permaneça intacta e universalmente válida, porque a analogia o exige e nós podemos explicar plenamente as causas da impossibilidade da observação direta” (Schleiden, 1838, p. 247, tradução nossa).

O botânico parece levar em consideração as explicações reducionistas físico-químicas a nível celular, próprias da concepção mecanicista. Porém, minimiza sua importância quando tais explicações passam a ser obstáculo a algumas de suas observações sobre o processo de formação das células. Na epistemologia fleckiana, é possível interpretar que Schleiden estava confortável em um Estilo de Pensamento que era compartilhado com um Coletivo e se esforçou para permanecer no estado

de Harmonia das Ilusões¹³³, mantida pelo caráter coercitivo do Estilo de Pensamento biológico mecanicista (Bertoni, 2012). A consciência da Complicação (exceção) proveniente das suas investigações, não é suficiente para mudança no Estilo de Pensamento, que nunca é individual, mas coletivo.

Canguilhem (2012) esclarece que as especulações da Escola romântica dos filósofos da natureza *Naturphilosophie* exerceram grande influência sobre os médicos e biólogos alemães da primeira metade do século XIX. Porém, embora Johannes Peter Müller (1801-1858), mestre de Schleiden tenha pertencido a esta escola (Coletivo de Pensamento), o botânico fazia parte da geração de biólogos alemães que contestaram os princípios desta corrente filosófica vitalista e utilizava explicações reducionistas físico-químicas para os fenômenos vitais, características do mecanicismo (Mayr, 1998).

De qualquer modo, seria a transição da pesquisa especulativa (*Naturphilosophie*) à mensuração e experimentação características da segunda metade do século XIX (*Naturwissenschaft*) (Recio, 1990; Mayr, 1998). Em termos fleckianos, portanto, podemos considerar que Schleiden passou a integrar outro Coletivo de Pensamento, filiado à concepção mecanicista como orientadora da investigação dos seres vivos, em particular, os vegetais.

Encontramos em Recio (1990) uma leitura diferente da doutrina/orientação mecanicista de Schleiden, ao considerar que o botânico alemão adotou uma postura antirreducionista, apesar de confiar na heurística do mecanismo. A pesquisa na fonte primária mostra o contrário. Em FP/CCC-2.9A, na tentativa de explicar a Fisiologia do crescimento das plantas, Schleiden equipara este processo ao modo de crescimento inorgânico, por justaposição de materiais, moléculas orgânicas. Nesse contexto, ele demonstra preocupação com a palavra 'justaposição', aplicada habitualmente ao crescimento inorgânico e, conseqüentemente, ao conceito de crescimento.

¹³³ Durante a Harmonia das Ilusões, os fenômenos são adaptados ao Estilo de Pensamento com sucesso, a *Gestalt* é mantida devido a coerção imposta por um determinado Estilo de Pensamento aos membros do coletivo, o que corresponde à fase clássica das teorias.

[...] Qual o significado de crescimento? Numa frase banal nos dizem: Crescer significa aumentar a massa de um indivíduo e ocorre no mundo inorgânico por justaposição e no orgânico por invaginação. Será que ganhamos algo para a fisiologia vegetal com esta resposta? Eu penso que não. [...] a célula deposita novo material orgânico em camadas sobre sua membrana primitiva, outra forma de justaposição, a qual, ainda assim, pertence ao ciclo de vida vegetal (Schleiden, 1838, p. 251, tradução nossa).

A utilização da palavra ‘célula’ por Schleiden parece vir de uma tradição que ganhou espaço com o aumento do poder de resolução dos microscópios no século XIX. Isso ocorreu quando a unidade elementar dos corpos vivos foi revelada em escala menor, a partir do momento em que os tecidos de Bichat passaram a ser impregnados por corantes e a ‘célula’ apareceu na visualização dos microscópios com seus formatos, movimentos, componentes, arranjos. Como o Estilo de Pensamento também é reconhecido pelos métodos que o coletivo emprega como meio de conhecimento, pode-se falar, de modo amplo, num Estilo de Pensamento que legitimava a célula como unidade elementar dos seres vivos.

Contudo, sendo botânico, naturalmente Schleiden fez uso desse conhecimento para investigar as células vegetais. Um trecho em particular - FP/CCC-2.1C - demonstra de modo didático a ideia do *uso do termo cell como unidade constitutiva das plantas*:

É apenas nas ordens mais baixas de plantas, em algumas algas e fungos, por exemplo, que consistem somente de uma simples célula, que nós podemos falar de um indivíduo nesse sentido. Mas toda planta desenvolvida em qualquer grau superior é um agregado de seres totalmente individualizados, independentes e separados, até mesmo as próprias células (Schleiden, 1838, p. 231, tradução nossa).

Ao se referir ao “processo vital das células individuais’ e à ideia de que “cada célula leva uma vida dupla” em FP/CCC-2.3C é nítida a *correlação entre célula e manifestação de vida*, com a ressalva de que toda a investigação de Schleiden é acerca da Fisiologia Vegetal. Essa associação não foi verificada no estudo anterior, em ‘Micrografia’ (FP/CCC-1), no qual o *uso inespecífico do termo cell (célula)*, inclusive para caracterizar partes de objetos inanimados, leva a pensar que a correlação entre uma estrutura nomeada ‘célula’ e a manifestação de vida no sentido biológico, só foi possível com o estabelecimento da ciência Biologia, ocorrido no início do século XIX.

Apesar de não ter identificado controvérsia em relação ao uso do termo ‘célula’, considerando sua origem inespecífica no século XVII, Schleiden manifesta sua preocupação teórica com o uso das palavras na ciência em FP/CCC-2.8A, revelando seu discernimento quanto à prática científica como construção histórica. O botânico alemão sinalizou sua atenção à *influência do contexto na interpretação do objeto de investigação*, como superação da dicotomia sujeito-objeto, noção amplamente desenvolvida por Ludwik Fleck quase um século depois e que sustenta a presente investigação.

Palavras não têm valor nelas mesmas, mas são como moedas, apenas símbolos de um valor não exibido em espécie, a fim de facilitar o comércio [...]. Em uma palavra, a utilidade de uma expressão científica depende da definição precisa da ideia na qual se baseia. [...] devemos aqui estar em guarda contra dois perigos: primeiro, quando nós transferimos palavras de uma ciência para outra, sem primeiro testar com precisão se elas se ajustam à sua nova situação no que diz respeito a todas as significações que as acompanham também; segundo, quando nós voluntariamente perdemos de vista o significado de uma palavra consagrada pelo espírito de uma linguagem e seu desenvolvimento histórico, empregue-a sem maiores cerimônias em palavras compostas, onde talvez, no máximo, apenas uma parte não essencial de sua significação se adeque (Schleiden, 1838, p. 249-250, tradução nossa).

Porém, mesmo com essa teorização acerca do cuidado com o uso das palavras em diferentes contextos, Schleiden não admite deduções ou ‘imaginações’ acerca das suas investigações, o que resultou numa pesquisa descritiva, como identificado em FP/CCC-2.7A:

[...] Então, de fato, nós somos forçados a confessar que a imaginação obtém ampla latitude para explicação em cada caso da estrutura vegetal infusória, mesmo sem auxílio de um *deus ex machina (geração espontânea)*. Mas, meu presente objeto é comunicar somente fatos e suas consequências imediatas, e não sonhar; eu prefiro, portanto, acrescentar mais algumas observações sobre o crescimento das plantas” (Schleiden, 1838, p. 249, tradução nossa, grifo do autor).

Por meio da categorização, busquei identificar o *modus operandi* relacionado às pesquisas com células vegetais a partir de ‘Contribuições à Fitogênese’, de Schleiden, o que pode favorecer a identificação do Estilo de Pensamento sobre a célula do autor da obra e demais pesquisadores da época que comungavam das mesmas ideias, o que me permite inferir qual Estilo de Pensamento que prevalecia naquele contexto.

Após a análise histórico-epistemológica do livro em questão, é possível sintetizar as características do Estilo de Pensamento sobre a célula. Apesar da forte adesão de Schleiden ao método empírico-indutivo, a manifestação do seu principal problema de pesquisa de cunho fisiológico revelou uma orientação teórica da pesquisa demarcada por um Estilo de Pensamento. Em outras palavras, apesar de estar descrevendo os processos que visualizava ao microscópio, havia o interesse de investigação coletivo, dados os exemplos relatados pelo próprio botânico alemão.

A compreensão de que o corpo das plantas se compõe de unidades elementares, não sendo uma totalidade indivisível, bem como o uso de informações físico-químicas para compreensão dos processos fisiológicos, indicam uma concepção mecanicista sobre a célula vegetal. Schleiden não tinha intenção em definir as células como componente elementar dos seres vivos, logo, o termo 'cell' (célula) foi utilizado como identificação da unidade constitutiva *das plantas*. Como botânico, seu interesse era estudar as células vegetais. Outro aspecto relacionado ao Estilo de Pensamento sobre a célula a partir da obra de Schleiden é a associação entre célula e vida, denotada pela compreensão de que os processos vitais das plantas ocorrem na célula.

Com base nas discussões e na síntese supracitada, tendo como referência as *categorias de análise* que permeiam o Estilo de Pensamento sobre a célula, sugiro a denominação de *Estilo de Pensamento Mecanicista físico-químico com ênfase na Fisiologia Vegetal*, que representa a ideia da célula compreendida como parte constituinte dos corpos vegetais e sede dos processos fisiológicos vitais da planta, sujeitos a explicações reducionistas físico-químicas.

Em diversas passagens de FP/CCC-2, Schleiden faz referência ao Coletivo de Pensamento do qual participa, associado aos estudos na área da Fisiologia e Anatomia Vegetal, como:

Eu tentei neste livro de memórias, tanto quanto estava em meu poder, resolver muitas questões interessantes em Fisiologia Vegetal, ou, por definições mais precisas do assunto avançar mais próximo de uma solução futura. Essas observações podem encontrar uma recepção amigável nas mãos dos fisiologistas vegetais da Alemanha, e serem rapidamente aprimoradas e estendidas (Schleiden, 1838, p. 263, tradução nossa).

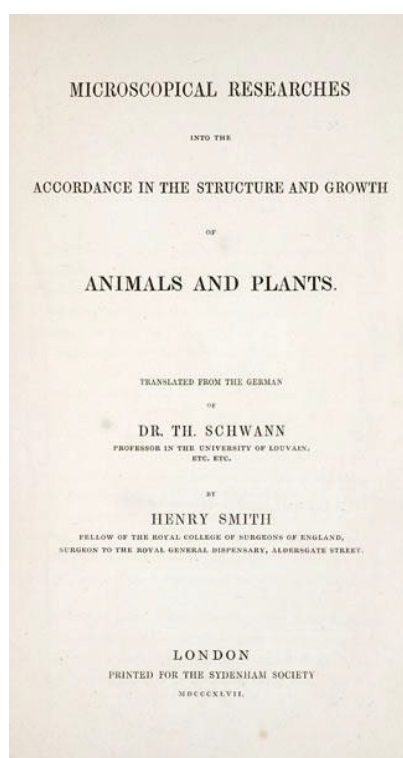
No que diz respeito à concepção de vida em Canguihem, uma vez que o médico francês problematizou a historicidade do conceito considerando o conjunto

de seres vivos, entendendo que tal classificação não seria apropriada de forma tão restrita para um grupo de seres vivos, como ‘os vegetais de Schleiden’.

Tendo em vista a próxima análise da obra de Schwann, o qual ampliou a pesquisa microscópica sobre os seres vivos, incluindo as células animais, alguns elementos podem ser acrescentados acerca da compreensão sobre o conceito de célula.

8.3 FP/CCC-3 ‘PESQUISAS MICROSCÓPICAS’ – THEODOR SCHWANN (1839)

FIGURA 3 – FOLHA DE ROSTO DO LIVRO ‘PESQUISAS MICROSCÓPICAS’



Fonte: https://geniuses.club/public/storage/153/119/002/133/470_440_611f93e285d0d.jp2&id=microscopicalres47schw&scale=4&rotate=0

8.3.1 Primeira Etapa: Análise preliminar de FP/CCC-3

A Primeira Etapa da análise do material documental refere-se à *análise preliminar dos documentos*. Cada um dos tópicos recomendados por Cellard (2008) foi examinado e são apresentados a seguir como uma introdução às informações mais relevantes da FP/CCC-3 (FONTE PRIMÁRIA/CONCEITO CLÁSSICO DE CÉLULA).

Sobre o contexto da obra

No cenário histórico anterior à elaboração da teoria celular, muitas observações remetiam de forma imprecisa a um tipo de entidade biológica cuja natureza ainda era objeto de discussão, a célula, ou melhor, o conceito de 'célula', estava longe de ser semelhante entre os zoólogos ou botânicos que o utilizavam, de transcender o nível de descrição anatômica e ser capaz de se tornar o centro de uma nova teoria.

A teoria das fibras de Haller e a proposta de Xavier Bichat dos tecidos como as unidades fundamentais da vida significavam alternativas aceitáveis ao globulismo¹³⁴ para estruturar a análise da vida em suas unidades básicas. A pesquisa especulativa da *Naturphilosophie* também buscava uma estrutura básica comum aos seres vivos (Recio, 1990).

Nas palavras do próprio autor de 'Pesquisas microscópicas' podemos obter informações sobre o contexto da obra, quando a ideia de não haver semelhança entre o crescimento de plantas e animais prevalecia. Segundo Theodor Schwann, estes dados eram de grande importância do ponto de vista histórico em referência ao desenvolvimento da sua teoria.

Tão logo o microscópio foi aplicado à investigação da estrutura das plantas, a grande simplicidade de sua estrutura, comparada àquela dos animais, necessariamente atraiu atenção. Enquanto as plantas pareciam ser compostas inteiramente de células, as partículas elementares dos animais exibiam uma grande variedade, e na maior parte apresentava nada em comum com as células. Isso, harmonizado com a opinião há muito tempo corrente, de que o crescimento de animais, cujos tecidos são providos de vasos, difere essencialmente daqueles dos vegetais. Uma vitalidade independente foi descrita para as partículas elementares dos vegetais crescendo sem vasos, elas eram consideradas até certo ponto como indivíduos, que compunham a totalidade da planta. Enquanto, por outro lado, tal concepção não foi tomada sobre as partes elementares dos animais. Uma diferença essencial tanto no modo quanto nos poderes fundamentais de crescimento foi assim mantida (Schwann, 1839, p. x, tradução nossa).

¹³⁴ Entre 1665 e 1839 todos os microscopistas viam glóbulos em partes isoladas do corpo animal. No entanto, os 'glóbulos' raramente eram células, mas gotas lipídicas, grãos contendo pigmentos ou proteínas e o núcleo (Prestes, 1997).

Sobre os interesses do autor

Ao iniciar suas pesquisas, o zoólogo alemão Theodor Schwann comentou sobre o estado do problema naquele momento histórico.

[...] parecia não haver uma regra geral com relação ao modo como as moléculas se juntavam para formar as partículas vivas; aqui elas se uniram em um tipo de células, ali em outro, e em um terceiro ponto em uma fibra, e assim por diante (Schwann, 1839, p. xv, tradução nossa).

Para Schwann, o princípio do desenvolvimento parecia ser completamente diferente para tais partículas em sua significação fisiológica; também comenta sobre a diversidade nas leis que era necessário assumir no desenvolvimento de uma célula e uma fibra. Nessa fala de Schwann é possível constatar marcas da teoria das ‘moléculas orgânicas’ de Buffon (1748). O conceito de partículas vivas visita o século XIX, onde elas poderiam ser reunidas em células ou em fibras, conforme Schwann. De acordo com Nicholson (2010, p. 203), “a ideia de que as partículas vivas são os blocos básicos de construção das plantas e dos animais foi amplamente discutida e aceito de modo geral durante grande parte do século XVIII”.

A leitura fleckiana do uso dessas palavras quase um século depois da teoria de Buffon, seria a ocorrência do Tráfego Intercoletivo de pensamento, no qual as palavras têm em si um matiz “mais ou menos marcado pelo estilo de pensamento [...], elas circulam entre os coletivos sempre com uma certa alteração de seu significado” (Fleck, 1935/2010, p. 161). Nessa migração intercoletiva, não é difícil perceber a alteração do significado das partículas vivas, uma vez que na teoria celular estas não ocupam o lugar de unidades fundamentais da vida, mas à célula é atribuído esse status. Tal migração intercoletiva é possível dada a proximidade ou familiaridade entre o Coletivo de Pensamento dos físicos que estudam a vida e o Coletivo de Pensamento de biólogos.

No livro ‘Pesquisas microscópicas’, o autor escreveu sobre o desenvolvimento das partes elementares dos tecidos de plantas e animais, entendendo este processo como um princípio comum - a formação das células. Schwann revelou seu interesse no prefácio da obra: “O objetivo do presente tratado é provar a conexão mais íntima dos reinos da natureza orgânica, a partir da

semelhança nas leis de desenvolvimento das partes elementares dos animais e das plantas” (Schwann, 1839, p. ix, tradução nossa).

Autenticidade e confiabilidade do texto

A fonte primária FP/CCC-3 tem reconhecimento histórico e científico. A obra foi obtida por meio de pesquisa eletrônica em sites de bibliotecas virtuais confiáveis. O livro é digitalizado, com marcas do tempo e com registro da biblioteca do Max-Planck-Institute for the History of Science, localizada em Berlin, Alemanha. A versão adquirida foi organizada em conjunto com a obra ‘Contribuições à Fitogênese’, de Schleiden.

Natureza do texto e conceitos-chave

No que concerne à *natureza do texto*, a obra possui natureza científica de caráter empírico. Os *conceitos-chave* são predominantemente associados ao conhecimento básico de Biologia Celular, Anatomia e Fisiologia animal e vegetal, concepção de indivíduo/organismo.

8.3.2 Segunda Etapa: Análise Documental propriamente dita de FP/CCC-3 (Análise histórico-epistemológica)

Em relação ao livro 3 - ‘Pesquisas microscópicas’, no que se refere aos episódios históricos sobre o conceito clássico de célula (FP/CCC-3), foram selecionados 18 (dezoito) excertos apresentados no APÊNDICE E. O episódio histórico (EH) correspondente a esta fonte primária foi denominado ‘Investigação de Theodor Schwann sobre a analogia entre as plantas e os animais’ (EH3). Os excertos receberam códigos específicos conforme a identificação inicial da fonte (FP/CCC-3), seguindo o mesmo modelo das codificações anteriores.

No APÊNDICE F encontra-se a categorização dos excertos. A análise histórico-epistemológica foi conduzida pelas categorias de análise, visando compreender o Estilo de Pensamento sobre a célula do autor da obra, Theodor Schwann e do seu Coletivo de Pensamento, na década de 1830.

A concepção de ciência contestada por Ludwik Fleck tem destaque durante toda a obra, caracterizada pela *ênfase na observação e/ou experimentos na interpretação do objeto de investigação* – a visão empírico-indutivista no estudo da célula. A título de exemplo, em FP/CCC-3.4A Schwann fala numa “proposição firmemente estabelecida por observação”, (Schwann, 1839, p. xvii, tradução nossa). A crença nos fatos como orientadores da pesquisa científica, típica do método empírico-indutivo utilizado, é expressa no excerto FP/CCC-3.5A, “eu tentei uma teoria dos organismos, e, para esse fim, excluímos tudo o que é teórico da própria obra, para que os fatos não sejam confundidos com problemas hipotéticos” (Schwann, 1839, p. xviii, tradução nossa).

O compromisso com o método adotado e com o modo de apresentação desse método ao leitor é exposto no trecho codificado como FP/CCC-3.12A, o que pode ter limitado as interpretações sobre o desenvolvimento de novas células a uma concepção mecanicista de caráter físico-químico.

Toda a investigação anterior foi conduzida com o objetivo de expor apenas a partir da observação o modo pelo qual as partes dos corpos organizados são formadas. Visões teóricas foram totalmente excluídas ou onde elas foram requeridas, [...] com o propósito de tornar o fato mais claro, ou prevenir repetições posteriores, elas foram apresentadas de tal forma que pode ser facilmente percebido o quanto é observação e o quanto é argumento (Schwann, 1839, p. 186, tradução nossa).

Tal como Mathias Schleiden admitiu para os vegetais, Schwann considerou *o indivíduo constituído por células individualizadas e interdependentes que mantêm a totalidade*, como verificado em FP/CCC-3.7A e FP/CCC-3.15A. Porém, neste ponto uma diferença aparentemente paradoxal aparece no texto de Schwann, pois ao mesmo tempo em que sugere que estas células seriam independentes ao afirmar que “devemos atribuir a todas as células uma vitalidade independente” (Schwann, 1839, p. 192, tradução nossa), leva em consideração que as partes elementares seriam dotadas de uma dependência mútua, para dar significado ao organismo. No entanto, temos um movimento das partes para o todo, típico da visão reducionista/meccanicista do mundo.

Jacob destaca que a redução dos organismos a um conjunto de unidades foi resultante da teoria corpuscular da matéria. Logo, estas unidades elementares que compunham os seres organizados, chamadas de partículas vivas ou moléculas orgânicas teriam o mesmo papel dos átomos em relação às coisas, porém, seriam

específicas dos seres vivos.¹³⁵ O autor esclarece que estas unidades elementares “visam apenas a adaptar a interpretação mecanicista do mundo vivo à interpretação newtoniana do universo” (Jacob, 1970/1983, p. 89).

A concepção mecanicista estava imbricada no pensamento dos que se dedicam ao estudo do mundo vivo na época de Schwann (Mayr, 2008; Recio, 1990; Frezzati Jr., 2003). Isso pode ser percebido tanto no sentido de uma Biologia cartesiana quanto numa Biologia que é explicada pelas propriedades físico-químicas da célula, características do Estilo de Pensamento biológico mecanicista (Bertoni, 2012) em FP/CCC-3.14A

Estes fenômenos [que participam da formação das células] podem ser organizados em dois grupos naturais: primeiro, aqueles relacionados à combinação de moléculas para formar uma célula e que podem ser denominados de fenômenos plásticos das células; segundo, aqueles que resultam das mudanças químicas tanto nas partículas componentes das próprias células ou do citoblastema circundante e que podem ser chamados de fenômenos metabólicos¹³⁶ (Schwann, 1839, p. 193, tradução nossa).

Os estudos biológicos foram afetados pela matematização do conhecimento e Schwann concebeu essa tradição, a ponto de considerar a possibilidade de uma prova matemática sobre a equivalência dos modelos de deposição das moléculas nas células e nos cristais em FP/CCC-3.17A.

Se, no entanto, pudesse ser provado matematicamente pelas leis da cristalização dos corpos inorgânicos, que sob as circunstâncias alteradas em que os corpos capazes de embeber são colocados, esses depósitos devem ser arranjados em formas espirais, poderia ser afirmado sem hesitação que o poder plástico das células e os poderes fundamentais dos cristais são idênticos (Schwann, 1839, p. 210, tradução nossa).

É possível reconhecer que a problemática acerca dos compostos orgânicos e inorgânicos afetou a compreensão sobre a célula nas investigações de Schwann. O episódio da síntese artificial da ureia, realizada por Friedrich Wöhler (1800-1882) em 1828 mostrava que a barreira estabelecida entre o mundo orgânico e inorgânico

¹³⁵ A teoria das ‘moléculas orgânicas’ de Buffon.

¹³⁶ Schwann continua o texto com uma explicação entre parêntese sobre a palavra *metabolismo*, neologismo criado por ele “(do grego *metaballein*, implicando aquilo que é passível de ocasionar ou sofrer mudança)” (Schwann, 1839, p. 210, tradução nossa). A palavra *metaballein* é formada pela união dos elementos gregos *meta*, que quer dizer ‘sobre’, e *ballein*, que pode ser traduzido como ‘arremessado’ ou ‘lançamento’. *Metabolismo*, a partir da junção do termo grego *metabole*, que significa “mudança”, e o sufixo *-ismo*, que é relativo a ‘qualidade’ ou ‘sistema’ (Dicionário etimológico- <https://www.dicionarioetimologico.com.br/metabolismo/>).

poderia ter sido rompida, o que pode ter influenciado a tentativa de aproximação feita por Schwann entre os processos de desenvolvimento dos seres animados e inanimados pelo zoólogo alemão.

Mesmo reconhecendo como são distintos os fenômenos na formação de células e de cristais, o zoólogo alemão enfatiza que os pontos de semelhança entre eles não devem ser negligenciados. Schwann passa a dedicar grande parte do capítulo em que apresenta a teoria celular às possibilidades de analogias entre os fenômenos plásticos das células e dos cristais ou de uma representação dos fenômenos vitais da célula por meio do que ocorre no processo de cristalização. Em FP/CCC-3.18A afirma que “mesmo que nenhuma relação entre cristalização e o crescimento de organismos seja admitida em princípio, essa visão tem a vantagem de proporcionar uma representação distinta dos processos orgânicos” (Schwann, 1839, p. 215, tradução nossa).

A relevância do assunto para o autor, levou a uma categoria de análise emergente designada *Processos inorgânicos como modelo para compreensão de processos orgânicos celulares*. Esse posicionamento de Schwann revela o que poderia ser compreendido como mais um elemento que demonstra sua contraposição ao Estilo de Pensamento do seu mestre Johannes Müller, alinhado ao vitalismo presente no movimento filosófico da *Naturphilosophie* e adesão ao Estilo de Pensamento biológico mecanicista (Bertoni, 2012).

Em *Handbuch der Physiologie des Menschen für Vorlesungen* (Elementos da Fisiologia), publicado cerca de cinco anos antes da obra de Schwann, Müller não admite nenhuma relação entre o orgânico e inorgânico, em virtude da ‘força vital’. O fisiologista alemão afirma que “a matéria se torna vivificada na medida em que experimentou a força vivificante; adquire o poder de dar vida a outra matéria na medida em que ela mesma é vivificada (Müller, 1843, p. 41, tradução nossa).

O que teria levado o discípulo a não seguir o mestre? Segundo Fleck, a iniciação dos novatos em um estilo de pensamento seria um processo que envolve um ensino dogmático, doutrinador, onde atua o ‘ver formativo’.

Prepara-se um intelecto para uma área, acolhe-se o mesmo num mundo fechado, dá-se a ele uma espécie de bênção de iniciação. Se essa iniciação passou a ser tão difundida como, por exemplo, no caso da introdução nos fundamentos da física, ela se torna tão natural que as pessoas se esquecem de tê-la recebido, uma vez que não têm contato com nenhum não iniciado (Fleck, 1935/2010, p. 99).

Bechtel e Bollhagen (2019) advertem que, considerando o talento de Schwann e Schleiden na microscopia (como testemunhado por seus desenhos baseados em suas observações microscópicas), e que outros microscopistas igualmente competentes relataram células se dividindo, “suas afirmações de que as células se formam como cristais parece anômala” (Bechtel; Bollhagen, 2019, p. 5, tradução nossa).

O mesmo autor argumenta que o forte compromisso de Schwann em desenvolver relatos mecanicistas de processos vitais pode ter desempenhado um papel importante em como ele interpretou o que viu – a metáfora da formação de cristais forneceu um modelo mecanicista, enquanto na época não havia modelos mecânicos para a divisão celular. Constatamos um exemplo típico da época clássica de uma teoria dominante, que constitui o estado de Harmonia das Ilusões, no qual Schwann procurou adaptar os fenômenos observados ao Estilo de Pensamento vigente.

Theodor Schwann, assim como Mathias Schleiden, não se filiaram ao Coletivo de Pensamento da *Naturphilosophie* e, dessa maneira, a ‘leitura’ que ambos tiveram sobre a célula se afastou das especulações filosóficas deste movimento romântico alemão (Coletivo de Pensamento) e a investigação dos processos fisiológicos relacionados ao desenvolvimento dos animais e plantas teve a observação da célula como referência, conforme pode ser constatada a *busca pela compreensão de processos fisiológicos celulares*, como no excerto FP/CCC-3.6B

Quando, contudo, nos voltamos para a história do desenvolvimento desses tecidos, aparece, que todas as suas múltiplas formas se originam igualmente apenas de células, de fato das células que são completamente análogas àquelas dos vegetais e as quais exibem a mais notável concordância com elas em alguns dos fenômenos vitais os quais eles manifestam (Schwann, 1839, p. 2, tradução nossa).

Em FP/CCC-3.8B, é possível identificar a relação entre forma e função da célula estabelecida por Schwann.

Essa variedade nas partes elementares parecia manter alguma relação com suas funções fisiológicas mais diversificadas nos animais, de modo que poderia ser estabelecido como princípio que toda diversidade na significação fisiológica de um órgão requer uma diferença em suas partículas elementares; e, ao contrário, a semelhança de duas partículas elementares parecia justificar a conclusão de que eram fisiologicamente semelhantes (Schwann, 1839, p. 161-162, tradução nossa).

A associação entre a morfologia e a fisiologia da célula expressa textualmente, bem como as numerosas ilustrações de tipos celulares no livro de Schwann, possibilita entender que o *termo cell (célula)* foi *utilizado como identificação da unidade morfológica e fisiológica dos seres vivos*. Em FP/CCC-3.7A e FP/CCC-3.16B, Schwann fala respectivamente sobre ‘fenômenos vitais das células’ e sobre a ‘vida celular’, de modo que a *correlação entre a célula e a manifestação de vida* está presente nas investigações do zoólogo. Essas pistas confirmam que a concepção de vida apresenta elementos consistentes da *vida como mecanismo* (Canguilhem, 1973).

A categorização apresentada no APÊNDICE F foi o recurso utilizado para desenvolver a análise histórico-epistemológica, no intuito de compreender a dinâmica das pesquisas de Theodor Schwann com células animais e vegetais, o que pode favorecer a identificação do Estilo de Pensamento sobre a célula do autor da obra e demais pesquisadores da época que comungavam das mesmas ideias.

Após a análise histórico-epistemológica do referido livro, é possível sintetizar os indícios que remetem ao Estilo de Pensamento sobre a célula. Com o objetivo de provar a conexão dos reinos de natureza orgânica a partir da semelhança nas leis de desenvolvimento das partes elementares de animais e plantas – as células – Schwann demonstra que sua investigação possui uma percepção direcionada, um Estilo de Pensamento, apesar de ressaltar o empirismo puro e o indutivismo quando descreve os processos que visualizava ao microscópio. O zoólogo faz diversas referências ao coletivo de pesquisadores que compartilhavam do mesmo Estilo de Pensamento nos estudos da Anatomia e Fisiologia de animais e plantas.

Ainda no prefácio Schwann relata investigações de diversos pesquisadores acerca do desenvolvimento de células animais e vegetais, como referência ao Coletivo de Pensamento do qual participava. O zoólogo alemão destaca Schleiden dentre os cientistas citados, afirmando que ele “instituiu pesquisas sobre o modo de desenvolvimento das células vegetais, que lustraram o processo da maneira mais excelente” (Schwann, 1839, p. xiv, tradução nossa) e que o botânico alemão comunicou a ele o resultado da sua investigação em outubro de 1837, previamente à publicação do livro ‘Contribuições à fitogênese’.

Schwann comenta que a semelhança em forma que a corda dorsal e a cartilagem branquial do girino apresentam com as células vegetais havia chamado a atenção dele e de Johannes Müller, mas nada havia resultado dessa observação.

Nas palavras de Schwann “as descobertas de Schleiden, contudo, levaram a pesquisas mais extensas em outra direção” (Schwann, 1839, p. xiv, tradução nossa).

A interpretação de que os organismos de animais e plantas são constituídos por partes elementares, suas explicações físico-químicas sobre os processos vitais e seu esforço em promover analogias entre o desenvolvimento das células e dos cristais não deixam dúvidas sobre sua concepção mecanicista.

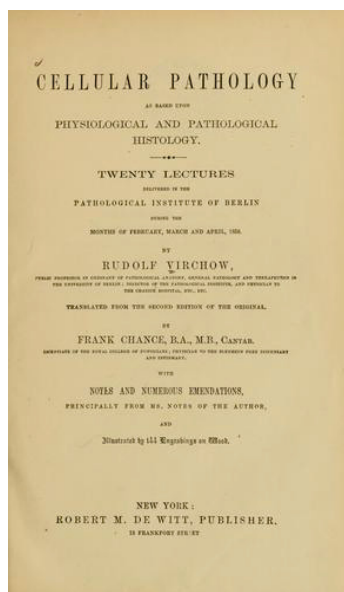
A ideia de que os tecidos animais e vegetais são constituídos por células, habitualmente declarada como o postulado principal da teoria celular, pode ser considerada uma conclusão secundária dos estudos de Schwann, uma vez que observar a analogia entre o desenvolvimento das células de animais e plantas era sua finalidade; a correlação entre célula e vida, é demonstrada na obra por meio da percepção de que os processos vitais dos seres vivos ocorrem na célula.

Com fundamento nas interpretações desenvolvidas e no resumo das ideias mencionado anteriormente, levando em consideração as categorias de análise que atravessam o Estilo de Pensamento sobre a célula, posso denominá-lo de *Estilo de Pensamento Mecanicista físico-químico com ênfase na Morfologia e Fisiologia dos seres vivos*, que representa a ideia da célula compreendida como parte elementar dos seres vivos, com uma grande variedade de formas, onde ocorrem processos fisiológicos plásticos e metabólicos, os quais são interpretados a partir dos princípios físicos e químicos relacionados à formação das células.

A próxima obra analisada, ‘Patologia Celular’, de Virchow, foi publicada originalmente quase duas décadas após a obra de Schwann e ficou conhecida por ter apontado um princípio muito importante para a compreensão da célula e, conseqüentemente, o desenvolvimento da Biologia Celular.

8.4 FP/CCC-4 ‘PATOLOGIA CELULAR’ – RUDOLF VIRCHOW (1859)

FIGURA 4 – FOLHA DE ROSTO DO LIVRO ‘PATOLOGIA CELULAR’



Fonte: <https://covers.openlibrary.org/b/id/6947557-M.jpg>

8.4.1 Primeira Etapa: Análise preliminar de FP/CCC-4

Seguindo a metodologia delineada anteriormente, a Primeira Etapa da Análise documental em Cellard corresponde à *análise preliminar dos documentos*, a qual sustenta a Análise Documental propriamente dita de FP/CCC-4 (Análise histórico-epistemológica)

Sobre o contexto da obra

Rudolf Virchow (1815-1898) não aceitava a ideia de que as doenças eram causadas por organismos ou agentes externos, mas deveriam ser compreendidas e tratadas como uma ‘fisiologia alterada’. Para Virchow, os problemas sociais e culturais estavam diretamente relacionados às doenças; a célula, “último elemento ativo do corpo vivo”, o ‘motor da vida’ e o ‘motor da doença’, organizava-se num arranjo social, coletivo, que originava grupos de tecidos. Desse modo, os estados patológicos eram consequências de erros na formação dos tecidos (Magalhães, 2010; Drescher, 2015).

Quase duas décadas após a elaboração da teoria celular (1839), Virchow publicou seu trabalho de influência internacional, *Die Cellularpathologie*¹³⁷ (Patologia Celular) no ano de 1859. Sua pesquisa na área teve como origem seu aforismo universal *Omnis cellula e cellula* (cada célula provém de outra pré-existente), que se tornou princípio fundamental da citogênese. Com isso, a Patologia e a Fisiologia em Virchow passam a ser submetidas à Histologia, e a doença é compreendida ao nível das células e tecidos (Mazana, 2002, tradução nossa).

A elaboração do famoso aforismo latino, segundo Baker, não devemos somente a Virchow. Remak, também aluno de Johannes Müller, contribuiu para essa importante inferência da Biologia, ainda que sem o devido reconhecimento. Virchow parece ter preservado tendências da *Nathurphilosophie*, Remak era típico pesquisador de laboratório. Baker dá indícios para acreditarmos que as observações de Virchow teriam sido orientadas pelo trabalho de Remak, o qual observou um estágio na multiplicação dos glóbulos sanguíneos por divisão em 1841 (fato relatado por Virchow em Patologia Celular). Além disso,

Embora ambos tenham publicado em 1852 e seus artigos não possam ser datados com exatidão, as evidências circunstanciais sugerem que Remak foi o primeiro na área. [...] Em 1851, ao escrever sobre a clivagem do ovo da rã, ele disse que deveria reservar para outro artigo suas observações sobre a transição das células clivadas para os tecidos, por repetidas divisões celulares. O artigo prometido apareceu no ano seguinte (Baker, 1955, p. 435, tradução nossa).

Baker (1952) comenta que Remak e Virchow fizeram declarações gerais no sentido de que a divisão é o método padrão pelo qual as células se multiplicam. Os escritos de Remak sobre este assunto foram muito mais importantes do que os de Virchow.

Nas publicações anteriores à Patologia Celular a concepção mecanicista prevalece e desconsidera o conceito de força vital. Teulón esclarece que Virchow “subordina a formação celular a um processo de cristalização e até traça uma lei geral aplicável à formação das estrelas, dos cristais, das células e da alma” (Teulón,

¹³⁷ *Die Cellularpathologie in ihrer Begründung auf physiologische und pathologische Gewebelehre* (Patologia Celular baseada na histologia fisiológica e patológica) publicada originalmente em 1858. A obra analisada corresponde à segunda edição, de 1859 e traduzida para o inglês no ano de 1860. O tradutor adverte que a versão inglesa difere da original, pois foram feitas muitas adições, subtrações e substituições, por sugestão de Virchow e por sua própria conta, com o consentimento do autor.

1982, p. 256-257, tradução nossa). A partir de 1852, quando inicia o trabalho que culmina na sua obra seminal, o autor afirma que o mecanismo de Virchow se transforma em um 'novo vitalismo'.

O pensamento microscópico e a concepção dos fenômenos vitais a nível celular foi herança de um de seus mestres, Johannes Müller. A teoria celular já orientava diversas pesquisas na Europa e Virchow promoveu sua aproximação com suas investigações médicas (Drescher, 2015). Virchow revela no prefácio à primeira edição, que a obra é resultado de palestras proferidas ao público médico no 'novo' Instituto de Patologia da Universidade de Berlim.

Sua primeira conferência sobre o tema aborda, dentre outros assuntos, a influência da teoria celular sobre a Patologia; as células como últimos elementos ativos do corpo vivo e unidades vitais; a contraposição à teoria da formação de células a partir do citoblastema livre; constância do núcleo e sua importância na manutenção da célula viva; a diversidade do conteúdo celular. Na segunda palestra, a ideia de que os tecidos e as fibras são constituídos por glóbulos (grânulos elementares) e a geração equívoca [espontânea] de células são contestadas (Virchow, 1859).

Sobre os interesses do autor

Virchow foi considerado o médico sanitarista alemão mais importante do século XIX e reconhecido como o 'pai' da Patologia Celular. Destacou-se nas ações políticas, sociais e na ciência da época, sendo muito influente na fundação da Patologia Celular. Segundo Drescher, para Virchow, a medicina e a política eram áreas estreitamente conectadas. Drescher comenta que ele "promoveu e defendeu as suas ideias com paixão e dogmatismo, esquecendo-se muitas vezes de destacar as contribuições dos colegas e assistentes" (Drescher, 2015, p. 3072, tradução nossa).

O patologista alemão participou da elaboração de diversos documentos epidemiológicos e de saúde pública como membro ou presidente de comissões nacionais e comitês profissionais. Silver (1987) esclarece que a vida de Virchow se entrelaçava aos eventos que aconteciam na Alemanha e na Europa na época em que seus artigos foram produzidos. O autor cita uma série de atuações de Virchow, demonstrando que o médico sanitarista não se restringia ao campo epidemiológico.

[...] investigação de epidemias, descobertas laboratoriais em fisiologia humana, patologia, microbiologia e parasitologia; explorações antropológicas; participação em revoluções reais nas ruas, bem como em revoluções no pensamento e no ensino em prática médica; ações políticas qualificadas como membro eleito da cidade, estado e governos nacionais (Silver, 1987, p. 83, tradução nossa).

Autenticidade e confiabilidade do texto

A fonte primária FP/CCC-4 é legitimada historicamente tanto no campo da Biologia quanto da Medicina. A obra foi obtida por meio de pesquisa eletrônica. Integra o 'Programa Pesquisa de Livros do Google'. Trata-se de uma cópia digital da tradução em língua inglesa de um livro com registro da *Lane Medical Library*, da Universidade de Stanford, localizada na Califórnia, recebido em 5 de março de 1966. As marcas do tempo parecem ter sido tratadas e todas as páginas possuem a marca d'água *Digitized by Google*.

Natureza do texto e conceitos-chave

A obra é oriunda de vinte palestras ministradas no Instituto Patológico de Berlim durante os meses de fevereiro, março e abril de 1858. Possui natureza científica de caráter empírico. Para esta análise foram considerados os textos do prefácio à primeira edição, prefácio à segunda edição e a primeira palestra, com o título *Cells and the Cellular Theory* (Células e a Teoria Celular).

Os *conceitos-chave* são predominantemente associados ao conhecimento básico de Biologia Celular, Anatomia e Fisiologia Animal e Vegetal.

8.4.2 Segunda Etapa: Análise Documental propriamente dita de FP/CCC-4 (Análise histórico-epistemológica)

Em relação ao livro 4 - 'Patologia Celular', foram selecionados 12 (doze) excertos apresentados no APÊNDICE G em relação aos episódios históricos sobre o conceito clássico de célula (FP/CCC-4). O episódio histórico (EH) correspondente a esta fonte primária foi denominado 'Investigação de Rudolf Virchow sobre a natureza e origem das células e seus constituintes' (EH4). Ao contrário das obras anteriores, nas quais os livros completos foram considerados, nesta obra, foram examinados os

textos do prefácio à primeira edição, prefácio à segunda edição, o texto da primeira palestra, com o título *Cells and the Cellular Theory* (Células e a Teoria Celular) e a primeira parte do texto da segunda palestra intitulada *Physiological Tissues* (Tecidos Fisiológicos). Os demais capítulos abordam aspectos histológicos e fisiológicos das doenças e foram desconsiderados.

Após a escolha dos excertos, estes foram codificados seguindo o padrão estabelecido nas análises anteriores com base na identificação da fonte primária, iniciando em FP/CCC-4.1. No APÊNDICE H apresento a categorização dos excertos, de modo que as categorias de análise direcionam a análise histórico-epistemológica, no intuito de identificar o Estilo de Pensamento sobre a célula manifestado por Rudolf Virchow, estendido à comunidade de médicos pesquisadores a qual ele pertencia por volta da década de 1850.

Alguns dados obtidos expressos nos excertos foram caracterizados por meio do recurso à categoria emergente devido a alguma particularidade, a qual, embora seja percebida em virtude da elaboração teórica científica e epistemológica que sustenta essa investigação, requer metodologicamente seu registro para aprimorar a caracterização do Estilo de Pensamento manifestado na obra de Virchow.

A seguir, apresento a descrição qualitativa dos dados e interpretação do episódio histórico (EH) relacionado à FP/CCC-4, 'Investigação de Rudolf Virchow sobre a natureza e origem das células e seus constituintes' (EH4).

Em 'A Patologia Celular', Virchow defende que as doenças se manifestam nas células, ou seja, a causa das doenças são alterações nas células, unidades vitais e elementos últimos da morfologia do corpo. Não eram os tecidos, muito menos os órgãos que deveriam ser considerados os níveis fundamentais de expressão das doenças. Análises citológicas poderiam contribuir, portanto, para o diagnóstico de doenças. Era o início da Patologia Clínica. Virchow comunicou seus achados a uma comunidade de médicos, baseado em conhecimentos da Fisiologia e da Histologia e métodos de estudo microscópicos dessas áreas.

Desde o início da sua explanação, Virchow estabelece explícita *correlação entre célula e manifestação de vida*, como identificado no excerto FP/CCC-4.2A, "[...] O ponto principal nesta aplicação da histologia à patologia é obter o reconhecimento do fato de que a célula é realmente o elemento morfológico último no qual existe qualquer manifestação de vida" (Virchow, 1859, p. 3, tradução nossa).

Virchow expressa, inclusive, certa satisfação em ter sempre reconhecido a célula (não os chamados ‘glóbulos’ ou a fibra e até mesmo moléculas) como elemento último dos corpos vivos, o que foi identificado como o *uso do termo cell (célula) como identificação da unidade constitutiva dos seres vivos* nos excertos FP/CCC-4.5A e FP/CCC-4.12B

Considerado vitalista ou neovitalista por pesquisadores da época e comentadores da teoria celular, Virchow parece tentar persuadir a si próprio, mais do que aos demais, em FP/CCC-4.3A da sua pretensa visão mecanicista dos fenômenos vitais que ocorrem na célula.

No decorrer destas palestras vocês serão capazes de se convencer de que é quase impossível para qualquer um nutrir mais ideias mecânicas em casos particulares do que eu costumo fazer, quando chamado a interpretar os processos individuais da vida (Virchow, 1859, p. 3, tradução nossa).

De fato, no decorrer do livro não é difícil localizar explicações que remetem às *propriedades da célula compreendidas pelo reducionismo físico-químico*, com o uso de expressões como ‘estímulos mecânicos e químicos’ ou ‘investigações químicas’.

Contudo, a visão vitalista do patologista alemão manifesta-se por meio de advertência em FP/CCC-4.2B: “[...] não devemos transferir a sede da ação real para qualquer ponto além da célula. Diante de vocês, não terei nenhum motivo especial para me justificar, se a esse respeito fizer uma reserva muito especial em favor da vida” (Virchow, 1859, p. 3, tradução nossa). E, de modo explícito no excerto FP/CCC-4.6A: “[...] Geralmente, pode-se dizer que, enquanto a vida da célula não tiver terminado, enquanto as células se comportarem como elementos ainda dotados de *força vital*, o núcleo manterá uma forma quase constante” (Virchow, 1859, p. 9, tradução nossa, grifo nosso).

Teulón (1982) comenta acerca do ‘novo vitalismo’ (neovitalismo) proclamado por Virchow desde 1856. O autor afirma que o patologista alemão não teria conseguido definir sua própria compreensão de força vital. Recorro a um artigo publicado anteriormente à sua obra magna no ano de 1855, intitulado *Cellular Pathologie* para melhor análise da questão da força vital na interpretação de Virchow sobre a célula. Nesse artigo, Virchow manifesta seu posicionamento sobre as preocupações de outros pesquisadores quanto ao uso da expressão.

[...] Mas no final você precisa de uma expressão, e pode ser impossível encontrar uma que não possa ser mal compreendida ou mal interpretada. Em nenhum lugar sequer sugeri que a força vital seja uma força simples ou que seja especificamente diferente de outras forças naturais. Mas é preciso abandonar o pudor científico de ver os processos vitais apenas como um resultado mecânico das forças moleculares inerentes às partículas constituintes do corpo (Virchow, 1855, p. 22-23, tradução nossa).

O patologista alemão sugere que as propriedades da vida celular podem ser explicadas por suas partículas moleculares colocadas em movimento pela força vital.

Não conheço vida que não precise de mãe ou de imagem materna. Uma célula transmite o movimento da vida para outra, e a força desse movimento, que é possivelmente, e muito provavelmente, muito complexo, eu chamo de força vital. Mas deixei bastante claro que não estou de forma alguma disposto a personificar esta força, a torná-la simples e isolada (Virchow, 1855, p. 22-23, tradução nossa).

Esse pensamento peculiar de Virchow, aparece quase implicitamente na obra 'Patologia Celular'. A expressão 'força vital' é mencionada uma única vez. Teulón considera de difícil compreensão o significado da força vital para Virchow, uma vez que "sua afeição pela natureza puramente mecânica e pela origem exclusivamente mecânica da vida não o impede de reconhecer [a singularidade da vida]" (Teulón, 1982, p. 258, tradução nossa).

As ressalvas de Virchow quanto à natureza puramente mecânica e química da célula associada à sua crença na força vital, teriam potencial para emergência de um Estilo de Pensamento distinto daquele estilo mecanicista que prevaleceu desde os primeiros estudos sobre a célula. Contudo, em termos fleckianos, Virchow permaneceu (ao menos publicamente) no estado de Harmonia das Ilusões, aderindo à coerção do Estilo de Pensamento. Ignorou a Complicação, mantendo a teoria dominante nas suas interpretações, o que pode ser compreendido como exemplo do condicionamento social do conhecimento. Fleck comenta que o processo de conhecimento não é o processo individual de uma "consciência em si" teórica; é o resultado de uma atividade social, uma vez que o respectivo estado do saber ultrapassa os limites dados a um indivíduo" (Fleck, 1935/2010, p. 81-82).

No artigo de 1855, acerca do incômodo de outros pelo uso da expressão 'força vital', Virchow comenta, "não nego que isso tenha suas preocupações, não tanto por minha causa, mas por causa de outras pessoas que pensam algo completamente diferente do que eu quando ouvem essa palavra" (Virchow, 1855, p.

22, tradução nossa). Contudo, os resultados dos seus estudos sobre a possibilidade da identificação de doenças a nível celular, não enfatizaram a especificidade do vivo e basearam-se em observações e experimentos microscópicos levando em consideração os aspectos físico-químicos da célula. Em Fleck, é possível entender que

[...] a uniformidade do pensamento conforme a um estilo, como fenômeno social, é muito mais forte que a estrutura lógica do pensamento no indivíduo. Elementos logicamente contraditórios de pensamento de um indivíduo nem chegam a causar uma contradição psíquica, pois estão separados um do outro: determinadas configurações, por exemplo, são consideradas como questão de fé; outras, como questão do saber e ambos os âmbitos não se influenciam, mesmo se logicamente nem sequer essa separação possa ser legitimada (Fleck, 1935/2010, p. 162).

No que concerne à especificidade do vivo, o próprio Descartes declarou essa compreensão. Como explicitado anteriormente no Quinto Capítulo, a despeito da sua crença na assimilação do homem à máquina, o filósofo francês não deixou de reconhecer as singularidades do corpo humano.

De modo tácito ou com pouco destaque na obra FP/CCC- 4 Virchow não deixa de sugerir as *propriedades da célula compreendidas pela especificidade dos processos vitais* (categoria emergente) com a rejeição das explicações reducionistas físico-químicas tradicionais para os fenômenos biológicos da célula, entendidos como refinados, especiais, posicionamento claramente identificado em FP/CCC-4.2B, “para contrastar com as interpretações igualmente unilaterais de vieses grosseiramente mecânicos e químicos — o mecanismo e a química mais delicados da célula” (Virchow, 1859, prefácio à primeira edição, p. vii, tradução nossa).

Porém, esse aparente incômodo de Virchow, relacionado diretamente à sua concepção (neo) vitalista não se traduz num problema de investigação ou num programa de pesquisa. Schäfer e Schnelle elucidam que em Fleck, “indivíduos isolados não podem ser considerados como os verdadeiros portadores da ciência, muito menos da ciência que envolve pesquisas empíricas” (Schäfer; Schnelle, 2010, p. 20).

Seu empenho em estudar a morfologia e fisiologia celular (vegetal e animal) foi devido seu interesse sobre a natureza e origem das células e, para a teoria celular, esse foi seu legado. A análise do texto de Virchow mostra que suas

observações microscópicas de preparados de células animais e vegetais¹³⁸ o teriam levado à conclusão de que toda célula surge de outra pré-existente, sem descontinuidade, uma *recusa à geração espontânea de seres vivos e da célula individual* (categoria emergente identificada em FP/CCC-4.12A).

[...] Tão pouco quanto podemos agora admitir que uma tênia possa surgir do muco saburral, ou que do resíduo da decomposição de matéria animal ou vegetal possa formar-se um animalculo infusorial, um fungo ou uma alga. Iguamente, pouco estamos dispostos a admitir, tanto na histologia fisiológica como na patológica, que uma nova célula pode construir-se a partir de qualquer substância não celular. Onde surge uma célula, aí deve ter existido previamente uma célula (*omnis cellula e cellula*), tal como um animal só pode surgir de um animal, uma planta só pode surgir de uma planta. Desta forma, embora ainda existam alguns pontos no corpo onde a demonstração absoluta ainda não foi proporcionada, o princípio é, no entanto, estabelecido, que em toda a série de seres vivos, sejam eles plantas inteiras ou organismos animais, ou constituintes essenciais do mesmo, prevalece uma lei eterna de desenvolvimento contínuo. Não há descontinuidade de desenvolvimento tal que uma nova geração possa, por si só, dar origem a uma nova série de formas de desenvolvimento (Virchow, 1859, p. 27-28, tradução nossa).

Teulón explica, apoiado em Thomas S. Hall, que Virchow admite a ocorrência de um equilíbrio estável nos cristais, enquanto nas células o equilíbrio é continuamente alterado ou instável. A força causal na formação de cristais é inerente em moléculas, as quais podem formar um cristal, independentemente da existência de outro cristal no ambiente. Nos sistemas vivos, no entanto, segundo a força causal - força vital para Virchow - a vida surge somente de onde existe vida e não das propriedades das moléculas em si. Logo, não há geração espontânea de células. A singularidade da vida deve-se ao fato de que sua força vital, ao mesmo tempo em que é produzida, também produz, sua organização material (Teulón, 1982).

Os fenômenos observados por Virchow são descritos a partir das técnicas microscópicas empregadas na histologia e fisiologia dos pesquisadores da época. Suas observações são registradas como achados importantes para a compreensão da Patologia ao nível celular. O patologista mantém o padrão da *ênfase na observação e/ou experimentos na interpretação do objeto de investigação*, característica marcante do método empírico-indutivo na investigação biológica sobre a célula no século XIX, que notadamente se constituiu um Estilo de Pensamento

¹³⁸ Dessas observações Virchow chegou a inferir semelhanças entre células animais e vegetais, 'grandes ou pequenas' e que o crescimento se dava por aumento no número de células (Virchow, 1859).

persistente na pesquisa científica. Desse modo, Virchow expressa que chegou a conclusões por meio de observações patológicas em FP/CCC-4.11A.

Conforme esclarecido na análise histórico-epistemológica anterior, esse método de pesquisa foi criticado por Ludwik Fleck. O médico polonês defende a necessidade de princípios orientadores, o 'ver formativo' para a interpretação dos objetos e/ou fenômenos os quais o pesquisador se depara. Caso contrário, "assim como uma criança que observa manchas de tinta, ele vê uma asa de pássaro, uma folha de árvore, dois cavalos juntos, um anjo. Em outras palavras, formas conhecidas de outras fontes (Fleck, 1947/1986, p. 134, tradução nossa).

No caso do estudo de Virchow sobre a origem das células, apesar de não mencionar a influência da teoria de Remak na sua pesquisa, não é possível dizer que não havia uma teoria que orientava seu olhar, pois ele conhecia a teoria celular de Schleiden-Schwann e a contestou por meio das suas próprias observações. Com efeito, havia a elaboração teórica prévia sobre a origem das células, que não foi confirmada no seu exame microscópico. Além disso, os estudos de Remak já mostravam o que Virchow resumiu no seu famoso aforismo. Obviamente, nem a convicção de Schwann e Schleiden, nem a generalização de Virchow, isoladamente, constituem Estilos de Pensamento, mas caracterizam o fundamento das suas ideias e práticas.

No que concerne ao problema da individualidade biológica, é possível identificar em Virchow, a ideia de totalidade subordinada à individualidade de cada célula, uma espécie de totalidade divisível do ser vivo, como expressa em FP/CCC-4.3A, tal como Schwann interpretou especialmente para os animais, ou seja, o *indivíduo constituído por células individualizadas e interdependentes que mantêm a totalidade*.

Mas penso que devemos considerar isto como certo, que, por mais que grande parte do intercâmbio mais delicado de matéria, que ocorre dentro de uma célula, possa não dizer respeito à estrutura material como um todo, ainda assim a ação real procede da estrutura como tal, e que o elemento vivo só mantém a sua atividade enquanto realmente se apresenta a nós como um todo independente (Virchow, 1859, p. 4, tradução nossa).

A influência do contexto na interpretação do objeto de investigação pode ser notada pela correlação feita por Virchow entre sua visão de sociedade e sua concepção de indivíduo - um arranjo social de partes individuais interdependentes,

dividido em 'territórios' celulares. Embora social e politicamente ativo, Virchow não expressa outras questões extracientíficas nessa obra, além da identificada em FP/CCC-4.10A.

Segue-se daí que a composição estrutural de um corpo de tamanho considerável, um chamado indivíduo, representa sempre uma espécie de arranjo social de partes, um arranjo de tipo social, no qual um certo número de existências individuais são mutuamente dependentes, mas de tal maneira que cada elemento tem sua própria ação especial e, embora derive seu estímulo à atividade de outras partes, é o único que efetua o desempenho real de suas funções. Portanto, considere necessário, e acredito que você obterá benefícios com a concepção, repartir o corpo em territórios celulares (*Zellenterritorien*) (Virchow, 1859, p. 14, tradução nossa).

De qualquer modo, é possível perceber o terceiro elemento de Fleck - o estado do saber/conhecimento - influenciando diretamente a concepção de *indivíduo*, o qual é compreendido como *constituído por células individualizadas e interdependentes que mantêm a totalidade*. Isso pode ser interpretado como uma indicação do uso do modelo social (econômico e político) no processo de construção do conceito de célula e da teoria celular, comum no século XIX, segundo Canguilhem (1966).

Após análise histórico-epistemológica de 'Patologia Celular' foi possível especificar padrões, concepções, ideias e práticas que contribuem à identificação do Estilo de Pensamento sobre a célula de Virchow e da comunidade médica interessada nas investigações das doenças no domínio celular da época.

Um aspecto muito evidente relacionado ao Estilo de Pensamento sobre a célula a partir da obra de Virchow foi a associação entre célula e manifestação de vida, a célula como elemento morfológico último onde ocorrem os processos vitais (e patológicos) com auxílio da força vital. Com efeito, a força vital a que Virchow se refere não pode ser entendida como aquela que possibilitaria a geração espontânea dos seres vivos (ou da própria célula) a partir da matéria 'bruta', como defenderam, historicamente, Aristóteles, Willian Harvey, René Descartes, Isaac Newton e John Needhan, dentre outros. Virchow fala em um 'novo vitalismo', que não se desprende do mecanicismo físico-químico, apesar de considerá-lo 'especial' no contexto da vida celular.

Uma das questões de pesquisa de Virchow, acerca da origem das células, foi investigada por observações de tipos celulares animais e vegetais, mas não só.

Suas suspeitas sobre a teoria da formação livre de células de Schleiden-Schwann por meio da cristalização e os trabalhos de Remak sobre a divisão celular estavam presentes. Sua mente não estava vazia, nem cientificamente, nem socialmente. As correlações entre seu ponto de vista da organização social e sua compreensão de indivíduo evidenciam isso.

Fundamentada nas interpretações acima, levando em consideração as categorias de análise que permeiam o Estilo de Pensamento sobre a célula, proponho denominá-lo de *Estilo de Pensamento Mecanicista físico-químico com ênfase na origem das células*¹³⁹.

A concepção de vida em Virchow parece não se enquadrar na classificação de Canguilhem. Não pode ser classificada como puramente mecanicista, por conter traços de um vitalismo que não se opõem diretamente às explicações moleculares físico-químicas, mas dão a elas uma peculiaridade, devido a ‘algo especial’ que a vida tem em si. Provavelmente por ser um vitalismo velado na obra em análise, a atuação da força vital virchowiana não foi levada em consideração, não circulou entre Coletivos de Pensamento, nem no interior do Coletivo de pesquisadores o qual Virchow participava. O que prevaleceu como Estilo de Pensamento que orienta o conceito clássico de célula como unidade fundamental da vida foi o aspecto mecanicista e reducionista físico-químico.

Fleck não se ocupou em nomear os Estilos de Pensamento que abordou tanto no Fato Científico estudado quanto nos diversos exemplos científicos da ciência ocidental moderna que apresentou. O reconhecimento das características do (s) estilo (s) de pensamento que orienta (m) os conceitos parece ser mais importante que sua denominação. Logo, a designação do Estilo de Pensamento cumpre uma função metodológica, muito mais que epistemológica nessa investigação.

O resultado da análise histórico-epistemológica de episódios históricos relacionados ao conceito clássico de célula está sintetizado no QUADRO 7. A Epistemologia de Fleck possibilita a compreensão desse quadro como nuances ou

¹³⁹ A concepção individual de Virchow é notoriamente mecanicista com especificidade neovitalista, a qual significa a ideia da célula compreendida como único elemento fundamental da vida, cujos processos físico-químicos são mantidos pela força vital, capaz de movimentar as moléculas que a constituem.

variedades do Estilo de Pensamento mecanicista que orienta o conceito clássico de célula identificados no estudo histórico sobre o conceito clássico de célula.

QUADRO 7 – NUANCES OU VARIEDADES DO ESTILO DE PENSAMENTO MECANICISTA QUE ORIENTA O CONCEITO CLÁSSICO DE CÉLULA ENCONTRADAS NOS QUATRO EPISÓDIOS HISTÓRICOS ANALISADOS.

EPISÓDIOS HISTÓRICOS	NUANCES OU VARIEDADES DO ESTILO DE PENSAMENTO
EH1- Descrições e ilustrações de materiais observados por Robert Hooke em seu microscópio óptico (1665)	Não existia, na época de Hooke, um Estilo de Pensamento sobre o conceito de célula.
EH2- Investigação de Mathias Schleiden sobre o processo de formação das células vegetais (1838)	Estilo de Pensamento mecanicista físico-químico com ênfase na Fisiologia Vegetal.
EH3- Investigação de Theodor Schwann sobre o processo de formação das células vegetais (1839)	Estilo de Pensamento mecanicista físico-químico com ênfase na Morfologia e Fisiologia dos seres vivos.
EH4 - Investigação de Rudolf Virchow sobre a natureza e origem das células e seus constituintes (1859)	Estilo de Pensamento mecanicista físico-químico com ênfase na origem das células.

Fonte: A autora (2024).

A célula no século XX: um complemento à análise dos episódios históricos

Desde a reelaboração da teoria celular por Virchow, a teoria celular parece ter alcançado sua forma ‘definitiva’, uma vez que o conceito de célula concebido por esta teoria - célula como unidade morfológica e fisiológica dos seres vivos/vida - é comum em obras diversas que abordam temas relacionados aos organismos vivos. Ou seja, diferentes Coletivos de Pensamento se apropriaram do conceito clássico de célula como Acoplamento Passivo nas suas pesquisas, nos campos da Evolução, Origem da Vida, Biologia Molecular, Citologia e outros.

Logo, aparentemente, pelo menos na maior parte do século XX, não mais se questionou a célula como unidade morfológica e fisiológica dos seres vivos ou tampouco qualquer discussão nesse sentido pouco foi levada em consideração a ponto de abalar o conceito clássico da célula como Acoplamento Passivo. Exatamente esse ‘solo firme dos fatos’, de acordo com Fleck, o Coletivo de Pensamento não cansa de procurar, “a tendência geral do trabalho de conhecimento é, portanto: *um máximo de coerção de pensamento (Denkzwang) com um mínimo*

de pensamento baseado na própria vontade” (Fleck, 1935/2010, p. 144, grifo do autor).

Até mesmo quando a unidade fundamental da vida é considerada o gene, como na teoria evolutiva de Dawkins, não é negada a existência das células como envoltórios para o gene, veículos para sua existência incessante (unidade morfológica) e os processos que nela ocorrem (unidade fisiológica), ainda que sejam resultantes tão somente da informação contida nos genes, segundo a teoria do gene egoísta, no ano de 1976.

No início do século, o estudo filosófico de Bergson acerca da evolução da vida em ‘A Evolução Criadora’ no ano de 1907, apesar de opor-se ao mecanicismo como princípio explicativo do processo evolutivo, não desconsidera as células como unidades constitutivas dos seres vivos, que toma o mesmo princípio. Bergson admite que “um organismo é composto por tecidos, cada um dos quais vive por conta própria. *As células de que os tecidos são feitos* também têm uma certa independência” (Bergson, 1907/2005, p. 45, grifo nosso).

Bergson adverte, no entanto, que as células não são simples partes do organismo, elas próprias constituem-se como um organismo complexo.

Do ponto de vista da ciência positiva, um progresso incomparável foi realizado no dia em que *os tecidos organizados foram resolvidos em células*. O estudo da célula, por sua vez, revelou nela um organismo cuja complexidade parece aumentar à medida que esse exame mais se aprofunda (Bergson, 1907/2005, p. 176, grifo do autor).

Mesmo apresentando influências da Biologia nas suas explicações, Bergson pertencia a outro Coletivo de Pensamento, sua obra é filosófica, o que lhe autorizava desenvolver reflexões que não foram percebidas como Complicações no campo da Biologia naquele momento histórico, no início do século XX. Quanto a isso, destaco uma passagem relacionada especificamente às células e a individualidade biológica: [...] “quem pode dizer onde começa e onde termina a individualidade, se o ser vivo é um ou vários, se são as células que se associam em organismo ou se é o organismo que se dissocia em células?” (Bergson, 1907/2005, p. x, grifo nosso).

A teoria celular clássica parece não ter encontrado Complicações fleckianas pelo caminho em pesquisas que se destacaram e influenciaram a Biologia durante o século XX, e ainda no presente. Em vista disso, apresento, de modo sucinto, alguns excertos de obras que considero relevantes para ilustrar a constância do conceito de

célula em produções científicas do campo da Biologia ou diretamente relacionadas a esta ciência.

No artigo *Proiskhozhdenie zhizny* (A origem da Vida), de 1924, o biólogo e bioquímico russo Aleksandr Oparin (1894-1980) publicou a versão original da sua teoria sobre a origem da vida na Terra a partir de moléculas orgânicas, originadas de substâncias inorgânicas presentes na atmosfera primitiva. Selecionei um trecho que mostra o conceito de célula em Oparin no contexto da sua pesquisa.

O corpo de qualquer organismo, seja ele planta, molusco, verme, peixe, pássaro, animal ou homem, é composto de partículas muito pequenas que só são visíveis ao microscópio. Ele é construído a partir dessas partículas ou células, assim como uma casa é construída com tijolos. Os vários órgãos de diferentes animais e plantas são compostos de células de diferentes tipos. [...] essencialmente e em princípio, todas as células de todos os organismos são semelhantes. Os microrganismos diferem apenas porque todo o seu corpo consiste em uma única célula. Esta semelhança de princípio entre todos os organismos confirma a ideia, agora geralmente aceita nos círculos científicos, de que todos os seres vivos na Terra estão ligados uns aos outros; formam, por assim dizer, uma família de parentesco consanguíneo. Os organismos mais complexos surgiram de organismos mais simples, que gradualmente mudaram e se tornaram mais eficientes. Assim, basta explicar como algum organismo muito simples poderia ter se formado para poder compreender a origem de todas as plantas e animais (Oparin, 1924/1967, p. 4, tradução nossa, grifo nosso).

Em *What is life? The Physical Aspect of the Living Cell* (O que é vida? O aspecto físico da célula viva) publicado no ano de 1944 pelo físico austríaco Erwin Schrödinger (1887-1961) também é possível perceber a manutenção do estado de Harmonia das Ilusões sobre a célula no Coletivo de Pensamento da Física. Com o objetivo de explicar a vida por meio das leis fundamentais da Física e da Química, o autor revela, pelo modo óbvio como se refere à célula, a percepção da forma imediata, de acordo com o Estilo de Pensamento vigente.

[...] naturalmente, não apenas o corpo de um indivíduo adulto de qualquer espécie superior, mas toda célula que o compõe, contém um número "cósmico" de átomos individuais de todo tipo. E todo processo fisiológico particular que se observa, seja no interior da célula, seja em sua interação com o meio ambiente, parece - ou parecia, há cerca de trinta anos - envolver um número tão grande de átomos individuais e processos atômicos individuais que todas as leis relevantes da física e da físico-química seriam resguardadas, mesmo perante as exigentes demandas da física estatística com respeito a "grandes números" (Schrödinger, 1944/1997, p. 32, grifo nosso).

Quando se trata do célebre e breve artigo dos biólogos moleculares James Watson e Francis Crick, *Molecular Structure Of Nucleic Acids* (Estrutura Molecular dos Ácidos Nucleicos), de 1953, considero que a ausência de menção à célula também pode ser interpretada como afirmação implícita da consistência interna do Estilo de Pensamento que orienta o conceito de célula. Como Acoplamento Passivo, Fato Científico inquestionável e óbvio, a célula não precisaria ser citada num artigo técnico que discorre sobre um modelo da estrutura espacial de uma molécula que constitui o cromossomo, os genes, cuja localização no interior da célula havia sido reconhecida há décadas. Em publicação mais recente, Watson não deixa dúvidas quanto a isso ao afirmar:

[...] Esta não era uma molécula qualquer: o *DNA*, como Crick e eu apreciamos, contém a chave para a natureza dos seres vivos. Ele armazena as informações hereditárias que são transmitidas de uma geração para a seguinte e *orquestra o mundo incrivelmente complexo da célula*. Descobrir sua estrutura tridimensional — a arquitetura da molécula — forneceria, esperávamos, um vislumbre daquilo que Crick se referiu, apenas meio brincando, como "*o segredo da vida*" (Watson, 2003, p. xii, tradução nossa, grifo do autor).

Mesmo circulando entre Coletivos de Pensamento especializados da comunidade científica (biólogos, químicos, físicos) - o conceito clássico de célula como unidade fundamental da vida parece não ter encontrado exceções ou estas foram silenciadas.

Quando o 'dogma central' foi proposto por Crick em 1958 no artigo *On protein synthesis* (Sobre a síntese proteica), as menções feitas à célula são de acordo com o sistema de referência do Estilo de Pensamento, a célula se apresenta de modo passivo no processo de produção do conhecimento em diversos campos da Biologia, inclusive na própria Biologia Celular.

Nos últimos anos o nosso conhecimento da estrutura do citoplasma aumentou enormemente, devido principalmente à técnica de corte de secções finas para o microscópio eletrônico. O citoplasma de muitas células contém um "retículo endoplasmático" de membranas duplas, consistindo principalmente de proteínas e lipídios (Crick, 1958, p. 146, tradução nossa).

A *vida como informação*, uma das compreensões de vida em Canguilhem pode ser associada à Biologia a partir desse período. No artigo acima mencionado, as dúvidas que pairavam eram absolutamente restritas ao processo da produção de

proteínas baseado nas informações contidas no material genético, como o local em que ocorrem as etapas bioquímicas e o ‘problema da codificação’, ou seja, de que modo a sequência de bases ao longo do ácido nucleico codifica a sequência dos aminoácidos que constituem as proteínas da célula.

Não há nenhum caso conhecido na Natureza em que a síntese proteica propriamente dita (em oposição à modificação proteica) ocorra fora das células, embora [...] uma certa quantidade de proteína possa provavelmente ser sintetizada utilizando células quebradas e fragmentos celulares. A primeira questão a colocar, portanto, é se a síntese proteica pode ocorrer no núcleo, no citoplasma ou em ambos (Crick, 1958, p. 146, tradução nossa).

Os novos conhecimentos da Embriologia, da Bioquímica, da Genética, Biologia Molecular e outros relacionados à Biologia do século XX não prescindem do conhecimento sobre a estrutura básica da célula (membrana celular, citoplasma e núcleo). Com efeito, Fleck argumenta que a ciência busca absorver o máximo de elementos passivos. A utilidade da célula enquanto elemento passivo do saber nos diversos estudos decorrentes da teoria celular corresponde, portanto, ao que Fleck considera “resultados inevitáveis sob determinadas condições dadas” (Fleck, 1935/2010, p. 83).

Segundo Fleck, as condições dadas “correspondem aos acoplamentos ativos, formando aquilo que é percebido como realidade objetiva” (Fleck, 1935/2010, p. 83). Em outras palavras, a percepção da célula como realidade objetiva tem ocorrido desde o uso do microscópio como auxiliar da busca pela unidade básica do ser vivo (Acoplamento Ativo) até os numerosos estudos teóricos, experimentais, uso de instrumentos e técnicas decorrentes da teoria celular, também considerados nesta investigação como elementos ativos no contexto da célula.

Em *Central Dogma of Molecular Biology* (Dogma Central da Biologia Molecular), publicado em 1970, Crick menciona que “seria de grande interesse encontrar uma célula [...] que tivesse RNA como material genético e nenhum DNA, ou uma célula que usasse DNA de fita simples como mensageiro em vez de RNA” (Crick, 1970, p. 563, tradução nossa). Os estudos acerca do material genético avançaram muito com o maior desenvolvimento da Genética e da Biologia Molecular e das tecnologias de Engenharia Genética. Assim, o núcleo se tornou o componente celular que recebeu atenção diferenciada, uma vez que as funções da célula/ ser vivo seriam definidas pelos genes.

Contudo, também na década de 1970, o conceito de autopoiese coloca a membrana celular como o componente de maior importância, no sentido de delimitar a célula, possibilitando os processos metabólicos e, ao mesmo tempo, ser criada por estes processos – o ser e o fazer da unidade autopoietica. Maturana e Varela consideram a célula como unidade autopoietica, ou seja, a célula ‘permanece’ como menor unidade biológica. No primeiro artigo sobre o tema, *Autopoiesis: The Organization of Living Systems, Its Characterization and a Model* (Autopoiese: a organização dos sistemas vivos, sua caracterização e um modelo) em 1974, os autores esclarecem:

Consideremos, por exemplo, o caso de uma célula: é uma rede de reações químicas que produzem moléculas tais que (i) através de suas interações geram e participam recursivamente na mesma rede de reações que as produziram, e (ii) realizam a célula como uma unidade material. Assim, a célula como uma unidade física, topograficamente e operacionalmente separável do plano de fundo, permanece como tal apenas na medida em que esta organização é continuamente realizada sob permanente rotatividade da matéria, independentemente das suas mudanças na forma e na especificidade das suas reações químicas constitutivas (Maturana; Varela; Uribe, 1974, p. 188, tradução nossa, grifo nosso).

Em ‘De máquinas e seres vivos’ (1973) Maturana e Varela advertem que sua abordagem da organização autopoietica é mecanicista. Contudo, ao contrário do que historicamente se constatou desde a ciência moderna – o mecanicismo associado ao reducionismo – nesse caso, a ênfase é dada na “rede de interações de componentes que constituem um sistema vivo como um todo, isto é, como uma ‘unidade’ e não “através da contabilização das propriedades dos seus componentes” (Maturana; Varela; Uribe, 1974, p. 187, tradução nossa).

Apesar da sua diversidade, todos os sistemas vivos devem partilhar uma organização comum que reconhecemos implicitamente, chamando-os de ‘vivos’. Atualmente não existe uma formulação desta organização, principalmente porque os grandes desenvolvimentos das noções moleculares, genéticas e evolutivas na biologia contemporânea levaram à ênfase excessiva de componentes isolados, por exemplo, considerar a reprodução como uma característica necessária da organização viva e, portanto, não perguntar sobre a organização que faz de um sistema vivo uma unidade autônoma e completa que está viva independentemente de se reproduzir ou não (Maturana; Varela; Uribe, 1974, p. 187, tradução nossa).

Como pensadores sistêmicos, organicistas, Maturana e Varela consideram a unidade autopoietica de primeira ordem – a célula – como totalidade, assim como os

sistemas metacelulares (unidades de segunda ordem), os quais são resultantes do “agregamento estreito entre células descendentes de uma única célula [...], “condição totalmente consistente com a autopoiese contínua das células” (Maturana; Varela, 1984/1995, p. 116).

A célula como unidade autopoietica é, assim, definida como um processo circular de produção molecular, ou seja, apresenta uma organização autopoietica, a qual ao mesmo tempo em que produz suas moléculas, é produzida pela rede de interações entre elas continuamente. Considerando que podem ocorrer mudanças estruturais na célula com conservação da organização, são os processos metabólicos de autoprodução e as relações entre os processos que definem a célula na teoria da autopoiese.

Sendo estes processos realizados por intermédio dos componentes moleculares, o aspecto mecanicista da célula permanece (coexistência do Estilo de Pensamento mecanicista), embora seja evidente na concepção dos biólogos chilenos a especificidade do vivo, irreduzível aos aspectos químicos e físicos. A autonomia, a complexidade biológica, a circularidade dos processos, a compreensão do ser vivo por meio da sua organização, no contexto da totalidade orgânica, podem ser entendidas como características atribuídas aos sistemas vivos a partir do ponto de vista do pensador/observador sistêmico.

Nessa perspectiva, a relevância das características materiais da célula e até mesmo a responsabilidade única do DNA/genes na constituição e especificação de tais características são desconsideradas. Isso afasta a compreensão de Maturana e Varela sobre a célula do Estilo de Pensamento mecanicista sob a forma de qualquer uma das variedades colocadas nas explicações anteriores e aproxima de um conjunto de ideias e práticas que valorizam a dinâmica dos processos biológicos ao invés das propriedades físico-químicas das moléculas que constituem a célula, procedimento este muito comum desde os estudos citológicos iniciais do século XIX.

Importante destacar que, para Fleck, fatos e conceitos particulares de um coletivo com grandes divergências podem ser percebidos como arbitrários ou simplesmente ignorados; em coletivos com certo grau de parentesco “são interpretados de maneira diferente, isto é, traduzidos e adotados numa outra linguagem de pensamento” (Fleck, 1935/2010, p. 161). Numa perspectiva sistêmica, Nicholson (2014b) aponta as limitações e a coerção de pensamento no campo da

Biologia Molecular, ao mesmo tempo em que propõe a noção de organismo como conceito explicativo fundamental na Biologia:

O hábito equivocado de atribuir papéis causais privilegiados às moléculas nas explicações dos fenômenos celulares decorre da incapacidade de compreender que tudo o que acontece dentro de uma célula (por exemplo, replicação do DNA, síntese de proteínas, o transporte de membrana, etc.) acontece em virtude das condições facilitadoras proporcionadas pela organização funcional pré-existente da célula como um todo. No geral [...], a revolução da biologia molecular da segunda metade do século passado provou ser uma bênção mista. Os problemas (ou partes deles) que eram passíveis de uma abordagem reducionista foram elucidados e explicados em termos moleculares. Aqueles que não eram proporcionais à perspectiva molecular foram ignorados ou rejeitados como irrelevantes e, portanto, permaneceram em grande parte subdesenvolvidos. Os esforços contínuos da biologia de sistemas para colocar o organismo de volta em cena, enfatizando a importância da organização, integração e regulação, servem para enriquecer o conjunto de ferramentas explicativas da biologia e fornecem um antídoto muito necessário para a dependência excessiva de explicações a nível molecular (Nicholson, 2014b, p. 353, tradução nossa).

Entendo que aqui seja possível perceber o Tráfego de Pensamento acerca do conceito de célula. Em Fleck, independentemente das particularidades dos Coletivos de Pensamento, as relações intercoletivas apresentam algo em comum. No caso da célula, o aspecto físico-químico - a existência de moléculas na sua constituição - é inegável tanto para o Estilo de Pensamento mecânico/reducionista quanto para o Estilo de Pensamento sistêmico/organicista¹⁴⁰, o qual equivale ao Estilo de Pensamento biológico evolucionista (Bertoni, 2012). Nesse contexto, a concepção de *vida como organização* em Canguilhem pode ser considerada.

Contudo, os biólogos de sistema apontam frequentemente a necessidade de complementar ou ir além do que é percebido como limitações das estratégias reducionistas na Biologia Molecular, no intuito de esclarecer o significado da sua abordagem (Green, 2022). Em relação ao conceito de célula, qual seria o significado epistemológico desse posicionamento? Segundo Fleck, as palavras têm em si um matiz “mais ou menos marcado pelo estilo de pensamento, que se altera na migração intercoletiva, elas circulam entre os coletivos sempre com uma certa alteração de seu significado” (Fleck, 1935/2010, p. 161).

¹⁴⁰ Fleck não se ocupou em nomear os Estilos de Pensamento que abordou tanto no Fato Científico estudado quanto nos diversos exemplos científicos da ciência ocidental moderna que apresentou. O reconhecimento das características do (s) Estilo (s) de Pensamento que orienta (m) os conceitos parece ser mais importante que sua denominação.

Numa leitura fleckiana, quando se considera o Coletivo de Pensamento de Biólogos de Sistemas e o Coletivo de Biólogos Moleculares, é esperado algo como uma releitura do termo célula e do que ele significa no contexto de uma abordagem sistêmica/organicista/processual. Se as características singulares da célula não se devem à sua composição, mas à sua organização autopoietica, é legítimo falar na possibilidade de complementação/ampliação do Estilo de Pensamento que orienta o conceito de célula hegemonicamente.

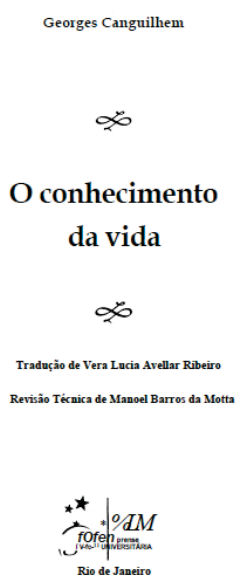
Esse desenvolvimento do Estilo de Pensamento sobre a célula, naturalmente, tem ficado restrito ao Coletivo de Pensadores Sistêmicos, uma vez que, de modo geral, a Biologia é tomada por metáforas mecanicistas reducionistas, como o *programa genético* (Nicholson, 2014a) e o próprio modelo mecânico da célula (Nicholson, 2019). A célula, considerada realidade objetiva, ou um Acoplamento Passivo na concepção dos Biólogos Moleculares se transforma em Acoplamento Ativo na perspectiva dos Biólogos de Sistemas.

O Estilo de Pensamento que orienta o conceito de célula quando este é examinado no interior do Coletivo de Pensamento de pensadores sistêmicos da Biologia contrasta com aquele no qual o conceito clássico de célula foi forjado historicamente e se mantém dominante. Em virtude do sistema de opinião elaborado e fechado que constitui um Estilo de Pensamento, a reinterpretação da célula num Coletivo de Pensamento diferente do original, em virtude de uma relação intercoletiva, é algo esperado.

Outras questões relacionadas à historicidade do conceito de célula, inclusive a tentativa de localizar ideias pré-científicas (Protoideias) são apresentadas na análise da fonte secundária selecionada, na próxima sessão. O estudo histórico de um conceito em fontes secundárias não é uma recomendação expressa de Fleck. Contudo, a obra de Canguilhem sobre o tema é baseada em pesquisa rigorosa e detalhada de um autor que possui intenções epistemológicas semelhante às de Fleck e, portanto, relevante para esta investigação.

8.5 FS/CCC-1 'A TEORIA CELULAR' – GEORGES CANGUILHEM (1945)

FIGURA 5 – FOLHA DE ROSTO DO LIVRO 'O CONHECIMENTO DA VIDA', QUE CONTÉM O ARTIGO 'A TEORIA CELULAR'



Fonte: www.grupogen.com.br

8.5.1 Primeira Etapa: Análise preliminar de FS/CCC -1

Do mesmo modo como apresentado na análise das fontes primárias, a primeira etapa da análise documental da FS/CCC-1 (FONTE SECUNDÁRIA/CONCEITO CLÁSSICO DE CÉLULA) consiste em descrever o *contexto da obra, os interesses do autor, a autenticidade/confiabilidade do texto, a natureza do texto e conceitos-chave* (Cellard, 2008).

Sobre o contexto da obra

O artigo 'A teoria celular' foi publicado originalmente em 1945 pela Faculdade de Letras de Estrasburgo, França. No ano de 1952, Canguilhem reúne esse e outros artigos e algumas conferências na primeira edição do livro 'O conhecimento e a vida'. A segunda edição do livro, publicada em 1965, mantém o texto original, cuja tradução para a língua portuguesa ocorreu no ano de 2012.

Delaporte esclarece que Canguilhem apresenta a teoria celular como uma contribuição à psicanálise do conhecimento objetivo, "o psicologismo atravessa, então, seu histórico. Porém, ao valorizar mitos, imagens, pressentimentos, antecipações e intuições, Canguilhem faz uma inversão em relação a Bachelard" (Delaporte, 2002 p. 23).

Canguilhem leva em consideração a continuidade histórica do saber e não a descontinuidade, como o fez seu mestre Gaston Bachelard. Em síntese, os objetivos do médico francês seriam:

[...] restituir uma dignidade teórica ao pré-científico (sabemos as ressonâncias que ele desperta) e, para fazer isso, valorizá-lo. Valorização contra desvalorização. Essa inversão é o correlativo de uma tripla decisão: reabilitar mitos e imagens de maneira a lhes conferir uma função heurística, ressaltar a significação histórico-epistemológica das construções discursivas e reavaliar as teorias biológicas, enfatizando aquilo que elas visam mais do que aquilo o que elas dizem (Delaporte, 2009, p. 25).

'A teoria celular' foi publicada dois anos após a defesa da sua tese em medicina, defendida no ano de 1943, 'Ensaio sobre alguns problemas relativos ao normal e ao patológico'. Isto significa que a concepção de vida como atividade normativa fazia parte das reflexões de Canguilhem quando resolveu escrever este artigo, o qual segundo o próprio autor, foi o primeiro a abordar a historicidade de um conceito – a célula – de tantos outros que escreveu sobre suas investigações acerca de conceitos biológicos, como reflexo, tireoide, meio, seleção natural, dentre outros.

Sobre os interesses do autor

A Filosofia Biológica desenvolvida por Canguilhem respalda seus estudos históricos ao longo de muitas décadas. Souto (2021) sintetiza as influências de conhecimentos diversos e concepções na obra epistemológica do médico francês e chama a atenção para a leitura particular do vitalismo e sua apropriação por Canguilhem em sua Filosofia.

Canguilhem dará continuidade à filosofia dos valores que desenvolvera desde meados da década de 1920, porém provocando-lhe uma sensível mutação a partir de uma inflexão sobre o domínio biológico e médico. A filosofia que formulará durante as décadas de 1940-1950, que continua a ser um pluralismo axiológico, será sobretudo uma reflexão sobre a saúde (tese de 1943) e sobre a possibilidade de um conhecimento científico da vida (tese de 1952), passando a empregar ferramentas conceituais à epistemologia histórica bachelardiana (tese de 1955). Tudo isso exigirá uma grande investida epistemológica que resultará num peculiar vitalismo cujas características não são dedutíveis da filosofia de seus antecessores, nem mesmo da filosofia axiológica que ele mesmo já havia formulado nos anos anteriores (Souto, 2021, p. 213-214).

Autenticidade e confiabilidade do texto

A fonte primária FS/CCC-1 - *La théorie cellulaire* – escrita em 1945, foi o primeiro estudo de Canguilhem em História das Ciências. O ensaio corresponde à Parte I da sua tese complementar em Filosofia - *La connaissance de la vie* (O conhecimento da vida) - publicada no ano de 1952 como uma coletânea de textos desenvolvidos em anos anteriores acerca de temas da Biologia e Medicina, pautados por sua Filosofia/Epistemologia.

A edição brasileira de *La connaissance de la vie* integra a ‘Coleção Episteme - Política, História, Clínica’, com tradução de Vera Lucia Avellar Ribeiro e revisão técnica de Manoel Barros da Motta, foi publicada pela Editora Forense Universitária, do Rio de Janeiro no ano de 2012.

Natureza do texto e conceitos-chave

No que concerne à *natureza do texto*, a obra possui natureza filosófica, histórica, científica. Alguns *conceitos-chave* são importantes para compreensão da obra, como célula, teoria celular, fato, teoria, organismo, individualidade biológica, meio interior, vivente, etc.

8.5.2 Segunda Etapa: Análise Documental propriamente dita (Análise histórico-epistemológica)

Em relação à fonte secundária FS/CCC-1- ‘A teoria celular’, relativa ao estudo sobre a visão de Canguilhem sobre os condicionamentos histórico, social,

político e filosófico do conceito de célula e da teoria celular, foram selecionados 38 (trinta e oito) excertos apresentados no APÊNDICE I e identificadas quanto ao tipo de relação intercoletiva com o conceito de célula e/ou teoria celular. Naturalmente, no estudo desta fonte secundária, não foi especificado um único episódio histórico, mas as percepções do autor sobre o que Fleck denomina Tráfego Intercoletivo de Pensamento.

Metodologicamente, a análise da FS/CCC-1 foi desenvolvida com base na categoria *Influência do contexto na interpretação do objeto de investigação*, criada a partir do elemento temático *Construção do conhecimento* (QUADRO 6). Logo, essa análise está concentrada no terceiro elemento da teoria comparada do conhecimento de Fleck, o estado do saber/conhecimento.

Considerando o fato de não existir nenhuma ligação direta entre as primeiras observações microscópicas das células de Hooke em 1665 e a elaboração da teoria celular de Schleiden e Schwann quase dois séculos depois, Nicholson (2010) propõe o exame das motivações epistemológicas à legitimidade dessa proposição, no sentido de compreender filosoficamente as objeções históricas e atuais à teoria celular. O modo como Canguilhem aborda o problema é destacado pelo autor:

Georges Canguilhem interpretou a história da teoria celular como uma batalha dialética entre duas representações opostas da constituição anatômica dos organismos: uma enfatizando a continuidade e a outra enfatizando a descontinuidade (Nicholson, 2010, p. 202, tradução nossa).

Munido da reflexão filosófica desde o início, em FS/CCC-1.1 Canguilhem questiona o caráter da Biologia: “ela é racional ou experimental? São os olhos da razão que veem as ondas luminosas, mas parece que são os olhos, órgãos dos sentidos, que identificam as células de um corte vegetal” (Canguilhem, 1945/2012, p. 44). Ou seja, os enunciados da teoria celular não teriam origem puramente empírica, uma vez que os instrumentos são auxiliares, e não determinantes da atividade científica.

Em FS/CCC-1.2, o médico francês esclarece que “o microscópio é, no máximo, um dos meios de verificá-lo [enunciado] quando o dizemos. Mas de onde veio a ideia de dizê-lo antes de verificá-lo? (Canguilhem, 1945/2012, p. 44-45). Seguindo sua preferência pela historicidade dos conceitos para explicar teorias,

Canguilhem, então, assume a importância da história do conceito de célula para seu estudo acerca da teoria celular.

Canguilhem tem convicção de que a gênese da teoria celular não deve ser buscada na identificação microscópica de estruturas dos seres vivos ocorridas no século XVII, mas num outro momento histórico. Em FS/CCC-1.2, o médico francês elabora uma afirmação alinhada ao resultado da análise da FP/CCC-1, 'Micrografia', de Robert Hooke, cuja conclusão foi a ausência de um Estilo de Pensamento sobre a célula e a não identificação das 'células da cortiça de Hooke' como uma Protoideia. Canguilhem cita que Hooke "descobriu a coisa, um tanto por acaso e pelo jogo de uma curiosidade divertida das primeiras revelações do microscópio" (Canguilhem, 1945/2012, p. 45). No excerto FS/CCC-1.3, "a descoberta de Hooke não inicia nada, não é um ponto de partida" (Canguilhem, 1945/2012, p. 45). Também não foi o caso de Nehemiah Grew (1628-1711) e Marcelo Malpighi (1628-1694), como pode ser constatado em FS/CCC-1.5

Alguns anos depois de Hooke, Malpighi, por um lado, Grew, por outro, publicam simultânea (1671) e separadamente seus trabalhos sobre a anatomia microscópica das plantas. Sem referência a Hooke, eles redescobriram a mesma coisa, mas utilizam uma outra palavra¹⁴¹ (Canguilhem, 1945/2012, p. 46).

Com efeito, glóbulos, utrículos, fibras, dentre outros, estiveram entre os elementos identificados nos estudos microscópicos dos seres vivos. Antes do século XIX, o 'espírito humano' – como diria Canguilhem - não estava em condições de perceber a célula com a compreensão que o século XIX traria. O estudo historiográfico de Baker (1952) chama a atenção para diversas investigações anteriores ao entendimento da célula como uma unidade.

Primeiramente, a atenção concentrou-se na parede celular dos vegetais, uma vez que não era a célula em si, mas a parede que se destacava nas observações microscópicas do século XVII. Baker explica que "os primeiros observadores não estavam inclinados a considerar as paredes celulares como caixas separadas contendo material dentro delas" (Baker, 1952, p. 158, tradução nossa).

¹⁴¹ Malpighi utilizou o termo *utriculi siu sacculi* e Grew, usou os termos *bexiga* e *poros* (Baker, 1948; Teulón, 1982).

A parede celular - e não o conteúdo da célula - recebeu atenção por mais de um século após os estudos de Grew e “pensava-se que o sistema de paredes celulares era uma substância contínua em toda a planta. Os espaços (células e vasos) deveriam aparecer nesta substância contínua” (Baker, 1952, p. 160, tradução nossa). Considerava-se que as células seriam abertas umas para as outras, ou seja, não haveria unidade estrutural.

Segundo Baker, “antes que a célula pudesse ser considerada uma unidade, era necessário mostrar que a parede entre duas células contíguas era dupla e que a célula poderia, portanto, ser isolada como um objeto separado”. Estudos nesse sentido foram desenvolvidos no início do século XIX pelos alemães G. R. Treviranus (1805) e J. H. F. Link (1807). Segundo a historiografia de Baker, Treviranus foi o primeiro a ter demonstrado nitidamente que as células vegetais são unidades separáveis.

Em termos da Epistemologia fleckiana é importante destacar que esses episódios exemplificam, na história do conceito de célula, o trabalho científico do Círculo Esotérico e o Tráfego Intracoletivo de Pensamento. Diversos elementos extracientíficos participaram do processo de construção desse fato científico, por meio do Tráfego Intercoletivo do Círculo Exotérico ao Esotérico. O problema da continuidade e da descontinuidade nas ciências é abordado de modo explícito por Canguilhem. Em FS/CCC-1.6, o autor situa a controvérsia no campo da Biologia, historicamente associada a Estilos de Pensamento oriundos da Filosofia, o vitalismo (como continuidade) e o mecanicismo (como descontinuidade).

Depois que se interessou, em biologia, pela constituição morfológica dos corpos vivos, o espírito humano oscilou entre uma e outra das duas seguintes representações: ou uma substância plástica fundamental contínua, ou uma composição de partes, de átomos organizados ou grãos de vida. Aqui, como em ótica, as duas exigências intelectuais de continuidade e de descontinuidade se defrontam (Canguilhem, 1945/2012, p. 46).

A Filosofia axiológica de Canguilhem é expressa na ideia de que valores afetivos e sociais de cooperação e de associação influenciaram o desenvolvimento da teoria celular, como em FS/CCC-1.4:

[...] Mas, antes, quem sabe, se ao tomar conscientemente emprestado da colmeia das abelhas o termo célula, para designar o elemento do organismo vivo, o espírito humano também não lhe pediu emprestado, quase inconscientemente, a noção do trabalho cooperativo, do qual o raio de mel é o produto? Assim como o alvéolo é o elemento de um edifício, as abelhas são, segundo a palavra de Maeterlinck, indivíduos inteiramente absorvidos pela república. De fato, a célula é uma noção, a um só tempo, anatômica e funcional, a noção de um material elementar e de um trabalho individual, parcial e subordinado (Canguilhem, 1945/2012, p. 45-46).

Novamente, em FS/CCC-1.20, quando trata do problema da individualidade, Canguilhem assevera: “a história do conceito de célula é inseparável da história do conceito de indivíduo. Isso já nos autoriza a afirmar que valores sociais e afetivos pairam sobre o desenvolvimento da teoria celular” (Canguilhem, 1945/2012, p. 62).

O médico francês recorre à psicanálise do conhecimento para explicar em FS/CCC-1.3 o que ele denomina de sobredeterminação afetiva do objeto biológico ‘célula’. Nesse sentido, é possível tecer uma leitura fleckiana dessa interpretação de Canguilhem. A imagem da ‘estrutura celular’ dos seres vivos como “uma constância quase canônica” nas lições de história natural, corresponde, a um Acoplamento Passivo do conhecimento, dando a impressão de algo simplesmente objetivo.

Por sua vez, alcançar esse estado do conhecimento dependeu de Acoplamentos Ativos, relacionados a diferentes momentos históricos e à psicologia coletiva. A busca pela superação da ideia vitalista da individualidade do todo e o aumento do poder de resolução dos microscópios, parecem ser as principais relações ativas nesse processo histórico. Tais relações ativas e passivas do saber fizeram parecer óbvia a compreensão da célula como a unidade fundamental dos seres vivos nas aulas de História Natural (e posteriormente nas aulas de Biologia).

Seguindo a Epistemologia fleckiana, é válido tomar essa relação como um acontecimento da história do pensamento. De acordo com Fleck,

Esse fato não pode ser comprovado por *nenhum experimento isolado*, mas apenas por uma experiência ampla, *um estilo de pensamento particular*, constituído a partir de um saber prévio, [...] e, o que é mais importante em termos epistemológicos, *de muitas adaptações e transformações conceituais* (Fleck, 1935/2010, p.147-148, grifo do autor).

Legitimado pelo Círculo Exotérico dos estudantes e até mesmo do público em geral, esse fato científico tem se mantido inabalado, conservado pelo Estilo de Pensamento dominante mecanicista sobre o conceito clássico de célula.

Na busca pelas ‘origens autênticas’ da teoria celular, Canguilhem considera relevantes as diferentes concepções de uma composição elementar do ser vivo em Lineu, Buffon e Haller no século XVIII. Enfatiza os estudos do naturalista francês Georges-Louis Leclerc, o conde de Buffon (1707-1788), descritos nos excertos FS/CCC-1.9 a FS/CCC-1.16 do APÊNDICE I. A teoria das ‘moléculas orgânicas’ de Buffon (1748) como uma tentativa de redução dos seres vivos a uma unidade viva teria sido uma resposta às exigências especulativas da época e não uma generalização a partir de observações microscópicas. Em FS/CCC-1.9, Canguilhem comenta o reduzido uso do microscópio por Buffon e esclarece:

Buffon admite a existência de uma quantidade infinita de partes orgânicas vivas, e cuja substância é a mesma que a dos seres organizados. Essas partes orgânicas comuns aos animais e aos vegetais são primitivas e incorruptíveis, de tal forma que a geração e a destruição do ser organizado não passam da conjunção e da disjunção desses viventes elementares (Canguilhem, 1945/2012, p. 50).

A hipótese do ‘molde interior’, que explica a agregação por atração das moléculas orgânicas nos organismos vivos pode ser vista como resultante de Tráfego Intercoletivo dos princípios da mecânica cartesiana e especialmente da mecânica newtoniana (e talvez da causalidade aristotélica)¹⁴² como resposta à “exigência do pensamento biológico, a de dar conta da individualidade morfológica do organismo” (Canguilhem, 1945/2012, p. 52).

Canguilhem chama atenção para a relação entre teorias e fatos científicos, numa abordagem epistemológica que poderia ser denominada fleckiana, no sentido de que “*as teorias nunca procedem dos fatos. As teorias só procedem de teorias anteriores quase sempre muito antigas. Os fatos são apenas a via, raramente direta, por meio da qual as teorias procedem umas das outras*” (Canguilhem, 1945/2012, p. 52). Naturalmente, isso não estava claro para o naturalista francês. A leitura Canguilhemiana desse episódio é resumida em FS/CCC-1.11:

¹⁴² Canguilhem faz uma observação anacrônica que vale a pena reproduzir: O molde interior é um intermediário lógico entre a causa formal aristotélica e a ideia diretriz da qual fala Claude Bernard (Canguilhem, 1945/2012, p. 52).

Buffon pensa ter provado por meio dos fatos, generalizando experiências, que existe um número infinito de partes orgânicas. De fato, Buffon traz ao ativo da experiência uma certa maneira de lê-la da qual a experiência é menos responsável do que o são as leituras de Buffon. Buffon leu, estudou, admirou Newton. [...] É incontestável que Buffon procurou ser o Newton do mundo orgânico [...]. Newton havia demonstrado a unidade das forças que movem os astros e daquelas que se exercem sobre o corpo na superfície da Terra. Por meio da atração, ele dava conta da coesão das massas elementares em sistemas materiais mais complexos. Sem a atração, a realidade seria poeira e não universo. Para Buffon, “se a matéria cessasse de se atrair” é uma suposição equivalente a “se os copos perdessem sua coerência” (Canguilhem, 1945/2012, p. 52-53).

Canguilhem avança explicando a filiação lógica da teoria das ‘moléculas orgânicas’ do newtoniano Buffon em FS/CCC-1.12:

Uma concepção corpuscular da matéria e da luz não pode não acarretar uma concepção corpuscular da matéria viva para quem pensa que ela é apenas matéria e calor.[...] Uma teoria biológica nasce do prestígio de uma teoria física. A teoria das moléculas orgânicas ilustra um método de explicação, o método analítico, e privilegia um tipo de imaginação, a imaginação do descontínuo. A natureza é reconduzida à identidade de um elemento - “um só recurso e um só sujeito” - cuja composição com ele mesmo produz a aparência da diversidade - “variar suas obras ao infinito”. A vida de um indivíduo animal ou vegetal é, então, uma consequência e não um princípio, um produto e não uma essência. Um organismo é um mecanismo cujo efeito global resulta necessariamente da reunião das partes. A verdadeira individualidade viva é molecular, monádica (Canguilhem, 1945/2012, p. 53-54).

Nicholson (2010) considera que, em Buffon, temos “a primeira formulação explícita de uma teoria atomística da vida”, ou seja, o início de uma tradição atomista na Biologia. O autor esclarece que a teoria das moléculas orgânicas de Buffon afirmava que os organismos (animais e plantas) são constituídos de partículas vivas elementares, propícias à nutrição e reprodução, - que Nicholson denomina ‘átomos biológicos’ - “primários e inalteráveis, de modo que a geração e a destruição dos organismos são na realidade o resultado da associação e dissociação desses seres vivos elementares” (Nicholson, 2010, p. 203, tradução nossa).

No excerto FS/CCC-1.13, Canguilhem destaca o modelo social¹⁴³ na explicação de Buffon sobre o problema de individualidade orgânica e supõe sua adesão às concepções sociológicas do século XVIII. Isso possibilita a identificação do Tráfego Intercoletivo de Pensamento da Sociologia para a Biologia na dinâmica

¹⁴³ Após duas décadas, Canguilhem amplia a discussão em ‘O todo e a parte no pensamento biológico’ (1966).

da circulação do conhecimento da época – provavelmente ideias advindas das primeiras pesquisas sociais influenciadas pelo iluminismo foram apropriadas pelo Estilo de Pensamento biológico mecanicista manifestado por Buffon e, segundo Canguilhem, expresso num atomismo biológico.

[...] A sociedade humana é o resultado da cooperação refletida de átomos sociais pensantes, de indivíduos capazes, como tais, de previsão e de cálculo. [...] O corpo social, tal como o corpo orgânico, é um todo que se explica pela composição de suas partes. [...] Buffon distingue com muita nitidez uma sociedade concertada, como a dos homens, de uma reunião mecânica, como a colmeia das abelhas. Conhecemos as páginas célebres nas quais Buffon, rastreando toda assimilação antropomórfica nos relatos da vida das abelhas, revigora, a fim de explicar as “maravilhas” da colmeia, os princípios do mecanismo cartesiano. A sociedade das abelhas “não é senão uma aglomeração física ordenada pela natureza e independente de toda visão, de todo conhecimento, de todo raciocínio”. Notar-se-á o termo *aglomeração (assemblage)* empregado por Buffon para definir o organismo individual tanto quanto para definir a sociedade dos insetos (Canguilhem, 1945/2012, p. 55-56, grifo do autor).

Canguilhem passa a reforçar cada vez mais a influência de fatores externos ao conhecimento especializado no processo de construção do conceito de célula e da teoria celular, especialmente o que mais tarde ele vem a denominar de modelo econômico e político (ou modelo social) em 1966.

Mais tarde, ao discutir o problema do todo e da parte no pensamento biológico, Canguilhem argumenta que a utilização de um modelo econômico e político forneceu aos biólogos do século XIX o meio de compreender o que a utilização de um modelo tecnológico não tinha permitido antes – que a relação das partes ao todo é uma relação de integração (Canguilhem, 1966/2012).

Em FS/CCC-1.14 o molde interior é considerado por Canguilhem, no contexto da historicidade do conceito de célula, como obstáculo e o método analítico como tendência à teoria celular. O conceito de molde interior teria sido o limite imposto pela exigência metodológica analítica – considerada como tendência desencadeada pelo conceito de molécula orgânica. Os átomos vitais, dotados de individualidade, seriam o último nível alcançado na decomposição do todo e, como estes mudam constantemente sua disposição, o molde interior foi requerido na teoria de Buffon.

O obstáculo a uma teoria não é menos importante de se considerar, a fim de se compreender o futuro da teoria, do que a própria tendência da teoria. Mas é por sua tendência que uma teoria começa a criar a atmosfera intelectual de uma geração de pesquisadores. A leitura de Buffon deveria reforçar, nos biólogos, o espírito de análise que a leitura de Newton suscitara nele (Canguilhem, 1945/2012, p. 56).

A partir de FS/CCC-1.15, Canguilhem aproxima de modo mais explícito a teoria de Buffon ao desenvolvimento da teoria celular. Os biólogos do século XIX não teriam consciência do ‘sonho teórico’, do pressentimento de Buffon no século anterior - como constatado no estudo do EH3, Schwann fala das partículas vivas sem referência a Buffon - e o naturalista francês não poderia imaginar que sua busca pelo único recurso utilizado pela natureza para se diferenciar em viventes complexos seria a estrutura que no século XIX, os biólogos denominaram de célula.

A ideia de ‘pressentimento sábio’ de Buffon e ‘antecipação rudimentar’ de Lorenz Oken¹⁴⁴ (1779-1851) expressas em FS/CCC-1.16 revela, segundo Delaporte, que “não se deve situar a obra de Buffon em um ‘museu de horrores’, nem o pensamento de Schelling aquém ou além do pensamento científico” (Delaporte, 2009, p. 25). O autor esclarece, no domínio do que pode ser considerado Tráfegos Intercoletivos da Física e da Filosofia para a Biologia Celular:

Buffon traduziu Newton, e Oken pertence à escola romântica dos filósofos da natureza fundada por [Friedrich] Schelling. Da mesma maneira que uma concepção corpuscular da matéria e da luz origina uma concepção corpuscular da matéria viva, o conceito de totalidade, importado da filosofia para o domínio da biologia, vem enriquecer e complicar a questão da composição dos organismos (Delaporte, 2009, p. 26).

A trama de relações que envolvem Oken, Schleiden, Schwann, Schelling e Müller com a *Naturphilosophie* (filosofia da natureza alemã) é esclarecida por Canguilhem em FS/CCC-1.17, ratificando sua constatação acerca da antecipação de Oken, no sentido de que seus argumentos filosóficos teriam suscitado as ideias de

¹⁴⁴ Segundo Prestes (1997), em 1805, Oken publicou um estudo no qual afirma que os organismos são gerados a partir de pequenas células ou bexigas. Porém, pelo fato de seu trabalho não incluir relatos exatos de suas observações e não possuir elaboração teórica, suas ideias não foram aceitas pela comunidade científica. Teulón (1982) afirma que Oken reivindicou para si a autoria da teoria celular (Silva, 2014). Na década de 1830 Lorenz Oken, com argumentos filosóficos e recusa ao uso do microscópio, considerou que a célula seria a unidade da qual se pudesse originar a grande diversidade de seres vivos (Ronan, 1987).

Schleiden e Schwann sobre a célula. Em FS/CCC-1.18, Canguilhem retoma esclarecimentos sobre o uso da palavra célula por pesquisadores do século XIX, onde aquele significado puramente físico que Hooke lhe atribuíra, dá lugar ao significado biológico em virtude do amplo desenvolvimento teórico acerca da composição dos seres vivos desenvolvido, pelo menos, desde Buffon.

Na época em que Oken escreveu seu tratado *La Génération* (1805) foi com o sentido de um ser vivo absolutamente simples e independente que ele utilizou a palavra [infusório]. Na mesma época, o termo célula reinventado muitas vezes depois de Hooke [...], só recobre o mesmo conjunto de noções a partir de Dujardin, Von Mohl, Schwann e Max Schultze. Contudo, era mais ou menos nesse mesmo sentido que Oken o entendia. Portanto, esta é, ou não, a ocasião de se falar de antecipação (Canguilhem, 1945/2012, p. 58, grifo do autor).

Talvez pelo não reconhecimento histórico das ideias de Oken na elaboração da teoria celular, Canguilhem se dedica a interpretá-las, retomando a correlação com o modelo social. Os excertos de FS/CCC-1.19 a FS/CCC-1.21 do APENDICE I explicitam a análise epistemológica do médico francês sobre a influência de círculos exotéricos à ciência, elementos extracientíficos da Sociologia, Filosofia e Política captados no processo de construção do conceito de célula e da teoria celular.

A massa infusória – fusão de células - de Oken representa a continuidade, a totalidade indivisível do vitalismo romântico alemão, contrário às ideias Iluministas. Em Oken, afirma Canguilhem, “o organismo é concebido à imagem da sociedade; esta, porém, não é a associação de indivíduos tal como a concebe a filosofia política da *Aufklärung*, é a comunidade tal como a concebe a filosofia política do romantismo” (Canguilhem, 1945/2012, p. 60-61, grifo do autor).

Em termos aristotélicos, Canguilhem sugere que a matéria e a forma dos seres vivos devem ser dissociadas para compreensão do problema da individualidade, de modo que “o indivíduo é o que não pode ser dividido quanto à forma, ao passo que sentimos a possibilidade da divisão no que concerne à matéria” (Canguilhem, 1945/2012, p. 60).

O médico francês aproxima as teorias biológicas de Oken das teorias de filosofia política manifestadas pelo romantismo alemão, que critica o sufrágio universal - direito de todo cidadão de votar e ser votado - “por atomizar a vontade popular, desconhecer a continuidade da sociedade ou, mais exatamente, da comunidade” (Canguilhem, 1945/2012, p. 62). A explicação para as analogias entre

concepções sociológicas e teorias biológicas estaria pautada na biologia vitalista, uma vez que

[...] o romantismo interpretou a experiência política a partir de uma certa concepção da vida. Trata-se do vitalismo. No exato momento em que o pensamento político francês propunha ao espírito europeu o contrato social e o sufrágio universal, a escola francesa de medicina vitalista lhe propunha uma imagem da vida transcendente ao entendimento analítico. Um organismo não poderia ser compreendido como um mecanismo. A vida é uma forma irreduzível a toda composição de partes materiais. A biologia vitalista forneceu a uma filosofia política totalitária o meio senão a obrigação de inspirar algumas teorias relativas à individualidade biológica. Tanto isso é verdade que o próprio problema da individualidade é indivisível (Canguilhem, 1945/2012, p. 62-63).

A influência do Estilo de Pensamento vitalista também se manifesta na definição do tecido como o componente elementar dos seres vivos pelo fisiologista francês Xavier Bichat (1771-1802) também revela a influência vitalista na busca de uma estrutura básica comum aos organismos vivos. A ideia da totalidade indivisível era confirmada na continuidade dos tecidos. Canguilhem expressa de modo bastante didático a coerção do Estilo de Pensamento vitalista em FS/CCC-1.22, no caso deste ser admitido por um atomista.

Se o vitalismo considera a vida como um princípio transcendente à matéria, indivisível e inapreensível como uma forma, até mesmo um atomista, inspirando-se nessa ideia, não poderia fazer conter nos elementos supostos do vivente o que ele considera uma qualidade da totalidade desse ser (Canguilhem, 1945/2012, p. 64).

A leitura de Canguilhem em FS/CCC-23 acerca da participação do vitalismo no processo de construção da teoria celular clássica aponta sua recusa por Auguste Comte, influenciado pela teoria de Bichat. Nesse sentido, a teoria celular era considerada por Comte como especulação metafísica, cuja responsabilidade seria dos naturalistas alemães. Nesse ponto, Canguilhem interpreta como paradoxal a incompreensão de Comte acerca da importância que o problema da individualidade possui na filosofia natural alemã, em detrimento da observação microscópica.

Oken representa o ser vivo à imagem de uma sociedade comunitária. Contrariamente a Buffon, Comte não admite que a vida de um organismo seja uma soma de vidas particulares, nem tampouco admite, contrariamente à filosofia política do século XVIII, que a sociedade seja uma associação de indivíduos. Será que nisso ele estaria tão distante quanto possa parecer dos filósofos da natureza? (Canguilhem, 1945/2012, p. 65).

Canguilhem parece dizer que as concepções socialistas que impediram Comte de aceitar a teoria celular, poderiam tê-lo levado à aceitação da Filosofia Natural alemã. Suas concepções de individualidade biológica e social o levam a pensar que que “assim como em sociologia o indivíduo é uma abstração, também em biologia as ‘mônadas orgânicas’, como diz Comte ao falar das células, são abstrações” (Canguilhem, 1945/2012, p. 65). Isso levou Comte a associar a teoria celular à metafísica, enquanto a ciência positivista de Comte integrava Estilos de Pensamento completamente contrários à filosofia dos problemas abstratos.

Mais tarde, o médico francês esclarece que antes de se adotar de modo geral e definitivo o termo célula, o termo mônada foi utilizado com frequência para denominar o elemento anatômico dos seres vivos. E acrescenta:

É sob o nome de mônada que Auguste Comte recusa a teoria celular. A influência indireta, mas real, da filosofia leibniziana sobre os primeiros filósofos e biólogos românticos que sonharam com a teoria celular nos autoriza a dizer da célula o que Leibniz diz da mônada, ela é *pars totalis*. Ela não é um instrumento, uma ferramenta, ela é um indivíduo, um sujeito de funções (Canguilhem, 1966/2012, p. 362-363).

Ao que tudo indica, Canguilhem, acredita que novos conhecimentos não podem ser recusados como se fossem desnecessários. A incorporação de uma gama de pesquisas que colocaram em xeque os postulados da teoria celular num artigo que apresenta a historicidade do conceito de célula, demonstram que, assim como Fleck, o médico francês se contrapõe ao conhecimento dogmático, de modo que nenhum sistema de saber pode ser visto como finalizado. Seu questionamento “O que é hoje a teoria celular?” em FS/CCC-1.30 é uma clara demonstração desse pensamento (Canguilhem, 1945/2012, p. 74).

A partir do excerto FS/CCC-1.24 Canguilhem passa a apresentar fatos que, segundo ele, enfraqueceram o império sobre os espíritos da teoria celular. São estudos que, numa interpretação fleckiana, podem ter sido silenciados ou não acessados pelos Coletivos de Pensamento que assumiram, historicamente, a célula como unidade fundamental dos seres vivos (ou da vida).

Destaco alguns desses fatos apresentados por Canguilhem, a partir dos quais desenvolve interessantes argumentos, questionamentos e constatações acerca das “reticências e críticas relativas à teoria celular em seu aspecto clássico, ou seja, sob a forma dogmática e enrijecida que lhe deram os manuais de ensino”

(Canguilhem, 1945/2012, p. 62), a célula como unidade indispensável à constituição dos seres vivos.¹⁴⁵

- a. Uma cultura de tecidos capaz de proliferar precisa conter uma quantidade mínima de células, abaixo da qual a multiplicação celular seria impossível;
- b. Não seriam as células que formam as plantas, mas as plantas que formam as células;
- c. A denúncia de que a teoria celular não seria válida. Do ponto de vista anatômico e fisiológico, a célula do metazoário, o protista e o ovo não seriam equivalentes, pois o protista deve ser considerado como um verdadeiro organismo, nas dimensões da célula, e o ovo como uma entidade original, diferente da célula e do organismo;
- d. No corpo humano, apenas os epitélios são nitidamente celulosos. Quando se observa o lugar mantido pelas formações plasmodiais ou sinciciais, ou seja, camadas de citoplasma contínuo salpicado de núcleos na constituição de sistemas essenciais, tais como o sistema muscular, o organismo dos metazoários dificilmente poderia ser assimilado a uma república de células ou a uma construção por somação das células individualizadas;
- e. No decorrer do desenvolvimento do ovo, não se poderia afirmar com certeza que toda célula derive da divisão de uma célula preexistente;
- f. O reaparecimento do problema da individualidade do vivo e a prevalência da totalidade, sobre o aspecto de atomicidade;
- g. Redução das contestações à atenção dada a elementos não celulares e às possibilidades de formação de células a partir de massas protoplásmicas contínuas. Ao contrário das críticas de Virchow ao citoblastema inicial de Schwann;
- h. A importância biológica dada às relações intercelulares e às substâncias extracelulares tanto quanto às próprias células;
- i. Observações experimentais da formação de células a partir de substâncias fundamentais celulares ou matérias vivas acelulares (Canguilhem, 1945/2012).

Em anos mais recentes, não faltam objeções à concepção da célula como unidade fundamental da vida. Nicholson (2010) aponta dois grandes grupos de teóricos que consideram a teoria celular problemática: o grupo que a considera excessivamente atomística - os teóricos adeptos da teoria organismal - e o grupo que considera a teoria celular como não sendo suficientemente atomística. A respeito. Em relação a esses últimos, o autor esclarece seus fundamentos:

[...] os átomos biológicos estão localizados abaixo da célula, num nível mais básico de organização. As células, nesta visão, não representam as unidades mínimas de vida, pois podem ser conceitualmente reduzidas a unidades vitais ainda mais elementares. Esse tipo de crítica tem uma história longa e colorida. Logo após a formulação da teoria celular de Schleiden e Schwann, alguns os biólogos começaram a expressar dúvidas de que as células realmente representassem as últimas unidades indivisíveis da vida (Nicholson, 2010, p. 208, tradução nossa).

¹⁴⁵ As passagens completas acerca desses fatos foram divididas em excertos dispostos no APÊNDICE I (excertos FS/CCC-1.24 e FS/CCC-1.25 e de FS/CCC-1.30 a FS/CCC-1.36). possivelmente esses estudos nem chegaram a ser considerados exceções (Complicações) à teoria celular em diversos contextos de pesquisas que se destacaram na Biologia, dada sua dominância até os dias atuais.

Nicholson (2010) comenta que nos textos sobre Genética entre 1901 e 1930 é possível encontrar muitas referências aos genes como os átomos da biologia, inclusive, após a redescoberta das leis da hereditariedade de Mendel em 1900, algumas teorias atomísticas foram reinterpretadas. Um dos exemplos contemporâneos citados por Nicholson é sobre a redução atomística feita por Dawkins das células a genes, a conhecida concepção de 'gene egoísta', a qual considera:

[...] os organismos como receptáculos passivos para genes, construídos e programados cegamente por eles a fim de garantir a sua própria preservação, pressupõe uma atribuição de agência aos genes que geralmente está associada aos seres vivos. A este respeito, o conceito de gene egoísta de Dawkins apresenta as marcas de uma teoria do atomismo biológico e pode, portanto, ser considerado como um desafio contemporâneo ao atomismo da teoria celular a partir de baixo (Nicholson, 2010, p. 208, tradução nossa).

Quanto aos defensores da ideia de que é o organismo inteiro, e não suas células, que representa a unidade fundamental da vida, considerado por Nicholson o verdadeiro átomo biológico. O autor esclarece:

O organismo é considerado a causa, e não o produto, de sua constituição celular. É claro que as células ainda são consideradas importantes, mas sem uma perspectiva a nível do organismo, as questões de estrutura, função e organização não podem ser abordadas de forma adequada. Em resumo, a teoria organismal sustenta que a biologia do organismo não é redutível à biologia dos seus constituintes celulares (Nicholson, 2010, p. 206, tradução nossa).

Variados modos de enxergar a composição dos seres vivos e/ou o processo de formação das células provavelmente têm ficado restritos aos Círculos Esotéricos que os produziram. O desenvolvimento de diversos campos da Biologia, tomando a teoria celular clássica como um importante elemento estruturante da construção do pensamento biológico, indicam o caráter elaborado e fechado dos sistemas de opinião, o qual, segundo Fleck, garante a Harmonia das Ilusões. Mesmo com episódios que teriam abalado o domínio da teoria celular, este fato científico continuou como sinal de resistência dos Coletivos de Pensamento que admitiram o conceito clássico célula, desde Virchow. É o que mostra a história e a própria constatação de Canguilhem em relação a um desses fatos em FS/CCC-1.35:

Se as experiências de Olga Lepechinskaia [sobre a origem de células a partir de matérias vivas acelulares] e as teorias que elas suportam *resistissem à crítica bem armada e bem informada dos biólogos*, nelas veríamos menos a prova do fato “de haver sobre a Terra um país que é o sustentáculo da verdadeira ciência: esse país é a União Soviética”, do que uma razão para verificar novamente, sobre a teoria celular e as ideias de Virchow, que, segundo uma palavra célebre, “uma teoria não vale nada quando não se pode demonstrar que ela é falsa” (Canguilhem, 1945/ 2012, p. 80, grifo nosso).

A ‘crítica bem armada e bem-informada dos biólogos’, às quais as experiências da cientista soviética não resistiram, demonstra o poder da coerção de um Estilo de Pensamento sustentada pelo Coletivo de Pensamento. Os estudos de Lepechinskaia tiveram início em 1933, quase oito décadas após a teoria de Virchow, e mostra-se como um bom exemplo do que ocorre quando há estabilidade de um Coletivo de Pensamento, ou seja, a tendência à persistência do Estilo de Pensamento frente a qualquer oposição, diretamente relacionado à sua consolidação social e ao estabelecimento de uma atmosfera peculiar. Nas palavras de Fleck:

Fazendo parte de uma comunidade, o estilo coletivo de pensamento passa por um fortalecimento social comum a todas as formações sociais e é submetido a um desenvolvimento através de gerações. Transforma-se em coação para os indivíduos, definindo “o que não pode ser pensado de outra maneira”, fazendo com que épocas inteiras vivam sob a coerção de um determinado pensamento, queimando aqueles que pensam diferente, que não participam da atmosfera (*Stimmung*) coletiva e que são considerados pelo coletivo como criminosos, a não ser que uma outra predisposição não gere um outro estilo de pensamento e um outro sistema de valores (Fleck, 1935/2010, p. 150).

Em FS/CCC-1.35, Canguilhem destaca as advertências de Haeckel sobre os limites da teoria celular em *Die Lebenswunder: Gemeinverständliche Studien über biologische Philosophie* (As maravilhas da vida: Estudos sobre filosofia biológica ao alcance de todos), de 1904¹⁴⁶. O médico francês, finalmente, propõe uma abordagem interdisciplinar para o problema da individualidade biológica, que tradicionalmente está associada à célula.

¹⁴⁶ Segundo Frezzatti Jr. (2015), Haeckel apresenta uma fundamentação química da vida, o que revela o domínio da função sobre a estrutura no seu pensamento, de modo que um elemento estrutural não poderia ser o fundamento da vida. As funções especializadas que surgem são produtos da divisão de trabalho que ocorre no processo de desenvolvimento das reações químicas integradas de assimilação e consumo (metabolismo). As estruturas são secundárias e apenas suportes para essas reações (Frezzatti Jr. 2015, p. 267).

[...] o sentido da teoria celular é bastante claro: é o sentido de uma extensão do método analítico à totalidade dos problemas teóricos formulados pela experiência. Mas o valor dessa mesma teoria reside tanto nos obstáculos suscitados por ela quanto nas soluções que ela permite, notadamente no rejuvenescimento provocado por ela no terreno biológico do velho debate concernente às relações do contínuo e do descontínuo. Sob o nome de célula, é a individualidade biológica que está em questão. O indivíduo é uma realidade? Uma ilusão? Um ideal? Não é *uma* ciência, mesmo a biologia, que pode responder a essa questão. E, se *todas* as ciências podem e devem trazer sua contribuição a esse esclarecimento, é duvidoso que o problema seja propriamente científico, no sentido usual desta palavra (Canguilhem, 1945/2012, p. 80-81, grifo do autor).

Antes destes questionamentos Canguilhem parece ter elaborado em FS/CCC-1.29 uma resposta a partir da etimologia da palavra indivíduo¹⁴⁷, a qual indica, para ele, que o poder da individualidade não pode se esgotar nos limites da célula, uma vez que, nesse contexto, “o indivíduo é um ser no limite do não ser, sendo que não pode mais ser fragmentado sem perder seus caracteres próprios. O indivíduo [...] convoca, exige um fundo de continuidade sobre o qual sua descontinuidade se destaca” (Canguilhem, 1945/2012, p. 72).

As supostas imagens e metáforas da teoria celular com o modelo social (econômico e político) proclamadas por Claude Bernard e Ernst Haeckel - as células como cidadãos autônomos, o ser vivo complexo como a cidade, o corpo como o estado celular destacadas em FS/CCC-1.27 e FS/CCC-1.28 representam, para Canguilhem, o domínio de uma filosofia política sobre uma teoria biológica. Diz ele: “Quem poderia dizer se somos republicanos por sermos partidários da teoria celular, ou então partidários da teoria celular por sermos republicanos?” (Canguilhem, 1945/2012, p. 70).

Canguilhem elucida que, para Bernard, o organismo está construído com o propósito da vida elementar, ou vida celular. Além disso, de acordo com o fisiologista francês:

¹⁴⁷ Do latim como *individuus*, fazendo alusão àquilo que não pode ser dividido. Esta palavra é formada a partir da negação *in-*, acompanhada do adjetivo *dividuus*, do qual se associa ao verbo dividir como *dividere* (<https://etimologia.com.br/individuo/>).

A célula é, nela mesma, um organismo, seja distinto, seja indivíduo elementar do qual o animal ou a planta são uma sociedade. Com esse termo sociedade, de que Virchow e Heackel se serviram na mesma época, Claude Bernard introduz na inteligência das funções orgânicas um modelo completamente diferente do modelo tecnológico. É um modelo econômico e político. O organismo complexo é doravante concebido como totalidade subordinando-se a elementos virtualmente autônomos (Canguilhem, 1966/2012, p. 361).

No excerto FS/CCC-1.37, Canguilhem sustenta a possibilidade da integração de conceitos historicamente vistos como contraditórios - a 'continuidade' e 'descontinuidade' no domínio da estrutura dos organismos. Também nesse fragmento, é manifestada a crença de que os conceitos que constituem as teorias no campo das Ciências da Vida se associam a antigas imagens (ou mitos). Esse entendimento de Canguilhem, como já mencionado no Quarto Capítulo, se aproxima da possibilidade de ligações evolutivas entre Fato Científico e Protoideias na concepção de Fleck.

No estudo histórico sobre o conceito clássico de célula realizado nesta investigação, a 'célula de Hooke' não corresponde a uma Protoideia do Fato Científico que se constituiu como conceito clássico de célula. Contudo, Canguilhem expressa no excerto FS/CCC-1.38 uma possibilidade do que poderia indicar uma Protoideia fleckiana, uma continuidade vitalista - o protoplasma contínuo - que resolveria as dificuldades explicativas de uma visão atomística/corpuscular da célula acerca do problema de uma estrutura comum a todos os organismos vivos. Diz Canguilhem:

[...] esse plasma inicial seria outra coisa que não num avatar lógico do *fluido mitológico gerador de toda vida, da onda espumante de onde emergiu Vênus?* Charles Naudin, o biólogo francês que deixou de descobrir, antes de Mendel, as leis matemáticas da hereditariedade, dizia que o *blastema primordial era o lodo da Bíblia*. Eis a razão de termos proposto que as teorias não nascem dos fatos que coordenam e que são supostos de tê-las suscitado. Ou mais exatamente, os fatos suscitam as teorias, mas não engendram os conceitos que as unificam interiormente, nem as intenções intelectuais desenvolvidas por elas. Essas intenções vêm de longe, esses conceitos são em número pequeno e, por essa razão, os temas teóricos sobrevivem à sua destruição aparente que uma polêmica e uma refutação se gabam de haver obtido (Canguilhem, 1945/2012, p. 81-82, grifo do autor).

A conclusão de Canguilhem já estava elaborada nas primeiras páginas de ‘A teoria celular’, registrada no fragmento FS/CCC-1.7, ao recorrer à etimologia da palavra ‘protoplasma’¹⁴⁸:

Em biologia, o termo protoplasma designa um constituinte da célula considerada como elemento atômico de composição do organismo, mas a significação etimológica do termo nos remete à concepção do líquido formador inicial. O botânico Hugo von Mohl, um dos primeiros autores a observar com precisão o nascimento das células por divisão de células preexistentes, propôs, em 1843, o termo “protoplasma”, como se reportando à função fisiológica de um fluido precedendo às primeiras produções sólidas por toda parte onde células devem nascer. Foi isso mesmo que, em 1835, Dujardin nomeara “sarcodio”, entendendo com isso a geleia viva capaz de se organizar ulteriormente. Até Schwann, ele não fora considerado como o fundador da teoria celular, para o qual as duas imagens teóricas não interferem. Existe, segundo Schwann, uma substância sem estrutura, o citoblastema, onde nascem os núcleos em torno dos quais se formam as células. Schwann diz que, nos tecidos, as células se formam onde o líquido nutritivo neles penetra¹⁴⁹ (Canguilhem, 1945/2012, p. 47).

Tais modos de pensar persistentes sobre a origem das células, destacados por Canguilhem, equivale em Fleck, a um Estilo de Pensamento. A continuidade, a totalidade do plasma se afastam da descontinuidade, da atomicidade das células. No caso de Schwann, conforme apresentado na análise de FP/CCC-3, suas interpretações mecanicistas sobre processos vitais indicam coerção do Estilo de Pensamento mecanicista. Por meio da metáfora da formação de cristais para explicar a origem das células, a ideia de continuidade do citoblastema pode ter sido silenciada ou não compreendida como tal.

Em ‘Aspectos do vitalismo’, Canguilhem aponta que, historicamente, o pensamento biológico passa por divisões e oscilações teóricas permanentes, um “retorno pendular a posições das quais o pensamento parecia estar definitivamente afastado” (Canguilhem, 1952/2012, p. 87).

¹⁴⁸ Do grego *Protos*, que significa primeiro e *Plasma*, coisa formada (Dicionário etimológico, <https://www.dicionarioetimologico.com.br/protoplasma/>).

¹⁴⁹ Mesmo sem dados completos de referência disponibilizados por Canguilhem, reproduzo a observação do historiador da ciência Marc Klein, na qual constata um fenômeno de ambivalência teórica nos mesmos autores que muito contribuíram para alicerçar a teoria celular. Canguilhem baseia seu estudo na obra *Histoire des origines de la théorie cellulaire* desse autor: “Reencontramos, então, um pequeno número de ideias fundamentais retornando com insistência nos autores que trabalham sobre os objetos mais diversos e que se situam em pontos de vista muito diferentes. Esses autores por certo não retomaram uns aos outros; essas hipóteses fundamentais parecem representar modos de pensar constantes que fazem parte da explicação nas ciências” (Klein, 1936).

Mecanicismo e Vitalismo se defrontam com o problema das estruturas e das funções; Descontinuidade e Continuidade, com o problema da sucessão das formas; Pré-formação e Epigênese, com o problema do desenvolvimento do ser; Atomicidade e Totalidade, com o problema da individualidade (Canguilhem, 1952/2012, p. 87).

Em termos epistemológicos, acredito que somente uma teoria comparada do conhecimento, aos moldes de Fleck, possibilita compreender conceitos e teorias biológicas, como o conceito clássico de célula e a teoria celular, dogmáticos e dominantes nas ciências, como um conhecimento repleto de imagens antigas (ou Protoideias), mas também sujeito a novidades. Após análise de 'A teoria celular', as considerações de Delaporte apresentadas no Quarto Capítulo acerca das vantagens epistemológicas da história dos conceitos podem ser ratificadas, no sentido de constatar, por exemplo, a omissão de metáforas e mitologias que tenham participado da construção da ciência.

Seríamos, portanto, mal-vindos ao concluir, de nosso estudo, que encontramos mais valor teórico no mito de Vênus ou no relato do Gênesis do que na teoria celular. Quisemos simplesmente mostrar que os obstáculos e os limites dessa teoria não escaparam a muitos sábios e filósofos contemporâneos de nascimento, mesmo entre os que mais autenticamente contribuíram para sua elaboração. De modo que a necessidade atual de uma teoria mais maleável e mais compreensiva surpreende apenas os espíritos incapazes de buscar na história das ciências o sentimento de possibilidades teóricas diferentes daquelas com as quais unicamente o ensino dos últimos resultados do saber os tornou familiarizados, sentimento sem o qual não há nem crítica científica, nem futuro da ciência (Canguilhem, 1945/2012, p. 82).

A Epistemologia fleckiana e a 'moral da história' de Canguilhem me autorizam a continuar o percurso desta investigação com foco em uma novidade, com características de Acoplamento Ativo, produto de pesquisas interdisciplinares no campo da Biologia Sintética, a célula mínima ou célula com genoma mínimo.

9 ESTUDO DE EPISÓDIOS CONTEMPORÂNEOS (EC) SOBRE O CONCEITO DE CÉLULA MÍNIMA – ANÁLISE DOCUMENTAL

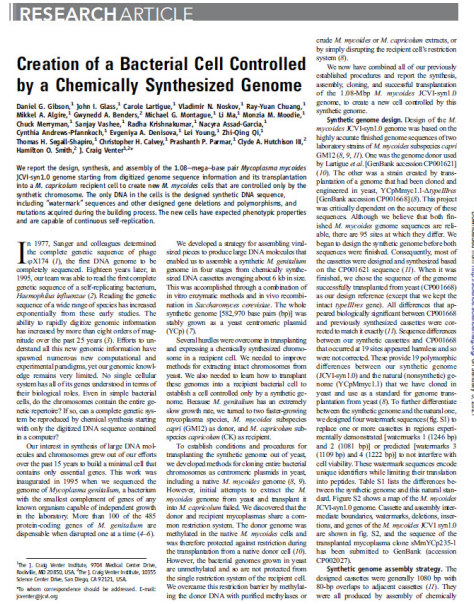
A análise dos episódios contemporâneos relacionados ao conceito de célula mínima, analogamente ao estudo dos episódios históricos, foi orientada pela Epistemologia fleckiana. Tendo como referências artigos científicos e textos jornalísticos de divulgação científica selecionados de um período substancialmente menor que no estudo anterior, o estudo empírico dos episódios contemporâneos em si resultou numa análise mais sucinta. Busquei identificar características das pesquisas relacionadas à célula mínima utilizando as categorias de análise *a priori*, descritas no QUADRO 6 e categorias emergentes.

O aspecto coletivo da produção do conhecimento é explicitado na lista de autores dos artigos – o primeiro deles (FP/CCM -1) com vinte e quatro nomes. Ao contrário, no estudo histórico, foram analisados livros de autoria única, característica comum quando se busca fontes primárias seculares. Em cada obra, alguns excertos indicaram a perspectiva coletiva do pensamento expresso pelo autor, conforme demonstrado na sessão anterior.

Por meio da análise histórico-epistemológica realizei análise documental dos artigos no intuito de investigar o Estilo de Pensamento que vem orientando o conceito de célula mínima e outros aspectos que a Epistemologia fleckiana associa à gênese e desenvolvimento de um fato científico. Para tal, foram selecionados artigos científicos (fontes primárias) e textos jornalísticos de divulgação científica, apresentados, respectivamente, nos QUADROS 4 e 5 anteriormente. Primeiramente, as fontes primárias foram analisadas. As etapas dessa análise são detalhadas na sequência.

9.1 FP/CCM-1 'CRIAÇÃO DE UMA CÉLULA BACTERIANA CONTROLADA POR UM GENOMA SINTETIZADO QUIMICAMENTE' – GIBSON ET AL. (2010)

FIGURA 6 – PÁGINA INICIAL DO ARTIGO FP/CCM-1



Fonte: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1190719>

9.1.1 Primeira Etapa: Análise preliminar de FP/CCM -1

A Primeira Etapa da análise do material documental corresponde à análise preliminar dos documentos: *contexto, interesses do autor, autenticidade/confiabilidade do texto, natureza do texto e conceitos-chave* são os elementos considerados (Cellard, 2008).

Sobre o contexto da obra

As primeiras palavras do artigo contextualizam o conhecimento acerca do genoma de organismos por meio de um breve histórico de pesquisas anteriores que propiciaram o projeto, a síntese e a montagem do genoma da célula bacteriana de *Mycoplasma mycoides* JCVI-syn1.0.

Em 1977, Sanger e colegas determinaram a sequência genética completa do fago ϕ X174, primeiro genoma de DNA a ser completamente sequenciado. Dezoito anos depois, em 1995, a nossa equipe conseguiu ler a primeira sequência genética completa de uma bactéria autorreplicante, *Haemophilus influenzae*. A leitura da sequência genética de uma ampla gama de espécies aumentou exponencialmente a partir desses primeiros estudos. A capacidade de digitalizar rapidamente a informação genômica aumentou em mais de oito ordens de magnitude nos últimos 25 anos. Os esforços para compreender toda esta nova informação genômica geraram numerosos novos paradigmas computacionais e experimentais, mas o nosso conhecimento genômico permanece muito limitado (Gibson *et al.*, 2010, p. 52, tradução nossa).

Além disso, a equipe de Venter tinha o conhecimento de que, pelo menos desde 1984, os micoplasmas vinham sendo considerados como organismos mínimos. Em artigo publicado no ano de 2001, os autores esclarecem que tal visão “baseou-se inicialmente na sua extrema meticulosidade: o crescimento destes microrganismos em laboratório requer a adição de muitos extratos e fontes complexas de nutrientes” (Peterson; Fraser, 2001, p. 2, tradução nossa).

A Biologia Sintética atual, que reemergiu no início do século XXI com objetivos e métodos distintos da Biologia Sintética do começo da década de 1900, já apresentava notável desenvolvimento no ano da publicação da fonte primária FP/CCM -1, em consonância com as novidades no campo da Genômica, Biologia Molecular, Informática/Cibernética, Engenharia, Biologia Computacional.

Cientistas do Instituto J. Craig Venter anunciaram no dia 20 de maio de 2010 o desenvolvimento da primeira célula controlada por um genoma sintético e o artigo contendo o relato do processo de construção dessa ‘nova célula’ foi publicado na revista *Science* em julho do mesmo ano. O evento foi bastante divulgado pela imprensa ao redor do mundo. Venter e seu grupo, já haviam se destacado, conforme explicitado anteriormente no Capítulo Seis, na pesquisa privada do Projeto Genoma Humano, além da publicação do seu próprio genoma três anos antes de mais uma realização.

Embora esse artigo seja habitualmente associado ao marco da criação da primeira célula controlada por um genoma mínimo, a bactéria nomeada *Mycoplasma mycoides* JCVI-syn1.0, este projeto inicial não conseguiu produzir uma célula viável (Hutchison *et al.*, 2016).

Sobre os interesses dos autores

Segundo as informações do site do J. Craig Venter Institute - JCVI - um dos principais objetivos da biologia sintética é ter a capacidade de projetar e construir de forma previsível DNA que produza uma célula com funções biológicas novas e melhoradas que ainda não existem na natureza. Admitem, no entanto, que mesmo com todo o desenvolvimento da genômica e da biologia sintética, não existe o conhecimento da função de cada um dos genes de nenhuma célula. A equipe JCVI/SGI¹⁵⁰ tem tentado alcançar esse objetivo no sentido de compreender o conteúdo genético de uma célula mínima.

Também é possível encontrar explicitamente no próprio artigo os interesses do grupo.

Nosso interesse na síntese de grandes moléculas de DNA e cromossomos surgiu de nossos esforços nos últimos 15 anos para construir uma célula mínima que contenha apenas genes essenciais. Esse trabalho foi inaugurado em 1995, quando sequenciamos o genoma do *Mycoplasma genitalium*, bactéria com o menor complemento de genes de qualquer organismo conhecido capaz de crescimento independente em laboratório. Mais de 100 dos 485 genes codificadores de proteínas de *M. genitalium* são dispensáveis quando interrompidos, um de cada vez (Gibson *et al.*, 2010, p. 52, tradução nossa).

Autenticidade e confiabilidade do texto

A FP/CCM-1 (FONTE PRIMÁRIA/CONCEITO DE CÉLULA MÍNIMA) foi publicada no volume 329 da revista científica *Science*, veiculada pela *American Association for the Advancement of Science* — AAAS e considerada um dos periódicos acadêmicos mais renomados, com sede em Washington, D.C., Estados Unidos. O artigo foi obtido por meio de pesquisa eletrônica simples.

Natureza do texto e conceitos-chave

¹⁵⁰ A empresa Synthetic Genomics, Inc. (SGI) fundada no ano de 2005 por nomes importantes da Biologia Sintética, como J. Craig Venter e o Prêmio Nobel Hamilton Smith. No ano de 2021, foi renomeada Viridos, do latim *viridis* = verde, fresco e os = sistema operacional que alimenta uma célula. De acordo com o site da empresa, aplicam sua experiência em biologia sintética com foco total nas alterações climáticas, por meio do estudo com microalgas (<https://www.viridos.com/about-us/>).

Classificado como 'Artigo de Pesquisa', o texto contempla as exigências estruturais da revista e atende o requisito de pesquisa científica original. Os *conceitos-chave* são relacionados a termos habitualmente empregados em Biologia Molecular, Genética, Informática/Cibernética.

9.1.2 Segunda Etapa: Análise Documental propriamente dita (Análise histórico-epistemológica)

Em relação ao artigo 1 - 'Criação de uma célula bacteriana controlada por um genoma sintetizado quimicamente', que se refere ao estudo de episódios contemporâneos sobre o conceito de célula mínima (FP/CCM-1), foram identificados 14 (quatorze) excertos dispostos no APÊNDICE J. O episódio contemporâneo (EC) correlato a esta fonte primária foi denominado 'Produção da primeira célula bacteriana sintética autorreplicante' (EC1). Cada excerto foi codificado com base na fonte primária (FP/CCM-1), iniciando com o código FP/CCM -1.1 até FP/CCM -1.14.

Os excertos extraídos das fontes primárias correspondem a concepções e práticas dos pesquisadores que possam indicar o Estilo de Pensamento sobre a célula mínima. Além disso, a concepção de vida foi examinada, com apoio de Canguilhem. Com essa análise foi possível constatar o tipo de associação entre a célula mínima e o fenômeno da vida no contexto da Biologia Sintética.

As categorias de análise serviram de direcionamento inicial da análise histórico-epistemológica, no intuito de apreender o Estilo de Pensamento que orienta o conceito de célula mínima, no contexto da Biologia Sintética, manifestado pela primeira equipe a divulgar a produção de uma célula com genoma mínimo. A categorização dos excertos está apresentada no APÊNDICE K.

Seguindo o mesmo padrão de codificação adotado no estudo de episódios históricos, destaco em negrito as palavras/frases que contêm as ideias sobre as quais a categorização foi aplicada. Letras foram adicionadas aos códigos para distinguir categorizações extraídas de um mesmo excerto, por exemplo, FP/CCM-1.1A e FP/CCM-1.1B.

Durante o processo de análise houve emergência de uma categoria nomeada *Informações codificadas nos genes determinam as funções celulares*. A noção de informação genética permeia todo o texto, embora os autores não

esclareçam a qual conceito de informação se referem e desconsiderem qualquer discussão teórica acerca dessa temática. O excerto FP/CCM-1.2 foi revelador nesse sentido, sendo também interpretado por meio de outra categoria correlata, *Propriedades da célula compreendidas pelo reducionismo genético*.

Os esforços para compreender toda esta nova informação genômica geraram numerosos novos paradigmas computacionais e experimentais, mas o nosso conhecimento genômico permanece muito limitado. Nenhum sistema celular tem todos os seus genes compreendidos em termos de suas funções biológicas (Gibson *et al.*, 2010, p. 52, tradução nossa).

Conforme apresentado no Quinto Capítulo, o conceito de informação (ou o termo) passou por diversas abordagens pelo menos desde o desenvolvimento das elaborações de Shannon e de Wiener na década de 1940, sua introdução dogmática em Genética/Biologia Molecular nas décadas de 1960/1970 até reposicionamentos que o ampliam, o tornam secundário ou recusam seu uso no âmbito da Biologia.

Como mencionado na discussão sobre informação biológica, no contexto do final da Segunda Guerra, a inserção de conceitos computacionais advindos da Ciência Cibernética nas concepções e práticas da Biologia Molecular forjou e fortaleceu a metáfora do programa genético. A ideia de que as propriedades das células/organismos são determinadas pelo processamento e transmissão de informação genética contida num código excluiu a visão cibernética da auto-organização/ autorregulação (Keller, 2002).

A visão genecêntrica, na qual se admite as *propriedades da célula compreendidas pelo reducionismo genético*, é manifestada por afirmações como a localizada no excerto FP/CCM-1.7B, “as células com apenas o genoma sintético são autorreplicantes e capazes de crescimento logarítmico” (Gibson *et al.*, 2010, p. 55, tradução nossa) e em FP/CCM-1.11A.

Referimo-nos a essa célula controlada por um genoma montado a partir de pedaços de DNA sintetizados quimicamente como uma ‘célula sintética’, embora o citoplasma da célula receptora não seja sintético. Os efeitos fenotípicos do citoplasma receptor são diluídos com a renovação proteica e à medida que as células que transportam apenas o genoma transplantado se replica (Gibson *et al.*, 2010, p. 55-56, tradução nossa).

Importante destacar que o protagonismo do material genético como determinante das funções biológicas desconsidera as redes metabólicas complexas

e dinâmicas da célula, as quais, segundo pesquisadores sistêmicos, devem ser colocadas em primeiro plano para a caracterização do ser vivo, uma vez que a própria estabilidade do DNA e sua autorreplicação são reguladas e mantidas pelo metabolismo celular.

Em FP/CCM-1.12A, fica evidente a assimilação do ser vivo/célula à máquina (computador) por meio de uma analogia explícita aos componentes físicos da célula/computador (hardware) e ao programa do DNA/computador (software), como uma forte coerção do Estilo de Pensamento Cibernético/Computacional. Os autores comentam: “espera-se que as propriedades das células controladas pelo genoma montado sejam as mesmas como se a célula inteira tivesse sido produzida sinteticamente (o software de DNA constrói seu próprio hardware)” (Gibson *et al.*, 2010, p. 56, tradução nossa). De fato, há a convicção de que, com a reprodução, as moléculas de proteínas da bactéria receptora original não mais estarão presentes nas bactérias descendentes, o que caracterizaria não somente um genoma sintético, mas uma célula totalmente sintética.

Nos excertos FP/CCM-1.1A e FP/CCM-1.10B, a equipe de Venter assevera que sequências de genes projetadas e armazenadas num computador possibilitam admitir que as informações necessárias à produção de ‘células vivas’ possam ser digitalizadas e disponibilizadas num arquivo digital. Em FP/CCM-1.13C é manifestada ambição de expandir os usos dos produtos da Biologia Sintética com a redução dos gastos com os procedimentos de síntese e o emprego de sistemas automáticos, construídos com base em princípios cibernéticos.

O material genético foi planejado por uma máquina eletrônica a partir do DNA conhecido de uma bactéria de modo levemente modificado; este foi sintetizado em frascos a partir de oligonucleotídeos (pedaços de DNA) comprados de uma empresa especializada em síntese de DNA e transplantado para uma bactéria cujo material genético foi removido. Esta célula mínima contendo somente genes essenciais foi considerada uma célula sintética, em virtude do seu genoma sintético, diferente do genoma natural que serviu de modelo.

O interesse dos autores em descrever detalhes da síntese, da montagem e do transplante do genoma sintético é ratificado em FP/CCM-1.2A na ênfase dada ao trabalho de laboratório, a ponto de acreditarem que suas observações e interpretações, por si próprias, resultaram em modelos experimentais e modelos computacionais a serem seguidos pela Biologia Sintética. É a persistência do Estilo

de Pensamento empírico-indutivo que, historicamente, tem direcionado pesquisas nas diversas áreas do conhecimento durante muito tempo e se mostra integrado ao campo interdisciplinar da Biologia Sintética.

Descrições de estratégias, métodos, procedimentos, descobertas, demonstrações, induções localizadas em diversos excertos (FP/CCM-1.4A, FP/CCM-1.5A, FP/CCM-1.6A, FP/CCM-1.7A, FP/CCM-1.8A e FP/CCM-1.9A) são indicadores desse estilo caracterizado como *Ênfase na observação e/ou experimentos na interpretação do objeto de investigação*.

Embora sabedores das limitações do conhecimento acerca das funções biológicas de todos os genes presentes em qualquer tipo de célula - o que pode ser interpretado em Fleck como uma Consciência da Complicação - os autores apostam na produção da célula mínima com genoma sintético projetado por computador com a aplicação dos métodos propostos no artigo, como uma prova de princípio.¹⁵¹

Ao final do artigo, os autores afirmam estarem atentos às questões éticas, filosóficas e sociais suscitadas pela Biologia Sintética e citam trabalhos anteriores desenvolvidos pela equipe - *Ethical Considerations in Synthesizing a Minimal Genome* - Considerações Éticas na Sintetização de um Genoma Mínimo (1999) e *Synthetic Genomics: Options for Governance* - Genômica Sintética: Opções para Governança (2007).

Temos conduzido a discussão ética relativa à vida sintética desde os primeiros estágios deste trabalho. À medida que as aplicações genômicas sintéticas se expandem, prevemos que este trabalho continuará a levantar questões filosóficas que têm amplas implicações sociais e éticas. Encorajamos o discurso contínuo (Gibson *et al.*, 2010, p. 56, tradução nossa).

Com a continuidade das pesquisas, mais elementos podem caracterizar o Estilo de Pensamento em voga nos estudos sobre a célula com genoma mínimo sintético, bem como identificar por meio de qual sistema de opinião os cientistas que desenvolvem essas ideias e práticas compreendem a célula natural. Entender se o conceito clássico de célula é reconhecido pelo Coletivo de Pensamento que atua

¹⁵¹ De acordo com o site do J. Craig Venter Institute - JCVI a primeira célula mínima construída, a bactéria *M. mycoides* JCVI-syn1.0, é considerada uma *prova de conceito*. Segundo as explicações apresentadas, há expectativa da equipe de aplicar em muitas 'áreas críticas' as ferramentas e tecnologias desenvolvidas para criar esta célula (<https://www.jcvi.org/research/first-self-replicating-synthetic-bacterial-cell>). Os autores parecem utilizar as expressões *prova de conceito* e *prova de princípio* como sinônimas, no sentido de demonstração de viabilidade dos métodos adotados.

nos episódios contemporâneos e a concepção de vida que subjaz as pesquisas também foram pontos importantes dessa investigação.

9.2 FP/CCM-2 'PROJETO E SÍNTESE DE UM GENOMA BACTERIANO MÍNIMO' - HUTCHISON ET AL. (2016)

FIGURA 7 – PÁGINA INICIAL DO ARTIGO FP/CCM-2



Fonte: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aad6253>

9.2.1 Primeira Etapa: Análise preliminar de FP/CCM-2

A análise do material documental nesta investigação tem como Primeira Etapa a *análise preliminar dos documentos*, cujos aspectos mais pertinentes da FP/CCM-2 são apresentados na sequência. Tais elementos auxiliam a Segunda Etapa da análise, uma vez que apontam características importantes como as circunstâncias da obra, as intenções do autor (Cellard, 2008).

Sobre o contexto da obra

Após quase seis anos do prestigiado artigo de 2010, esse artigo de 2016 publicado na revista *Science* apresenta *M. mycoides* JCVI-syn3.0 como a primeira célula bacteriana sintética mínima. A criação anterior, *M. mycoides* JCVI-syn1.0,

passou a ser interpretada e divulgada pela equipe como a primeira célula bacteriana sintética autorreplicante. Os pesquisadores do J. Craig Venter Institute – JCVI explicam:

Usamos o projeto do genoma completo e a síntese química completa para minimizar o genoma sintético de 1.079 pares de quilobases de *Mycoplasma mycoides* JCVI-syn1.0. Um projeto inicial, baseado no conhecimento coletivo da biologia molecular combinado com dados limitados de mutagênese do transposon, não conseguiu produzir uma célula viável (Hutchison *et al.*, 2016, p. 1, tradução nossa).

Os autores trazem um retrospecto de outras pesquisas associadas ao processo de obtenção da célula mínima – ou seja – ao projeto e síntese para minimizar o genoma da célula.

Em 1984, as células mais simples capazes de crescimento autônomo, os micoplasmas, foram propostas como modelos para a compreensão dos princípios básicos da vida. Em 1995, relatamos as primeiras sequências completas do genoma celular (*Haemophilus influenza*, 1815 genes, e *Mycoplasma genitalium*, 525 genes). A comparação destas sequências revelou um núcleo conservado de cerca de 250 genes essenciais, muito menor do que qualquer genoma. Em 1999, introduzimos o método de mutagênese global por transposon e demonstramos experimentalmente que *M. genitalium* contém muitos genes que não são essenciais para o crescimento em laboratório, embora tenha o menor genoma conhecido para uma célula de replicação autônoma encontrada na natureza. Isto implicava que deveria ser possível produzir uma célula mínima que fosse mais simples do que qualquer célula natural. Genomas inteiros podem agora ser construídos a partir de oligonucleotídeos sintetizados quimicamente e trazidos à vida através da instalação num ambiente celular receptivo (Hutchison *et al.*, 2016, p. 1, tradução nossa).

Sobre os interesses dos autores

Os autores expõem no início do artigo que seu interesse em simplificar o genoma de uma célula bacteriana vem de longa data. O intuito dessas pesquisas esteve relacionado à tentativa de compreender a função molecular e biológica de cada gene considerado essencial para a vida. Essa busca ocorreu por meio da eliminação de genes não essenciais para o crescimento da célula em condições controladas em laboratório, com objetivo de alcançar “uma compreensão da função molecular e biológica de cada gene que é essencial para a vida (Hutchison *et al.*, 2016, p. 1, tradução nossa).

Autenticidade e confiabilidade do texto

A fonte primária FP/CCM-2 foi publicada no volume 351 da revista científica *Science*, de 25 de março de 2016. O artigo foi obtido por meio de pesquisa eletrônica simples.

Natureza do texto e conceitos-chave

Categorizado como 'Artigo de Pesquisa', o texto contempla as exigências estruturais da revista e atende o requisito de pesquisa científica original. Os *conceitos-chave* são relacionados a termos habitualmente empregados em Biologia Molecular, Genética, Informática/Cibernética.

9.2.2 Segunda Etapa: Análise Documental propriamente dita (Análise histórico-epistemológica)

No tocante ao artigo 2 - 'Projeto e Síntese de um genoma bacteriano mínimo', foram identificados 24 (vinte e quatro) excertos dispostos no APÊNDICE L. O episódio contemporâneo (EC) reconhecido nesta fonte primária foi denominado 'Produção da primeira célula bacteriana sintética mínima' (EC2). Cada excerto foi codificado com base na fonte primária (FP/CCM-2), iniciando com o código FP/CCM-2.1 até FP/CCM -2.24.

Os excertos escolhidos possuem relação direta ou indireta com o conceito de célula mínima e apresentam ideias relevantes para identificar o Estilo de Pensamento que orienta as pesquisas acerca da célula mínima. Outras compreensões foram possíveis, como discutir se existe correlação entre a célula mínima e o fenômeno da vida; identificar por meio de qual sistema de opinião os cientistas que desenvolvem essas ideias e práticas compreendem a célula natural; entender se o conceito clássico de célula é reconhecido pelo Coletivo de Pensamento que atua nos episódios contemporâneos e a concepção de vida que permeia as pesquisas.

Além da descrição textual, o processo de obtenção da célula mínima no artigo é apresentado por meio de figuras (ciclos, estratégias, mapeamentos, gráficos, eletromicrografias, esquemas estruturais), além de tabelas explicativas.

Explicações muito técnicas, descrições de tabelas e figuras não foram selecionadas para constituir a análise, visto que se referem a conhecimentos empíricos, amplamente identificados em outros excertos. Alguns excertos obtidos a partir dos resultados e discussões do artigo foram desconsiderados posteriormente em razão de consistirem em repetições de dados já considerados em fragmentos anteriores.

As categorias elencadas no QUADRO 6 conduziram a análise histórico-epistemológica no sentido de levar em consideração as elaborações teóricas fundamentadas nesta investigação. Contudo, no processo de seleção dos excertos estive atenta às novidades, aos elementos ou características não contempladas nas categorias iniciais, o que resultou nas chamadas *categorias emergentes*. A categorização está apresentada no APÊNDICE M.

Seguindo o mesmo padrão de codificação adotado no estudo de episódios históricos, destaco em negrito as palavras/frases que contêm as ideias sobre as quais a categorização foi aplicada. Letras foram adicionadas aos códigos para distinguir categorizações extraídas de um mesmo excerto, por exemplo, FP/CCM-2.1A e FP/CCM-2.1B.

Seis anos após divulgar a produção de uma célula bacteriana sintética autorreplicante - syn1.0 - procedente da bactéria *Mycoplasma mycoides*, a equipe liderada por Venter anunciou a syn3.0, cujo genoma sintético é menor o genoma de qualquer célula conhecida que se replica naturalmente. Essa é a singularidade mais evidente da Biologia Sintética - os genomas projetados e construídos não possuem equivalentes exatos na natureza e podem ser úteis para obtenção de produtos específicos. Os autores destacam a *especificidade da Biologia Sintética* ao afirmarem em FP/CCM-2.23A:

[...] a abordagem que descrevemos pode ser aplicada à construção de uma célula com quaisquer propriedades desejadas. Por exemplo, uma célula poderia ser projetada com vias metabólicas adicionadas, um código genético alterado ou arranjos genéticos dramaticamente alterados (Hutchison *et al.*, 2016, p. 10, tradução nossa).

Em FP/CCM-2.13A, os pesquisadores almejam que, a partir do conhecimento acerca dos requisitos genéticos detalhados para a vida, “será possível conceber genomas inteiros a partir dos primeiros princípios, construí-los por síntese química e depois *trazê-los à vida por instalação num ambiente celular receptivo*” (Hutchison *et al.*, 2016, p. 8, tradução nossa, grifo nosso).

Analisando isoladamente e inadvertidamente os excertos que tratam do aspecto metodológico, o método empírico-indutivo supostamente prevalece em todo o artigo, embora haja indicação de *observações e/ou experimentos orientados por teoria* em alguns excertos (FP/CCM-2.15A, FP/CCM-2.16B, FP/CCM-2.17A). Foi possível identificar, nesses fragmentos, menções ao corpo de literatura em genômica e Biologia Sintética, ao conhecimento coletivo da Biologia Molecular, ao conhecimento acumulado sobre os genes que estão envolvidos em processos biológicos fundamentais.

A ênfase na *observação e/ou experimentos na interpretação do objeto de investigação* é marcante em diversos excertos identificados, como em FP/CCM-2.9A.

O projeto preliminar de HMG baseado em conhecimento não produz uma célula viável. Em nossa primeira tentativa de fazer uma célula minimizada, começamos com syn1.0 [2010] e usamos informações da literatura bioquímica, bem como alguns dados de mutagênese de transposon, para produzir um design racional. [...] Durante o projeto do HMG, desenvolvemos um conjunto simples de regras de exclusão que foi usado durante todo o projeto (Hutchison *et al.*, 2016, p. 1-2, tradução nossa).

No FP/CCM-2.17B também é nítida a importância dada ao trabalho empírico para a obtenção de um genoma funcional mínimo em syn3.0, algo que parece comum num laboratório de Biologia Sintética. Uma vez que a base teórica de conhecimento consultada não teria sido satisfatória para o objetivo pretendido, o desenvolvimento de regras e um vasto trabalho de aperfeiçoamento de métodos foram implementados pela equipe

Esses resultados nos convenceram de que inicialmente não tínhamos conhecimento suficiente para projetar um genoma funcional mínimo a partir dos primeiros princípios. Portanto, para obter melhores informações sobre a essencialidade do gene, fizemos grandes melhorias em nossos métodos de mutagênese por transposon (Hutchison *et al.*, 2016, p. 8-9, tradução nossa)

Contudo, o que parece corresponder à persistência dos sistemas de opinião quanto ao método empírico-indutivo numa ciência voltada para objetivos práticos, pode ser interpretado como a aplicação de testes empíricos com base em hipóteses desenvolvidas a partir do conhecimento existente (primeiros princípios), o que caracteriza o método hipotético dedutivo.

O amplo corpo de conhecimento no qual a Biologia Sintética se ampara, advindo da Biologia Molecular, da Genômica, da Cibernética/Computação, Matemática, Engenharia, Biologia Computacional, indica que não há lugar para o método empírico-indutivo puro. Os pesquisadores trabalham com hipóteses baseadas na teoria existente e experimentos são realizados para testar as consequências deduzidas das teorias consideradas. Esse método hipotético-dedutivo é considerado uma composição de elementos dos métodos indutivo e dedutivo ou um esforço de equilíbrio entre eles, amplamente utilizado na ciência contemporânea. O método indutivo puro ou a coerção objetiva do Estilo de Pensamento empírico-indutivo perde espaço no contexto da Biologia Sintética (como também em outras ciências interdisciplinares).

O cerne de toda a pesquisa em Biologia Sintética pela equipe do J. Craig Venter Institute é a síntese de genomas. Os excertos FP/CCM-2.2B, FP/CCM-2.3B e FP/CCM-2.4B mostram o relato do esforço para “alcançar uma compreensão da função molecular e biológica de cada gene que é essencial para a vida” (Hutchison *et al.*, 2016, p. 1, tradução nossa), evidenciando a manutenção da crença nas *propriedades da célula compreendidas pelo reducionismo genético*.

Em FP/CCM-2.18A e FP/CCM-2.19 são apresentadas porcentagens e explicações da participação de genes em funções celulares (expressão gênica, estrutura e função da membrana, metabolismo citosólico e preservação do genoma), além de genes com funções desconhecidas. Os autores esclarecem que “o maior grupo de genes retidos em syn3.0 está envolvido na expressão gênica (41%)” e “um número relativamente pequeno de genes funciona na replicação do genoma e na preservação da informação genômica através da divisão celular (7%)” (Hutchison *et al.*, 2016, p. 10, tradução nossa).

A assimilação dos seres vivos/células às máquinas (computador) é declarada desde o início do artigo, de modo mais incisivo que no artigo anterior. Isso revela a consistência interna de um dos Estilos de Pensamento que constituem o campo da Biologia Sintética, denominado aqui como Cibernético/Computacional. No excerto FP/CCM-2.1B a equipe de Venter esclarece: “[...] A sequência do genoma de uma célula pode ser considerada seu sistema operacional. [...] O genoma pode ser visto como um software; O sequenciamento de DNA permite que o código do software seja lido (Hutchison et al., 2016, p. 1, tradução nossa). Em FP/CCM-2.3A, o objetivo principal do grupo é colocado, no sentido fleckiano, em termos de coerção

do Estilo de Pensamento Cibernético/Computacional, o qual “empresta” seus termos e conceitos à Biologia Sintética atual desde seu início: “simplificar o software genômico de uma célula bacteriana” (Hutchison *et al.*, 2016, p. 1, tradução nossa).

Naturalmente, nesse contexto em que a célula é concebida, está presente a ideia de que *informações codificadas nos genes determinam as funções celulares*. No excerto FP/CCM-2.1C, o reconhecimento de que a expressão gênica depende do citoplasma da célula não parece ter importância equiparável ao determinismo genético das funções do citoplasma. Com efeito, desde que a regulação gênica foi explicada por Monod e Jacob como sendo determinada pelo próprio genoma, essa concepção foi se tornando duradoura e rígida, mantida pela harmonia das ilusões, o que a epistemologia fleckiana denomina de *persistência dos sistemas de opinião*.

A crença de que o genoma é determinante das funções celulares foi conservada no Tráfego Intercoletivo de Conhecimento da Biologia Molecular para Biologia Sintética. Do mesmo modo, o conceito de informação como instruções codificadas nos genes, que pode ser lida no código genético e expressa em funções celulares é advindo da Biologia Molecular, onde penetrou por meio de Tráfego Intercoletivo a partir do Coletivo de Pensamento da Cibernética. Nesse contexto, entendo que a noção de informação, que na Biologia Molecular pode ser considerada um Acoplamento Ativo, apresenta-se como elemento passivo no cenário da Biologia Sintética.

Os autores sustentam:

[...] Ele [genoma] carrega o código que especifica todas as funções genéticas da célula, que por sua vez determinam a química celular, estrutura, replicação e outras características. Cada genoma contém instruções para funções universais comuns a todas as formas de vida, bem como instruções específicas para cada espécie em particular. O genoma depende das funções do citoplasma celular para sua expressão. Por sua vez, as propriedades do citoplasma são determinadas pelas instruções codificadas no genoma (Hutchison *et al.*, 2016, p. 10, tradução nossa).

A metáfora do *programa genético* como Acoplamento Passivo no campo da Biologia Sintética, possibilita a emergência da célula mínima como um Acoplamento Ativo do conhecimento, uma vez que, para existir no mundo, depende da interferência dos pesquisadores da área (Coletivo de Pensamento), com objetivos específicos a partir do desenvolvimento de métodos com tecnologia específica avançada. Sua existência é manifestada por meio de funções selecionadas e

reduzidas artificialmente, consideradas fundamentais para a vida celular, a partir da expressão de genes considerados essenciais, em ambiente controlado de laboratório.

Logo, nesse contexto, entendo que há diferença entre o natural e o artificial, ainda que o genoma tenha sido sintetizado a partir de pedaços de DNA comprados em frascos, seu projeto foi desenvolvido de modo singular com auxílio de uma máquina - o computador. Não é resultado de reprodução natural ou de mutações no tempo evolutivo. Esse argumento corresponde a uma visão contrária à dos filósofos Bacon e Descartes e possivelmente à concepção desse grupo de biólogos sintéticos quanto à ausência de diferença ontológica entre as coisas naturais e as artificiais.

Noções de informação desenvolvidas por outros coletivos de pesquisadores, cujos alguns exemplos foram apresentados no Quinto Capítulo, têm sido consideradas em teorias sistêmicas da Biologia e não sustentam a existência da célula mínima nos moldes da minimização do genoma, expressão do reducionismo biológico. Nessas abordagens sistêmicas, o papel determinante do material genético nas funções celulares é suprimido e os dinâmicos e complexos processos metabólicos celulares ganham destaque.

Existem abordagens radicais, como a de Mpodozis (2011), com a recusa total do conceito de informação no contexto da Biologia, pois os sistemas biológicos seriam compreendidos/determinados por seus processos metabólicos e não pelo conceito de informação, considerado por ele como metafísico e metafórico. Mpodozis aponta a estreita associação do genoma com os demais componentes da célula, tanto no processo de reprodução quanto no metabolismo celular.

Logan (2012) caracteriza a informação biótica como qualitativa, dependente do contexto (ambiente), material (expressa nas propriedades químicas do DNA, RNA e proteínas) e não simbólica, ao contrário da informação matemática de Shannon, adotada hegemonicamente pela Biologia na metáfora do *programa genético*. As inúmeras informações existentes nos sistemas bióticos não podem ser definidas de modo independente do meio, mas definida como a organização da troca de matéria e energia entre o sistema vivo e o ambiente.

A teoria da autopoiese, de Maturana e Varela, não despreza a ideia da informação contida no genoma, porém considera o material genético como um dos componentes da rede autopoietica, ou seja, embora o genoma tenha participação

importante nas especificidades das funções biológicas, essa incumbência não é exclusiva.

Em substituição à ideia de um programa genético, Keller (2002) propõe um programa distribuído entre proteínas, RNA e DNA funcionando como instruções e como dados. Logan e Keller remetem seus argumentos ao conceito de seres organizados de Kant, nos quais o fenômeno da auto-organização é estabelecido e mantido pelos processos internos, concepção semelhante ao que mais tarde ficou conhecido como causalidade circular.

O programa genético é habitualmente pautado na concepção mecânica reducionista da vida - compreendida no estudo dos episódios históricos (EH) como Estilo de pensamento mecanicista/reducionista - enquanto as abordagens que enfocam os processos metabólicos são sustentadas pela visão sistêmica - concebida como Estilo de pensamento sistêmico/organicista. No caso da célula, como constatado anteriormente, sua composição molecular aproxima o Estilo de Pensamento mecânico/reducionista do Estilo de Pensamento sistêmico/organicista - exemplo da inexistência de rupturas radicais no desenvolvimento da ciência. Ou seja, embora existam modos distintos de compreender a informação no contexto celular, na perspectiva fleckiana, não há incomensurabilidade absoluta entre os Estilos de Pensamento.

No entanto, a simples constatação de algo em comum, embora possibilite algum Tráfego de Pensamento Intercoletivo não tem se constituído numa coerção significativa, a ponto de provocar mudanças no sistema de referência do Coletivo de Pensamento sistêmico. Diversas outras considerações de natureza incomensurável (ou aparentemente incomunicável) entre os Estilos de Pensamento mencionados são evidenciadas. Além da noção de informação, a própria unidade fundamental da vida, numa perspectiva sistêmica, não é a célula, mas o organismo. A abordagem reducionista da Biologia Molecular/Biologia Sintética é interpretada como limitante pelos biólogos de sistemas (Green, 2022). Sobre essa incomensurabilidade, Fleck orienta:

[...] Quando o estilo de pensamento está tão distante do nosso, já não há nenhuma possibilidade de entendimento. As palavras não podem ser traduzidas, os conceitos não têm nada em comum com os nossos, não há nem motivos em comum, [...]. Ao pesquisador ingenuamente preso no próprio estilo de pensamento, os estilos de pensamento alheios se apresentam como produtos de uma fantasia livre, pois aquele percebe nestes somente a parte ativa, quase arbitrária. Em contrapartida, o próprio estilo de pensamento se lhe apresenta como algo compulsivo, pois, embora tenha consciência da própria passividade, a própria atividade se torna para ele algo óbvio, quase inconsciente como a respiração, em virtude da educação, a formação prévia e da participação no tráfego intracoletivo (Fleck, 1935/2010, p. 195).

Fleck aponta no seu primeiro artigo epistemológico de 1927, o fato de que não existir um único ponto de vista sobre a doença, mas uma diversidade de visões consideradas parciais e incomensuráveis. Analogamente, entendo que concepções mecanicistas, organicistas (sistêmicas) e até vitalistas possam explicar a célula natural e os fatores que possibilitem a manifestação da vida. Embora tais concepções coexistam, há dificuldade de comunicação entre elas. Quando se trata da célula com genoma mínimo sintetizado da equipe de Venter, seu projeto foi estruturado com base na concepção mecanicista/reducionista da vida, o que restringe ainda mais a comunicação, ou em termos fleckianos, o Tráfego Intercoletivo de Pensamento no contexto da pesquisa em pauta. Alterar essa concepção implicaria em descontinuar a pesquisa, algo que a equipe de Venter não estaria disposta, ao contrário, a abordagem reducionista é explicitada e defendida nos artigos publicados.

A célula com genoma mínimo foi idealizada e produzida para atender à dinâmica do que foi apresentado como vanguarda científica e, em princípio, para suprir demandas sociais explicitadas de modo sucinto em FP/CCM-2.24B, o que denota alguma *influência do contexto na interpretação do objeto de investigação*:

A capacidade de projetar células nas quais a função de cada gene é conhecida deve facilitar a modelagem computacional completa da célula. Isto tornaria possível calcular as consequências da adição de vias para a produção de produtos úteis, como medicamentos ou produtos químicos industriais, e levaria a uma maior eficiência no desenvolvimento (Hutchison *et al.*, 2016, p. 10, tradução nossa).

Por sua vez, a célula natural mantém sua relação passiva com a produção do conhecimento no campo da Biologia Sintética. Em outras palavras, o conceito clássico de célula conserva sua posição de verdade, construída pela coerção

objetiva do Estilo de Pensamento mecanicista, identificado em todos os contextos analisados nesta investigação, com suas nuances ou variedades, conforme apresentado no QUADRO 7. Isso foi confirmado pela *correlação entre célula e manifestação de vida* localizada em FP/CCM-2.1A “As células são as unidades fundamentais da vida” (Hutchison *et al.*, 2016, p. 1, tradução nossa) e em FP/CCM-2.2A, “as células mais simples com capacidade de crescimento autônomo, os micoplasmas, como modelos para a compreensão dos princípios básicos da vida” (Hutchison *et al.*, 2016, p. 1, tradução nossa).

A despeito de muitas certezas quanto às ideias e práticas, do sistema de opinião coeso da equipe quanto à visão predominantemente genecêntrica, a *busca pela identificação de requisitos mínimos para a vida celular* é exposta no artigo, como em FP/CCM-2.20A

A replicação da informação genômica e a sua distribuição coordenada em compartimentos celulares segregados delimitados por membrana são marcas distintivas dos sistemas vivos existentes que são comumente considerados entre os atributos que definem a vida celular [2014]. Os requisitos mínimos para este processo não são conhecidos, mas evidências de diferentes campos de estudo sugerem que mecanismos muito mais simples do que o complexo aparelho de divisão na maioria das eubactérias podem ser suficientes (Hutchison *et al.*, 2016, p. 10, tradução nossa).

O que chama a atenção nesse excerto é a menção ao artigo *Systems Biology Perspectives on Minimal and Simpler Cells* (Perspectivas da Biologia de Sistemas em células mínimas e mais simples), de pesquisadores da Alemanha e Portugal, os quais defendem uma abordagem holística na pesquisa com células mínimas. Segundo os autores, “o trabalho pioneiro da equipe de J. Craig Venter é talvez o melhor exemplo de célula semiartificial, tendo relatado a primeira célula funcional cujo material genético é um cromossomo artificial sintetizado *in vitro*” (Xavier; Patil; Rocha, 2014, p. 488, tradução nossa).

Os autores também apontam que desde o sequenciamento de *Mycoplasma genitalium* em 1995 pela equipe de Venter, os genomas mínimos têm sido quase sinônimos de células mínimas. Contudo, a concepção de célula mínima adotado por Xavier, Patil e Rocha é um conceito amplo, um contraponto ao conceito de célula com genoma mínimo, como consta no Capítulo Seis, referente à Biologia Sintética. Além disso, consideram que o estudo da vida e das células mínimas atingem uma nova concepção, “com a biologia de sistemas começando a ser aceita como uma

abordagem que aproxima a biologia das demais ciências naturais, estabelecendo leis e permitindo previsões quantitativas” (Xavier; Patil; Rocha, 2014, p. 489, tradução nossa).

É possível notar o Tráfego Intercoletivo de Conhecimento feito em duas vias, entre os artigos, sem, contudo, abalar o ‘solo firme dos fatos’ em que cada um se sustenta. Apesar de fazerem referência ao artigo que trata da Biologia Sintética no contexto da Biologia de Sistemas, Hutchison *et al.* (2016) não incorporam as principais ideias dos autores, o que pode ser interpretado como o silenciamento de Complicações. Para citar um exemplo, enquanto a equipe de Venter entende que existe relação direta entre a minimização do genoma e a redução da complexidade celular, os autores do artigo citado defendem que essa associação não seria adequada, ou seja, genomas menores podem se traduzir em estruturas celulares complexas.

A ideia de que o genoma é dependente dos recursos ambientais disponíveis, também encontrada no artigo de Xavier, Patil e Rocha é expressa no *reconhecimento da troca de substâncias entre a célula e o meio para manutenção da vida celular*. Essa ideia, aparentemente obtida de indução empírica, parece provocar uma certa ampliação do conceito de célula mínima. O fragmento FP/CCM-2.14A revela a consciência da Complicação, uma vez que a célula com genoma mínimo apresentada foi cultivada em meio molecular permissivo à vida, o que interferiu no tamanho do genoma.

Uma célula mínima é geralmente definida como uma célula na qual todos os genes são essenciais. Esta definição está incompleta, porque os requisitos genéticos para a sobrevivência e, portanto, o tamanho mínimo do genoma, dependem do ambiente em que a célula é cultivada. O trabalho aqui descrito foi conduzido em um meio que fornecia praticamente todas as pequenas moléculas necessárias à vida (Hutchison *et al.*, 2016, p. 8, tradução nossa).

Para a equipe de Venter, a membrana celular possui importância reconhecida nesse processo e, depois dos processos vitais de expressão e de preservação da informação genética (48% dos genes de syn3.0), as funções da membrana são consideradas o terceiro elemento fundamental para a vida (18% dos genes de syn3.0). Importante ressaltar que a membrana está, do mesmo modo, entre as principais características de uma célula mínima para Xavier e colegas. Em FP/CCM-2.12B a relevância da membrana para a célula mínima é reforçada:

[...] membrana celular que separa o meio externo do citoplasma e governa o tráfego molecular para dentro e para fora da célula. [...] Como nossa célula mínima carece em grande parte da biossíntese de aminoácidos, lipídios, nucleotídeos e vitaminas, ela depende do meio rico para fornecer quase todas essas pequenas moléculas necessárias. Isto requer numerosos sistemas de transporte dentro da membrana (Hutchison *et al.*, 2016, p. 6, tradução nossa).

Do mesmo modo que a importância do meio e da membrana, a evolução biológica é considerada um aspecto fundamental na definição de célula mínima por Xavier e colegas. O problema da evolução biológica também foi investigado em syn3.0 pela equipe de Venter e os pesquisadores acreditam ter observado uma amostra do processo evolutivo em células sintéticas no excerto FP/CCM-2.3C, explicando de modo simplista o que pode ser considerado a adoção uma vez que “algumas bactérias, [...] crescem em ambientes restritos e sofreram redução do genoma ao longo do tempo evolutivo. Elas perderam genes desnecessários em um ambiente estável” (Hutchison *et al.*, 2016, p. 1, tradução nossa). Tal constatação representa a *evolução biológica compreendida como alteração no número de genes*. Nesse contexto, embora tratem do tema da evolução, não há espaço para adoção do Estilo de Pensamento biológico evolutivo (Bertoni, 2012), pois o todo, o aspecto sistêmico é desconsiderado, fragmentado.

Ressalto que o problema da evolução biológica para células mínimas foi considerado pelo menos desde o artigo publicado pela equipe de Venter no ano de 2001. A estreita relação entre o processo evolutivo e a aquisição ou perda de genes em micoplasmas é percebida, no sentido de que:

[...] a aquisição de genes pode permitir que um micróbio ocupe um novo nicho ambiental. [...] A perda de qualquer gene de um genoma pode limitar o número e os tipos de perdas que serão toleradas no futuro: a perda de genes tem consequências para a evolução futura dos genes restantes no genoma (Peterson; Fraser, 2001, p. 3, tradução nossa).

A equipe de Venter não esclarece se houve influência das ideias e práticas da Biologia de Sistemas Moleculares¹⁵² (entendido aqui como Estilo de Pensamento

¹⁵² A pesquisa em Biologia de Sistemas pode ser dividida em uma corrente teórica de sistemas e uma corrente pragmática. O campo teórico está historicamente relacionado com o uso inicial do termo ‘biologia de sistemas’ em 1968, denotando a fusão da teoria de sistemas e da biologia. A corrente pragmática considera a biologia de sistemas como uma sucessora da genômica e como uma poderosa extensão da biologia molecular. É comum ser denominada biologia de sistemas moleculares e os profissionais desta área relacionam o surgimento da biologia de sistemas à

da Biologia de Sistemas Moleculares) nas suas interpretações mencionadas anteriormente. Todavia, a Epistemologia fleckiana sustenta que pode haver comunicação entre Estilos de Pensamento próximos, como no caso de um Coletivo de Pensamento da Biologia Sintética com foco no genoma e um Coletivo de Pensamento da Biologia de Sistemas Moleculares, no qual, o estudo do genoma é considerado como parte do estudo da complexidade da célula¹⁵³.

Nicholson critica esse modelo da Biologia de Sistemas, o qual estaria servindo para perpetuar o reducionismo, ao invés de superá-lo. Segundo o autor, para alcançar a compreensão da célula como um todo, a abordagem *bottom-up* (ascendente), “é completamente reducionista dado que, tal como a biologia molecular, privilegia o nível molecular na explicação biológica” (Nicholson, 2014b, p. 352, tradução nossa).

No caso da Biologia Teórica de Sistemas, ao contrário, a própria unidade explicativa da vida não é a mesma para as duas especialidades. Enquanto a Biologia Teórica de Sistemas, numa perspectiva sistêmica, toma o organismo como conceito fundamental para a compreensão da vida, a Biologia Sintética, numa perspectiva reducionista, se sustenta na crença do poder explicativo dos genes.

A equipe de Venter estabelece características específicas esperadas para uma célula com genoma mínimo, com base no conhecimento dos processos celulares fundamentais, tomados como elementos passivos do conhecimento em Biologia, nos demais Coletivos de Pensamento das Ciências participantes das pesquisas e ainda, no Círculo Exotérico. Assim como o conceito clássico de célula, a própria visão molecular clássica do conceito de gene é vista como óbvia, tanto pelos círculos esotéricos de especialistas, quanto pelo saber popular. Nesse contexto, “não se exigem mais provas coercitivas para o pensamento, pois a palavra [célula, gene] já se tornou carne” (Fleck, 1935/2010, p. 159).

Os conceitos de célula e de gene são reconhecidos de imediato, mantendo o *status* de verdade, realidade. Tal consideração epistemológica fleckiana indica que, na análise dos episódios contemporâneos desta investigação, o conceito de célula

produção de dados dentro da genômica e outras tecnologias de alto rendimento a partir do final da década de 1990 (Green, 2022, p. 1, tradução nossa).

¹⁵³ Complementando a genômica, pesquisas no campo da proteômica, lipidômica, metabolômica e fluxômica buscam a compreensão das propriedades de todo o sistema, com o uso de modelagem computacional para integrar os dados ômicos (Xavier; Patil; Rocha, 2014, p. 489, tradução nossa).

mínima, e não o conceito clássico de célula, deve ser examinado. Logo, meus esforços a partir desse ponto visam investigar se a redução do genoma celular e consequente produção da célula mínima, implica na possibilidade de emergência de um novo Estilo de Pensamento que orienta o conceito de célula como unidade fundamental da vida.

A célula mínima antes e depois de syn1.0 e syn3.0: um complemento à análise dos episódios contemporâneos

Com aproximadamente duas décadas e meia no cenário da ciência, as células mínimas com genoma sintetizado - syn1.0 e syn3.0 – foram apresentadas nos dois artigos considerados principais para apreender o Estilo de Pensamento que orienta o conceito de célula mínima no contexto das pesquisas realizadas pela equipe de Craig Venter. Como complemento à análise anteriormente realizada, outros artigos publicados pela equipe, também disponibilizados no site do Instituto Craig Venter, foram considerados.

Nas análises das fontes primárias FP/CCM-1 e FP/CCM-2 foi identificado que, pelo menos desde o ano de 1995, no artigo *The Minimal Gene Complement of Mycoplasma genitalium* (O complemento genético mínimo de *Mycoplasma genitalium*) a equipe de Venter considerava a possibilidade de determinar um conjunto mínimo de genes necessários à sobrevivência (Fraser *et al.*, 1995) para construir uma célula mínima que contenha apenas genes essenciais (Gibson *et al.*, 2010).

Outro artigo do grupo referenciado em ambas as fontes primárias e nas demais publicações foi publicado em 1999, intitulado *Global Transposon Mutagenesis and a Minimal Mycoplasma Genome* (Mutagênese Global de Transposon e um Genoma Mínimo de Micoplasma), no qual ocorreu o relato da técnica denominada ‘mutagênese global por transposon’, desenvolvida pela equipe de Venter.

Uma questão importante colocada pela disponibilidade de sequências genômicas completas é quantos genes são essenciais para a *vida celular*. Estamos agora em condições de abordar este problema reformulando a pergunta “O que é a vida?” em termos genômicos: “O que é um conjunto mínimo de genes celulares essenciais?” O interesse no genoma celular mínimo é anterior ao sequenciamento do genoma. O menor genoma celular conhecido é o do *Mycoplasma genitalium*, que tem apenas 580 kb. Este genoma foi completamente sequenciado e a análise da sequência revelou 480 genes codificadores de proteínas, além de 37 genes para espécies de RNA (Hutchison et al., 1999, p. 2165, tradução nossa, grifo nosso).

A associação entre célula e vida, declarada pela expressão ‘vida celular’, se constitui um Acoplamento Passivo na construção do conhecimento no campo da Biologia Sintética. O reconhecimento da célula como unidade fundamental da vida permanece como uma persistência dos sistemas de opinião fleckianos, assim como as propriedades da célula compreendidas pelo reducionismo genético.

No ano de 2001, o artigo *The complexity of simplicity* (A complexidade da simplicidade) de Peterson e Fraser apresenta o objetivo central de discutir sobre a possibilidade de definir um número mínimo de genes necessários para sustentar a vida celular, o que, segundo os pesquisadores, requer uma definição consensual do que é vivo e do que não é vivo. Darei maior atenção a esse escrito, em virtude de apresentar elaborações teóricas interessantes, as quais foram sendo cada vez menos comunicadas no decorrer do tempo, dando espaço a descrições detalhadas de técnicas e resultados obtidos dos experimentos, gráficos, tabelas, imagens de micrografias eletrônicas, esquemas representativos de processos.

Em 2017, após a divulgação de syn3.0, um artigo de revisão teórica desprende-se desse padrão, *Minimal Cells-Real and Imagined* (Células Mínimas – Reais e Imaginadas), trazendo como pano de fundo a defesa do reducionismo científico e dos modelos computacionais não somente no contexto da Biologia Sintética, mas para uma compreensão ampla dos sistemas biológicos.

A abordagem metodológica adotada pelo grupo no artigo de 2001 é manifestada no início do texto e pode ser interpretada como aplicação do método científico hipotético-dedutivo, percebido com mais detalhes nos artigos posteriores, e identificado com clareza na fonte primária FP/CCM-2.

Abordamos o conceito de 'genoma mínimo' de uma forma não muito diferente daquela adotada pelos físicos interessados em compreender a natureza do universo: baseamo-nos num pressuposto subjacente ou força orientadora que afirma que deve existir um conjunto simples de regras. A dificuldade reside em encontrar a maneira adequada de eliminar as camadas externas de complexidade, a fim de descobrir o que é verdadeiramente geral e, portanto, descreve satisfatoriamente todas as coisas. Acreditamos que algum conjunto de parâmetros e princípios básicos seja comum a toda a vida celular neste planeta (Peterson; Fraser, 2001, p. 1, tradução nossa).

O aspecto interdisciplinar da pesquisa, bem como as limitações da equipe para dar solução ao principal problema de encontrar a quantidade mínima de genes/funções fundamentais para a vida celular também é explicitado de início.

Superficialmente, especialmente na era da genômica, parece que seremos de fato capazes de fazer inferências e definir pontos em comum. O advento do sequenciamento *shotgun* de genoma completo mudou a biologia de maneiras que não apreciaremos totalmente nos próximos anos. Os avanços na genômica funcional, na genômica estrutural e na biologia computacional também contribuíram grandemente para a nossa capacidade de dar sentido às enormes quantidades de dados de sequências de DNA que estão a ser produzidas. À medida que começamos a aplicar estas metodologias à questão do genoma mínimo, somos confrontados com novas perspectivas que enfatizam que, como qualquer bom empreendimento científico, quanto mais conhecimento adquirimos, menos equipados nos sentimos para responder à nossa questão original (Peterson; Fraser, 2001, p. 1, tradução nossa).

E uma elaboração teórica do conceito de genoma mínimo parece aguardar o trabalho empírico que vai se constituir ao longo das pesquisas:

Um genoma mínimo é, na realidade, apenas uma construção teórica. Não é algo que se possa encontrar na natureza. Uma célula mínima exigiria um ambiente "ideal", livre de qualquer pressão seletiva. Pode ser instrutivo considerar todos os genomas como compostos por dois tipos de genes. O primeiro conjunto inclui aqueles que conferem o conjunto básico de funções necessárias para processos celulares básicos. Por definição, estes genes seriam essenciais em qualquer ambiente concebível. Por exemplo, pode-se presumir com segurança que todas as células requerem a capacidade de replicar o seu DNA, produzir mensagens através de alguma maquinaria básica de transcrição e traduzir essa mensagem para produzir proteínas. Além disso, todas as células terão alguns requisitos para produção de energia e transporte de matérias-primas através da membrana celular e manutenção da homeostase celular (Peterson; Fraser, 2001, p. 2, tradução nossa).

Apoiando-se no pensamento evolucionista tradicional, os autores esclarecem que "o nicho ambiental ocupado por um microrganismo afeta o conjunto

de genes retidos no seu genoma”, de modo que “não faz sentido referir-se a um gene como essencial ou dispensável sem uma declaração que defina o ambiente ou as condições de crescimento em que a categorização foi feita”. Logo, “a discussão dos genomas mínimos pode ser uma questão de semântica e definições” (Peterson; Fraser, 2001, p. 3, tradução nossa). Em artigo recente, publicado no ano de 2023, o problema da evolução das células mínimas foi abordado experimentalmente (Moger-Reischer *et al.*, 2023).

A abordagem experimental para definir um genoma mínimo usando *M. genitalium* como modelo constatou muitas exceções ou Complicações fleckianas, como a conclusão de que cerca de um terço dos genes essenciais dessa bactéria de menor genoma natural identificado não tem função conhecida na célula. Os autores consideram um resultado importante, visto que

[...] põe dramaticamente em causa uma suposição básica sustentada por muitos biólogos de que os mecanismos e funções fundamentais subjacentes à vida celular foram, na sua maior parte, identificados e bem caracterizados. Se aproximadamente 100 genes na célula funcional mais simples têm função desconhecida e são essenciais para processos celulares básicos, esta suposição torna-se bastante duvidosa. [...] temos muito trabalho a fazer antes de podermos afirmar que temos uma compreensão clara até mesmo da célula mais simples e das suas funções (Peterson; Fraser, 2001, p. 6, tradução nossa).

Outras conclusões da abordagem experimental com uso de mutagênese por transposon colocam em xeque os próprios anseios da equipe de Venter ao constatar uma série de questões, que podem ser vistas como possibilidades de Complicações futuras. Os autores argumentam que a tentativa de compreender o valor seletivo quantitativo com o qual qualquer gene contribui para a aptidão do organismo possa ser mais importante do que tentar determinar um conjunto mínimo de genes/funções celulares.

Além disso, destacam a suposição de que a atividade de enzimas individualmente no interior da célula pode ter implicações “em outras vias e processos, dando origem à ideia de que a célula é um intrincado sistema de detecção que responde não apenas ao ambiente externo, mas também às suas próprias ações” (Peterson; Fraser, 2001, p. 5, tradução nossa). Esse último prognóstico de exceção, tem alinhamento com a ideia de autorregulação dos sistemas autopoieticos, no caso, a célula como unidade autopoietica mostra sua complexidade no contexto metabólico e não genético.

Os autores demonstram preocupação quanto aos resultados obtidos do trabalho de comparação de genomas feito a partir do sequenciamento de vinte e um novos genomas de microrganismos, após os primeiros resultados de *H. influenzae* e *M. genitalium* desenvolvido por outro grupo de pesquisa no ano de 1996. Ao invés de possibilitar a definição mais precisa de um conjunto mínimo de genes, a abordagem comparativa demonstrou que poucos genes seriam universalmente conservados. Considerando ter sido esse o critério utilizado na análise original para definir o conjunto de genes essenciais de uma célula, tal método não seria adequado para identificar o número mínimo de genes/funções necessários à vida celular.

Apesar dos argumentos apresentados aqui para destacar as complicações e possíveis inadequações associadas às tentativas de definir genomas mínimos, é claramente instrutivo tentar. A analogia que fazíamos é com o conhecimento que adquirimos com o sequenciamento de genomas microbianos. Aprendemos muito sequenciando cada um deles, mas muito mais comparando as semelhanças e diferenças de muitos genomas. Da mesma forma, aprendemos muito sobre a evolução do genoma e as funções genéticas necessárias para a existência celular - e esperamos que continuem a fazê-lo - e antecipamos uma capacidade futura de comparar os resultados de experiências semelhantes a partir de modelos diferentes do genoma mínimo. A discussão aqui destaca a importância de gerar dados funcionais para genes em organismos de diversas linhagens. [...] Estamos a avançar na genômica a uma velocidade sem precedentes, com poucos quadros de referência, e existe o risco de nos perdermos num mar de dados sequenciais sem um quadro funcional, a menos que garantamos que a análise funcional não fique muito atrás (Peterson; Fraser, 2001, p. 7, tradução nossa).

O artigo apresenta previsões, inferências, suposições, incertezas acerca do grande empreendimento que viria a ser desenvolvido. As muitas dúvidas e reavaliações de pressupostos teóricos demonstram alguns aspectos epistemológicos segundo o olhar fleckiano: “a atmosfera psicológica que indica o rumo da investigação; as associações motivadas pela psicologia coletiva” (Fleck, 1935/2010, p. 137).

O médico polonês acrescenta uma consideração que considero diretamente relacionada ao que foi encontrado no artigo em pauta. Uma série de conjecturas foram levantadas com base no conhecimento já produzido na área da Genômica e nos experimentos iniciais desenvolvidos pelo grupo. Essas hipóteses conduzem a elementos com potencial de caracterizar os Estilos de Pensamento envolvidos na pesquisa e indicativos do que viria a ser a concepção sobre a célula mínima.

Qualquer proposição sobre as 'primeiras observações' é uma pressuposição; e, quando não se quiser fazer nenhuma pressuposição, colocando apenas um ponto de interrogação, até este não deixa de ser uma pressuposição do caráter questionável e da inserção na classe dos problemas científicos, ou seja, também ele é uma pressuposição conforme determinado estilo de pensamento (Fleck, 1935/2010, p. 139).

Embora tenham declarado a crença na impossibilidade de chegar à definição de um conjunto mínimo de genes que seja aplicável a todos os tipos de organismos, os autores, ao final do artigo, não desconsideram sua validade, pois acreditam que o conceito de genoma mínimo seja uma ferramenta útil na organização do pensamento acerca das funções dos genes.

Diversos eventos importantes no processo de alcançar a produção da célula com genoma mínimo sintetizado podem ser mencionados, como o transplante do genoma completo de uma célula bacteriana para outra, a saber, de *Mycoplasma mycoides* para *Mycoplasma capricolum*. No artigo *Genome Transplantation in Bacteria: Changing One Species to Another* (Transplante de genoma em bactérias: trocando uma espécie por outra), os pesquisadores afirmam que as células resultantes "são fenotipicamente idênticas à cepa doadora de *M. mycoides* LC, conforme avaliado por vários critérios" (Lartigue *et al.*, 2007, p. 632, tradução nossa).

O caráter linear e cumulativo da pesquisa foi reforçado nesse texto, bem como os objetivos práticos de aplicações dos produtos da Biologia Sintética na solução de problemas sociais. O método hipotético-dedutivo também foi reafirmado e uma simples menção à ética na pesquisa

O transplante de genoma é um requisito para o estabelecimento do novo campo da genômica sintética. Pode facilitar a construção de microrganismos úteis com potencial para resolver problemas sociais prementes na produção de energia, gestão ambiental e medicina. Os cromossomos sintetizados quimicamente devem eventualmente ser transplantados para um meio celular onde as instruções codificadas possam ser expressas. Há muito que estamos interessados em definir um genoma mínimo que seja apenas suficiente para a vida celular [1999; 2006] e defendemos a abordagem de síntese química de um genoma como meio de testar hipóteses relativas ao conjunto mínimo de genes. As implicações sociais e éticas deste trabalho foram exploradas (Lartigue *et al.*, 2007, p. 632, tradução nossa).

Mais uma etapa importante foi publicada dois anos antes do famoso artigo de 2010 (FP/CCM-2), sob o título *Complete Chemical Synthesis, Assembly, and*

Cloning of a Mycoplasma genitalium Genome (Síntese Química Completa, Montagem e Clonagem de um Genoma de *Mycoplasma genitalium*).

Mycoplasma genitalium é uma bactéria com o menor genoma de qualquer célula que se replica independentemente e que foi cultivada em cultura pura. Aproximadamente 100 dos seus 485 genes codificadores de proteínas não são essenciais sob condições laboratoriais ideais quando interrompidos individualmente [1999; 2006]. Contudo, não se sabe quais destes 100 genes são simultaneamente dispensáveis. Propusemos que uma abordagem para esta questão seria produzir genomas reduzidos por síntese química e introduzi-los nas células para testar a sua capacidade de fornecer as funções genéticas essenciais à vida [1999; 2007]. Este artigo descreve um passo necessário em direção a esses objetivos – a síntese química completa do genoma de um micoplasma. A própria síntese e montagem deste genoma apresentou um desafio técnico formidável. Embora a síntese química de genes tenha se tornado rotina, os únicos genomas completamente sintéticos relatados até agora foram os virais (Gibson *et al.*, 2008, p. 1215, tradução nossa).

O famoso artigo de 2010 - FP/CCM-1 - reúne as etapas apresentadas nos artigos anteriores para a “construção de uma célula mínima que contenha apenas genes essenciais” (Gibson *et al.*, 2008, p. 52, tradução nossa). Vale ressaltar que tanto nessa publicação quanto no artigo de 2016 - FP/CCM-2, não há menção ao artigo com muitos elementos teóricos discutido acima, *The complexity of simplicity* (A complexidade da simplicidade), de 2001. Até mesmo o título contém em si uma possibilidade de reflexão filosófica que não se sustentou, possivelmente pelo fato de os objetivos práticos do grupo terem sido esclarecidos desde o início das pesquisas.

Embora a Biologia Sintética seja considerada uma área recente, suas raízes na Biologia Molecular e sua inter-relação com outras disciplinas, rapidamente levaram a um cenário epistemológico como o descrito por Fleck, no qual [...]

[...] a tradição, a educação e o hábito [geraram] *uma disposição para um sentir e agir de acordo com um estilo, isto é, um sentir e agir direcionados e restritos*; de modo que a resposta está, na maioria dos casos, pré-formada na pergunta e em que basta decidir-se apenas por um sim ou não ou por uma constatação numérica e até os métodos e aparelhos executarem a maior parte do pensamento para nós (Fleck, 1935/2010, p. 133, grifo do autor).

No ano de 2017, a equipe de Venter apresenta um artigo de revisão, no qual pode ser percebido um esforço da organização do pensamento acerca das suas concepções científicas e filosóficas resultantes de pesquisas que visam construir uma célula mínima contendo somente genes essenciais há mais de duas décadas.

Em *Minimal Cells-Real and Imagined*, Glass e colaboradores buscam discutir o conceito de célula mínima, o motivo pelo qual elas são importantes, a evolução desse conceito e de que modo a criação de uma célula mínima 'viva' mudou esse conceito. Os autores remetem-se à década de 1930 como o início do interesse da comunidade científica na criação de células mínimas bacterianas, período em que o campo da Biologia Molecular dava seus primeiros passos e asseveram que a bactéria JCVI-Syn3.0 é a primeira célula mínima real.

Os pesquisadores consideram que “por analogia, a célula mínima é o átomo de hidrogênio da biologia” (Glass *et al.*, 2017, p. 1, tradução nossa), uma vez que, nos séculos XIX, XX e ainda hoje, o raciocínio dos físicos consiste em acreditar que aquilo que é verdadeiro para o hidrogênio, o mais simples de todos os átomos, também é verdade para os demais elementos mais complexos.

Foi a primeira vez em que a concepção filosófica acerca da célula mínima aparece explícita num artigo do grupo de Venter, bem como as origens mais antigas do conceito. Isso explica a premissa que costuma ser enfatizada pelo grupo de que se a(s) função(ões) de cada gene for determinada, será possível alcançar a total compreensão do que é necessário para estar vivo.

Ainda que as células sejam as unidades mais simples da vida, muitas partes diferentes interagindo compreende até mesmo as células mais simples. Motivado pela mesma visão reducionista que levou os físicos a estudar o átomo de hidrogênio, na década de 1930, o físico Max Delbrueck fundou o *American Phage Group*. Este era um grupo de físicos, químicos e biólogos que argumentaram que a compreensão dos primeiros princípios da vida celular viria através do estudo dos sistemas biológicos mais simples. Eles adotaram uma abordagem reducionista para entender como a vida funciona identificando e determinando como funciona cada elemento essencial em uma célula viva (obviamente, a tecnologia da época não estava à altura da tarefa): daí o conceito de célula mínima. Uma célula mínima conteria apenas os genes essenciais para o crescimento independente em condições laboratoriais ideais. Viveria num ambiente livre de stress, onde todos os nutrientes necessários seriam fornecidos nos meios de crescimento. Nenhum gene pode ser removido sem perda de viabilidade. Uma célula mínima possui todo o maquinário para uma vida celular independente. Não haveria redundância desnecessária (Glass *et al.*, 2017, p. 1-2, tradução nossa).

Partindo desses esclarecimentos e, considerando que em 2016, o grupo anunciou “a construção de uma célula bacteriana que codificava apenas os genes necessários para a vida celular e o rápido crescimento celular em ricos meios de laboratório” os autores expõem suas pretensões, que envolvem o desenvolvimento de modelos computacionais para JCVI-Syn3.0 no intuito de compreender a célula e

fazer previsões quanto ao seu comportamento em resposta às mudanças no genoma ou ao estresse ambiental.

[...] pode ser possível modelar o comportamento da célula mínima num computador e eventualmente prever os efeitos das variações ambientais ou os efeitos de vias metabólicas adicionadas, etc. A partir dessa compreensão dos primeiros princípios da vida celular, pode-se ser capaz de construir células que são mais complexas pela adição de genes e vias metabólicas à célula mínima (Glass *et al.*, 2017, p. 2, tradução nossa).

Não se tem conhecimento suficientemente desenvolvido acerca de dois elementos que os autores valorizam na célula mínima: o metabolismo e a evolução biológica. No ano de 2019, a questão do metabolismo foi estudada com mais detalhes pelo grupo e apresentada no artigo *Essential metabolism for a minimal cell* (Metabolismo essencial para a célula mínima) por meio de um modelo computacional. A visão reducionista da Biologia é manifestada:

Uma maneira de os pesquisadores testarem se entendem um sistema biológico é ver se conseguem recriá-lo com precisão como um modelo de computador. Quanto mais aprendem sobre os seres vivos, mais os investigadores podem melhorar os seus modelos e mais próximos os modelos se tornam da simulação do original. Nesta abordagem, é melhor começar tentando modelar um sistema simples (Breuer *et al.*, 2019, p. 2, tradução nossa).

No caso das células mínimas, os autores assumem que elas possuem metabolismo, já que podem produzir todos os produtos químicos de que necessitam para sobreviver. Acerca da recriação de uma célula mínima no computador, os autores explicam:

Breuer *et al.* desenvolveram um modelo de computador para simular a rede de reações bioquímicas que ocorrem dentro de uma célula mínima com apenas 493 genes. Alterando os parâmetros do seu modelo e comparando os resultados com dados experimentais, Breuer *et al.* exploraram a precisão de seu modelo. No geral, o modelo reproduz resultados experimentais, mas ainda não é perfeito. As diferenças entre o modelo e os experimentos sugerem novas questões e testes que podem avançar na nossa compreensão da biologia (Breuer *et al.*, 2019, p. 2, tradução nossa).

Também são apresentadas expectativas acerca dos modelos computacionais de células mínimas como caminho para recriação e compreensão de sistemas vivos complexos e aplicações práticas na indústria e na medicina.

Continuar a desenvolver e expandir modelos como estes para reproduzir sistemas vivos mais complexos fornece uma ferramenta para testar o conhecimento atual da biologia. Estes modelos podem tornar-se tão avançados que poderão prever como os seres vivos responderão a situações de mudança. Isto permitiria aos cientistas testar ideias mais cedo e fazer progressos muito mais rápidos na compreensão da vida na Terra. Em última análise, estes modelos poderão um dia ajudar a acelerar processos médicos e industriais para salvar vidas e aumentar a produtividade (Breuer *et al.*, 2019, p. 2, tradução nossa).

Outro aspecto que sempre despertou o interesse do grupo foi o processo da evolução biológica da célula mínima. Os pesquisadores relembram que os requisitos genéticos para processos celulares básicos, tais como metabolismo e divisão celular foram identificados experimentalmente, respectivamente, nos anos de 2019 e 2021. Porém, esclarecem que o modo como uma célula mínima responderá às forças da evolução ainda não foi esclarecido. Isso sugere que o artigo de 2023 apresenta os primeiros passos dessa investigação.

Em *Evolution of a minimal cell* (Evolução de uma célula mínima), publicado em 2023, foi investigado como uma célula mínima projetada enfrenta as forças da evolução no decorrer de 2000 gerações de evolução experimental em comparação com a célula não mínima de *Mycoplasma mycoides*. Os autores concluíram que “a célula mínima evoluiu 39% mais rápido que a célula não mínima”. Além disso, “o tamanho da célula não mínima aumentou 80%, enquanto a célula mínima permaneceu a mesma” (Moger-Reische *et al.*, 2023, p. 122, tradução nossa). Outros resultados são descritos, como

[...] a redução do genoma não alterou os recursos celulares de nenhuma forma fundamental que interferisse na capacidade de desenvolver uma maior aptidão. Em vez disso, a seleção natural durante o crescimento laboratorial prolongado superou quaisquer efeitos deletérios da ruptura do genoma e da deriva associada à racionalização sintética que poderia ter levado as populações da célula mínima à extinção (Moger-Reische *et al.*, 2023, p. 126, tradução nossa)

O artigo não deixa dúvidas quanto à permanência do conceito clássico de célula e do conceito de célula mínima na concepção da equipe de Venter. Afirmações como “a célula é a unidade funcional independente mais simples da vida” e “uma célula mínima foi construída com um genoma contendo apenas o menor conjunto de genes necessários para a vida celular autônoma” (Moger-Reische *et al.*, 2023, p. 122, tradução nossa) são esclarecedoras a esse respeito.

O princípio virchowiano de que toda célula se origina de outra pré-existente continua válido? A primeira célula bacteriana syn3.0 de uma linhagem depende absolutamente da estrutura da célula receptora, que posteriormente passa a ser controlada pelo genoma sintetizado a partir de pedaços de DNA prontos. Essa célula se autorreplica e, segundo os pesquisadores, as células resultantes são consideradas sintéticas, pois suas estruturas são produzidas a partir das informações do novo genoma.

Logo, *Omnis cellula ex cellula* se mantém no contexto da célula com genoma mínimo sintetizado. Com efeito, a síntese de uma célula funcional artificial, independente de outra, em condições físico-químicas ou 'genômicas' ainda não foi anunciada. Tentativas não faltaram, desde os primórdios da Biologia Sintética no início do século XX, como os experimentos de Leduc e Burke, os diversos estudos teóricos e práticos sobre a origem da vida, as pesquisas mais atuais com protocélulas (outra abordagem de célula mínima).

Esse cenário seria efeito da forte coerção objetiva (Acoplamento Passivo) de um dos aforismos mais famosos da Biologia? O 'ver formativo' respaldado na teoria celular não tem permitido ideias e práticas mais ousadas acerca da produção de uma célula totalmente artificial? Complicações fleckianas estão sendo silenciadas ou nenhuma evidência contrária apareceu desde a primeira publicação de 'A Patologia Celular', de Virchow, em 1858.

O conceito de célula mínima deriva do conceito clássico de célula, contudo, são objetos diferentes. Com a redução do genoma, as funções da célula mínima são limitadas e direcionadas para um objetivo, o meio em que se estabelece é necessariamente controlado e rico em nutrientes. O projeto, a digitalização do genoma e sua síntese resultam num objeto que não existe na natureza, ou seja, o genoma é uma construção humana. Portanto, embora estruturalmente semelhante a uma célula natural, pois os componentes celulares da célula receptora já existem – estes não foram criados na origem, mas produzidos ao longo das linhagens - funcionalmente, a célula mínima seria controlada por um genoma projetado por um computador.

O aspecto da máquina está presente de um modo novo na metáfora do *organismo como máquina*, ou seja, na ontologia de um genoma. Originalmente, a célula em si não é artificial, uma vez que membrana plasmática, citoplasma,

organelas e moléculas diversas já existem na célula receptora do genoma. Pode-se falar que a vida da bactéria syn3.0 seria artificial?

Durante o desenvolvimento do conhecimento, os processos evolutivos de mudanças ocorrem lentamente, por complementação, ampliação ou transformação do estilo de pensamento, as mutações fleckianas. Mesmo sendo considerados objetos diferentes em última análise, tanto o conceito clássico de célula quanto o conceito de célula mínima são orientados pelo Estilo de Pensamento mecanicista com ênfase na informação do genoma, o que pode ser considerado uma atualização (nuance ou variedade) do Estilo de Pensamento que orienta o conceito clássico de célula – desde a instauração da ideia de um programa genético que determina as funções celulares.

Essa novidade da Biologia Molecular pode ser considerada uma complementação, a qual, segundo Fleck, pode fazer parte do processo de desenvolvimento de um Estilo de Pensamento. Uma transformação (Mutação fleckiana) no Estilo de Pensamento requer um movimento de circulação do conhecimento que não parece estar em voga na Biologia.

Fica evidente a concepção de *vida como informação* (Canguilhem, 1973) nas pesquisas da equipe de Venter. Do mesmo modo que a célula natural e célula mínima são objetos diferentes, a vida natural e a vida de laboratório podem seguir a mesma premissa, de modo que a concepção da vida artificial não interfira no que se compreende por vida natural, cuja discussão permanece aberta. Mas qual versão desse Fato Científico está sendo acessada pelo Círculo Exotérico? A próxima análise, relacionada à ciência popular, pode ajudar a entender melhor a dinâmica desse conhecimento.

9.3 TEXTOS JORNALÍSTICOS DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA SOBRE A CÉLULA MÍNIMA

A primeira estratégia para selecionar os textos jornalísticos de divulgação científica (TJ) que tratam da célula mínima foi uma pesquisa sobre as notícias divulgadas ao público geral exotérico pelo site do J. Craig Venter Institute (JCVI) – fontes TJ/CCM-1A e TJ/CCM-2A. Outro modo de seleção foi uma consulta geral desses textos no ano das publicações científicas consideradas na análise das fontes primárias, utilizando palavras-chave relacionadas aos artigos científicos. Essas

fontes foram localizadas por meio do mecanismo de pesquisa mais popular da internet - o Google, a partir do ano de 2010¹⁵⁴, visando analisar a circulação do conhecimento sobre a célula mínima no contexto da ciência popular. Suas referências encontram-se no QUADRO 5.

Considerando a característica reduzida dos textos, os excertos são apresentados concomitantemente ao desenvolvimento da análise. Metodologicamente, essa análise está relacionada ao terceiro elemento da teoria comparada do conhecimento de Fleck, o estado do saber/conhecimento. Desse modo, o estudo das fontes foi desenvolvido com base na categoria *Influência do contexto na interpretação do objeto de investigação*, concebida a partir do elemento temático *Construção do conhecimento* (QUADRO 6).

Notícias publicadas no site do J. Craig Venter Institute (JCVI)

O primeiro texto, correspondente à TJ/CCM-1A, apresenta a primeira divulgação sobre a “construção bem-sucedida do primeiro sistema autorreplicante, célula bacteriana sintética” pelo site do J. Craig Venter Institute (JCVI), identificado como uma “organização de pesquisa genômica sem fins lucrativos” (JCVI, 2010, tradução nossa). As palavras do proprietário do instituto são anunciadas:

"Por quase 15 anos, Ham Smith, Clyde Hutchison e o restante de nossa equipe têm trabalhado nesta publicação - a conclusão bem-sucedida de nosso trabalho para construir uma célula bacteriana totalmente controlada por um genoma sintético", disse J. Craig Venter, Ph.D., fundador e presidente da JCVI e autor sênior do artigo. "Fomos consumidos por esta pesquisa, mas também estivemos igualmente focados em abordar as implicações sociais do que acreditamos que será uma das tecnologias e motores industriais mais poderosos para o bem social. Esperamos continuar a revisão e o diálogo sobre aplicações importantes deste trabalho para garantir que ele seja usado para o benefício de todos" (JCVI, 2010, tradução nossa).

Seguem explicações de outro pesquisador da equipe, o microbiologista Hamilton Othanel Smith:

¹⁵⁴ Ano da publicação do artigo intitulado *Creation of a Bacterial Cell Controlled by a Chemically Synthesized Genome* (Gibson *et al.*, 2010), que descreve a obtenção da ‘célula mínima’ bacteriana *Mycoplasma mycoides*, a qual continha apenas genes considerados essenciais a partir de uma sequência digitalizada do DNA.

De acordo com Smith, "com esta primeira célula bacteriana sintética e as novas ferramentas e tecnologias que desenvolvemos para concluir com sucesso este projeto, agora temos os meios para dissecar o conjunto de instruções genéticas de uma célula bacteriana para ver e compreender como ela realmente funciona (JCVI, 2010, tradução nossa).

A reportagem continua com descrição simplificada do conteúdo do artigo FP/CCM-1 e considerações do autor principal, Daniel G. Gibson:

Gibson afirmou: "Para produzir uma célula sintética, nosso grupo teve que aprender como sequenciar, sintetizar e transplantar genomas. Muitos obstáculos tiveram que ser superados, mas agora somos capazes de combinar todas essas etapas para produzir células sintéticas em o laboratório." Ele acrescentou: "Podemos agora começar a trabalhar no nosso objetivo final de sintetizar uma célula mínima contendo apenas os genes necessários para sustentar a vida na sua forma mais simples. Isto irá ajudar-nos a compreender melhor como as células funcionam" (JCVI, 2010, tradução nossa).

O comentário entusiasta de Clyde A. Hutchison, pesquisador que liderou o desenvolvimento da técnica de mutagênese global por transposon, também é exposto:

Para mim, a coisa mais notável sobre a nossa célula sintética é que o seu genoma foi concebido no computador e trazido à vida através de síntese química, sem utilizar quaisquer pedaços de DNA natural. Isto envolveu o desenvolvimento de muitos métodos novos e úteis ao longo do caminho. Temos reunimos um grupo incrível de cientistas que tornaram isso possível" (JCVI, 2010, tradução nossa).

As marcas d'água utilizadas para diferenciar o genoma sintético do natural também serviram como modo de divulgação do projeto ao público, que foi desafiado a identificar seu conteúdo. Sob o olhar fleckiano, essa ação promoveu a circulação do conhecimento para o Círculo Exotérico interessado ou curioso a respeito do novo código genético que os especialistas disponibilizaram com a possibilidade de ser decifrado pelo público leigo. Sobre esse recurso, a reportagem esclarece:

Tal como na publicação da equipe de 2008, na qual descreveram a síntese bem-sucedida do genoma do *M. genitalium*, desenharam e inseriram no genoma o que chamaram de marcas de água. Estes são segmentos de DNA especificamente projetados que usam o “alfabeto” de genes e proteínas que permitem ao pesquisador soletrar palavras e frases. As marcas d’água são um meio essencial para comprovar que o genoma é sintético e não nativo, e para identificar o laboratório de origem. Codificado nas marcas d’água está um novo código de DNA para escrever palavras, frases e números. Além do novo código, há um endereço da web para enviar e-mails se você conseguir decodificar com sucesso o novo código, os nomes de 46 autores e outros colaboradores importantes e três citações: "VIVER, ERRAR, CAIR, TRIUNFAR, RECRIAR A VIDA FORA DA VIDA." - JAMES JOYCE; "VEJA AS COISAS NÃO COMO SÃO, MAS COMO PODEM SER." - Uma citação do livro "American Prometheus"; "O QUE NÃO POSSO CONSTRUIR, NÃO CONSIGO ENTENDER." - RICHARD FEYNMAN (JCVI, 2010, tradução nossa).

Enquanto no artigo científico FP/CCM-1 a menção aos aspectos éticos e sociais são restringidos a um único parágrafo ao final do escrito, o texto jornalístico TJ/CCM-1A contém uma abordagem mais ampla, desde a fala de Venter citada anteriormente, que enfatiza os benefícios sociais da pesquisa até comentários mais específicos, mesclando informações técnicas do artigo com especificações quanto às demandas sociais.

Os cientistas do JCVI preveem que o conhecimento adquirido com a construção desta primeira célula sintética autorreplicante, juntamente com a diminuição dos custos para a síntese de DNA, dará origem a uma utilização mais ampla desta poderosa tecnologia. Isto conduzirá, sem dúvida, ao desenvolvimento de muitas aplicações e produtos importantes, incluindo biocombustíveis, vacinas, produtos farmacêuticos, água potável e produtos alimentares. O grupo continua a impulsionar e apoiar a discussão e revisão ética para garantir um resultado positivo para a sociedade (JCVI, 2010, tradução nossa).

Uma sessão do texto intitulada ‘Considerações éticas’ apresenta um detalhamento de ações que o grupo considera adequadas e suficientes para assegurar a pesquisa, manifestando a convicção de que “desde o início da busca para compreender e construir um genoma sintético, o Dr. Venter e sua equipe têm se preocupado com as questões sociais que envolvem o trabalho”. O exame da pesquisa por um Coletivo de Pensamento bioético, de caráter independente, mostra um Tráfego Intercoletivo com certo poder coercitivo da Biologia Sintética em relação à Bioética, uma vez que as considerações éticas são todas favoráveis à pesquisa.

Em 1995, enquanto a equipe fazia pesquisas sobre o genoma mínimo, o trabalho passou por uma revisão ética significativa por um painel de especialistas da Universidade da Pensilvânia. As deliberações independentes do grupo bioético, publicadas ao mesmo tempo que a investigação científica do genoma mínimo, resultaram numa decisão unânime de que não havia razões éticas fortes para que o trabalho não devesse continuar enquanto os cientistas envolvidos continuassem a envolver-se na discussão pública (JCVI, 2010, tradução nossa).

A legitimação ética da pesquisa continua sendo reafirmada com a aproximação da equipe de Venter com círculos exotéricos de diversos Coletivos de Pensamento. Considerando os resultados do trabalho interdisciplinar com diversos grupos, o conhecimento sobre a genômica sintética parece alcançar esses círculos de modo coercitivo.

No próximo trecho, é possível perceber o que Fleck denomina de estrutura universal do coletivo de pensamento, “em torno de qualquer formação do pensamento”, na qual “forma-se um pequeno círculo esotérico e um círculo exotérico maior de participantes do coletivo de pensamento” (Fleck, 2010, 1935, p. 157)

Venter e a equipe da JCVI continuam a trabalhar com bioeticistas, grupos políticos externos, membros e funcionários legislativos e o público para incentivar a discussão e a compreensão sobre as implicações sociais de seu trabalho e o campo da genômica sintética em geral. Como tal, a equipe política do JCVI, juntamente com o Centro de Estudos Estratégicos e Internacionais (CSIS) e o Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), foram financiados por uma doação da Fundação Alfred P. Sloan para um estudo de 20 meses que explorou os riscos e benefícios desta tecnologia emergente, bem como possíveis salvaguardas para prevenir abusos, incluindo o bioterrorismo. Após vários workshops e sessões públicas, o grupo publicou um relatório em outubro de 2007 delineando opções para a área e para os seus investigadores (JCVI, 2010, tradução nossa).

Fleck considera que somente por meio da intermediação do Círculo Esotérico, o Círculo Exotérico possui alguma relação com a formação de pensamento. Nesse caso, a aparente ausência de contraposição à pesquisa pelos grupos exotéricos envolvidos reforça a manutenção do sistema de opinião elaborado e fechado que constitui o Estilo de Pensamento da equipe de Venter. Diz Fleck:

A relação da maioria dos participantes do coletivo de pensamento com as formações do estilo de pensamento reside, portanto, na confiança nos iniciados. Mas até esses iniciados não são, de maneira alguma, independentes: dependem mais ou menos, de maneira consciente ou inconsciente, da “opinião pública”, isto é, da opinião do círculo exotérico. Dessa maneira surge, de modo geral, o fechamento interno do estilo de pensamento e sua tendência à persistência (Fleck, 1935/2010, p. 157).

O texto é finalizado comunicando o recebimento de financiamento da organização filantrópica, Fundação Alfred P. Sloan, para investigar preocupações éticas e sociais associadas ao desenvolvimento da genômica sintética. Segundo a reportagem, o objetivo da pesquisa em andamento consiste em “informar a comunidade científica, bem como educar os nossos decisores políticos e jornalistas para que possam participar em discussões informadas sobre o tema” (JCVI, 2010, tradução nossa).

A Epistemologia fleckiana não me permite ver de outro modo as expressões ‘educar os nossos decisores políticos e jornalistas’ e ‘discussões informadas’ no contexto do Tráfego Intracoletivo de Pensamento. Tais expressões são indicativas de fortes coerções da equipe de Venter para o fortalecimento dos valores de pensamento da Biologia Sintética numa atmosfera comum específica. Fleck esclarece que:

Fazendo parte de uma comunidade, o estilo coletivo de pensamento passa por um fortalecimento social comum a todas as formações sociais e é submetido a um desenvolvimento através de gerações. Transforma-se em coação para os indivíduos, definindo ‘o que não pode ser pensado de outra maneira’, fazendo com que épocas inteiras vivam sob a coerção de um determinado pensamento, queimando aqueles que pensam diferente, que não participam da atmosfera (*Stimmung*) coletiva e que são considerados pelo coletivo como criminosos (Fleck, 1935/2010, p. 150, grifo do autor)

A notícia publicada em 24 de março de 2016, mesmo dia do anúncio do projeto e construção da primeira célula bacteriana sintética mínima, JCVI-syn3.0, possui caráter cientificista explícito, não abordando, portanto, fatores extracientíficos como identificado na análise anterior. Essa fonte corresponde à TJ/CCM-2A.

O texto contém explicações simplificadas do artigo FP/CCM-2, resultados e algumas declarações dos cientistas, caracterizando bem o que Fleck denomina de Ciência popular, na qual uma das características é “a ausência de detalhes e principalmente de polêmicas, de modo que se consegue uma simplificação artificial. Além disso, há a execução esteticamente agradável, viva e ilustrativa” (Fleck, p. 166)

Craig Venter, fundador, presidente executivo e CEO da JCVI afirma:

Nossa tentativa de projetar e criar uma nova espécie, embora bem-sucedida, revelou que 32% dos genes essenciais para a vida nesta célula têm função desconhecida e mostrou que muitos são altamente conservados em numerosas espécies. Todos os estudos de bioinformática dos últimos 20 anos subestimaram o número de genes essenciais, concentrando-se apenas no mundo conhecido. Esta é uma observação importante que estamos levando adiante no estudo do genoma humano (JCVI, 2016, tradução nossa).

A fala de Hutchison selecionada para a notícia também está alinhada ao caráter científico do texto. O Ilustre Professor comenta: “Este artigo representa mais de cinco anos de trabalho de um grupo de pessoas incrivelmente talentosas. Nosso objetivo é ter uma célula cuja função biológica precisa de cada gene seja conhecida” (JCVI, 2016, tradução nossa).

Do mesmo modo, Gibson manifesta as expectativas do grupo:

Este artigo significa um grande passo em direção à nossa capacidade de projetar e construir organismos sintéticos de baixo para cima com resultados previsíveis. As ferramentas e o conhecimento adquiridos com este trabalho serão essenciais para produzir plataformas de produção de próxima geração para uma ampla gama de disciplinas (JCVI, 2016, tradução nossa).

Fleck atribui importância epistemológica à ciência popular, de modo que outras fontes foram selecionadas para prosseguir a análise da relação entre o Círculo Esotérico do conhecimento especializado e o Círculo Exotérico da ciência popular, uma vez que tal relação é um dos modos de ocorrência do Tráfego Intracoletivo de conhecimento. O médico polonês explica a dependência recíproca, a trama de relações entre os Círculos Esotérico e Exotérico:

Por mais que qualquer visão de mundo seja insignificante para as pretensões de um especialista, ela forma, assim mesmo, o pano de fundo que determina os traços gerais do seu estilo de pensamento, mesmo que se trate apenas de um sentimento elevado das relações interligadas de todo o saber humano; ou da crença na possibilidade de uma ciência universal, ou da crença na capacidade, embora limitada, de desenvolvimento da ciência. Dessa maneira, fecha-se o círculo da dependência intracoletiva do saber: a partir do saber especializado (esotérico), surge o saber popular (exotérico). Este se apresenta, graças à simplificação, ao seu caráter ilustrativo e apodítico, de uma forma segura, mais bem acabada e sólida. O saber popular forma a opinião pública específica e a visão de mundo, surtindo, dessa forma, um efeito retroativo no especialista (Fleck, 1935/2010, p. 166).

Outros textos jornalísticos de divulgação científica

A combinação das palavras/descriptores *célula - artificial - Venter - 2010* em busca eletrônica simples¹⁵⁵ resultou em notícias relacionadas ao artigo FP/CCM-1. Do mesmo modo, em relação às reportagens associadas ao artigo FP/CCM-2 foram utilizadas as palavras-chave *célula - artificial – Venter - 2016*. Os textos das mídias digitais foram lidos e selecionados seguindo pelo menos três critérios: i) ordem em que aparece na página de resultados; ii) presença de contrapontos e/ou controvérsias; iii) título impactante e/ou criativo. Esses elementos foram admitidos como favoráveis à análise da circulação do conhecimento entre os Círculos Esotérico e Exotérico. No QUADRO 5 constam as referências dos textos selecionados.

Fleck explica que os sinais mais marcantes do saber exotérico são a imagem da ciência simplificada, ilustrativa e a avaliação apodítica, na qual pontos de vista são aprovados ou reprovados. Segundo o médico polonês, “o auge, o objetivo do saber popular, é a visão de mundo (*Weltanschauung*), uma formação peculiar que tem suas origens numa seleção emotiva de um saber popular de diversas áreas” (Fleck, 1935/2010, p. 166, grifo do autor). De modo geral, as notícias sobre a célula mínima explicam a pesquisa de modo abreviado, priorizam as falas de Venter, falam de expectativas, benefícios e algumas contraposições.

As fontes seguintes, associadas à publicação do artigo FP/CCM-1 mostram textos jornalísticos de divulgação científica (TJ) no ano do anúncio de *M. mycoides* JCVI-syn1.0 como a primeira célula bacteriana sintética autorreplicante (2010).

É possível encontrar elementos da ciência popular na perspectiva fleckiana no texto codificado por TJ/CCM-1B, nomeado ‘Cientistas montam célula controlada por genoma fabricado em laboratório’, divulgado na tarde do dia 20 de maio de 2010 (mesmo dia do anúncio dos pesquisadores).

Cientistas do Instituto J. Craig Venter anunciaram nesta quinta-feira (20) o desenvolvimento da primeira célula controlada por um genoma sintético. Agora, esperam usar o método para compreender melhor o mecanismo básico que guia todas as formas de vida e para desenvolver bactérias sob medida que, por exemplo, produzam biocombustível ou ajudem a limpar vazamentos de petróleo. O instituto entrou com pedidos de patente para salvaguardar direitos de propriedade intelectual sobre algumas das técnicas desenvolvidas (G1, 2010).

¹⁵⁵ Pesquisa Google, atualmente o serviço de busca na internet mais utilizado do mundo, simulando uma busca comum de pessoa com interesse ou curiosidade sobre o assunto.

O conteúdo de dois artigos científicos anteriores da equipe de Venter (Lartigue *et al.*, 2007; Gibson *et al.*, 2008) é resumido em algumas palavras: “o grupo já havia sintetizado quimicamente um genoma de bactéria, e também já havia transplantado o genoma de uma bactéria para outra” (G1, 2010). A simplificação textual continua, acompanhada de uma justificativa de Venter ao fato de que a célula é considerada sintética por sua equipe:

[...] o cientista Daniel Gibson e seus colegas (todos empregados no instituto criado pelo empresário-biólogo Craig Venter) juntaram os dois métodos para criar o que batizaram de “célula sintética” – ainda que apenas o genoma da célula seja sintético. “Nós chamamos de sintético porque a célula é totalmente derivada de um cromossomo fabricado em um sintetizador químico, com base em informações em um computador”, explicou Venter (G1, 2010).

Embora Fleck não tenha desenvolvido uma análise epistemológica detalhada da ciência popular, reconhece seu valor na teoria do conhecimento, a ponto de constatar que especialistas, seja um economista, um biólogo, um filósofo, utilizam conceitos provenientes do repertório do saber popular e desenvolvem suas ciências especializadas em volta desses conceitos. A dinâmica própria do Estilo de Pensamento depende, segundo Fleck, desse efeito retroativo da ciência popular sobre o saber especializado. Desse modo, erros conceituais ou de interpretação precisam ser evitados em artigos jornalísticos de divulgação científica.

O parágrafo seguinte apresenta pelo menos duas informações mal interpretadas do artigo original. Passa a ideia de o genoma sintético é exatamente igual ao genoma natural de *M. Mycoides*. Porém, existem algumas alterações que o tornam diferente de qualquer genoma conhecido encontrado naturalmente. O comportamento de *M. Mycoides* JCVI-syn1.0 (célula receptora do genoma sintético), segundo o artigo original, mostra pequenas diferenças nas taxas de crescimento e nos padrões de manchas proteicas.

O genoma sintético é uma cópia de genoma da bactéria *Mycoplasma mycoides*. Só que à cópia foram adicionadas sequências de DNA montadas em laboratório que serviram como marcas d'água para distingui-la de um genoma natural. O resultado, transplantado na bactéria *Mycoplasma capricolum*, deu “reboot” nas células receptoras. Na hora do transplante, 14 genes foram deletados ou rompidos, mas mesmo assim as *M. mycoides* se comportaram como *M. mycoides* normais, e só produziram proteínas próprias de *M. mycoides* (G1, 2010).

Uma citação direta dos autores sobre a possibilidade de generalização do método por eles desenvolvido para o progresso da Biologia Sintética é acompanhada de um 'aviso' de Venter: "É uma ferramenta muito poderosa para tentar projetar o que desejamos que a biologia faça. Temos uma ampla gama de aplicações em mente" (G1, 2010).

O texto encerra com comentários acerca das aspirações entusiasmadas e sobre a questão do controle ou privilégio de Venter sobre métodos usados nas pesquisas com Biologia Sintética, que geram muitas críticas de cientistas.

Uma das propostas de Venter (que ele vem propagando não é de hoje) é fazer sua "vida 2.0" produzir etanol (álcool) ou hidrogênio, como forma barata de obtenção desses combustíveis limpos. O cientista-empresário já foi acusado de estar criando a "MicróbioSoft" (em referência à Microsoft de Bill Gates), impedindo o uso livre da chamada biologia sintética e mesmo monopolizando a tecnologia. Outros cientistas defendem a chamada "biologia sintética open-source" (de fonte aberta), na qual as informações para a construção de novos organismos ficariam disponíveis para uso gratuito de toda a comunidade científica (G1, 2010).

Outro texto jornalístico de divulgação científica selecionado da mesma época, foi identificado como TJ/CCM-1C. Com o título 'Grupo nos EUA fabrica 1ª célula sintética', a reportagem publicada em 21 de maio de 2010, traz elementos mais contundentes e detalhados dos bastidores da pesquisa.

Não é ainda vida artificial criada do zero, mas é quase. Após 15 anos de esforços e gastos de US\$ 40 milhões, cientistas nos EUA construíram a primeira célula viva sintética. Trata-se de uma bactéria cujo DNA foi inteiramente sintetizado a partir de informações contidas num computador e depois inserido num micróbio "oco", sem DNA. Este foi "reinicializado" e passou a se replicar, dando origem a colônias de células sintéticas (Folha de São Paulo, 2010).

A reportagem menciona uma das frases mais famosas de Venter acerca do feito do grupo, "É a primeira espécie que se replica que tivemos neste planeta cujo pai foi um computador". Além disso, define o líder da pesquisa como o "polêmico cientista e empreendedor, famoso por ter liderado o esforço privado de sequenciamento do genoma humano (o dele próprio) na década passada", afirmando que ele "não economizou palavras sobre o feito: 'estamos entrando em uma era limitada apenas pela nossa imaginação' (Folha de São Paulo, 2010).

O destaque às declarações de Venter continua no decorrer da reportagem, com mais uma fala bastante difundida, porém ausente no artigo original. Isso mostra

o que Fleck chama de psicologia individual, não manifestada no Coletivo de Pensamento. “É um passo importante tanto cientificamente como filosoficamente. Certamente mudou minhas visões das definições da vida e de como a vida funciona”, declarou o pesquisador, cujo trabalho foi publicado *on-line* ontem pela revista *Science*” (Folha de São Paulo, 2010).

Opiniões favoráveis e contrárias à realização da equipe de Venter são apontadas. A primeira por um participante do grupo bioético que fez uma revisão ética da pesquisa, o qual faz menção ao vitalismo, considerando que a célula mínima como marco da eliminação da ideia da força vital.

O feito de Venter parece liquidar o argumento de que a vida requer uma força ou um poder especial para existir. Na minha visão, isso o torna um dos feitos científicos mais importantes da história da humanidade’, disse o bioeticista Arthur Caplan, da Universidade da Pensilvânia. Ele comentou o estudo para a revista *Nature* (Folha de São Paulo, 2010).

A posição antagônica veio de um dos agraciados com o Prêmio Nobel em Medicina de 1975,¹⁵⁶ apontado como um dos cientistas que veem o feito com mais cautela, nos seguintes termos: “Para o Nobel de Medicina David Baltimore, Venter ‘superestimou a importância’ do trabalho. Para Baltimore, trata-se de uma façanha técnica, mas não de uma revolução conceitual” (Folha de São Paulo, 2010).

Uma sessão do texto denominada ‘Para que serve’ dedica mais espaço à descrição do processo de obtenção da célula mínima do que à sugestão do subtítulo.

A criação de micróbios com genomas sintéticos serviria para facilitar a produção de vacinas, para a produção de combustíveis ou para sequestrar gás carbônico do ar. A ideia é levar a engenharia genética ao extremo, construindo DNA que permitisse à criatura produzir proteínas que não produziria de outra forma (Folha de São Paulo, 2010).

Apresenta a pesquisa com simplificações artificiais (Fleck, 1935/2010), de modo didático, com analogias diversas e detalhes curiosos, além do uso de termos

¹⁵⁶ O Prêmio Nobel de Fisiologia ou Medicina de 1975 foi concedido conjuntamente a David Baltimore, Renato Dulbecco e Howard Martin Temin pelas suas pesquisa relativas à interação entre os vírus tumorais e o material genético da célula (<https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/1975/summary/>).

da ciência computacional – a incorporação do termo *software* para se referir ao DNA foi retirado do artigo original, porém vão além, comparando a célula ao computador de um modo que não foi explicitado pelos autores. Os efeitos ou impactos desse tipo de linguagem merecem ser analisados a longo prazo, especialmente na perspectiva da metáfora do *organismo como máquina*.

Venter e seus colegas partiram da sequência do genoma (o conjunto dos genes de uma criatura) conhecido de uma bactéria e montaram uma versão sintética, ‘como quem tem uma caixa de Legos e tem de montá-los na ordem correta’. Duas bactérias parecidas foram usadas. A equipe sintetizou o genoma da espécie *Mycoplasma mycoides*, com alguns acréscimos e cortes para servir como forma de identificação (por exemplo, fazendo a bactéria ficar azulada), e transplantou os genes artificiais na sua ‘prima’ *Mycoplasma capricolum*. Ou seja, apenas o genoma era sintético, não a célula toda. O grande feito foi fazer o genoma sintético ‘religar’ a célula e transformá-la em uma nova espécie. Venter compara o trabalho com computação. O que a equipe fez foi trocar o ‘software’ do sistema operacional e fazer um computador inoperante voltar a funcionar. A espécie artificial foi batizada como *Mycoplasma mycoides* JCVI-syn1.0, sigla para ‘organismo sintético do James Craig Venter Institute 1.0’ (Folha de São Paulo, 2010).

O artigo original é assinado por vinte e quatro cientistas, no entanto, somente um deles, Daniel G. Gibson é mencionado e logo esquecido – “Venter trocou a bactéria...” Isso reforça a ideia da ciência como atividade individual, prejudicial à compreensão do processo de construção do conhecimento, contra a qual Fleck desenvolveu sua teoria epistemológica.

Venter e seu colega Daniel G. Gibson primeiro trabalharam com uma bactéria com o menor genoma conhecido, a *Mycoplasma genitalium*, com 600 mil “letrinhas” (as bases químicas do DNA) e 500 genes. Em 2008, eles já tinham conseguido criar um cromossomo artificial com essa bactéria. Mas, como a *M. genitalium* demora para crescer, Venter trocou a bactéria por uma com genoma maior (1 milhão de bases), mas de crescimento bem mais rápido, a *M. mycoides* (Folha de São Paulo, 2010, grifo nosso).

Outra sessão denominada ‘Reações’ explicita o receio de grupos ambientalistas de que as novas criaturas escapem para o ambiente e a justificativa dos pesquisadores a respeito das questões éticas e sociais.

Ambientalistas reclamaram da pesquisa ontem¹⁵⁷. A ONG Amigos da Terra rogou a Venter que parasse suas pesquisas enquanto não houvesse regulamentação do governo dos EUA sobre micróbios sintéticos. [...] Venter diz que seu trabalho tem sido analisado por comitês de ética acadêmicos e governamentais desde 1995 (Folha de São Paulo, 2010).

Fleck argumenta que o desenvolvimento do conhecimento, conforme sua teoria epistemológica, se dá quando o saber popular produz a opinião pública e a visão de mundo, que constitui o cenário/pano de fundo do Estilo de Pensamento dos especialistas/cientistas. Tal efeito retroativo proveniente do caráter democrático da ciência, sociologicamente explicado quando as massas têm uma posição mais forte que a elite, depende da produção e divulgação de materiais mais robustos que problematizem o assunto. Desse modo, poderia ser constatada a via dupla de circulação do conhecimento entre os Círculos Esotérico e Exotérico, com a possibilidade de influência nas ideias e práticas do círculo de especialistas.

O próximo texto selecionado, codificado por TJ/CCM-1D é uma republicação brasileira da revista britânica *New Scientist*, com o título 'Imaculada criação: o nascimento da primeira célula sintética', de 21 de maio de 2010. Das três fontes obtidas de *sites* nacionais que fazem referência ao famoso artigo de 2010 - FP/CCM-1 – somente essa contém *link* com referência do periódico. Utilizando o modelo de perguntas e respostas, a reportagem traz em diversos momentos, de modo mais explícito que as anteriores, o caráter apodítico que Fleck considera inerente à apresentação da ciência popular. Logo na primeira fase, desmitificam a ideia do título sensacionalista da matéria.

Pela primeira vez, cientistas criaram vida a partir do zero – bem, mais ou menos. A equipe de Craig Venter criou um genoma bacterial a partir de pedaços menores de DNA e então transplantou tudo para outra célula. A célula foi criada costurando o genoma de um patógeno de cabra, chamado *Mycoplasma mycoides*, a partir de pedaços menores de DNA sintetizados em laboratório, e inserindo o genoma no citoplasma vazio de uma bactéria semelhante. O genoma transplantado se ativou na célula-hospedeiro, e então se dividiu várias vezes para gerar bilhões de células de *M. mycoides* (UOL, 2010).

A menção às técnicas que possibilitaram a criação da célula com genoma sintético, presente nos textos anteriores, também aparece. Contudo, de modo

¹⁵⁷ Essa matéria foi publicada no dia seguinte ao anúncio dos resultados da pesquisa pelo J. Craig Venter Institute – JCVI.

diferente, são disponibilizados *links*¹⁵⁸ do J. Craig Venter Institute e de notícias da *New Scientist* sobre as técnicas, a partir do parágrafo seguinte:

Craig Venter e sua equipe do Instituto J. Craig Venter em Rockville, Maryland (EUA) e San Diego, Califórnia, já tinham alcançado os dois feitos – criar um genoma sintético e transplantar um genoma de uma bactéria para outra – mas desta vez eles combinaram os dois (UOL, 2010).

A popular frase em que Venter que atribui a paternidade da célula mínima ao computador, mencionada na entrevista coletiva, vem acompanhada de uma rápida explicação, “referindo-se ao fato que a equipe dele converteu o genoma de uma célula que existia como dados em um computador em um organismo vivo” (UOL, 2010).

A explicação dos marcadores no genoma sintético (chamados de marcas d’água no artigo científico) com os nomes de todos os cientistas do projeto e várias citações filosóficas escritas num código secreto explica como os cientistas puderam ter certeza de que a nova bactéria era aquilo que eles queriam criar.

A resposta à questão ‘Então quer dizer que eles criaram vida?’ ratifica a argumentação inicial do texto.

Depende de como você define ‘criar’ e ‘vida’. A equipe de Venter fez o genoma com sequências de DNA que foram inicialmente feitas com uma máquina, mas bactérias e células de levedura foram usadas para juntar os pedaços e duplicar os milhões de pares de bases que o genoma contém. A célula na qual o genoma sintético foi transplantado continha suas próprias proteínas, lipídios e outras moléculas. O próprio Venter diz que não criou vida. ‘Nós criamos a primeira célula sintética’, diz ele. ‘Nós definitivamente não criamos a vida a partir do zero, porque usamos uma célula recipiente para ativar o cromossomo sintético’ (UOL, 2010).

A visão de um pesquisador do campo da Biologia Sintética de outro grupo é colocada como possibilidade de reflexão.

Se você concorda ou não, é uma questão filosófica, não científica – já que não há diferença biológica entre bactérias sintéticas e bactérias ‘de verdade’, diz Andy Ellington, pesquisador de biologia sintética da Universidade do Texas em Austin. ‘As bactérias não tinham alma, e não havia qualquer propriedade animista [relativo à alma] nas bactérias transformadas’, diz ele (UOL, 2010).

¹⁵⁸ O texto disponibiliza outros *links* que direcionam para páginas que explicam conceitos ou dão mais detalhes sobre algumas expressões ou fatos citados.

As expectativas a respeito da célula sintética são apresentadas numa perspectiva de certeza e verdade, o que pode ser interpretado como representativo da importância epistemológica da ciência popular.

O trabalho de Venter foi uma prova de princípio, mas as células sintéticas do futuro poderão ser usadas para criar medicamentos, biocombustíveis e outros produtos úteis. Ele está colaborando com a Exxon Mobil para produzir biocombustíveis a partir de algas, e com a Novartis para produzir vacinas. 'Já no ano que vem, a vacina da gripe que você toma poderá ser feita sinteticamente', diz Venter [...]. Ellington também acredita que as bactérias sintéticas têm potencial como ferramenta científica. Seria interessante, diz ele, criar bactérias que produzem um novo aminoácido – a unidade química que compõe as proteínas – e ver como essas bactérias evoluem, comparado a bactérias que produzem os aminoácidos de sempre. 'Podemos fazer estas perguntas sobre células-ciborgue de formas que nunca poderíamos antes' (UOL, 2010).

Interessante destacar que o comentarista Andy Ellington utiliza o termo 'célula-ciborgue'. Isso sugere que ele considera o genoma sintético equivalente a um elemento cibernético e a célula receptora ao organismo, uma extrapolação do conceito de célula mínima da equipe de Venter.

Ao comentar sobre os custos da pesquisa, vem a pergunta: Qual foi o custo de criar vida? A resposta parece um tanto irônica, carregada de julgamento de valor: 'Cerca de US\$20 milhões. Pouco para um deus, muito para um cientista de laboratório querendo criar a própria bactéria sintética' (UOL, 2010).

O caráter ilustrativo da ciência popular pode ser bem exemplificado por esse questionamento acerca da segurança das células sintéticas: "Células sintéticas me lembram do monstro Frankenstein! Elas são seguras?" A resposta, simples e afirmativa, garante que a bactéria criada dificilmente conseguiria viver fora do laboratório, pois os genes que viabilizam a *M. mycoides* causar doenças em cabras dela foram retirados e a bactéria foi enfraquecida.

Às objeções de cientistas preocupados com o escape de organismos sintéticos para o ambiente ou sua utilização com a finalidade de bioterrorismo, são apresentados dois pontos de vista. O primeiro de Ellington, apostando que a dificuldade de criar células sintéticas, afastaria qualquer possível bioterrorista. George Church, pesquisador de biologia sintética da Harvard Medical School, ao contrário, sugere medidas preventivas para evitar que a vida sintética saia do laboratório onde foi produzida e chegue ao ambiente natural, como a exigência de licença para trabalhar com Biologia Sintética.

A possibilidade de concepções diferentes acerca de um Fato Científico veiculadas na versão popular da ciência não foi abordada por Fleck. Uma vez que, para o médico polonês, a ciência popular é apresentada com “simplicidade, segurança e plasticidade”, uma “história simples e cristalina” (Fleck, 1935/2010, p. 169-170), logo, isenta de impasses, controvérsias, disputas entre ideologias.

Fleck comenta que:

Seja qual for a maneira de descrever um determinado caso, a descrição sempre acaba sendo uma simplificação, permeada por elementos apodícticos e ilustrativos: *através de cada comunicação, até mesmo de cada denominação, um saber se torna mais exotérico e popular* (Fleck, 1935/2010, p. 169-170, grifo do autor).

As fontes seguintes, associadas à publicação do artigo FP/CCM-2 mostram a comunicação de artigos jornalísticos de divulgação científica à época da apresentação de *M. mycoides* JCVI-syn3.0 como a primeira célula bacteriana sintética mínima no ano de 2016. O modo descomplicado e reduzido de apresentar a pesquisa segue padrão semelhante ao que já foi exposto anteriormente. Duas fontes com características opostas foram selecionadas. A primeira delas enfatiza aspectos favoráveis e desconsidera o debate sobre princípios éticos (esta fonte é proveniente de um dos *sítes* escolhidos na análise dos textos relacionados ao artigo FP/CCM-1) e a segunda aborda a discussão ética e social, além dos aspectos científicos.

‘O ser vivo com o menor número de genes foi criado em laboratório’, esse é o título dado à reportagem do site UOL publicada em 29 de março de 2016, por George Dvorsky e identificada como TJ/CCM-2B. Embora pareça uma repetição da notícia de seis anos antes, esclarece o que ocorreu nesse período e anteriormente a ele para que syn3.0 pudesse ser produzida pela equipe de Venter. Enquanto em TJ/CCM-1D havia certa cautela, um tom de crítica e desconfiança sobre o projeto, em TJ/CCM-2B o jornalista que assina o texto parece estar convencido do sucesso, segurança e benefícios da pesquisa em Biologia Sintética com minimização do genoma.

O biólogo Craig Venter é conhecido por ter criado genomas sintéticos de vírus e bactérias, e este cientista tinha um objetivo ainda mais ambicioso: reduzir ao mínimo o conjunto de genes em um ser simples e, ainda assim, mantê-lo vivo. Ele conseguiu: o syn3.0 é um genoma sintético de bactéria que é menor do que qualquer outro encontrado na natureza. Os biólogos esperam que isso nos ajude a entender os mecanismos fundamentais da vida, e que isso inspire a criação de novos tipos de vida artificial. O genoma é 'radicalmente minimalista' porque tem apenas 473 genes – número mínimo necessário para esta célula bacteriana sustentar as funções mais básicas da vida, incluindo a reprodução. Humanos têm cerca de 20.000 genes; enquanto uma bactéria como a *E. coli* possui 4.500. Os detalhes foram publicados na revista *Science* (Dvorsky, 2016).

A crença explícita nos objetivos e vantagens da pesquisa é manifestada sem ponderações, sem perspectivas divergentes, o que ratifica a visão epistemológica fleckiana sobre uma das características da apresentação popular, a ausência de polêmicas. A avaliação apodítica (nesse caso, com aprovação das concepções declaradas dos pesquisadores) também aproxima TJ/CCM-2B dos atributos que Fleck estabeleceu para as versões populares do conhecimento científico. Nesse caso, sociologicamente, parece haver domínio da elite sobre as massas, o que leva à manutenção do conhecimento científico, sem influência social.

O projeto pode soar estranho, mas há alguns bons motivos para criar um genoma mínimo. Biólogos vão estudá-lo para entender melhor como organismos complexos evoluíram a partir de outros mais simples. Isso pode ser usado para analisar as funções básicas da vida, e para catalogar genes essenciais dentro das células. Isso também será importante no campo emergente da biologia sintética, cujo objetivo é criar organismos artificiais. Os pesquisadores poderiam usar isso como um modelo básico para inserir funções não-existentes na natureza: por exemplo, bactérias que podem comer resíduos tóxicos, microrganismos que funcionam como remédios no interior do corpo, e biocombustíveis feitos de componentes orgânicos (Dvorsky, 2016).

O tom de aprovação da pesquisa continua:

De fato, o objetivo do experimento foi criar um genoma básico para os cientistas estudarem a vida e usarem como um 'chassis' para acrescentar novos conjuntos de genes. Em tese, o syn3.0 pode servir como base para criar praticamente qualquer tipo de célula com recursos personalizados. Como explica Dan Gibson, coautor do estudo, a visão de longo prazo é "projetar e construir organismos sintéticos sob demanda", além de "acrescentar funções e prever resultados". Isso poderia ter muitas aplicações industriais na medicina, nutrição, agricultura, entre outros (Dvorsky, 2016).

O problema da segurança ambiental, da possibilidade de sobrevivência de syn3.0 fora do laboratório, ponto importante da reportagem de 2010, também é

apresentado como algo estabelecido, suficientemente resolvido, com a justificativa de que “teria dificuldade em competir com outras bactérias na natureza porque não consegue se adaptar ao meio ambiente – os traços que permitiriam fazer isso foram removidos”.

A curso do projeto é colocado em pauta, mostrando um pouco do processo histórico e coletivo da ciência e o aspecto empírico da pesquisa. O autor comenta sobre a teorização, ainda no ano de 1995, de que o genoma da célula bacteriana mínima consistiria em 256 genes, o teste dessa hipótese, o projeto, montagem e síntese de syn1.0 com 901 genes e o processo de redução do genoma para síntese de syn3.0.

A impactante frase de Venter é relembada: “Na época, Venter descreveu a conquista como “a primeira espécie... cujos pais eram um computador”. E a explicação a respeito: “O experimento provou que genomas podem ser concebidos em um computador, quimicamente criados em laboratório e transplantados para um receptor celular, e que essas células conservam a sua capacidade de reprodução. Outra frase do líder da equipe dita numa conferência à imprensa é destacada: “a única maneira de compreender o genoma mínimo é realmente sintetizar um genoma” (Dvorsky, 2016).

Venter achou que isso [simplificar a *M. mycoides* a seus elementos essenciais] demoraria cerca de um ano, mas o processo acabou sendo incrivelmente árduo, exigindo um total de cinco anos. ‘Mesmo com a sequência em mãos, decifrar o sistema de funcionamento da célula foi uma tarefa difícil’, disse Venter (Dvorsky, 2016).

A relação existente entre o tamanho do genoma e a taxa de crescimento das bactérias durante o processo de minimização mostra, segundo o autor, “como é importante ter uma visão centrada no genoma como um todo, em vez de se concentrar em cada gene”. A fala de um dos pesquisadores sobre essa concepção é enunciada: “A vida é mais como uma orquestra do que um único músico”, disse Hutchison. “Às vezes você não descobre a essencialidade até remover um segundo gene” (Dvorsky, 2016).

É possível perceber em todo texto a fidedignidade ao artigo original, com citações diretas e descrição do processo e dos resultados da pesquisa de modo descomplicado, porém, atento. Algumas especulações, dúvidas, equívocos e detalhes científicos não foram omitidos, o que não se pode dizer das contestações

sociais ou divergências de pesquisadores integrantes de outros grupos. Ou seja, fatores externos controversos foram negligenciados – ausência de polêmicas – enquanto aspectos internos da ciência não foram tão simplificados como sugeriu Fleck em 1935.

A ciência popular, segundo Fleck, “descreve tudo como se os conceitos e as ideias existissem de antemão [...] como se sua mera aplicação consequente levasse à descoberta; como se outros conceitos não fossem também possíveis”. O Tráfego Intracoletivo de Pensamento entre a ciência especializada e a ciência popular possibilita ao Círculo Exotérico transformar a verdade “numa qualidade objetivamente existente, e os pesquisadores são divididos em duas classes: em caracteres pretos, que não acertam a verdade e os brancos, que a acertam” (Fleck, 1935/2010, p. 169).

Conforme a teoria epistemológica de Fleck, essa avaliação tem um efeito retroativo no saber especializado, influência que poderá ser percebida com o desenvolvimento futuro das pesquisas e apresentação dos resultados pela equipe de Venter. Podemos estar diante de um novo modelo de ciência popular, que omite menos as restrições e complicações da pesquisa científica e, conseqüentemente, poderá levar a uma avaliação exotérica que considere a verdade como realidade provisória.

O texto jornalístico de divulgação científica nomeado ‘Pesquisadores criam células compostas apenas por genes que se multiplicam’ e codificado como TJ/CCM-2C, aborda algumas questões éticas e sociais, diferente do anterior. Enfoques como esse podem levar a um efeito retroativo singular do Círculo Exotérico no saber especializado, no sentido de reflexão sobre a insegurança que suas práticas suscitam em alguns grupos da sociedade¹⁵⁹.

A matéria inicia de modo semelhante às demais, com associação direta do número mínimo de genes para a existência de vida, por sua vez manifestada na célula. As produções científicas do Círculo Esotérico chegam de modo coercitivo por via do Tráfego Intracoletivo ao Círculo Exotérico. Qual jornalista científico irá

¹⁵⁹ Textos sobre questões éticas e sociais do desenvolvimento científico relacionadas à Biologia Sintética, como o artigo da jornalista científica francesa Dorothee Benoit-Borwaey, ‘A época dos organismos geneticamente fabricados’ (2010), se constituem como possibilidade de análise e discussão mais aprofundadas, por conter visões diferentes daquelas dedicadas ao convencimento popular apresentadas pelos próprios pesquisadores interessados. Disponível em: <https://diplomatique.org.br/a-epoca-dos-organismos-geneticamente-fabricados/>.

problematizar a visão genecêntrica da vida advinda não somente dos artigos da equipe de Venter, mas, constantemente, da Biologia? A não ser que o conteúdo da reportagem seja exatamente acerca de diferentes concepções de vida, a compreensão mecanicista molecular é inquestionável.

Quantos genes são necessários para que exista vida? Pesquisadores americanos apresentaram ontem a resposta: 473. Em um artigo publicado na edição desta semana da revista Science, um grupo liderado pelo geneticista Craig Venter mostra que conseguiu criar, em laboratório, uma célula bacteriana composta pela menor quantidade possível de material genético para que ela sobreviva e se multiplique (Soares, 2016).

As utilidades da chamada ‘conquista científica’ são mencionadas e o estudo é declarado como “uma continuação do trabalho apresentado pelos mesmos especialistas em 2010”. O relato de Venter sobre a concepção filosófica da pesquisa é destacado:

Ao observar o sequenciamento do genoma de diversas bactérias nos últimos anos, apresentando uma série de diferenças, os pesquisadores passaram a se perguntar qual o conjunto básico de genes para que a vida surja, aqueles que são realmente indispensáveis. Estávamos discutindo a filosofia dessa questão sobre a vida, e, para respondê-la, seria necessário chegar a um material genético mínimo. Provavelmente, a única maneira de fazer isso seria sintetizando um genoma. A partir daí, começamos a nossa busca, que durou 20 anos; disse Craig Venter em entrevista coletiva (Soares, 2016).

Uma explicação bem simplificada da técnica é seguida de esclarecimentos de Venter sobre o número mínimo de genes:

Chegamos a um número próximo ao que muitos estimavam anteriormente, que era de 300. Passamos um pouco dessa quantia, mas, agora, sabemos que esses genes fornecem proteínas importantes para várias funções-chave; e isso é muito importante, já que existe uma grande quantidade de genes e não sabemos a função da maioria; destacou Venter, que reconhece a possibilidade de pesquisas futuras reduzirem ainda mais a quantidade de genes (Soares, 2016).

A análise de um pesquisador brasileiro que não participou da pesquisa¹⁶⁰ foi considerada. Segundo o professor, “o trabalho americano foi muito bem-sucedido ao reduzir significativamente o número de genes e ainda assim obter uma célula

¹⁶⁰ Francis de Moraes Nunes, professor do Departamento de Genética e Evolução da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

eficiente”. E continua afirmando que “mesmo com essa redução significativa, as bactérias syn3.0 são biologicamente viáveis em meios de cultura nutricionalmente enriquecidos, contendo aminoácidos, lipídeos, nucleotídeos e vitaminas” (Soares, 2016). A manipulação genética feita pelos autores também foi destacada pelo brasileiro, afirmando que a “ordem dos genes no genoma não é crítica para a manutenção da vida”.

Questões sobre a ética nos estudos genéticos de syn3.0 e utilidade social dos seus produtos são tratadas na mesma sessão. A criação de moléculas personalizadas para diversas finalidades está entre os anseios dos pesquisadores. As palavras de dois deles é citada:

Em teoria, poderíamos acrescentar conjuntos de genes, alterar esse genoma e essencialmente recriar qualquer organismo, disse Venter. Acreditamos que esse tipo de célula poderia ser útil para muitas aplicações industriais. É um organismo muito simples e seria um material mais fácil para os engenheiros lidarem, completou Daniel Gibson, coautor do estudo (Soares, 2016).

A opinião do pesquisador brasileiro é novamente colocada como ponto de reflexão:

Nunes, da UFSCar, também acredita que o uso da nova célula pode beneficiar diversos setores, mas ressalta que essa questão pode demorar a sair do papel. ‘A síntese de um genoma sintético-funcional permite que o comportamento celular seja previsível e capaz de ser controlado. Portanto, é possível que esses organismos sejam utilizados para o avanço de áreas estratégicas, como a medicina (criação de remédios) e a agricultura (produção de alimentos funcionais). No entanto, é prematuro e imprudente pensar em aplicações imediatas para a bactéria syn3.0. Além disso, a comunidade científica e a sociedade em geral precisam estabelecer um amplo debate sobre as questões éticas e de biossegurança envolvendo a biologia sintética’, destacou (Soares, 2016).

A reportagem recorda um evento que ocorreu no ano de 2010, quando a primeira célula mínima sintética foi anunciada - a reação do governo americano:

O presidente Barack Obama pediu um relatório que avaliasse as implicações da nova tecnologia, com o objetivo de garantir o uso dentro de limites éticos e evitar riscos à saúde e à segurança da população. Os autores acreditam que as desconfianças quanto ao uso do novo organismo deverão diminuir com o tempo (Soares, 2016).

Quanto a essa controvérsia e a crença na aceitação política e popular das células com genoma mínimo, as palavras de Venter aparecem como resposta:

Quando anunciamos a primeira célula sintética, houve muita discussão. Isso tem sido discutido abertamente nos últimos cinco anos. Acho que, quanto maior a compreensão da ciência, menos preocupações vamos ter. Nós vemos a vida como DNA e estamos mostrando que, ao tentar entendê-lo, vamos obter também um melhor entendimento sobre a vida, argumentou Venter (Soares, 2016).

De fato, existe um esforço do grupo em promover a convicção da viabilidade social dos seus estudos, manifestado em documentos e informações diversas no site do Craig Venter Institute. Uma ficha informativa sobre implicações éticas e sociais da pesquisa genômica e relatórios completos e simplificados proveniente de estudos sobre desafios e opções do sistema regulatório de biotecnologia dos EUA (2014) e sobre a síntese de DNA e biossegurança (2015) são apresentados em datas posteriores a 2010. Recentemente, um comunicado sobre a pesquisa política do grupo foi publicado no site da instituição.

Sendo um dos poucos grupos políticos institucionais integrados no mundo, estamos numa posição única para melhor compreender e antecipar os efeitos sociais de todos os avanços científicos. Continuamos empenhados em educar os decisores políticos sobre as possíveis implicações da ciência emergente, para que sejam capazes de criar orientações que maximizem os resultados positivos e evitem os resultados negativos para a sociedade (JCVI, 2023).

Ao que parece, portanto, o Tráfego Intracoletivo de conhecimento tem ocorrido em via única, do Círculo Esotérico ao Exotérico, ainda sem retorno do saber popular sobre o tema ao saber especializado, que busca, inclusive, educar políticos e jornalistas. Segundo Fleck, a coerção de pensamento no interior do coletivo promove o fortalecimento do Estilo de Pensamento. Influências retroativas podem ocorrer com o passar do tempo, durante o processo de desenvolvimento do Estilo de Pensamento, no qual o saber popular constitui a visão de mundo ou o contexto, que se torna pano de fundo do Estilo de Pensamento, ou o terceiro elemento da teoria comparada da ciência de Fleck, o estado do conhecimento.

No decorrer dos anos, os objetivos do grupo foram perseguidos por meio de estudos diversos com a célula mínima syn3.0, incluindo pesquisas com uso de modelos computacionais para o metabolismo, investigações sobre mecanismos

celulares durante a divisão da célula mínima e experimentos sobre o processo evolutivo. Naturalmente, a ciência popular vem se apropriando dessas novidades com o acesso à divulgação científica sobre o assunto. A análise de como essa dinâmica do conhecimento sobre a célula mínima ocorrerá a longo prazo será útil para entender se colabora para a manutenção, a complementação, ampliação ou transformação do Estilo de Pensamento que orienta o conceito clássico de célula como unidade fundamental da vida.

No contexto atual, os textos jornalísticos de divulgação científica consultados - tanto os selecionados para estudo quanto aqueles que não foram analisados - reproduzem de modo simplificado os artigos científicos e trazem poucos ou nenhum questionamento que possam contribuir com o debate social dos usos da Biologia Sintética. Contudo, outras notícias não diretamente associadas à célula mínima podem fazer suscitar o interesse do Círculo Exotérico sobre o natural e o artificial, de modo que saberes associados à concepção de célula e/ou de vida circulem entre leigos e retornem ao saber especializado com marcas desse Tráfego Intracoletivo de Conhecimento.

Com efeito, entendo que a metáfora do *organismo como máquina* se torna muito mais explícita ao se falar de artefatos biológicos que mexam com a imaginação popular, como os diminutos ‘robôs vivos’ programáveis, os *xenobots*, projetados por meio de *designs* de seres vivos a partir da programação com uso de um ‘algoritmo evolutivo’ de Inteligência Artificial e criados com uso de células-tronco embrionárias de uma espécie de sapo (2020) ou como os mais novos robôs japoneses com rostos revestidos de pele humana cultivada em laboratório, com capacidade de realizar expressões faciais (2024)¹⁶¹.

Quanto aos *xenobots*, apresentados à comunidade científica e à imprensa no ano de 2020 por pesquisadores americanos da Universidade de Vermont e da Universidade Tufts. Segundo os autores,

[...] métodos de IA projetam automaticamente diversas formas de vida candidatas *in silico* para executar alguma função desejada, e *designs* transferíveis são então criados usando um kit de ferramentas de construção baseado em células para realizar sistemas vivos com os comportamentos previstos (Kriegman *et al.*, 2020, p. 1857, tradução nossa, grifo do autor).

¹⁶¹ Notícias sobre os *xenobots* e os robôs japoneses podem ser encontradas, respectivamente, em: <https://olhardigital.com.br/2021/11/29/ciencia-e-espaco/xenobots-os-robos-vivos-que-se-reproduzem-por-autorreplicao-biologica/> e <https://www.bbc.com/portuguese/articles/cprqj71387qo>

As utilidades sociais dos *xenobots* prometem ser mais amplas do que as expectativas sobre a célula mínima.

Dada sua não toxicidade e vida útil autolimitada, elas podem servir como um novo veículo para administração inteligente de medicamentos ou cirurgia interna. Se equipadas para expressar circuitos de sinalização e proteínas para funções de deformação enzimática, sensorial (receptor) e mecânica, elas podem procurar e digerir produtos tóxicos ou residuais, ou identificar moléculas de interesse em ambientes fisicamente inacessíveis a robôs. Se equipadas com sistemas reprodutivos [...], elas podem ser capazes de fazer isso em escala. Em cenários biomédicos, pode-se imaginar tais *biobots* (feitos a partir das próprias células do paciente) removendo placas das paredes das artérias, identificando câncer ou se acomodando para diferenciar ou controlar eventos em locais de doenças (Kriegman *et al.*, 2020, p. 1857, tradução nossa, grifo do autor).

Embora não conste no artigo científico, a escolha da forma corporal mais adequada dos *xenobots* foi bastante divulgada pela imprensa e pode ser um apelo à memória afetiva de parte da população, pois seu formato é semelhante ao *Pac-Man*, personagem do famoso videogame da década de 1980.

A equipe usou um algoritmo evolutivo para testar bilhões de formas corporais potenciais em simulação, buscando pelas que fossem mais eficazes para o método de autorreplicação. Ao detectar um mecanismo que lembrava o do videogame Pac-Man, os pesquisadores resolveram criar um Xenobot nesse formato e testaram suas habilidades de procriação. Eles descobriram que o pai projetado com IA poderia usar sua “boca” em forma de Pac-Man para comprimir as células-tronco em uma prole circular. Os filhos, então, construíram netos, que construíram bisnetos, que construíram trinetos e, assim, sucessivamente. Uma dinastia Xenobot estava se formando! Isso poderia evocar visões aterrorizantes de enxames de robôs autorreplicantes, mas os pesquisadores prevêem resultados mais otimistas. Eles acreditam que seu sistema pode promover inúmeras tecnologias, desde máquinas vivas que limpam microplásticos até novos medicamentos (Correia; Lucena, 2021).

Mesmo sendo construídos com tecnologias muito distintas da célula mínima syn3.0 – não envolve Engenharia Genética - acredito que esses híbridos de animais e máquinas possam se constituir, no futuro, um importante ponto de discussão da histórica relação entre organismos e máquinas. Especialmente pelo modo amigável com que esse tipo de notícia é veiculado, o interesse popular pelas ‘máquinas vivas’ pode suscitar a busca pelo conhecimento sobre as origens dessa relação. O médico polonês entende que, quanto mais se afasta do “centro esotérico em direção à periferia exotérica, o pensamento parece ser ainda mais dominado pela plasticidade

(*Anschaulichkeit*) emotiva, que confere ao saber a segurança subjetiva da religiosidade ou do óbvio” (Fleck, 1935/2010, p. 171).

Como a submetáfora do *programa genético* que permeia a Biologia Sintética está implícita, aparentemente o Círculo Exotérico pode ter menos possibilidades de acesso e argumentação, pois, no interior do Estilo de Pensamento mecanicista com ênfase na informação do genoma, dominante na Biologia Sintética, “não se exigem mais provas coercitivas para o pensamento, pois a palavra já se tornou carne” (Fleck, 1935/2010, p. 171), as origens ou os motivos não têm espaço para questionamentos.

Quando se trata de problematizar o que seria uma célula com genoma mínimo, o interesse pode ficar, ainda nos próximos anos, restrito ao Círculo Esotérico de pesquisadores. No entanto, caso as aplicações sociais puderem ser notadas pelo público e estas passarem a fazer parte do cotidiano social, poderá ser possível alguma influência no Estilo de Pensamento principal que orienta os cientistas.

10 EM BUSCA DE RESPOSTAS INEVITAVELMENTE PROVISÓRIAS NA PESQUISA E UM MODO DE APRESENTÁ-LAS NO ENSINO

Fleck prioriza uma abordagem mais geral sobre o Estilo de Pensamento científico da ciência ocidental moderna para tratar dos conceitos epistemológicos da sua teoria comparada do conhecimento. Não enfatiza, portanto, as particularidades dos Coletivos de Pensamento dos especialistas de cada ciência. Nesta investigação, ao contrário, foi importante pensar a Biologia como ciência independente, com suas especificidades, que se revelaram nas nuances ou variedades dos Estilos de Pensamento identificados em cada episódio analisado e nas possibilidades de compreensão da célula natural e da célula artificial.

Importante pontuar nesse momento o caráter dinâmico, provisório, não linear da produção do conhecimento científico, de modo que a coexistência de diferentes Estilos de Pensamento num mesmo período, sobre o mesmo objeto científico não é algo incomum. E mesmo um Estilo de Pensamento considerado novo, possui traços do(s) Estilo(s) de Pensamento anterior(es). O desenvolvimento do pensamento biológico não segue uma sequência cronológica, embora, muitas vezes, em termos didáticos, as análises assumam o modelo de linha do tempo. Autores como Fleck e Canguilhem ensinam que o tempo epistemológico - e não o cronológico - parece ser mais adequado quando se examina o desenvolvimento de um Fato Científico.

A atualidade das concepções kantianas para a Biologia contemporânea se constitui num bom exemplo desse modo de entender a ciência aqui identificado. Abordagens sistêmicas, como o princípio cibernético da causalidade circular nos seres auto-organizados e a relação entre organização e informação, proposta por Wiener, seriam um retorno às reflexões filosóficas de Kant sobre os seres organizados.

Até mesmo o estudo histórico do conceito de célula desenvolvido por Canguilhem, marcado pela continuidade atribuída habitualmente ao epistemólogo francês, possui traços da descontinuidade que ele reconhece fazer parte da ciência, visto que o 'pensamento biológico passa por divisões e oscilações teóricas permanentes'. Seria uma representação, na ciência, do tempo qualitativo, a duração de Bergson?

O desenvolvimento do pensamento biológico ao longo dos séculos continua. Em algumas décadas, a abordagem contemporânea dada à Biologia Sintética nesta

investigação poderá ser considerada na perspectiva de mais um período histórico. Do mesmo modo que o longo processo histórico da origem e desenvolvimento do conceito de célula foi por mim abordado, o conhecimento produzido a partir da problemática inicial desta investigação e outros estudos semelhantes e/ou decorrentes podem constituir pesquisas futuras que visem explorar a dinâmica da produção do conhecimento acerca da unidade fundamental da vida.

Essa busca pode produzir bons resultados. Ainda que se conheça a concepção hegemônica acerca de um conceito ou teoria científica e se imagine o que está por vir, o passado desse conhecimento, quando investigado sob uma lente epistemológica, pode ser surpreendente e colaborar com respostas a questões que se colocam na atualidade. Por que questionar um conceito que parece estar resolvido? Desde que as pesquisas de Virchow foram integradas à teoria celular, a 'verdade' dominante é aquela em que a célula é a unidade fundamental da vida. Fleck ensina que as verdades na ciência são provisórias e se apresentam de acordo com um determinado Estilo de Pensamento. Logo, se muda o Estilo de Pensamento, a verdade sobre um Fato Científico também pode mudar, é o devir do conhecimento, tão bem explicado na Epistemologia fleckiana.

Acoplamentos Passivos podem se transformar em Ativos quando tomados em contextos diferentes, ou o que é óbvio num determinado Estilo de Pensamento passa a ser visto como arbitrário em outro. O Círculo Exotérico de um Coletivo de Pensamento científico pode influenciar as ideias e práticas dos pesquisadores. O pensamento coletivo é mais decisivo que o pensamento individual.

Como disse Canguilhem, o império da célula já foi abalado por diversas pesquisas, desde o século XIX. Como salientou Nicholson, pelo menos dois Coletivos de Pensamento consideram a teoria celular problemática – Os teóricos sistêmicos e os reducionistas extremos, ou seja, a unidade da vida pode estar acima ou abaixo do nível da célula. Modelos teóricos, como o *chemoton* de Gánti, que explica a síntese artificial de sistemas vivos, não constituídos por células, podem ser um caminho para o questionamento de pelo menos duas ideias dominantes na Biologia: a célula como unidade fundamental da vida e a metáfora do *programa genético*.

Contudo, a análise de estudos biológicos que se destacaram no século XX e até mesmo a análise dos episódios contemporâneos sobre a célula mínima, apresentadas anteriormente nesta investigação, mostraram o conceito clássico de

célula inabalável, sustentado pelo Estilo de Pensamento mecanicista, que vem se apresentando com nuances ou variedades ao longo do tempo, atualmente com ênfase na informação do genoma. Genoma que a Biologia Sintética aprendeu a projetar num computador e que, antes disso, a Biologia Molecular atribuiu a função de um programa de computador.

É a máquina mais uma vez presente na histórica relação com o organismo. Um tipo de encanto pelo animal-máquina cartesiano parece perdurar ao longo dos séculos, a despeito de contraposições significativas explicitadas anteriormente nesta investigação, como os argumentos de Kant, Bergson, Bertalanffy, Canguilhem e, mais recentemente de teóricos sistêmicos, como Maturana, Mpodozis, Nicholson.

Outro aspecto a ser notado é que a ideia de vida vem associada à célula mínima do mesmo modo como no conceito clássico de célula - tanto a célula com genoma mínimo, quanto a protocélula – e aos experimentos sobre origem da vida, muitos dos quais estão na origem histórica da Biologia Sintética. Especificamente sobre a célula mínima da equipe de Venter, desde o início das pesquisas, a concepção de genoma mínimo esteve intrinsecamente ligada à vida celular. Um frasco de DNA não é viável à vida, como argumentou Mpodozis, se o fosse, o caminho para obter os produtos que hoje são expectativas das células mínimas seria mais simples e possivelmente estariam sendo produzidos nos laboratórios de Biologia Sintética em larga escala.

Até mesmo Dawkins, autor de uma das teorias mais radicais acerca da concepção genocêntrica da vida, ao considerar os genes como unidades de vida, não prescinde da célula nas suas explicações, ainda que estas sejam consideradas meros veículos de sobrevivência dos genes, como replicadores que sobrevivem ao longo das gerações. Porém, não há notícias de que os genes sobreviveriam sem a célula, num tubo de ensaio.

Os pressupostos de Keller, Maturana, Varela, por exemplo, indicam que não há protagonismo do genoma, os genes são moléculas participantes da célula, constituem as células e são tão importantes quanto todas as outras. A delimitação da célula por membrana talvez seja o elemento mais fundamental, presente em todos os modelos e teorias que tive conhecimento durante esta investigação, ao lado da relação entre o meio interno da célula o meio exterior, tema caro a Canguilhem. Seria pertinente questionar, a vida encontra suas normas em ambiente controlado de laboratório? O conceito de normatividade vital de Canguilhem, carregado de

vitalismo, poderia ser aplicado à célula mínima? A célula com genoma mínimo encontraria suas próprias normas para viver frente às adversidades?

Muito conhecimento relacionado à unidade explicativa da vida já foi produzido. No contexto atual da Biologia Sintética e, considerando os resultados das análises desta investigação proponho que, no decorrer dos anos, a convivência ou coexistência de, pelo menos dois Estilos de Pensamento – o Estilo de Pensamento mecanicista com ênfase na informação do genoma e o Estilo de Pensamento sistêmico (ou evolutivo, segundo Bertoni, 2012). O primeiro associado diretamente à célula clássica e à célula mínima e o segundo com associações mais amplas, no contexto da vida.

Quanto à possibilidade de emergência de um novo Estilo de Pensamento que orienta o conceito de célula como unidade fundamental da vida, em face da célula mínima, os dados da análise mostraram que é muito precoce conceber a ocorrência de Mutação fleckiana. São pouco mais de duas décadas que a célula com genoma mínimo vem sendo estudada. Contudo, paralelamente a esses estudos, artefatos biológicos vêm sendo apresentados à sociedade como possibilidade de soluço de muitos problemas práticos. Possivelmente, estes despertem a aten o popular, de modo que a influência do Círculo Exotérico, no futuro, possa alcançar os especialistas pelo apelo popular a alguma demanda, completando o ciclo da circula o do conhecimento em Fleck.

No que concerne à célula mínima, embora seus criadores relacionem o feito aos potenciais benefícios dos seus produtos para uma vida melhor da sociedade - como a produ o de medicamentos, vacinas, água potável, produtos alimentares, biocombustíveis - o modo como a ciência popular apresenta as pesquisas   impregnado da coer o da elite sobre a massa, como diria Fleck, o que se afasta do caráter democrático da ciência almejado pelo médico polonês.

Com a influência da Cibernet ca na Biologia, o problema da informa o biológica, inicialmente tratado no campo do reducionismo genético, foi também incorporado em teorias sistêmicas, como a teoria da autopoiese ou a teoria da propaga o da informa o. O modo como essas questões são abordadas pelos Coletivos de Pensamento, os interesses científicos, políticos, sociais ao longo do tempo, o surgimento de novas problemáticas e demandas sociais, o conhecimento popular a respeito, o Tráfego Intercoletivo e Intracoletivo de Pensamento, são alguns

fatores importantes para que possa ocorrer ou não uma Mutação no Estilo de Pensamento.

Logo, alguns caminhos são possíveis. A célula mínima pode se constituir, numa análise epistemológica futura, como Protoideia do *Estilo de Pensamento biológico da manipula o genética* (Bertoni, 2012); também podemos pensar num cenário de grande Tráfego Intercoletivo entre a Biologia Sintética e a Biologia de Sistemas, promovendo uma complementa o ou amplia o do Estilo de Pensamento dominante ou mesmo num longo período de coexistência de Estilos de Pensamento que orientam a compreensão sobre a unidade fundamental da vida: a célula, o gene, organismo. Esta última op o – a convivência de Estilos de Pensamento num mesmo período e sobre o mesmo objeto científico, tem ocorrido historicamente no desenvolvimento do pensamento biológico, desde os primórdios da Biologia.

É desafiador pensar como o conhecimento sobre a Biologia Sintética pode ser apresentado ao estudante de ciências/Biologia da educa o básica. Diante de tanto conhecimento produzido acerca da unidade fundamental da vida, objeto principal de estudo da Biologia - historicamente e na atualidade - entendo que o ensino dessa disciplina não deva desconsiderar aspectos que mostrem a complexidade desse conteúdo. Durante a pesquisa, pude constatar que disserta es e teses que, em si mesmas, poderiam subsidiar o (a) professor (a) para uma prática docente fundamentada epistemologicamente, podem não estar cumprindo esse papel por falta de um direcionamento para esse fim. Além disso, nem sempre o docente possui disponibilidade de tempo para a leitura de trabalhos completos.

Pensando nisso, para além dos processos teóricos e metodológicos que o desenvolvimento de uma pesquisa acadêmica exige, durante todo o percurso de elabora o textual busquei delinear uma composi o que também disponibilizasse ao professor de ciências/Biologia um material de consulta consistente para auxiliá-lo numa abordagem diferenciada do conteúdo sobre Biologia Celular/Biologia Sintética. Selecionei alguns capítulos/sessões com o olhar pessoal da professora, que foi alimentado pela pesquisadora, no sentido de perceber aquilo que possa contribuir de modo pragmático ao aprimoramento da aço docente fundamentada nesta investiga o.

Isso não significa conceber o estudante como sujeito passivo do processo de ensino-aprendizagem, mas acreditar na importância da apropria o pelo (a)

professor (a) de produções acadêmicas que colaborem com seu aperfeiçoamento/atualização em relação a conteúdos que integram o currículo escolar sobre a célula. Ao aproximar-se desta investigação, o docente poderá apresentar a Biologia Celular/Biologia Sintética por meio da perspectiva histórica-filosófica-sociológica da ciência, podendo ampliar as possibilidades de estratégias didáticas, com fundamentação epistemológica.

A sessão 2.1 do Segundo Capítulo, intitulada 'As ciências da vida: a constituição de um campo de pesquisa e uma possibilidade de modelo epistemológico para as ciências', pode contribuir com o conhecimento histórico sobre o contexto da ciência na era moderna e emergência da Biologia no âmbito da ciência e da Epistemologia/Filosofia da Ciência.

O Quarto Capítulo, nomeado 'Para compreender a ciência: sobre a história da formação dos conceitos em Fleck e Canguilhem', ajuda a perceber a importância dos conceitos na Epistemologia de ambos os autores e para a compreensão da ciência, particularmente da Biologia e no âmbito do Estilo de Pensamento fleckiano. Além de expor a importância do estudo histórico da teoria celular desenvolvido por Canguilhem.

No Quinto Capítulo, a sessão 5.2 intitulada 'A informação no contexto biológico: o *programa genético* como submetáfora do *organismo como máquina*' pode representar uma mudança importante na compreensão da visão reducionista hegemônica dos genes como portadores das informações que determinam as funções celulares, a partir da história dessa concepção, como também outras possibilidades de compreender a manutenção da vida celular com ênfase no metabolismo que ocorre em toda a célula/organismo e sua relação com o meio, como o fazem os pesquisadores sistêmicos.

Acredito que o Sexto Capítulo, que trata da Biologia Sintética no âmbito histórico, filosófico, social, científico, seja importante a(o) professor(a) que deseje conhecer e/ou aprofundar os conhecimentos sobre essa temática, que vem aparecendo de modo abreviado nos textos didáticos da educação básica. O aspecto interdisciplinar da Biologia Sintética, a conexão da Biologia Sintética com a Biologia Molecular/Genética, em termos históricos, além de outras abordagens que não atribuem lugar de destaque ao material genético, também se constituíram em intenções de ampliar a base teórica de professores de ciências/Biologia acerca da temática.

Quanto às análises histórico-epistemológicas, em relação ao conceito clássico de célula, considero que a sessão 8.5, com o desenvolvimento da análise do artigo 'A teoria celular', de Georges Canguilhem (1945), possa contribuir com o conhecimento histórico sobre o conceito de célula, sob o viés da Epistemologia histórica do estudo de Canguilhem e de elementos da Epistemologia fleckiana. Entendo que a localização de uma Protoideia sobre o conceito de célula seja significativa no sentido de desmitificar a 'célula de Hooke' como a gênese do conceito de célula.

Em relação ao conceito de célula mínima, destaco a sessão 9.2, que apresenta o desenvolvimento da análise do artigo 'Projeto e Síntese de um Genoma Bacteriano Mínimo', de Hutchison *et al.* (2016) como uma das fontes primárias do estudo de episódios contemporâneos e a sessão 9.3, com a análise de textos jornalísticos de divulgação científica. Essa leitura pode fornecer uma visão mais abrangente da Epistemologia de Fleck, aplicada a um caso contemporâneo da ciência, uma vez que conceitos fleckianos são apontados com maiores possibilidades de discussão.

Desse modo, os textos jornalísticos de divulgação científica sobre a célula mínima selecionados para análise - e outros que podem ser acessados pelos estudantes - podem fornecer uma visão crítica de como esse conhecimento tem sido veiculado para o público em geral, inclusive aos estudantes. A partir desse debate, que envolve a ciência simplificada, ilustrativa e apodítica vinculada ao saber exotérico, a escolha de pelo menos um dos artigos científicos que divulgaram esse Fato Científico (fonte primária) pode contribuir para argumentos fundamentados científica e epistemologicamente. Seria interessante a apresentação da temática aos estudantes por meio desses textos¹⁶², com apoio da discussão epistemológica desenvolvida no Nono Capítulo.

Admitir que a ideia de verdade na ciência esteve e está vinculada à análise do Fato Científico no interior de um Estilo de Pensamento possibilita a compreensão do caráter histórico, social, dinâmico, provisório, não linear dos processos de produção do conhecimento científico e das 'verdades científicas' reconhecidas de acordo com os contextos de determinada época. Tal abordagem histórica-filosófica-

¹⁶² As referências encontram-se nos QUADROS 4 e 5 da metodologia. O quadro com a identificação dos excertos do artigo científico sugerido (FP/CCM-2) encontra-se no APÊNDICE L.

sociológica da ciência pode ser tomada, portanto, como estratégia didática no ensino de ciências.

Naturalmente, os parágrafos anteriores se constituem em sugestões que contemplam alguns aspectos do conhecimento produzido nesta investigação para o ensino de ciências/Biologia. A primeira pesquisa decorrente será um estudo acerca do processo de aprendizagem desse conteúdo na educação básica. Esse estudo será fundamentado numa teoria da aprendizagem que oriente a elaboração de um material didático a partir dos dados constituídos e resultados aqui apresentados.

Considero que adotar uma Epistemologia que auxilie na compreensão de conceitos científicos, tal como a Epistemologia fleckiana, favoreça a aprendizagem destes conceitos, no sentido da historicidade, da provisoriedade, da dinamicidade, da construção coletiva da ciência. Do mesmo modo, defendo a incorporação de um modelo que explique e reoriente o processo de ensino-aprendizagem do conceito de célula - da célula clássica à célula mínima - reconhecendo e valorizando a dinâmica envolvida tanto na ação docente e discente quanto na própria ciência.

11 CONSIDERAÇÕES ATÉ O MOMENTO

Nesta investigação, tive o propósito de responder se a produção da célula mínima pela Biologia Sintética teria potencial para fazer emergir um novo Estilo de Pensamento, em contraposição ao Estilo de Pensamento que orienta o conceito clássico de célula como unidade fundamental da vida. Para tal, foi necessário analisar a evolução do pensamento biológico em relação ao conceito de célula, historicamente e no contexto atual da Biologia Sintética.

Ao considerar a ideia de que as propriedades da célula mínima podem sustentar (ou não) uma nova concepção sobre a vida, optei por desenvolver a análise ancorada no conceito de Estilos de Pensamento em Fleck e, secundariamente, nas concepções de vida em Canguilhem. Em vista desse posicionamento, considere que uma mudança no Estilo de Pensamento sobre a célula pudesse corresponder, indiretamente, à emergência de um novo Estilo de Pensamento sobre o conceito de vida. No decorrer da pesquisa tal correlação não se mostrou tão óbvia, uma vez que a unidade fundamental da vida pode sofrer alterações de acordo com o Coletivo de Pensamento e o próprio conceito de vida é problemático.

As convicções iniciais suscitaram o desenho de uma metodologia aplicada a dois estudos: 1. Estudo de episódios históricos sobre o conceito clássico de célula e 2. Estudo de episódios contemporâneos sobre o conceito de célula mínima. O primeiro foi desenvolvido por meio da análise de livros históricos (fontes primárias) e complementado com a análise de artigo especializado sobre o tema (fonte secundária). A opção por fontes primárias (artigos científicos) e textos jornalísticos de divulgação científica foi definida para o segundo estudo.

Em termos fleckianos, as obras têm caráter científico, com manifestação de Comunicação Intracoletiva no interior do Círculo Esotérico, pertencente a um coletivo de pesquisadores que compartilham um Estilo de Pensamento relacionado a cada problema de pesquisa. Não foi possível, conforme esperado, identificar condicionamentos sociais, políticos, culturais envolvidos nas pesquisas a partir das obras dos cientistas (fontes primárias).

Comentários acerca dos seus contemporâneos ou até mesmo autodeclaração de suposto pioneirismo no seu campo de investigação - no caso de Hooke e Schleiden no estudo histórico, ou autopromoção da importância social da

pesquisa – no caso da equipe de Venter no estudo contemporâneo, não revelam os contextos da produção científica. Com a expectativa de obter tais informações, também relevantes para compreensão do Estilo de Pensamento, outras fontes foram adotadas para contemplar os ‘bastidores’ do processo e evidenciar alguma influência do Círculo Exotérico nas pesquisas ou nas compreensões relacionadas ao conceito clássico de célula e ao conceito de célula mínima.

O processo de elaboração de uma metodologia que contemplasse a análise da variedade de fontes selecionadas (fonte primária, fonte secundária e texto jornalístico de divulgação científica) foi, literalmente, um capítulo à parte, em virtude da não localização de investigações semelhantes que buscassem identificar as implicações da emergência de um Fato Científico no contexto de uma disciplina, com foco no Estilo de Pensamento. Foi necessário pensar um modelo de pesquisa que englobasse a investigação dos Estilos de Pensamento que orientaram historicamente a construção do conceito clássico de célula e dos Estilos de Pensamento que orientam as pesquisas sobre a célula mínima na atualidade.

Após constatar o processo e os resultados alcançados por meio dessa metodologia, proponho essa estruturação para pesquisas semelhantes, que visem compreender a origem e evolução de um conceito científico, especialmente quando se deseja investigar se um novo Fato Científico tem potencial para suscitar uma mudança no Estilo de Pensamento que orienta um conceito clássico. Em outras palavras, esse desenho de pesquisa pode ser útil quando se tem acesso a episódios históricos e contemporâneos de um determinado campo da ciência que possibilite investigar se ocorre Mutação no Estilo de Pensamento, no sentido fleckiano.

A obtenção das fontes primárias históricas foi facilitada pelo acesso *on-line* a arquivos digitalizados em sites de bibliotecas. Dificuldades na tradução e compreensão dos textos foram comuns, em virtude do estilo de escrita e das novidades encontradas, o que me levou a pesquisas bibliográficas acerca dos autores e/ou conceitos presentes. Esse movimento foi bastante enriquecedor para um entendimento mais amplo do Fato Científico investigado, e, conseqüentemente para a elabora o teórica aqui apresentada.

Os apêndices cont m traduções das fontes primárias, as quais podem ser consultadas pelos interessados na leitura das fontes históricas e/ou no seu uso como material de apoio às aulas de ciências/Biologia que abordem a temática da célula. As traduções dos artigos contemporâneos sobre a célula mínima têm são

apresentadas na forma de excertos nos apêndices e também podem servir como recurso no ensino de ciências /Biologia, conforme sugerido na seção anterior.

A natureza da problemática principal favoreceu teorizações, discussões e reflexões sobre o conceito de célula, e, de certo modo, sobre o conceito de vida decorrente, fundamentada na identificação das características dos Estilos de Pensamento obtidas da análise das fontes documentais. Os demais conceitos da Epistemologia de Fleck também se mostraram pertinentes à compreensão e esclarecimento do problema que orienta esta pesquisa.

Durante essa jornada, foi possível mergulhar com intensidade na Epistemologia fleckiana e perceber aspectos peculiares dos seus conceitos epistemológicos ao me defrontar com a análise aqui desenvolvida nos estudos de episódios históricos e episódios contemporâneos. Hoje, entendo a teoria da ciência de Fleck como uma lente que amplia as possibilidades de compreender fenômenos da ciência (ou Fatos Científicos), de modo mais fluido, no sentido evolutivo, nunca estanque.

O olhar para a circulação do conhecimento no interior de um Coletivo de Pensamento e entre Coletivos de Pensamento deixa muito evidente o caráter histórico e social da ciência, preconizado por Fleck pelo menos desde seu segundo escrito epistemológico, 'Sobre a crise da realidade' (1929). O caráter apodítico da ciência popular - do qual me aproximei ao examinar os textos jornalísticos de divulgação científica - é um conceito muito valioso para estimular a criticidade do estudante em relação ao tom convincente que pode ser manifestado por esses escritos.

A Filosofia biológica de Canguilhem foi suporte importante para muitas interpretações. Contudo, sua classificação acerca das concepções de vida obtida da sistematização desenvolvida em *Vie* (1973), não se mostrou tão produtiva para ampliar as discussões acerca da relação estabelecida entre a célula e a manifestação de vida. Um retorno recente aos textos do médico e epistemólogo francês me deu a percepção da plasticidade teórica dessa classificação. Por exemplo, a aproximação de Canguilhem com a ideia de um código genético inscrito no DNA, que armazena e transmite as informações biológicas, significa, para ele, um retorno ao aristotelismo, um *logos* inscrito, conservado, transmitido.

A provisoriedade das classificações é, inclusive, esperada, segundo os pressupostos desta investigação. Após a sistematização da *vida como animação*,

vida como mecanismo, vida como organização e vida como informação, Canguilhem parcialmente conclui que, para além da própria existência do vivente, o que o caracteriza “é o fenómeno de usura progressiva e de cessação definitiva de suas funções, mais do que sua própria existência” (Canguilhem, 1973, tradução de Souto, 2019a, p. 247), ou seja, a morte. Em alguns momentos da sua obra, essa parece ser uma firme convicção de Canguilhem, quando recorre à ideia de Bichat de que a vida é o conjunto das funções que resistem à morte.

Esse modo de caracterizar a vida está em consonância com a afirmação de Mayr de que a maioria dos biólogos pensam a vida como oposição à morte ou com a percepção de Jacob e outros biólogos sobre não se questionar mais a vida nos laboratórios de Biologia. Como fica então a compreensão da célula, do organismo ou do gene ou qualquer outra entidade como unidade da vida?

Durante o processo desta investigação, compreendi, para além do que minhas impressões superficiais anteriormente me indicavam, que a Biologia Teórica e a Filosofia da Biologia podem ajudar nessa resposta mais do que a tentativa de classificações antigas ou atualizadas ou análises de Fatos Científicos diversos que busquem apreender o conceito de vida. Nesse sentido, esta investigação teve como objeto principal a célula, e não a vida, a qual pode ter como elemento explicativo o organismo, o gene, a célula ou algum elemento metafísico, de acordo com a teoria adotada.

Cada vez mais entendo que essa discussão precisa avançar no âmbito filosófico da Biologia, associado à Biologia Teórica. Cada coletivo de pesquisadores que desenvolve suas pesquisas empíricas assume seus pressupostos teóricos e práticos (seu Estilo de Pensamento). No caso da célula mínima, há o grupo que desenvolve as pesquisas partindo da ideia de genoma mínimo e o grupo que busca o desenvolvimento de protocélulas. Há também grupos de pesquisadores sistêmicos que recusam a ideia de que o reducionismo genético/biológico seja capaz de explicar a complexidade da vida.

Especificamente acerca das pesquisas do grupo de Venter sobre a célula com genoma mínimo sintetizado, os objetivos parecem ser voltados às aplicações práticas, à produção de produtos úteis ao uso social, viáveis economicamente. Quando se trata de pesquisas que busquem explicar a vida, acredito que teorias com foco na explicação dos processos, dos sistemas biológicos, empírica e/ou teoricamente, com apoio da Filosofia biológica, tenham maiores chances de alcançar

interpretações que contribuam para o conhecimento da complexidade intrínseca aos seres vivos (ou à vida).

Entendo que o conhecimento sobre abordagens diversas acerca de um tema específico precisa alcançar as salas de aula, não no sentido da solução do problema, mas no intuito de que, a partir dessas discussões, os estudantes tenham a possibilidade de compreender características das ciências (natureza da ciência), inclusive seu próprio papel no ciclo da produção do conhecimento, segundo a organização do Coletivo de Pensamento, em Fleck, quando este circula entre os pesquisadores e a sociedade.

No contexto do ensino de ciências/Biologia, a menção a cientistas rotulados de grandes gênios, com omissão do trabalho colaborativo ou da historicidade e dinamicidade da ciência, parece ter sido algo instituído na elaboração dos materiais didáticos. As fontes primárias mostraram que os próprios cientistas se reportam com frequência às pesquisas do seu Coletivo de Pensamento em termos de concordância, colaboração ou críticas.

Outro ponto interessante, verificado nas fontes primárias, é sobre o conhecimento da ciência anterior e perspectivas de aprimoramento e ampliação futura do seu trabalho manifestados pelos autores, o que revela a consciência da dinamicidade presente na prática científica, em outras palavras, a possibilidade de mudanças no Estilo de Pensamento, geralmente desconsiderada pelos autores de materiais didáticos.

Muito além de compreender o conceito clássico de célula e o conceito de célula mínima evidenciados pelas características de cada um dos Estilos de Pensamento apreendidos nesta investigação, procurei me dedicar a buscar elementos que indicassem a origem e evolução de ambos os Fatos Científicos e a possibilidade de Mutação no Estilo de Pensamento sobre a célula na atualidade, com a produção da célula mínima.

Apresentar uma resposta simples e definitiva não se constitui objetivo desta investigação. No capítulo anterior, apresentei caminhos possíveis e durante a análise das fontes selecionadas foi possível desenvolver discussões com possibilidade de auxiliar pesquisas futuras que ampliem as perspectivas aqui colocadas e indiquem outros caminhos a partir de novos problemas. Finalizo esta tese com mais perguntas que respostas e espero, com isso, impulsionar a produção de conhecimento sobre o tema.

REFERÊNCIAS

ALONSO, A. L. A máquina de Turing e a máquina do Revirão: computar, calcular e pensar. *Lumina*, [S. l.], v. 2, n. 2, 2008.

ABRANTES, P. C. **Imagens de natureza, imagens de ciência**. 2. ed. ampliada. Rio de Janeiro: Editora da UERJ, 2016.

ABRANTES, P. C. **Filosofia da Biologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: UFRRJ/NULFIC, 2018.

BACON, Francis. **Novum Organum**. Tradução: J. A. Reis de Andrade. 2. ed. São Paulo: Abril Cultural, 1979. (Trabalho original publicado em 1958).

BECHTEL, W.; BOLLHAGEN, A. Philosophy of Cell Biology. **The Stanford Encyclopedia of Philosophy**. ZALTA, E. N. (ed.), 2019. Disponível em: <<https://plato.stanford.edu/archives/win2019/entries/cell-biology/>>.

BAKER, J. R. The cell Theory: a restatement, history and critique. Part I. **Quarterly J. Microsc. Sc.**, v. 89, p. 103-125, 1948.

BAKER, J. R. The cell Theory: a restatement, history and critique. Part III. **Quarterly J. Microsc. Sc.**, v. 93, p. 157-190, 1952.

BAKER, J. R. The cell Theory: a restatement, history and critique. Part IV. **Quarterly J. Microsc. Sc.**, v. 96, p. 449-481, 1955.

BELTRAN, M. H. R.; SAITO, F.; TRINDADE, L. dos S. P. **História da ciência para a formação de professores**. São Paulo: Livraria da Física, 2014.

BERGSON, H. **A evolução criadora**. Tradução: Bento Prado Neto. São Paulo: Martins Fontes, 2005. (Trabalho original publicado em 1907).

BERTALANFFY, L. V. **General System Theory: Foundations, development and applications**. New York: George Braziler, 1968.

BERTONI, D. **Gênese e desenvolvimento do conceito de vida**. 2012. 247 f. Tese (Doutorado em Educação) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Educação, Programa de Pós-Graduação em Educação, Curitiba, 2012.

BEHNCKE, R. C. Ao pé da árvore (prefácio). *In*: MATURANA, H. R.; VARELA, F. G.; **A árvore do conhecimento: as bases biológicas do entendimento humano**. Tradução: Jonas Pereira dos Santos. Campinas: Editorial PSY II, 1995, p. 9-27. (Trabalho original publicado em 1984).

BIANCHINI, F. Autopoiesis of the artificial: from systems to cognition. **Biosystems**, v. 230, p. 1-8, 2023.

BORGES-OSÓRIO, M. R.; ROBINSON, W. M. **Genética Humana**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC, 2018.

BREUER, M. *et al.* Essential metabolism for a minimal cell. **Elife**, v. 8, p. 1-75, 2019.

BRITO, I.; HADDAD JUNIOR, H. A formulação do conceito de homeostase por Walter Cannon. **Filosofia e História da Biologia**. São Paulo, v. 12, n. 1, p. 99-113, 2017.

CAMERON, D. EWEN; BASHOR, C. B J.; COLLINS, J. A brief history of synthetic biology. **Nature Reviews Microbiology**, v. 12, p. 381-390, 2014.

CAMPOS, L That was the synthetic biology that was. *In*: Markus Schmidt *et al.* (ed.). **Synthetic Biology: the Technoscience and Its Societal Consequences**. New York: Springer, 2009, p. 5-21

CANGUILHEM, G. **O conhecimento da vida**. Tradução: Vera Lucia Avellar Ribeiro. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2012. (Trabalho original publicado em 1952).

CANGUILHEM, G. Máquina e Organismo. *In*: CANGUILHEM, G. **O conhecimento da vida**. Tradução: Vera Lucia Avellar Ribeiro. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2012, p. 107-138. (Trabalho original publicado em 1952).

CANGUILHEM, G. A Teoria Celular. *In*: CANGUILHEM, G. **O Conhecimento da Vida**. Tradução: Vera Lucia Avellar Ribeiro. Rio de Janeiro: Forense, 2012, p. 39-82. (Trabalho original publicado em 1945).

CANGUILHEM, G. **O normal e o patológico**. Tradução: Mana Thereza Redig de Carvalho Barrocas. 6. ed. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2009. (Trabalho original publicado em 1943).

CANGUILHEM, G. Novas reflexões referentes ao normal e ao patológico (1963-1966). *In*: CANGUILHEM, G. **O normal e o patológico**. Tradução: Mana Thereza Redig de Carvalho Barrocas. 6. ed. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2009, p. 105-137. (Trabalho original publicado em 1966).

CANGUILHEM, G. Vida. *In*: SOUTO, C. A. T. **Georges Canguilhem: o devir de um pensamento**. 2019a. 300f. Tese (Doutorado em Filosofia) – Universidade Federal de São Carlos, Programa de Pós-Graduação em Filosofia, São Carlos, 2019a, p. 219-250. (Trabalho original publicado em 1973).

CANGUILHEM, G. A Filosofia biológica de Auguste Comte e sua influência na França no século XIX. *In*: CANGUILHEM, G. **Estudos de História e de Filosofia das Ciências: concernentes aos vivos e à vida**. Tradução: Abner Chiquieri. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2012, p. 59-74. (Trabalho original publicado em 1958).

CANGUILHEM, G. O todo e a parte no pensamento biológico. *In*: CANGUILHEM, G. **Estudos de História e de Filosofia das Ciências: concernentes aos vivos e à vida**.

Tradução: Abner Chiquieri. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2012, p. 349-365. (Trabalho original publicado em 1966).

CANGUILHEM, G. Do singular e da singularidade em Epistemologia Biológica. *In*: CANGUILHEM, G. **Estudos de História e de Filosofia das Ciências**: concernentes aos vivos e à vida. Tradução: Abner Chiquieri. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2012, p. 223- 239. (Trabalho original publicado em 1962).

CANGUILHEM, G. **Estudos de História e de Filosofia das Ciências**: concernentes aos vivos e à vida. Tradução: Abner Chiquieri. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2012.

CAPRA, F. **A teia da vida**: uma nova compreensão científica dos sistemas vivos. São Paulo: Cultrix, 1997.

CAPRA F. **O Ponto de Mutação**: a Ciência, a Sociedade e a Cultura Emergente. São Paulo: Cultrix, 2006. (Trabalho original publicado em 1982).

CELLARD, A. A Análise Documental. *In*: POUPART, J. *et al.* (org.). **A pesquisa qualitativa**: enfoques epistemológicos e metodológicos. Petrópolis: Vozes, 2008, p. 295-316.

CHAPMAN, A. England's Leonardo: Robert Hooke (1635-1703) and the art of experiment in Restoration England. **Proceedings of the Royal Institution of Great Britain**, v. 67, p. 239-275, 1996.

CONDÉ, M. L. L. **Ludwik Fleck**: Estilos de pensamento na ciência. Belo Horizonte: Fino Traço, 2012.

CONDÉ, M. L. L. **Um papel para a história**: o problema da historicidade da ciência. Curitiba: UFPR, 2017.

CONDÉ, M. L. L. Entre o normal e o patológico: Ludwik Fleck, Georges Canguilhem e a gênese da epistemologia histórica. **Intelligere, Revista de História Intelectual**, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 51-67, 2016.

CONDÉ, M. L. L. Mutações no Estilo de Pensamento: Ludwik Fleck e o Modelo Biológico na Historiografia da Ciência. **Revista de Filosofia Moderna e Contemporânea**, Brasília, v. 6, n.1, p. 155-186, 2018.

CORREIA, F; LUCENA, A. Xenobots: os robôs vivos que se reproduzem por autorreplacação biológica. **Olhar Digital**, 2021. Disponível em:< <https://olhardigital.com.br/2021/11/29/ciencia-e-espaco/xenobots-os-robos-vivos-que-se-reproduzem-por-autorreplacacao-biologica/>>. Acesso em: 02. out. 2023.

CRICK, F. H. C. On protein synthesis. **The Biological Replication of Macromolecules, Symposia of the Society for Experimental Biology**, v. 12, p. 138-163, 1958.

CRICK, F. H. C. Central dogma of molecular biology. **Nature**, v. 227, p. 561-563, 1970.

CUPANI, A. A objetividade científica como problema filosófico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, [S. l.], v. 6, p. 18–29, 1989.

CUPANI, A. **Filosofia da Tecnologia: um convite**. 3. ed. Florianópolis: Editora UFSC, 2016.

CZERESNIA, D. **Do Contágio à Transmissão**: ciência e cultura na gênese do conhecimento epidemiológico [online]. Rio de Janeiro: Fiocruz, 1997.

DAMIANO, L., STANO, P. Explorative Synthetic Biology in AI. Criteria of relevance and a taxonomy for synthetic models of living and cognitive processes. **Artificial Life**, v. 29, p 367-387, 2023.

DAWKINS, R. **O Gene Egoísta**. Tradução: Geraldo H. M. Florsheim. Belo Horizonte: Itatiaia; São Paulo: EDUSP, 1979.

DAWKINS, R. **The extended phenotype**. Oxford: Oxford University Press, 1982.

DELAPORTE, F. A história das ciências segundo Georges Canguilhem. *In*: Portocarrero, Vera (org.). **Filosofia, história e sociologia das ciências**: abordagens contemporâneas. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2009, p. 23-41.

DELIZOICOV, D. *et al.* Sociogênese do conhecimento e pesquisa em ensino: contribuições a partir do referencial fleckiano. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. Florianópolis, v.19, p. 52-69, 2002.

DESCARTES, R. **El tratado del hombre**. Traducción y comentarios de G. Quintás), Madrid: Alianza,1990. (Trabalho original publicado em 1662).

DESCARTES, R. **Discurso do método**. Tradução: Maria E. Galvão. 2. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1996. (Trabalho original publicado em 1637).

DESCARTES, R. **Princípios da filosofia**. Tradução: João Gama. Lisboa: Edições 70, 1997. (Trabalho original publicado em 1644).

DRESCHER A. Die Cellularpathologie in ihrer Begründung auf physiologische und pathologische Gewebelehre. **Medicina e Chirurgia**, v. 67, p. 3072-3076, 2015.

EFLIN, J. T.; GLENNAN, S.; REISCH, G. The nature of science: a perspective from the philosophy of science. **Journal of research in science the teaching**, v. 36, n. 1, p. 107-116, 1999.

EL-HANI, C. N. Between the cross and the sword: the crisis of the gene concept. **Genetics and Molecular Biology**, v. 30, n. 2, p. 297-307, 2007.

EMMECHE, C.; EL-HANI, C. Definindo vida. *In*: EL-HANI, C.; VIDEIRA, A. A. P. (org.). **O que é vida? Para Entender a Biologia do Século XXI**. Rio de Janeiro: Relume-Dumará, 2000, p. 31-56.

FALK, R. What is a gene? **Studies in the History and Philosophy of Science**, v. 17, p. 133-73, 1986.

FEDANZO Jr., A. J. Todas as coisas estão cheias de deuses - ou de informação. **J. Social Biol. Struct**, v. 6, p.135-138, 1983.

FEHR, J. Ludwik Fleck: sua vida e obra. *In*: CONDÉ, M. L. L. (org.), **Ludwik Fleck: estilos de pensamento na ciência**. Belo Horizonte: Fino Traço, 2012, p. 35-50.

FLECK, L. Some specific features of the medical way of thinking. *In*: COHEN, R.; SCHNELLE, T. (ed.). **Cognition and fact: materials on Ludwik Fleck**. Boston: Reidel Publish Company, 1986, p. 39-46. (Trabalho original publicado em 1927).

FLECK, L. On the crisis of 'reality'. *In*: COHEN, R.; SCHNELLE, T. (ed.). **Cognition and fact: materials on Ludwik Fleck**. Boston: Reidel Publish Company, 1986, p. 47-57. (Trabalho original publicado em 1929).

FLECK, L. Scientific observation and perception in general. *In*: COHEN, R.; SCHNELLE, T. (ed.). **Cognition and fact: materials on Ludwik Fleck**. Boston: Reidel Publish Company, 1986, p. 59-78. (Trabalho original publicado em 1935).

FLECK, L. The problem of epistemology. *In*: COHEN, R.; SCHNELLE, T. (ed.). **Cognition and fact: materials on Ludwik Fleck**. Boston: Reidel Publish Company, 1986, p. 79-112. (Trabalho original publicado em 1936).

FLECK, L. Problems of the science of science. *In*: COHEN, R.; SCHNELLE, T. (ed.). **Cognition and fact: materials on Ludwik Fleck**. Boston: Reidel Publish Company, 1986, p. 113-127. (Trabalho original publicado em 1946).

FLECK, L. To look, to see, to know. *In*: COHEN, R.; SCHNELLE, T. (ed.). **Cognition and fact: materials on Ludwik Fleck**. Boston: Reidel Publish Company, 1986, p. 129-151. (Trabalho original publicado em 1947).

FLECK, L. Crisis in science. *In*: COHEN, R.; SCHNELLE, T. (ed.). **Cognition and fact: materials on Ludwik Fleck**. Boston: Reidel Publish Company, 1986, p. 153-158. (Trabalho original publicado em 1960).

FLECK, L. **Gênese e Desenvolvimento de um Fato Científico**. Tradução: Georg Otte e Mariana Camilo de Oliveira. Belo Horizonte: Fabrefactum, 2010. (Trabalho original publicado em 1935).

FRANÇA, J. A. A. **Ensino- aprendizagem do conceito de "célula viva"**: proposta de estratégia para o ensino fundamental. 2015. 136 f. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Ensino de Ciências), Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

FONTANA, F.; PEREIRA, A. C. T. Pesquisa documental. *In*: MAGALHÃES JÚNIOR, C. A. de O.; BATISTA, M. C. (org.) **Metodologia da pesquisa em educação e ensino de ciências**. 2. ed. Ponta Grossa: Atena, 2023, p. 42-58.

FRASER, C. M. *et al.* The Minimal Gene Complement of *Mycoplasma genitalium*. **Science**, New York, v. 270, n. 5235, p. 397-403, 1995.

FREZZATTI Jr., W. A. As críticas de Ernst Haeckel à doutrina celular. **Filosofia e História da Biologia**. São Paulo, v. 10, n. 2, p. 257-275, 2015.

GALANTE, D. *et al.* **Astrobiologia**: uma Ciência Emergente. São Paulo: Núcleo de Pesquisa em Astrobiologia da Universidade de São Paulo / Tikinet, 2016. Disponível em: <<https://www.iag.usp.br/astrobiologia/sites/default/files/astrobiologia.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2024.

GÁNTI, T. **The principles of life**. Oxford: Oxford University Press, 2003. (Trabalho original publicado em 1971).

GIBSON, D. *et al.* Complete chemical synthesis, assembly, and cloning of a *Mycoplasma genitalium* genome. **Science**, New York, v. 319, p. 1215-1220, 2008.

GIBSON, D. *et al.* Creation of a bacterial cell controlled by a chemically synthesized genome. **Science**, New York, v. 329, p. 52-56, 2010.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GLASS, J. *et al.* Minimal Cell: Real and Imagined. **Cold Spring Harb Perspect Biol**, v. 9, p. p. 1-11, 2017.

GREEN, S. Philosophy of Systems and Synthetic Biology. **The Stanford Encyclopedia of Philosophy**. ZALTA, E. N. (ed.), 2022. Disponível em: <<https://plato.stanford.edu/archives/sum2022/entries/systems-synthetic-biology/>>.

HIRATA, C. Natureza e artifício: Leibniz e os modernos sobre a concepção dos corpos orgânicos como máquinas. Curitiba; São Paulo: **doisPontos**; Curitiba: **UFPR digital**, v. 15, n. 1, p. 95-109, 2018.

HOOKE, R. **Micrographia or some physiological descriptions of minute bodies made by magnifying glasses with observations and inquiries thereupon**. London :Royal Society, 1665.

HUTCHISON, C. A. *et al.* Global transposon mutagenesis and a minimal mycoplasma genome. **Science**, New York, v. 286, p. 2165-2169, 1999.

HUTCHISON, C. A. *et al.* Design and synthesis of a minimal bacterial genome. **Science**, New York, v. 351, p. 1-12, 2016.

JACOB, F. **A lógica da vida**: uma história da hereditariedade. Tradução: Ângela Loureiro de Souza. Rio de Janeiro: Edições Graal, 1983. (Trabalho original publicado em 1970).

JARNICKI, P. On the shoulders of Ludwik Fleck? On the bilingual philosophical legacy of Ludwik Fleck and its Polish, German and English translations. **The Translator**, v. 22, n. 3, p. 2-22, 2016.

KANT, I. **Crítica da faculdade do juízo**. Tradução: Valério Rohden e Antônio Marques. 3. ed. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2012. (Trabalho original publicado em 1790).

KANT, I. **Crítica da Razão Pura**. Tradução: Manuela Pinto e Alexandre Morujão. 5. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2001. (Trabalho original publicado em 1787).

KAUFFMAN, S. A. *et al.* Propagating organization: an enquiry. **Biology and Philosophy**, v. 23 p. 27-45, 2007.

KELLER, E. F. **O século do gene**. Belo Horizonte: Editora Crisálida, 2002.

KELLER, E. F. **Making Sense of Life: Explaining Biological Development with Models, Metaphors, and Machines**. Cambridge: Harvard University Press, 2003.

KRIEGMAN *et al.* A scalable pipeline for designing reconfigurable organisms. **Proc. Natl. Acad. Sci.** Boston, v. 117, p. 1853-1859, 2020.

LACEY, H. Há alternativas ao uso dos transgênicos? **Novos estudos**, n. 78, p.31-39, 2007.

LANE, N. The unseen world: reflections on Leeuwenhoek (1677) 'Concerning little animals'. **Phil. Trans. R. Soc. B**, v. 370, p. 1-10, 2015.

LATOUR, B.; WOOLGAR, S. **A Vida de Laboratório: a produção dos fatos científicos**. Tradução: Angela R. Vianna. Rio de Janeiro: Relume-Dumara, 1997.

LARTIGUE, C. *et al.* Genome transplantation in bacteria: changing one species to another. **Science**, New York, v. 317, p. 632-638, 2007.

LOGAN, R. K. **O que é informação? A propagação da organização na biosfera, na simbolosfera, na tecnosfera e na econosfera**. Tradução: Adriana Braga. Rio de Janeiro: Contraponto: PUC-Rio, 2012.

LORENZETTI, L.; DELIZOICOV, D. Estilos de pensamento em educação ambiental: uma análise a partir das dissertações e teses. In: **Encontro Nacional de Pesquisa em educação em Ciências**, v. 7, 2009, Florianópolis. Anais [...] Florianópolis: ABRAPEC, 2009.

LÖWY, I. Introduction: Philosophy of Medicine in Poland. In: Löwy, I. **The Polish school of philosophy of medicine: from Tytus Chalubinski to Ludwik Fleck**. Dordrecht: Reidel Publish Company, 1990, p. 1-12.

LÖWY, I. Ludwik Fleck e a presente história das ciências. **História, Ciências, Saúde-Manguinhos**, v.1, n.1, p. 7-18, 1994.

LÖWY, I. Fleck no seu tempo, Fleck no nosso tempo: Gênese e desenvolvimento de um pensamento. *In*: CONDÉ, M. L. L. (org.), **Ludwik Fleck: estilos de pensamento na ciência**. Belo Horizonte: Fino Traço, 2012, p. 11-33.

LUISI P. L. **A Emergência da Vida: Das Origens Químicas à Biologia Sintética**. Tradução: Aurora Fornoni Bernardini, São Paulo: EDUSP, 2013.

LUZ, M. R. B.; OLIVEIRA, C. M. de; OLIVEIRA, A. L. de. A história da célula nos livros didáticos de ciências: um olhar crítico e reflexivo sobre a temática. **Revista Valore**, [S./], v. 3, p. 630-641, 2018.

MAGALHÃES, M. Por uma medicina científica e humanista: a atualidade da obra de Rudolf Virchow. **História, Ciências, Saúde - Manguinhos**, v. 17, n.2, p. 537-538, 2010.

MAGALHÃES JÚNIOR, C. A. de O.; BATISTA, M. C. (org.) **Metodologia da pesquisa em educação e ensino de ciências**. 2. ed. Ponta Grossa: Atena, 2023.

MARTINS DOS SANTOS, V. A. P *et al.* An Introduction to Synthetic Biology. *In*: Markus Schmidt *et al.* (ed.). **Synthetic Biology: the Technoscience and Its Societal Consequences**. New York: Springer, 2009, p. 23-48.

MARTINS, L. A. P. História da Ciência: objetos, métodos e problemas. **Ciência & Educação**, v. 11, n. 2, p. 305-317, 2005.

MARTINS, R. de A. Robert Hooke e a Pesquisa Microscópica dos Seres Vivos. **Filosofia e História da Biologia**. São Paulo, v. 6, n. 1 p. 105-142, 2011.

MARTINS, A. F. P. A Obra Aberta de Ludwik Fleck. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**. Minas Gerais, v. 20, n. 1, p. 1197-1226, 2020.

MAYR, E. **Desenvolvimento do pensamento biológico: diversidade, evolução e herança**. Brasília: UnB, 1998.

MAYR, E. **Biologia, ciência única: reflexões sobre a autonomia de uma disciplina científica**. São Paulo: Companhia das Letras, 2005.

MAYR, E. **Isto é biologia: a ciência do mundo vivo**. São Paulo: Companhia das Letras, 2008.

MATTHEWS, B. **Schelling's Organic Form of Philosophy: Life as the Schema of Freedom**. Albany: SUNY Press, 2011.

MATURANA, H; VARELA, F. **A árvore do conhecimento**. Tradução: Jonas Pereira dos Santos. Campinas: ed. Psy II, 1995. (Trabalho original publicado em 1984).

MATURANA, H.; VARELA, F. **De máquinas e seres vivos - Autopoiese: a organização do vivo**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1997. (Trabalho original publicado em 1973).

MATURANA, H. Comments on A. Fedanzo Jr. "All things are full of gods - or information". **J. Social Biol. Struct.** [S./], n. 6, p. 155-158, 1983.

MAZANA J. S. Rudolph Virchow en el centenario de su muerte. **Anales de Medicina Interna**, v. 19, n. 12, p. 649-650, 2002

MINAYO, M. C. de S (org.). **Pesquisa Social: teoria, método e criatividade**. Petrópolis: Vozes, 2016.

MOGER-REISCHER, R. Z. *et al.* Evolution of a minimal cell. **Nature**, v. 620, p. 122-127, 2023.

MOURA, B. A. O que é natureza da Ciência e qual sua relação com a história e filosofia da ciência? **Revista Brasileira de História da Ciência**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 1, p. 32-46, 2014.

MPODOZIS, J. A equação fundamental da Biologia. *In*: VAZ, N. M., MPODOZIS, J., BOTELHO, J. F., RAMOS, G. **Onde está o organismo?** Florianópolis: Editora UFSC, 2011, p. 25-44.

MÜLLER, J. P. **Elements of Physiology**. Tradução: W. M. Baly. Philadelphia: Lea and Blanchard, 1843.

NASCIMENTO JÚNIOR, A. F. **Construção de estatutos de ciência para a biologia numa perspectiva histórico-filosófica: uma abordagem estruturante para seu ensino**. 2010. 437 f. Tese (Doutorado em Educação para a Ciência) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências, Bauru, 2010.

NASCIMENTO, J. V. **Citologia no ensino fundamental: dificuldades e possibilidades na produção de saberes docentes**. 2016. 107 f. Dissertação (Mestrado em Ensino na Educação Básica), Programa de Pós-Graduação em Ensino na Educação Básica, Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus, 2016.

NEVES, R. F.; CARNEIRO-LEÃO, A. M. A.; FERREIRA, H. S. A imagem da célula em livros de Biologia: Uma abordagem a partir da teoria cognitivista da aprendizagem multimídia. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 21, n. 1, p. 94-105, 2016.

NICHOLSON, D. J. Biological Atomism and Cell Theory. **Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences**, v. 41, n. 3, p. 202-211, 2010.

NICHOLSON, D. J. The Machine Conception of the Organism in Development and Evolution: A Critical Analysis. **Studies in History and Philosophy of Science Part**

C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences, v. 48, p.162-174, 2014a.

NICHOLSON, D. J. The Return of the Organism as a Fundamental Explanatory Concept in Biology. **Philosophy Compass**, v. 9 n.5, p. 347-359, 2014b.

NICHOLSON, D. J. Is the Cell Really a Machine? **Journal of Theoretical Biology**, v. 47, p. 108-126, 2019.

NOTO, C. de S. A trajetória intelectual de Canguilhem. **Discurso**, v. 45, n. 2, p. 355-362, 2015.

NOGUEIRA, F. S. **Ludwik Fleck e o Círculo de Viena: história, ciência e linguagem**. Curitiba: Appris, 2021.

NOUVEL, P. De la biologie synthétique à l'homme synthétique. **Comptes Rendus Biologies**, v. 338, n. 8-9, p. 559-565, 2015.

ODENBAUGH, J.; GRIFFITHS, P. Philosophy of Biology. **The Stanford Encyclopedia of Philosophy**. ZALTA, E. N. (ed.), 2022. Disponível em: <https://plato.stanford.edu/archives/sum2022/entries/biology-philosophy/>.

O'MALLEY, M. A. *et al.* Knowledge-making Distinctions in Synthetic Biology. **BioEssays**, v. 30, p. 57-65, 2008.

OPARIN, A. **A origem da vida**. Tradução: Ernesto Luis Maia. Rio de Janeiro: Editorial Vitória, 1956. (Trabalho original publicado em 1924).

OTTE, G. Fato e pensamento em Ludwik Fleck e Walter Benjamin. *In*: CONDÉ, M. L. L. (org.), **Ludwik Fleck: estilos de pensamento na ciência**. Belo Horizonte: Fino Traço, 2012, p. 109-119.

PARREIRAS, M. M. M. **Ludwik Fleck e a historiografia da ciência: diagnóstico de um estilo de pensamento segundo as ciências da vida**. Dissertação (Mestrado em História). 2006. 204 f. Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas, Belo Horizonte, 2006.

PARREIRAS, M. M. M. **Contribuições da epistemologia de Ludwik Fleck para a formação de professores em educação do campo: um estudo dos estilos de pensamento sobre o conceito de natureza**. 2018. 376 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas. Belo Horizonte, 2018.

PEREIRA Jr., A. Os Temas da Auto-Organização e Informação Biológicas na segunda metade do Séc. XX. **Revista Helius**, Vale do Acaraú, v. 3, p. 1088-1119, 2020.

PETERSON, S. N.; FRASER, C. M. The complexity of simplicity. **Genome Biology**, v. 2, n. 2, p. 1-7, 2001.

PINHEIRO, R. M. de S.; ECHALAR, A. D. L. F.; QUEIROZ, J. R. de O. O conceito de célula no processo de ensino e aprendizagem: Relações entre os modos de fazer ciência, ensinar e aprender. **Revista Contexto & Educação**, [S. l.], v. 37, n. 118, 2022.

POPPER, K. R. **A lógica da pesquisa científica**. Tradução: Leonidas Hegenberg e Octanny Silveira da Mota. São Paulo: Cultrix, 2004.

PORTOCARRERO, V. **As ciências da vida: de Canguilhem a Foucault**. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 2009.

PRESTES, M. E. B. **Teoria celular: de Hooke a Schwann**. São Paulo: Scipione, 1997.

RECIO, J. L. G. Elementos dinámicos de la teoría celular. **Revista de Filosofía**. Madrid, v. 3, n. 4, p. 83-109, 1990.

REICHENBACH, H. **Experience and Prediction: an analysis of the foundations and the structure of knowledge**. Chicago: The University of Chicago Press, 1970.

REIS, A. P. *et al.* Diversificação do ensino em Genética e Citologia visando melhor aprendizado e diminuição da retenção e evasão. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n.3, p. 25696-25709, 2021.

RONAN, C. A. **História ilustrada da ciência**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 1987. v. 4.

ROSA, C. A. de P. **História da ciência: o pensamento científico e a ciência no século XIX**. 2. ed., Brasília: FUNAG, 2012.

ROSSI, P. *Los filósofos y las máquinas, 1400-1700*. Tradução: J. M. Mora. Barcelona: Editorial Labor, 1966.

SADY, W. Ludwik Fleck. **The Stanford Encyclopedia of Philosophy**. ZALTA, E. N. (ed.), 2021 Disponível em: <<https://plato.stanford.edu/archives/win2021/entries/fleck/>>.

SAITO, M. T. A noção de verdade e a circulação do conhecimento científico em Fleck: elementos para uma reflexão sobre a era da pós-verdade. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 37, n. 3, p. 1217-1249, 2020.

SCHÄFER, L.; SCHNELLE, T. Fundamentação da perspectiva sociológica de Ludwik Fleck na teoria da ciência. *In*: FLECK, Ludwik. **Gênese e desenvolvimento de um fato científico**. Belo Horizonte: Fabrefactum, 2010, p. 1-36.

SCHLEIDEN, M. **Contributions to Phylogenesis**. Tradução de Henry Smith. London: The Sydenham Society, 1847. (Trabalho original publicado em 1838).

SCHLÜNDER, M. Escrever a história para ver e aprender a perguntar: a indefinição produtiva da epistemologia de Ludwik Fleck e a história da medicina reprodutiva (um

esboço). *In*: CONDÉ, M. L. L. (org.), **Ludwik Fleck: estilos de pensamento na ciência**. Belo Horizonte: Editora Fino Traço, 2012. p. 145-157.

SCHNELLE, T. Ludwik Fleck and the Philosophy of Lwów. *In*: COHEN, R. S.; Schnelle, T. **Cognition and Fact: Materials on Ludwik Fleck**. Dordrecht: Reidel Publish Company, 1986, p. 231-265.

SCHRÖDINGER, E. **O que é vida? O aspecto físico da célula viva seguido de ente e matéria e Fragmentos autobiográficos**. Tradução: Jesus de Paula Assis e Vera Yukie Kuwajima de Paula Assis. São Paulo: Fundação Editora da UNESP, 1997. (Trabalho original publicado em 1944).

SCHWANN, T. **Microscopical Researches on the Similarity in Structure and Growth of Animals and Plants**. Tradução: Henry Smith. London: The Sydenham Society, 1847. (Trabalho original publicado em 1839).

SETLIK, J., SILVA, H. C. Circulação de Conhecimentos e a Produção de Fatos Científicos: Propondo uma Trajetória Analítica para Textos em Educação em Ciências. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 21, p.1-33, 2021.

SILVA, E. C. C. da. **A Teoria Celular em livros didáticos de biologia: uma análise a partir da abordagem histórico-filosófica da ciência**. 2014. 290 f. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências e em Matemática). Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e em Matemática, Curitiba, 2014.

SILVA, E. C. C. da; AIRES, J. A. Panorama histórico da Teoria Celular. **História da Ciência e Ensino: construindo interfaces**, São Paulo, v. 14, p. 1-18, 2016.

SILVA, E. C. C. da; AIRES, J. A. Correntes filosóficas na concepção de vida: contribuições ao ensino da teoria celular. **Filosofia e História da Biologia**. São Paulo, v. 14, n. 2, p. 115-135, 2019.

SILVA, E. C. C. da; AIRES, J. A. A teoria celular em livros didáticos de Biologia: uma análise sobre as concepções acerca da natureza da ciência. **Revista Insignare Scientia - RIS**, Cerro Largo, v. 4, n. 3, p. 309-327, 2021.

SILVER, G. Virchow, The Heroic Model in Medicine: Health Policy by Accolade. **American Journal of Public Health**, v. 77, 1987, p. 85-86.

SIMÃO, M. M.; PARANHOS, R. de D.; GUIMARÃES, S. S. M. As formas de pensar a vida como objeto de estudo primordial da biologia. **Revista Brasileira de História da Ciência**, Rio de Janeiro, v. 14, p. 235-251, 2021.

SOUTO, C. A. T. **Georges Canguilhem: o devir de um pensamento**. 2019a. 300f. Tese (Doutorado em Filosofia) – Universidade Federal de São Carlos, Programa de Pós-Graduação em Filosofia, São Carlos, 2019a.

SOUTO, C. A. T. O problema do estilo de pensamento: entre sociologia das ciências e epistemologia histórica. **Revista Interdisciplinar em Cultura e Sociedade**, São Luís, v. 5, n. 2, p. 372-404, 2019b.

SOUTO, C. A. T. O impacto da teoria genética na filosofia biológica de Georges Canguilhem. **Revista PERI**, Florianópolis, v. 12, p. 241-262, 2020.

SOUTO, C. A. T. O vitalismo crítico de Georges Canguilhem. **O que nos faz pensar**, v. 29, n. 48, p. 212-231, 2021.

SOUZA, I. L. N. de; AIRES, J. A. Uso de um episódio histórico para o Ensino sobre Ciência: contribuições a partir de Fleck. *In*: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA (VII SINECT), 2022, Ponta Grossa. Anais [...] Ponta Grossa: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2022. p. 20-31.

TELES, N.; FONSECA, M. J. A importância do microscópio ótico na revolução científica – das práticas educacionais à representação museológica. **História da Ciência e Ensino**, v. 20, p. 126-140, 2019.

TEULÓN, A. La teoría celular, paradigma de la biología del siglo XIX. **Acta Hispanica ad Medicinae Scientiarumque Historiam Illustrandam**, v. 2, p. 241-262, 1982.

VARELA, F.; MATURANA, H.; URIBE, R. Autopoiesis: the organization of living systems, its characterization, and a model. **Biosystems**, v. 5, p. 187-196, 1974.

VASCONCELLOS, M. J. E. de. **Pensamento sistêmico: o novo paradigma da ciência**. 10 ed. Campinas: Papyrus, 2013.

VAZ, N. M., MPODOZIS, J., BOTELHO, J. F., RAMOS, G. **Onde está o organismo?** Florianópolis: Editora UFSC, 2011.

VIGÁRIO, A. F.; CICILLINI, G. A. Os saberes e a trama do ensino de Biologia Celular no nível médio. **Ciências da Educação, Bauru**, São Paulo, v. 25, n. 1, p. 57-74, 2019.

VIRCHOW, R. L. Cellular Pathologie. **Archiv für Pathologische Anatomie und Physiologie klinische Medicine**, Berlin, v. 8, p. 3-39, 1855.

VIRCHOW, R. L. K. **Cellular pathology**, London: John Churchill, 1978. (Trabalho original publicado em 1859).

WATSON, J. D. Introduction. *In*: WATSON, J. D.; BERRY, A. **DNA: The Secret of Life**. New York: Alfred A. Knopf, 2003, p. xi-xiv.

WIENER, N. **Cibernética e sociedade: o uso humano de seres humanos**. Tradução: José Paulo Paes. 2. ed. São Paulo: Cultrix, 1965. (Trabalho original publicado em 1954).

WIENER, N. **Cybernetics: or control and communication in the animal and the machine**. 2. ed. Cambridge, Massachusetts: M.I.T. Press, 1961.

XAVIER J. C; PATIL, K. R; ROCHA I. Systems biology perspectives on minimal and simpler cells. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, v. 78, n. 3, p. 487-509, 2014.

ZATERKA, L. Francis Bacon e a questão da longevidade humana. **Scientiae Studia**, v. 13, n. 3, p. 495-517, 2015.

ZATERKA, L. A reconfiguração do empirismo: química, medicina e história natural a partir do programa baconiano de conhecimento. **doispontos**, São Paulo, v. 15, n. 1, p. 3-17, 2018.

ZATERKA, L. A questão da vida e da morte na filosofia de Francis Bacon. **Filosofia e História da Biologia**, São Paulo, v. 8, n. 3, p. 587-602, 2013.

ZATERKA, L. As teorias da matéria de Francis Bacon e Robert Boyle: forma, textura e atividade. **Scientiae Studia**, São Paulo, v. 10 n. 4, p. 681-709, 2012.

ZATERKA, L.; MOCELLIN, R. C. **Ensaio de História e Filosofia da Química**. São Paulo: Ideias & Letras, 2022.

**APÊNDICE A - EXCERTOS IDENTIFICADOS NO LIVRO 1- 'MICROGRAPHIA', DE
ROBERT HOOKE (FP/CCC-1)**

FATO CIENTÍFICO EM ANÁLISE: Conceito Clássico de Célula.	
EPISÓDIO HISTÓRICO (EH): Descrições e ilustrações de materiais observados por Robert Hooke em seu microscópio óptico (1665) - EH1.	
CÓDIGO	EXCERTO
FP/CCC-1.1	Desta forma, apresento ao mundo meus esforços imperfeitos, que embora não se mostrem consideráveis de outra maneira, ainda assim, espero, podem ser de alguma forma úteis para o projeto principal de uma reforma na Filosofia, mesmo que seja apenas por mostrar que não se requer para isso, qualquer força de imaginação, ou exatidão de método, ou profundidade de contemplação [...] como uma mão sincera e um olho fiel, para examinar e registrar as próprias coisas como elas aparecem (Hooke, 1665, prefácio, tradução nossa).
FP/CCC-1.2	Sendo esses os perigos no processo da razão humana, os remédios para todos eles só podem provir da filosofia real, mecânica e experimental, que tem essa vantagem sobre a filosofia do discurso e da disputa, que visa principalmente a sutileza de suas Deduções e Conclusões, sem muita consideração pelo primeiro trabalho de base, que deve ser bem colocado no Sentido e na Memória (Hooke, 1665, prefácio, tradução nossa).
FP/CCC-1.3	[...] E não proponho este tipo de Filosofia Experimental apenas como questão de alto êxtase e deleite da mente, mas também como Prazer material e sensível. Tão vasta é a variedade de objetos que virão sob suas inflexões, tantas maneiras diferentes de manipulá-los, tão grande é a satisfação de descobrir coisas novas, que ousou comparar o contentamento que eles terão, não apenas com aquele de contemplação, mas mesmo para o que a maioria dos homens prefere dos próprios sentidos (Hooke, 1665, prefácio, tradução nossa).
FP/CCC-1.4	Como na Geometria, a forma mais natural de começar é a partir de um ponto Matemático; assim o mesmo método em Observações e História Natural é o mais genuíno, simples e instrutivo. Nós devemos primeiro nos esforçar para tornar as letras verdadeiras e traçar traços únicos antes de nos aventurarmos a escrever frases inteiras ou a desenhar figuras grandes. E nas Investigações Físicas, devemos nos esforçar para seguir a Natureza nos caminhos mais claros e fáceis que ela trilha nos corpos mais simples e descompostos, traçar seus passos e conhecer sua maneira de andar lá, antes de nos aventurarmos no multidão de meandros ela tem em corpos de natureza mais complicada; para que, sendo incapazes de distinguir e julgar nosso caminho, rapidamente percamos tanto a Natureza, nosso Guia, quanto a nós mesmos, e sejamos deixados a vagar no labirinto de opiniões infundadas; querendo tanto o julgamento, essa luz, quanto a experiência, essa pista, que deve direcionar nossos procedimentos (Hooke, 1665, p. 1, tradução nossa).
FP/CCC-1.5	[...] não precisamos nos preocupar em descobrir que tipo de poros são, tanto na pederneira quanto no aço, que contêm os átomos de fogo, nem como esses átomos são impedidos de se esgotar, quando uma passagem em seus poros é feita pela concussão: nem precisamos nos incomodar para examinar por que Prometeu, o Elemento do Fogo vem ser trazido de cima das Regiões do Ar, em quais Células ou Caixas ele é mantido (Hooke, 1665, p. 46, tradução nossa).
FP/CCC-1.6	Eu fui capaz de descobrir claramente a olho nu, mas mais perfeita e distintamente com meu microscópio; todas essas suturas, quebrando algumas dessas pedras, descobri serem os terminais, ou delimitações de certos diafragmas, ou partições, que pareciam dividir a cavidade da Concha em uma multidão de células ou cavernas muito proporcionais e regulares, esses diafragmas, em muitos deles, achei muito perfeitos e completos (Hooke, 1665, p. 111, tradução nossa).
FP/CCC-1.7	Mas a julgar pela leveza e qualidade da cortiça, certamente a textura não poderia ser tão curiosa, mas possivelmente, se eu pudesse usar um pouco mais de diligência, poderia descobri-la com um microscópio, eu com o mesmo canivete

	<p>afiado, cortei da superfície lisa anterior um pedaço extremamente fino colocando-o em uma placa de objeto preto, porque ele próprio era um corpo branco, e lançando a luz sobre ele com um vidro plano-convexo profundo, pude percebê-lo claramente como sendo todo perfurado e poroso, muito parecido com um favo de mel, mas que os poros não eram regulares; no entanto, não era diferente de um favo de mel nesses detalhes.</p> <p>Primeiro, porque tinha muito pouca substância sólida, em comparação com a cavidade vazia que estava contida no meio, [...] para o interstício, ou paredes (como posso chamar eles) ou partições desses poros eram tão finos em proporção a seus poros, como aquelas finas películas de cera em um favo de mel (que envolvem e constituem os celas sexangulares) são para os deles (Hooke, 1665, p. 112-113, tradução nossa).</p>
FP/CCC-1.8	<p>[...] esses poros, ou células, não eram muito profundos, mas consistiam em muitas pequenas caixas, separadas de um poro longo e contínuo, por certos diafragmas [...].</p> <p>Tão logo os discerni (que foram de fato os primeiros poros microscópicos que eu já vi, e talvez, que já foram vistos, pois eu não encontrei nenhum escritor ou pessoa, que fez qualquer menção a eles antes disso), pensei que a descoberta deles, atualmente me deu a entender a verdadeira e inteligível razão de todos os fenômenos da cortiça (Hooke, 1665, p. 113, tradução nossa).</p>
FP/CCC-1.9	<p>[...] nosso microscópio nos informa que a substância da cortiça é totalmente preenchida com o ar, e que esse ar está perfeitamente encerrado em pequenas caixas ou células distintas umas das outras (Hooke, 1665, p. 113, tradução nossa).</p>
FP/CCC-1.10	<p>[...] Eu contei várias linhas desses poros e descobri que geralmente havia cerca de sessenta dessas pequenas células colocadas nas extremidades na décima oitava parte de uma polegada de comprimento, de onde concluí que deveria haver cerca de mil e cem delas, ou um pouco mais do que mil no comprimento de uma polegada e, portanto, em uma polegada quadrada acima de um milhão, ou 1166400 e em uma polegada cúbica, acima de duzentos milhões, ou 1259712000 (Hooke, 1665, p. 114, tradução nossa).</p>
FP/CCC-1.11	<p>E, nesse meio tempo, devo concluir que, tanto quanto fui capaz de examinar a natureza desse tipo primário de vida e vegetação, não consigo encontrar o argumento menos provável para me persuadir de que outra causa concorrente é puramente mecânica e que os efeitos ou produções são tão necessários após a concordância dessas causas quanto um navio, quando as velas são içadas e o leme é colocado em tal posição, deve, quando o vento sopra, ser movido de tal maneira ou curso para aquele ou outro lugar (Hooke, 1665, p. 130-131, tradução nossa).</p>
FP/CCC-1.12	<p>Podemos perceber, mesmo nesses pequenos grãos, quanto nos maiores, quão curiosa e cuidadosa é a natureza em preservar o princípio seminal dos corpos vegetais, em que gabinetes delicados, fortes e convenientes ela os coloca e os fecha em uma polpa para sua proteção mais segura contra perigos externos e para o suprimento de suco alimentar conveniente, quando o calor do sol começa a animar e mover esses pequenos autômatos ou motores (Hooke, 1665, p. 153-154, tradução nossa).</p>
FP/CCC-1.13	<p>Assim seja com esses curiosos motores de corpos de insetos; o Todo-sábio Deus da Natureza, pode ter assim ordenado e dispuseram os pequenos autômatos que, quando alimentados, acionados ou animados por essa causa, produzem um tipo de efeito ou forma animada, quando por outro eles agem de maneira bem diferente, e outro animal é produzido. Assim, ele pode ordenar vários materiais, de modo a fazê-los, por vários tipos de métodos, produzir autômatos semelhantes (Hooke, 1665, p. 194, tradução nossa).</p>
FP/CCC-1.14	<p>Para suprir, portanto, cada uma dessas pernas com sua força adequada, a Natureza permitiu a cada uma um grande Tórax ou Célula, na qual está incluído um Músculo muito grande e forte, e assim este pequeno Animal não é apenas capaz de suspender seu corpo sobre menos que estas oito pernas, mas para movê-lo muito rapidamente sobre a grama e as folhas (Hooke, 1665, p. 199, tradução nossa).</p>

**APÊNDICE B - CATEGORIZAÇÃO REFERENTE AO ESTUDO DO EPISÓDIO
HISTÓRICO ENCONTRADO NO LIVRO 1- 'MICROGRAPHIA', DE ROBERT
HOOKE (FP/CCC-1)**

FATO CIENTÍFICO EM ANÁLISE: Conceito Clássico de Célula.		
EPISÓDIO HISTÓRICO (EH): Descrições e ilustrações de materiais observados por Robert Hooke em seu microscópio óptico (1665) - EH1.		
CÓDIGO	EXCERTO	CATEGORIAS A PRIORI
FP/CCC-1.1A	Desta forma, apresento ao mundo meus esforços imperfeitos, que embora não se mostrem consideráveis de outra maneira, ainda assim, espero, podem ser de alguma forma úteis para o projeto principal de uma reforma na Filosofia, mesmo que seja apenas por mostrar que não se requer para isso, qualquer força de imaginação, ou exatidão de método, ou profundidade de contemplação [...] como uma mão sincera e um olho fiel, para examinar e registrar as próprias coisas como elas aparecem (Hooke, 1665, prefácio, tradução nossa).	<i>Ênfase na observação e/ou experimentos na interpretação do objeto de investigação</i>
FP/CCC-1.2B	Sendo esses os perigos no processo da razão humana, os remédios para todos eles só podem provir da filosofia real, mecânica e experimental, que tem essa vantagem sobre a filosofia do discurso e da disputa, que visa principalmente a sutileza de suas Deduções e Conclusões, sem muita consideração pelo primeiro trabalho de base, que deve ser bem colocado no Sentido e na Memória (Hooke, 1665, prefácio, tradução nossa).	
FP/CCC-1.3A	[...] E não proponho este tipo de Filosofia Experimental apenas como questão de alto êxtase e deleite da mente, mas também como Prazer material e sensível. Tão vasta é a variedade de objetos que virão sob suas inflexões, tantas maneiras diferentes de manipulá-los, tão grande é a satisfação de descobrir coisas novas , que ouso comparar o contentamento que eles terão, não apenas com aquele de contemplação, mas também para o que a maioria dos homens preferem dos próprios sentidos (Hooke, 1665, prefácio, tradução nossa).	

FP/CCC-1.6A	<p>Eu fui capaz de descobrir claramente a olho nu, mas mais perfeita e distintamente com meu microscópio; todas essas suturas, quebrando algumas dessas pedras, descobri serem os terminais, ou delimitações de certos diafragmas, ou partições, que pareciam dividir a cavidade da Concha em uma multidão de células ou cavernas muito proporcionais e regulares, esses diafragmas, em muitos deles, achei muito perfeitos e completos (Hooke, 1665, p. 111, tradução nossa).</p>	
FP/CCC-1.7A	<p>Mas a julgar pela leveza e qualidade da cortiça, certamente a textura não poderia ser tão curiosa, mas possivelmente, se eu pudesse usar um pouco mais de diligência, poderia descobri-la com um microscópio, eu com o mesmo canivete afiado, cortei da superfície lisa anterior um pedaço extremamente fino colocando-o em uma placa de objeto preto, porque ele próprio era um corpo branco, e lançando a luz sobre ele com um vidro plano-convexo profundo, pude percebê-lo claramente como sendo todo perfurado e poroso, muito parecido com um favo de mel, mas que os poros não eram regulares; no entanto, não era diferente de um favo de mel nesses detalhes.</p> <p>Primeiro, porque tinha muito pouca substância sólida, em comparação com a cavidade vazia que estava contida no meio, [...] para o interstício, ou paredes (como posso chamar eles) ou partições desses poros eram tão finos em proporção a seus poros, como aquelas finas películas de cera em um favo de mel (que envolvem e constituem os celtas sexangulares) são para os deles (Hooke, 1665, p. 112-113, tradução nossa).</p>	
FP/CCC-1.8A	<p>[...] esses poros, ou células, não eram muito profundos, mas consistiam em muitas pequenas caixas, separadas de um poro longo e contínuo, por certos diafragmas [...].</p> <p>Tão logo os discerni (que foram de fato os primeiros poros microscópicos que eu já vi, e talvez, que já foram vistos, pois eu não encontrei nenhum escritor ou pessoa, que fez qualquer menção a eles antes disso), pensei que a descoberta deles, atualmente me deu a entender a verdadeira e inteligível razão de todos os fenômenos da cortiça</p>	

	(Hooke, 1665, p. 113, tradução nossa).	
FP/CCC-1.9A	[...] nosso microscópio nos informa que a substância da cortiça é totalmente preenchida com o ar , e que esse ar está perfeitamente encerrado em pequenas caixas ou células distintas umas das outras (Hooke, 1665, p. 113, tradução nossa).	
FP/CCC-1.4A	Como na Geometria, a forma mais natural de começar é a partir de um ponto Matemático; assim o mesmo método em Observações e História Natural é o mais genuíno, simples e instrutivo. Nós devemos primeiro nos esforçar para tornar as letras verdadeiras e traçar traços únicos antes de nos aventurarmos a escrever frases inteiras ou a desenhar figuras grandes. E nas Investigações Físicas, devemos nos esforçar para seguir a Natureza nos caminhos mais claros e fáceis que ela trilha nos corpos mais simples e descompostos, traçar seus passos e conhecer sua maneira de andar lá, antes de nos aventurarmos no multidão de meandros ela tem em corpos de natureza mais complicada; para que, sendo incapazes de distinguir e julgar nosso caminho, rapidamente percamos tanto a Natureza, nosso Guia, quanto a nós mesmos, e sejamos deixados a vagar no labirinto de opiniões infundadas; querendo tanto o julgamento, essa luz, quanto a experiência, essa pista, que deve direcionar nossos procedimentos (Hooke, 1665, p. 1, tradução nossa).	<i>Física clássica/Matemática como modelo para explicar a ciência</i>
FP/CCC-1.10A	[...] Eu contei várias linhas desses poros e descobri que geralmente havia cerca de sessenta dessas pequenas células colocadas nas extremidades na décima oitava parte de uma polegada de comprimento, de onde concluí que deveria haver cerca de mil e cem delas, ou um pouco mais do que mil no comprimento de uma polegada e, portanto, em uma polegada quadrada acima de um milhão, ou 1166400 e em uma polegada cúbica, acima de duzentos milhões, ou 1259712000 (Hooke, 1665, p. 114, tradução nossa).	
FP/CCC-1.11A	E, nesse meio tempo, devo concluir que, tanto quanto fui capaz de examinar a natureza desse tipo primário de vida e vegetação, não consigo encontrar o argumento menos provável para me persuadir de que outra causa concorrente é puramente mecânica e que os efeitos ou produções são tão necessários após a concordância dessas causas quanto um navio, quando as velas são içadas e o	<i>Assimilação dos seres vivos às máquinas</i>

	leme é colocado em tal posição, deve, quando o vento sopra, ser movido de tal maneira ou curso para aquele ou outro lugar (Hooke, 1665, p. 130-131, tradução nossa).	
FP/CCC-1.12A	Podemos perceber, mesmo nesses pequenos grãos, quanto nos maiores, quão curiosa e cuidadosa é a natureza em preservar o princípio seminal dos corpos vegetais, em que gabinetes delicados, fortes e convenientes ela os coloca e os fecha em uma polpa para sua proteção mais segura contra perigos externos e para o suprimento de suco alimentar conveniente, quando o calor do sol começa a animar e mover esses pequenos autômatos ou motores (Hooke, 1665, p. 153-154, tradução nossa).	
FP/CCC-1.13A	Assim seja com esses curiosos motores de corpos de insetos; o Todo-sábio Deus da Natureza, pode ter assim ordenado e dispuseram os pequenos autômatos que, quando alimentados, acionados ou animados por essa causa, produzem um tipo de efeito ou forma animada, quando por outro eles agem de maneira bem diferente, e outro animal é produzido. Assim, ele pode ordenar vários materiais, de modo a fazê-los, por vários tipos de métodos, produzir autômatos semelhantes (Hooke, 1665, p. 194, tradução nossa).	
FP/CCC-1.5A	[...] não precisamos nos preocupar em descobrir que tipo de poros são, tanto na pederneira quanto no aço, que contêm os átomos de fogo, nem como esses átomos são impedidos de se esgotar, quando uma passagem em seus poros é feita pela concussão: nem precisamos nos incomodar para examinar por que Prometeu, o Elemento do Fogo vem ser trazido de cima das Regiões do Ar, em quais Células ou Caixas ele é mantido (Hooke, 1665, p. 46, tradução nossa).	<i>Ausência de compreensão da célula como manifestação de vida</i>
FP/CCC-1.6B	Eu fui capaz de descobrir claramente a olho nu, mas mais perfeita e distintamente com meu microscópio; todas essas suturas, quebrando algumas dessas pedras, descobri serem os terminais, ou delimitações de certos diafragmas, ou partições, que pareciam	

	<p>dividir a cavidade da Concha em uma multidão de células ou cavernas muito proporcionais e regulares, esses diafragmas, em muitos deles, achei muito perfeitos e completos (Hooke, 1665, p. 111, tradução nossa).</p>	
FP/CCC-1.8B	<p>[...] esses poros, ou células, não eram muito profundos, mas consistiam em muitas pequenas caixas, separadas de um poro longo e contínuo, por certos diafragmas [...].</p> <p>Tão logo os discerni (que foram de fato os primeiros poros microscópicos que eu já vi, e talvez, que já foram vistos, pois eu não encontrei nenhum escritor ou pessoa, que fez qualquer menção a eles antes disso), pensei que a descoberta deles, atualmente me deu a entender a verdadeira e inteligível razão de todos os fenômenos da cortiça (Hooke, 1665, p. 113, tradução nossa).</p>	<p><i>Uso inespecífico do termo cell (célula)</i></p>
FP/CCC-1.9B	<p>[...] nosso microscópio nos informa que a substância da cortiça é totalmente preenchida com o ar, e que esse ar está perfeitamente encerrado em pequenas caixas ou células distintas umas das outras (Hooke, 1665, p. 113, tradução nossa).</p>	
FP/CCC-1.14A	<p>Para suprir, portanto, cada uma dessas pernas com sua força adequada, a Natureza permitiu a cada uma um grande Tórax ou Célula, na qual está incluído um Músculo muito grande e forte, e assim este pequeno Animal não é apenas capaz de suspender seu corpo sobre menos que estas oito pernas, mas para movê-lo muito rapidamente sobre a grama e as folhas (Hooke, 1665, p. 199, tradução nossa).</p>	
CÓDIGO	EXCERTO	CATEGORIA EMERGENTE
FP/CCC-1.1B	<p>Desta forma, apresento ao mundo meus esforços imperfeitos, que embora não se mostrem consideráveis de outra maneira, ainda assim, espero, podem ser de alguma forma úteis para o projeto principal de uma reforma na Filosofia, mesmo que seja apenas por mostrar que não se requer para isso, qualquer força de imaginação, ou exatidão de método, ou profundidade de contemplação [...] como uma mão sincera e um olho fiel, para examinar e registrar as próprias coisas como elas aparecem (Hooke,</p>	<p><i>Oposição ao pensamento aristotélico</i></p>

	1665, prefácio, tradução nossa).	
FP/CCC-1.2A	Sendo esses os perigos no processo da razão humana, os remédios para todos eles só podem provir da filosofia real, mecânica e experimental, que tem essa vantagem sobre a filosofia do discurso e da disputa, que visa principalmente a sutileza de suas Deduções e Conclusões, sem muita consideração pelo primeiro trabalho de base, que deve ser bem colocado no Sentido e na Memória (Hooke, 1665, prefácio, tradução nossa).	
FP/CCC-1.3B	[...] E não proponho este tipo de Filosofia Experimental apenas como questão de alto êxtase e deleite da mente, mas também como Prazer material e sensível. Tão vasta é a variedade de objetos que virão sob suas inflexões, tantas maneiras diferentes de manipulá-los, tão grande é a satisfação de descobrir coisas novas, que ousar comparar o contentamento que eles terão, não apenas com aquele de contemplação, mas também para o que a maioria dos homens preferem dos próprios sentidos (Hooke, 1665, prefácio, tradução nossa).	

APÊNDICE C - EXCERTOS IDENTIFICADOS NO LIVRO 2- 'CONTRIBUIÇÕES À FITOGÊNESE', DE MATHIAS SCHLEIDEN (FP/CCC-2)

FATO CIENTÍFICO EM ANÁLISE: Conceito Clássico de Célula.	
EPISÓDIO HISTÓRICO (EH): Investigação de Mathias Schleiden sobre o processo de formação das células vegetais (1838) - EH2.	
CÓDIGO	EXCERTO
FP/CCC-2.1	A lei geral fundamental da razão humana, sua tendência invariável à unidade em sua aquisição de conhecimento sempre foi evidenciada na área que trata dos corpos organizados como totalidade, assim como em todos os outros ramos da ciência; e muitos têm se empenhado em estabelecer as analogias entre as duas grandes divisões dos reinos animal e vegetal. Mas, por mais eminentes que tenham sido os homens que dedicaram sua atenção a esse assunto, não se pode negar que todas as tentativas feitas até agora com esse ponto de vista devem ser consideradas totalmente infrutíferas [...]. A causa disso, no entanto, é que a ideia do indivíduo, no sentido em que ocorre na natureza animal, não pode de forma alguma ser aplicado ao mundo vegetal. É apenas nas ordens mais baixas de plantas, em algumas algas e fungos, por exemplo, que consistem somente de uma simples célula, que nós podemos falar de um indivíduo nesse sentido. Mas toda planta desenvolvida em qualquer grau superior é um agregado de seres totalmente individualizados, independentes e separados, até mesmo as próprias células (Schleiden, 1838, p. 231, tradução nossa).
FP/CCC-2.2	[...] já que nenhum avanço real na ciência resulta da tentativa de explicar os fenômenos naturais hipoteticamente, e muito menos, quando todas as condições para a construção de uma hipótese tangível, ou seja, fatos orientadores, estão faltando, eu posso omitir toda introdução histórica pois, até onde eu sei, não existem observações diretas até o momento sobre o desenvolvimento das células de plantas (Schleiden, 1838, p. 231, tradução nossa).
FP/CCC-2.3	Cada célula leva uma vida dupla: uma independente, pertencente ao seu próprio desenvolvimento e outra dependente, na medida em que se tornou parte integrante de uma planta. É, contudo, fácil perceber que o processo vital das células individuais deve formar a primeira base fundamental absolutamente indispensável, tanto no que diz respeito à fisiologia vegetal e à fisiologia comparada no geral; e, portanto, em primeira instância, esta questão especialmente se apresenta, "Como se origina este pequeno organismo peculiar, a célula?" (Schleiden, 1838, p. 231-232, tradução nossa).
FP/CCC-2.4	Foi muito natural considerar que os diversos modos de ocorrência [do núcleo] deveria levar ao pensamento de que os núcleos das células devem manter alguma relação próxima com o desenvolvimento da própria célula. E conseqüentemente direcionou minha atenção particularmente a este ponto, e tive a sorte de ver meus esforços coroados com sucesso (Schleiden, 1838, p. 233, tradução nossa).
FP/CCC-2.5	Antes, porém, de proceder às comunicações destas observações, primeiro devo dar um pouco mais de descrições detalhadas sobre o núcleo. Como eu tenho tratado de um peculiar e, eu penso, órgão elementar dos vegetais, não considero necessário me desculpar por aplicar um nome definitivo para este corpo, e portanto, o chamo de <i>Citoblasto</i> em referência à sua função, a qual descrevo daqui em diante (Schleiden, 1838, p. 233, tradução nossa).
FP/CCC-2.6	O processo de formação das células, o qual eu tenho me esforçado para descrever em detalhes, é o que eu tenho observado na maioria das plantas que tenho investigado. Há, contudo, algumas modificações que tornam a observação de muitas partes muito difícil, e às vezes, de fato, a tornam impossível, embora, apesar disso, a lei permaneça intacta e universalmente válida, porque a analogia o exige e nós podemos explicar plenamente as causas da impossibilidade da observação direta.

	As dificuldades as quais eu agora informei dependem especialmente das propriedades químicas e físicas das substâncias que precedem a formação das células (Schleiden, 1838, p. 247, tradução nossa).
FP/CCC-2.7	[...] Então, de fato, nós somos forçados a confessar que a imaginação obtém ampla latitude para explicação em cada caso da estrutura vegetal infusória, mesmo sem auxílio de um <i>deus ex machina</i> (<i>geração espontânea</i>). Mas, meu presente objeto é comunicar somente fatos e suas consequências imediatas, e não sonhar; eu prefiro, portanto, acrescentar mais algumas <i>observações</i> sobre o crescimento das plantas” (Schleiden, 1838, p. 249, tradução nossa).
FP/CCC-2.8	Palavras não têm valor nelas mesmas, mas são como moedas, apenas símbolos de um valor não exibido em espécie, a fim de facilitar o comércio [...]. Em uma palavra, a utilidade de uma expressão científica depende da definição precisa da ideia na qual se baseia. [...] devemos aqui estar em guarda contra dois perigos: primeiro, quando nós transferimos palavras de uma ciência para outra, sem primeiro testar com precisão se elas se ajustam à sua nova situação no que diz respeito a todas as significações que as acompanham também; segundo, quando nós voluntariamente perdemos de vista o significado de uma palavra consagrada pelo espírito de uma linguagem e seu desenvolvimento histórico, empregue-a sem maiores cerimônias em palavras compostas, onde talvez, no máximo, apenas uma parte não essencial de sua significação se adeque (Schleiden, 1838, p. 249-250, tradução nossa).
FP/CCC-2.9	[...] Qual o significado de crescimento? Numa frase banal nos dizem: Crescer significa aumentar a massa de um indivíduo e ocorre no mundo inorgânico por justaposição e no orgânico por invaginação. Será que ganhamos algo para a fisiologia vegetal com esta resposta? Eu penso que não. [...] a célula deposita novo material orgânico em camadas sobre sua membrana primitiva, outra forma de justaposição, a qual, ainda assim, pertence ao ciclo de vida vegetal, por isso torna-se aparente que, em relação à botânica científica, a ideia de “crescimento” requer uma nova fundação, a fim de poder ser aplicado com segurança (Schleiden, 1838, p. 251, tradução nossa).

APÊNDICE D - CATEGORIZAÇÃO REFERENTE AO ESTUDO DO EPISÓDIO HISTÓRICO ENCONTRADO NO LIVRO 2- 'CONTRIBUIÇÕES À FITOGÊNESE', DE MATHIAS SCHLEIDEN (FP/CCC-2)

FATO CIENTÍFICO EM ANÁLISE: Conceito Clássico de Célula.		
EPISÓDIO HISTÓRICO (EH): Investigação de Mathias Schleiden sobre o processo de formação das células vegetais (1838) - EH2.		
CÓDIGO	EXCERTO	CATEGORIAS A PRIORI
FP/CCC-2.1B	<p>A lei geral fundamental da razão humana, sua tendência invariável à unidade em sua aquisição de conhecimento sempre foi evidenciada na área que trata dos corpos organizados como totalidade, assim como em todos os outros ramos da ciência; e muitos têm se empenhado em estabelecer as analogias entre as duas grandes divisões dos reinos animal e vegetal. Mas, por mais eminentes que tenham sido os homens que dedicaram sua atenção a esse assunto, não se pode negar que todas as tentativas feitas até agora com esse ponto de vista devem ser consideradas totalmente infrutíferas[...]. A causa disso, no entanto, é que a ideia do indivíduo, no sentido em que ocorre na natureza animal, não pode de forma alguma ser aplicado ao mundo vegetal. É apenas nas ordens mais baixas de plantas, em algumas algas e fungos, por exemplo, que consistem somente de uma simples célula, que nós podemos falar de um indivíduo nesse sentido. Mas toda planta desenvolvida em qualquer grau superior é um agregado de seres totalmente individualizados, independentes e separados, até mesmo as próprias células (Schleiden, 1838, p. 231, tradução nossa).</p>	<p><i>Indivíduo como agregado de células individualizadas e independentes</i></p>
FP/CCC-2.3A	<p>Cada célula leva uma vida dupla: uma independente, pertencente ao seu próprio desenvolvimento e outra dependente, na medida em que se tornou parte integrante de uma planta. É, contudo, fácil perceber que o processo vital das células individuais deve formar a primeira base fundamental absolutamente indispensável, tanto no que diz respeito à fisiologia vegetal e à fisiologia comparada no geral; e, portanto,</p>	

	em primeira instância, esta questão especialmente se apresenta, “Como se origina este pequeno organismo peculiar, a célula?” (Schleiden, 1838, p. 231-232, tradução nossa).	
FP/CCC-2.2A	[...] já que nenhum avanço real na ciência resulta da tentativa de explicar os fenômenos naturais hipoteticamente, e muito menos, quando todas as condições para a construção de uma hipótese tangível, ou seja, fatos orientadores, estão faltando, eu posso omitir toda introdução histórica pois, até onde eu sei, não existem observações diretas até o momento sobre o desenvolvimento das células de plantas (Schleiden, 1838, p. 231, tradução nossa).	
FP/CCC-2.4A	Foi muito natural considerar que os diversos modos de ocorrência [do núcleo] deveria levar ao pensamento de que os núcleos das células devem manter alguma relação próxima com o desenvolvimento da própria célula. E conseqüentemente direcionou minha atenção particularmente a este ponto, e tive a sorte de ver meus esforços coroados com sucesso (Schleiden, 1838, p. 233, tradução nossa).	
FP/CCC-2.5A	Antes, porém, de proceder às comunicações destas observações, primeiro devo dar um pouco mais de descrições detalhadas sobre o núcleo. Como eu tenho tratado de um peculiar e, eu penso, órgão elementar dos vegetais, não considero necessário me desculpar por aplicar um nome definitivo para este corpo, e portanto, o chamo de <i>Citoblasto</i> em referência à sua função, a qual descrevo daqui em diante (Schleiden 1838, p. 233, tradução nossa).	
FP/CCC-2.6B	O processo de formação das células, o qual eu tenho me esforçado para descrever em detalhes, é o que eu tenho observado na maioria das plantas que tenho investigado. Há, contudo, algumas modificações que tornam a observação de muitas partes muito difícil, e às vezes, de fato, a tornam impossível, embora, apesar disso, a lei permaneça intacta e universalmente válida, porque a analogia o exige e nós podemos explicar plenamente as causas da impossibilidade da observação direta. As dificuldades as quais eu agora informei dependem especialmente das propriedades	<i>Ênfase na observação e/ou experimentos na interpretação do objeto de investigação</i>

	químicas e físicas das substâncias que precedem a formação das células (SCHLEIDEN, 1838, p. 247, tradução nossa).	
FP/CCC-2.7A	[...] Então, de fato, nós somos forçados a confessar que a imaginação obtém ampla latitude para explicação em cada caso da estrutura vegetal infusória, mesmo sem auxílio de um <i>deus ex machina</i> (geração espontânea). Mas, meu presente objeto é comunicar somente fatos e suas consequências imediatas, e não sonhar; eu prefiro, portanto, acrescentar mais algumas observações sobre o crescimento das plantas ” (Schleiden, 1838, p. 249, tradução nossa).	
FP/CCC-2.1A	A lei geral fundamental da razão humana, sua tendência invariável à unidade em sua aquisição de conhecimento sempre foi evidenciada na área que trata dos corpos organizados como totalidade, assim como em todos os outros ramos da ciência; e muitos têm se empenhado em estabelecer as analogias entre as duas grandes divisões dos reinos animal e vegetal. Mas, por mais eminentes que tenham sido os homens que dedicaram sua atenção a esse assunto, não se pode negar que todas as tentativas feitas até agora com esse ponto de vista devem ser consideradas totalmente infrutíferas[...]. A causa disso, no entanto, é que a ideia do indivíduo, no sentido em que ocorre na natureza animal, não pode de forma alguma ser aplicado ao mundo vegetal. É apenas nas ordens mais baixas de plantas, em algumas algas e fungos, por exemplo, que consistem somente de uma simples célula, que nós podemos falar de um indivíduo nesse sentido. Mas toda planta desenvolvida em qualquer grau superior é um agregado de seres totalmente individualizados, independentes e separados, até mesmo as próprias células (Schleiden, 1838, p. 231, tradução nossa).	<i>Influência do contexto na interpretação do objeto de investigação</i>
FP/CCC-2.3B	Cada célula leva uma vida dupla: uma independente, pertencente ao seu próprio desenvolvimento e outra dependente, na medida em que se tornou parte integrante de uma planta. É, contudo, fácil perceber que o processo vital das células individuais deve formar a primeira base fundamental absolutamente indispensável, tanto no que diz respeito à fisiologia vegetal e à fisiologia comparada no geral; e, portanto, em primeira instância, esta questão especialmente se apresenta, “Como se origina este pequeno organismo peculiar, a célula?” (Schleiden, 1838, p. 231-232,	<i>Busca pela compreensão de processos fisiológicos celulares</i>

	tradução nossa).	
FP/CCC-2.6B	Foi muito natural considerar que os diversos modos de ocorrência [do núcleo] deveria levar ao pensamento de que os núcleos das células devem manter alguma relação próxima com o desenvolvimento da própria célula. E conseqüentemente direcionou minha atenção particularmente a este ponto, e tive a sorte de ver meus esforços coroados com sucesso (Schleiden, 1838, p. 233, tradução nossa).	
FP/CCC-2.7B	Antes, porém, de proceder às comunicações destas observações, primeiro devo dar um pouco mais de descrições detalhadas sobre o núcleo. Como eu tenho tratado de um peculiar e, eu penso, órgão elementar dos vegetais, não considero necessário me desculpar por aplicar um nome definitivo para este corpo, e portanto, o chamo de Citoblasto em referência à sua função, a qual descrevo daqui em diante (Schleiden, 1838, p. 233, tradução nossa).	
FP/CCC-2.6A	O processo de formação das células, o qual eu tenho me esforçado para descrever em detalhes, é o que eu tenho observado na maioria das plantas que tenho investigado. Há, contudo, algumas modificações que tornam a observação de muitas partes muito difícil, e às vezes, de fato, a tornam impossível, embora, apesar disso, a lei permaneça intacta e universalmente válida, porque a analogia o exige e nós podemos explicar plenamente as causas da impossibilidade da observação direta. As dificuldades as quais eu agora informei dependem especialmente das propriedades químicas e físicas das substâncias que precedem a formação das células (Schleiden, 1838, p. 247, tradução nossa).	
FP/CCC-2.9A	[...] Qual o significado de crescimento? Numa frase banal nos dizem: “Crescer significa aumentar a massa de um indivíduo e ocorre no mundo inorgânico por justaposição e no orgânico por invaginação”. Será que ganhamos algo para a fisiologia vegetal com esta resposta? Eu penso que não. [...] a célula deposita novo material orgânico em camadas sobre sua membrana primitiva, outra forma de justaposição, a qual, ainda assim, pertence ao ciclo de vida vegetal,	

	<p>por isso torna-se aparente que, em relação à botânica científica, a ideia de “crescimento” requer uma nova fundação, a fim de poder ser aplicado com segurança (Schleiden, 1838, p. 251, tradução nossa).</p>	
FP/CCC-2.6C	<p>O processo de formação das células, o qual eu tenho me esforçado para descrever em detalhes, é o que eu tenho observado na maioria das plantas que tenho investigado. Há, contudo, algumas modificações que tornam a observação de muitas partes muito difícil, e às vezes, de fato, a tornam impossível, embora, apesar disso, a lei permaneça intacta e universalmente válida, porque a analogia o exige e nós podemos explicar plenamente as causas da impossibilidade da observação direta.</p> <p>As dificuldades as quais eu agora informei dependem especialmente das propriedades químicas e físicas das substâncias que precedem a formação das células (Schleiden, 1838, p. 247, tradução nossa).</p>	<p><i>Propriedades da célula compreendidas pelo reducionismo físico-químico</i></p>
FP/CCC-2.1C	<p>A lei geral fundamental da razão humana, sua tendência invariável à unidade em sua aquisição de conhecimento sempre foi evidenciada na área que trata dos corpos organizados como totalidade, assim como em todos os outros ramos da ciência; e muitos têm se empenhado em estabelecer as analogias entre as duas grandes divisões dos reinos animal e vegetal. Mas, por mais eminentes que tenham sido os homens que dedicaram sua atenção a esse assunto, não se pode negar que todas as tentativas feitas até agora com esse ponto de vista devem ser consideradas totalmente infrutíferas[...]. A causa disso, no entanto, é que a ideia do indivíduo, no sentido em que ocorre na natureza animal, não pode de forma alguma ser aplicado ao mundo vegetal. É apenas nas ordens mais baixas de plantas, em algumas algas e fungos, por exemplo, que consistem somente de uma simples célula, que nós podemos falar de um indivíduo nesse sentido. Mas toda planta desenvolvida em qualquer grau superior é</p>	<p><i>Uso do termo cell (célula) como identificação da unidade constitutiva dos seres vivos/ plantas¹⁶³</i></p>

¹⁶³ Tendo em consideração que Schleiden estudava somente o mundo vegetal, considero adequado aplicar a categoria a priori ‘Uso do termo cell (célula) como identificação da unidade constitutiva dos seres vivos’ sem necessidade de compor uma categoria emergente, somente com a substituição de ‘seres vivos’ por ‘plantas’.

	<p>um agregado de seres totalmente individualizados, independentes e separados, até mesmo as próprias células (Schleiden, 1838, p. 231, tradução nossa).</p>	
FP/CCC-2.3C	<p>Cada célula leva uma vida dupla: uma independente, pertencente ao seu próprio desenvolvimento e outra dependente, na medida em que se tornou parte integrante de uma planta. É, contudo, fácil perceber que o processo vital das células individuais deve formar a primeira base fundamental absolutamente indispensável, tanto no que diz respeito à fisiologia vegetal e à fisiologia comparada no geral; e, portanto, em primeira instância, esta questão especialmente se apresenta, “Como se origina este pequeno organismo peculiar, a célula?” (Schleiden, 1838, p. 231-232, tradução nossa).</p>	<p><i>Correlação entre célula e manifestação de vida</i></p>
FP/CCC-2.8A	<p>Palavras não têm valor nelas mesmas, mas são como moedas, apenas símbolos de um valor não exibido em espécie, a fim de facilitar o comércio [...]. Em uma palavra, a utilidade de uma expressão científica depende da definição precisa da ideia na qual se baseia. [...] devemos aqui estar em guarda contra dois perigos: primeiro, quando nós transferimos palavras de uma ciência para outra, sem primeiro testar com precisão se elas se ajustam à sua nova situação no que diz respeito a todas as significações que as acompanham também; segundo, quando nós voluntariamente perdemos de vista o significado de uma palavra consagrada pelo espírito de uma linguagem e seu desenvolvimento histórico, empregue-a sem maiores cerimônias em palavras compostas, onde talvez, no máximo, apenas uma parte não essencial de sua significação se adeque (Schleiden, 1838, p. 249-250, tradução nossa).</p>	<p><i>Influência do contexto na interpretação do objeto de investigação</i></p>
FP/CCC-2.9B	<p>[...] Qual o significado de crescimento? Numa frase banal nos dizem: “Crescer significa aumentar a massa de um indivíduo e ocorre no mundo inorgânico por justaposição e no orgânico por invaginação”. Será que ganhamos algo para a fisiologia vegetal com esta resposta? Eu penso que não. [...] a célula deposita novo material orgânico em camadas sobre sua membrana primitiva, outra forma de</p>	

	<p>justaposição, a qual, ainda assim, pertence ao ciclo de vida vegetal, por isso torna-se aparente que, em relação à botânica científica, a ideia de “crescimento” requer uma nova fundação, a fim de poder ser aplicado com segurança (Schleiden, 1838, p. 251, tradução nossa).</p>	
--	---	--

APÊNDICE E - EXCERTOS IDENTIFICADOS NO LIVRO 3- 'PESQUISAS MICROSCÓPICAS', DE THEODOR SCHWANN (FP/CCC-3)

FATO CIENTÍFICO EM ANÁLISE: Conceito Clássico de Célula.	
EPISÓDIO HISTÓRICO (EH): Investigação de Theodor Schwann sobre a analogia entre as plantas e os animais (1839) – EH3.	
CÓDIGO	EXCERTO
FP/CCC-3.1	Uma das vantagens essenciais da era atual é que o laço que conecta os diferentes ramos das ciências naturais torna-se cada dia mais íntimo e é às contribuições que eles prestam reciprocamente que devemos grande parte do progresso que as ciências físicas têm feito ultimamente. Esta circunstância, portanto, torna tanto mais notável que, apesar dos muitos esforços de homens ilustres, a anatomia e a fisiologia de animais e plantas devem permanecer quase isoladas, embora avançando lado a lado, e que as conclusões dedutíveis de um departamento devem admitir apenas uma aplicação remota e extremamente cautelosa ao outro. Ultimamente, as duas ciências pela primeira vez começaram a ser cada vez mais intimamente aliadas (Schwann, 1839, p. ix, tradução nossa).
FP/CCC-3.2	O principal resultado desta investigação é que um princípio comum de desenvolvimento para cada partícula elementar separada forma a base para todos os corpos organizados, assim como todos os cristais, apesar da diversidade das suas figuras/formas, são formadas de acordo com leis similares (Schwann, 1839, p. ix, tradução nossa).
FP/CCC-3.3	As descobertas de Schleiden nos tornou mais precisamente familiarizados com o processo de desenvolvimento das células de plantas. O processo contém dados característicos suficientes para render uma comparação das células animais em referência a um princípio similar de desenvolvimento viável. Nesse sentido, eu comparei as células de cartilagem e da notocorda com células vegetais, e encontrei a mais completa concordância. A descoberta, sobre a qual minha investigação estava baseada, imediatamente levou à percepção do princípio contido na proposição, que duas partículas elementares, fisiologicamente diferentes, podem se desenvolver da mesma maneira (Schwann, 1839, p. xvi, tradução nossa).
FP/CCC-3.4	Assim foi a proposição firmemente estabelecida por observação, que há um princípio comum de desenvolvimento, para as partículas elementares de todos os corpos organizados (Schwann, 1839, p. xvii, tradução nossa).
FP/CCC-3.5	Nas conclusões desse tratado, eu tentei uma teoria dos organismos, e, para esse fim, excluímos tudo o que é teórico da própria obra, para que os fatos não sejam confundidos com problemas hipotéticos. A teoria tem, pelo menos, esta vantagem, que por sua ajuda qualquer um pode formar uma ideia precisa para si mesmo dos processos orgânicos, a qual pode conduzir a novas pesquisas; tal teoria pode, portanto, ser útil, mesmo se considerada decididamente falsa. Contém os princípios do fenômeno orgânico tanto do organismo saudável como do doente. Era minha intenção ter adicionado uma aplicação da teoria para vários processos orgânicos, mas circunstâncias me compeliram levar o trabalho à conclusão. Talvez em algum momento futuro eu possa encontrar oportunidade para suprir a deficiência (Schwann, 1839, p. xviii, tradução nossa).
FP/CCC-3.6	Animais, que apresentam muito maior variedade de formas externas do que é encontrado no reino vegetal, exibem também, em especial nas mais altas classes em condições perfeitas de desenvolvimento, uma estrutura muito mais complexa em seus tecidos individuais. [...]. Quando, contudo, nos voltamos para a história do desenvolvimento desses tecidos, aparece, que todas as suas múltiplas formas se originam igualmente apenas de células, de fato das células que são

	completamente análogas àquelas dos vegetais e as quais exibem a mais notável concordância com elas em alguns dos fenômenos vitais os quais eles manifestam. <i>O projeto do presente tratado é provar isto por uma série de observações</i> (Schwann, 1839, p. 2, tradução nossa, grifo do autor).
FP/CCC-3.7	É, contudo, necessário dar conta do fenômeno vital das células vegetais. Cada célula é, dentro de certos limites, um indivíduo, uma totalidade independente. Os fenômenos vitais de uma, são repetidos, inteiramente ou em parte, em todo o resto. Estes indivíduos, contudo, não estão dispostos lado a lado como um mero agregado, mas operam juntos, numa maneira desconhecida por nós, de modo a produzir um todo harmonioso (Schwann, 1839, p. 2, tradução nossa).
FP/CCC-3.8	Quando a natureza orgânica de animais e plantas é considerada como um todo, em contraste com o reino inorgânico, nós não consideramos que todos os organismos e todos os seus órgãos separados são massas compactas, mas que são compostos de inúmeras pequenas partículas de uma forma definida. Estas partículas elementares, porém, estão sujeitas à mais extraordinária diversidade de figuras, especialmente nos animais; nas plantas são, em sua maior parte ou exclusivamente, células. Essa variedade nas partes elementares parecia manter alguma relação com suas funções fisiológicas mais diversificadas nos animais, de modo que poderia ser estabelecido como princípio que toda diversidade na significação fisiológica de um órgão requer uma diferença em suas partículas elementares; e, ao contrário, a semelhança de duas partículas elementares parecia justificar a conclusão de que eram fisiologicamente semelhantes (Schwann, 1839, p. 161-162, tradução nossa).
FP/CCC-3.9	As partes elementares de todos os tecidos são formadas por células de maneira análoga, embora muito diversificada, de modo que se pode afirmar que existe um princípio fundamental de desenvolvimento para as partes elementares dos organismos, embora diferentes, e que este princípio é a formação das células. Este é o principal resultado das observações anteriores (Schwann, 1839, p. 165, tradução nossa).
FP/CCC-3.10	O desenvolvimento da proposição de que existe um princípio geral para a formação de todas as produções orgânicas e que este princípio é a formação das células, bem como as conclusões que podem ser tiradas desta proposição, podem ser compreendidas sob o termo <i>teoria celular</i> , usando-o em seu significado mais amplo, embora em um sentido mais limitado, por teoria das células entendemos tudo o que pode ser inferido a partir desta proposição com relação aos poderes dos quais esses fenômenos resultam (Schwann, 1839, p. 165-166, tradução nossa).
FP/CCC-3.11	Mas embora este princípio, considerado como o resultado direto dessas observações mais ou menos completas, pode ser declarado como uma generalização correta, não deve ser ocultado que existem algumas exceções, ou pelo menos diferenças, que ainda permanecem inexplicadas (Schwann, 1839, p. 166, tradução nossa).
FP/CCC-3.12	Toda a investigação anterior foi conduzida com o objetivo de expor apenas a partir da observação o modo pelo qual as partes dos corpos organizados são formadas. Visões teóricas foram totalmente excluídas ou onde elas foram requeridas, [...] com o propósito de tornar o fato mais claro, ou prevenir repetições posteriores, elas foram apresentadas de tal forma que pode ser facilmente percebido o quanto é observação e o quanto é argumento (Schwann, 1839, p. 186, tradução nossa).
FP/CCC-3.13	Vimos que todos os corpos organizados são compostos de partes essencialmente similares, ou seja, de células, que estas células são formadas e crescem de acordo com leis essencialmente similares; e, portanto, que esses processos devem, em toda instância, ser produzidos pelos mesmos poderes. Agora, se nós consideramos que algumas destas partes elementares não se diferenciando das outras, são capazes de se separar do organismo e buscar um crescimento independente, nós podemos concluir que cada uma das outras partes elementares, cada célula, já possui poder para tomar moléculas novas e crescer; e que, portanto, cada parte elementar possui um poder próprio, uma vida independente, por meio do qual seria capaz de desenvolver-se independentemente, desde que as relações que mantém com o exterior forem semelhantes àquelas que mantém nos organismos. A célula-ovo dos animais nos

	fornece o exemplo de tais células independentes, crescendo à parte dos organismos (Schwann, 1839, p. 191-192, tradução nossa).
FP/CCC-3.14	Estes fenômenos [que participam da formação das células] podem ser organizados em dois grupos naturais: primeiro, aqueles relacionados à combinação de moléculas para formar uma célula e que podem ser denominados de fenômenos plásticos das células; segundo, aqueles que resultam das mudanças químicas tanto nas partículas componentes das próprias células ou do citoblastema circundante e que podem ser chamados de fenômenos metabólicos (Schwann, 1839, p. 193, tradução nossa).
FP/CCC-3.15	Como todas as células crescem de acordo com as mesmas leis, e consequentemente a causa do crescimento não pode, por uma causa, estar na célula e, por outra, em todo o organismo; e uma vez que isso pode ser no futuro provado que algumas células, as quais não diferem do resto em seu modo de crescimento, são desenvolvidas independentemente, devemos atribuir a todas as células uma vitalidade independente, isto é, as combinações de moléculas que ocorrem em qualquer célula individual, são capazes de liberar a força pela qual é capaz de absorver novas moléculas. A causa da nutrição e crescimento reside não no organismo como um todo, mas nas partes elementares separadas - as células. A falha de crescimento, no caso de alguma célula particular, quando separada de um corpo organizado, é uma pequena objeção à esta teoria, como é uma objeção contra a vitalidade independente de uma abelha, que não pode continuar por muito tempo existindo, depois de ser separada do seu enxame. A manifestação do poder que existe na célula depende das condições às quais está sujeita somente quando em conexão com o todo (organismo) (Schwann, 1839, p. 192-193, tradução nossa).
FP/CCC-3.16	Se os cristais fossem formados a partir da mesma substância que as células, eles provavelmente estariam, nestes aspectos, sujeitos às mesmas condições que as células. Enquanto isso, os fenômenos metabólicos, totalmente ausentes nos cristais, ainda indicam distinções essenciais. Se esta importante diferença entre o modo de formação das células e dos cristais nos levar a negar toda conexão íntima dos dois processos, a comparação dos dois pode servir pelo menos para dar uma representação clara da vida celular (Schwann, 1839, p. 208, tradução nossa).
FP/CCC-3.17	Se, no entanto, pudesse ser provado matematicamente pelas leis da cristalização dos corpos inorgânicos, que sob as circunstâncias alteradas em que os corpos capazes de embeber são colocados, esses depósitos devem ser arranjados em formas espirais, poderia ser afirmado sem hesitação que o poder plástico das células e os poderes fundamentais dos cristais são idênticos (Schwann, 1839, p. 210, tradução nossa).
FP/CCC-3.18	A visão, então, de que os organismos nada mais são do que a forma sob a qual as substâncias capazes de embeber se cristalizam, parece ser compatível com o fenômeno mais importante da vida orgânica, e pode-se admitir até agora que é uma hipótese possível ou tentativa de explicação destes fenômenos. Envolve muita coisa incerta ou paradoxal, mas eu tenho desenvolvido em detalhes, porque isso pode servir como um guia para novas investigações. Pois mesmo que nenhuma relação entre cristalização e o crescimento de organismos seja admitida em princípio, essa visão tem a vantagem de proporcionar uma representação distinta dos processos orgânicos; um requisito indispensável para instituição de novas investigações de uma maneira sistemática, ou para testar pela descoberta de novos fatos um modo de explicação que harmoniza com fenômenos já conhecidos (Schwann, 1839, p. 215, tradução nossa).

**APÊNDICE F - CATEGORIZAÇÃO REFERENTE AO ESTUDO DO EPISÓDIO
HISTÓRICO ENCONTRADO NO LIVRO 3- “PESQUISAS MICROSCÓPICAS”, DE
THEODOR SCHWANN (FP/CCC-3)**

FATO CIENTÍFICO EM ANÁLISE: Conceito Clássico de Célula.		
EPISÓDIO HISTÓRICO (EH): Investigação de Theodor Schwann sobre a analogia entre as plantas e os animais (1839) – EH3.		
CÓDIGO	EXCERTO	CATEGORIAS A PRIORI
FP/CCC-3.3A	As descobertas de Schleiden nos tornou mais precisamente familiarizados com o processo de desenvolvimento das células de plantas. O processo contém dados característicos suficientes para render uma comparação das células animais em referência a um princípio similar de desenvolvimento viável. Nesse sentido, eu comparei as células de cartilagem e da notocorda com células vegetais, e encontrei a mais completa concordância. A descoberta, sobre a qual minha investigação estava baseada, imediatamente levou à percepção do princípio contido na proposição, que duas partículas elementares, fisiologicamente diferentes, podem se desenvolver da mesma maneira (Schwann, 1839, p. xvi, tradução nossa).	<i>Ênfase na observação e/ou experimentos na interpretação do objeto de investigação</i>
FP/CCC-3.4A	Assim foi a proposição firmemente estabelecida por observação, que há um princípio comum de desenvolvimento, para as partículas elementares de todos os corpos organizados (Schwann, 1839, p. xvii, tradução nossa).	
FP/CCC-3.5A	Nas conclusões desse tratado, eu tentei uma teoria dos organismos, e, para esse fim, excluimos tudo o que é teórico da própria obra, para que os fatos não sejam confundidos com problemas hipotéticos. A teoria tem, pelo menos, esta vantagem, que por sua ajuda qualquer um pode formar uma ideia precisa para si mesmo dos processos orgânicos, a qual pode conduzir a novas pesquisas; tal teoria pode, portanto, ser útil, mesmo se considerada decididamente falsa. Contém os princípios do fenômeno orgânico tanto do organismo saudável como do doente. Era minha	

	<p>intenção ter adicionado uma aplicação da teoria para vários processos orgânicos, mas circunstâncias me compeliram levar o trabalho à conclusão. Talvez em algum momento futuro eu possa encontrar oportunidade para suprir a deficiência (Schwann, 1839, p. xviii, tradução nossa).</p>	
FP/CCC-3.6C	<p>Animais, que apresentam muito maior variedade de formas externas do que é encontrado no reino vegetal, exibem também, em especial nas mais altas classes em condições perfeitas de desenvolvimento, uma estrutura muito mais complexa em seus tecidos individuais. [...]. Quando, contudo, nos voltamos para a história do desenvolvimento desses tecidos, aparece, que todas as suas múltiplas formas se originam igualmente apenas de células, de fato das células que são completamente análogas àquelas dos vegetais e as quais exibem a mais notável concordância com elas em alguns dos fenômenos vitais os quais eles manifestam. O projeto do presente tratado é provar isto por uma série de observações (Schwann, 1839, p. 2, tradução nossa, grifo do autor).</p>	
FP/CCC-3.9B	<p>As partes elementares de todos os tecidos são formadas por células de maneira análoga, embora muito diversificada, de modo que se pode afirmar que existe um princípio fundamental de desenvolvimento para as partes elementares dos organismos, embora diferentes, e que este princípio é a formação das células. Este é o principal resultado das observações anteriores (Schwann, 1839, p. 165, tradução nossa).</p>	
FP/CCC-3.11A	<p>Mas embora este princípio, considerado como o resultado direto dessas observações mais ou menos completas, pode ser declarado como uma generalização correta, não deve ser ocultado que existem algumas exceções, ou pelo menos diferenças, que ainda permanecem inexplicadas (Schwann, 1839, p. 166, tradução nossa).</p>	
FP/CCC-3.12A	<p>Toda a investigação anterior foi conduzida com o objetivo de expor apenas a partir da observação o modo pelo qual as partes dos corpos organizados são formadas. Visões teóricas foram totalmente excluídas ou onde elas foram requeridas, [...] com o propósito de tornar o fato mais claro, ou prevenir repetições posteriores, elas foram apresentadas de tal forma que pode ser facilmente percebido o quanto é observação e o quanto é argumento (Schwann, 1839, p. 186, tradução nossa).</p>	
FP/CCC-3.18B	<p>A visão, então, de que os organismos nada mais são do que a forma sob a qual as substâncias capazes de embeber se cristalizam, parece ser compatível com o</p>	

	<p>fenômeno mais importante da vida orgânica, e pode-se admitir até agora que é uma hipótese possível ou tentativa de explicação destes fenômenos. Envolve muita coisa incerta ou paradoxal, mas eu tenho desenvolvido em detalhes, porque isso pode servir como um guia para novas investigações. Pois mesmo que nenhuma relação entre cristalização e o crescimento de organismos seja admitida em princípio, essa visão tem a vantagem de proporcionar uma representação distinta dos processos orgânicos; um requisito indispensável para instituição de novas investigações de uma maneira sistemática, ou para testar pela descoberta de novos fatos um modo de explicação que harmoniza com fenômenos já conhecidos (Schwann, 1839, p. 215, tradução nossa).</p>	
FP/CCC-3.1A	<p>Uma das vantagens essenciais da era atual é que o laço que conecta os diferentes ramos das ciências naturais torna-se cada dia mais íntimo e é às contribuições que eles prestam reciprocamente que devemos grande parte do progresso que as ciências físicas têm feito ultimamente. Esta circunstância, portanto, torna tanto mais notável que, apesar dos muitos esforços de homens ilustres, a anatomia e a fisiologia de animais e plantas devem permanecer quase isoladas, embora avançando lado a lado, e que as conclusões dedutíveis de um departamento devem admitir apenas uma aplicação remota e extremamente cautelosa ao outro. Ultimamente, as duas ciências pela primeira vez começaram a ser cada vez mais intimamente aliadas (Schwann, 1839, p. ix, tradução nossa).</p>	<p><i>Influência do contexto na interpretação do objeto de investigação</i></p>
FP/CCC-3.6B	<p>Animais, que apresentam muito maior variedade de formas externas do que é encontrado no reino vegetal, exibem também, em especial nas mais altas classes em condições perfeitas de desenvolvimento, uma estrutura muito mais complexa em seus tecidos individuais. [...]. Quando, contudo, nos voltamos para a história do desenvolvimento desses tecidos, aparece, que todas as suas múltiplas formas se originam igualmente apenas de células, de fato das células que são completamente análogas àquelas dos vegetais e as quais exibem a mais notável concordância com elas em alguns dos fenômenos vitais os quais eles manifestam. O projeto do presente tratado é provar isto por uma série de observações (Schwann, 1839, p. 2, tradução nossa, grifo do autor).</p>	<p><i>Busca pela compreensão de processos fisiológicos celulares</i></p>

FP/CCC-3.10A	<p>O desenvolvimento da proposição de que existe um princípio geral para a formação de todas as produções orgânicas e que este princípio é a formação das células, bem como as conclusões que podem ser tiradas desta proposição, podem ser compreendidas sob o termo <i>teoria celular</i>, usando-o em seu significado mais amplo, embora em um sentido mais limitado, por teoria das células entendemos tudo o que pode ser inferido a partir desta proposição com relação aos poderes dos quais esses fenômenos resultam (Schwann, 1839, p. 165-166, tradução nossa).</p>	
FP/CCC-3.15B	<p>Como todas as células crescem de acordo com as mesmas leis, e conseqüentemente a causa do crescimento não pode, por uma causa, estar na célula e, por outra, em todo o organismo; e uma vez que isso pode ser no futuro provado que algumas células, as quais não diferem do resto em seu modo de crescimento, são desenvolvidas independentemente, devemos atribuir a todas as células uma vitalidade independente, isto é, as combinações de moléculas que ocorrem em qualquer célula individual, são capazes de liberar a força pela qual é capaz de absorver novas moléculas. A causa da nutrição e crescimento reside não no organismo como um todo, mas nas partes elementares separadas - as células. A falha de crescimento, no caso de alguma célula particular, quando separada de um corpo organizado, é uma pequena objeção à esta teoria, como é uma objeção contra a vitalidade independente de uma abelha, que não pode continuar por muito tempo existindo, depois de ser separada do seu enxame. A manifestação do poder que existe na célula depende das condições às quais está sujeita somente quando em conexão com o todo (organismo) (Schwann, 1839, p. 192-193, tradução nossa).</p>	
FP/CCC-3.7A	<p>É, contudo, necessário dar conta do fenômeno vital das células vegetais. Cada célula é, dentro de certos limites, um indivíduo, uma totalidade independente. Os fenômenos vitais de uma, são repetidos, inteiramente ou em parte, em todo o resto.</p>	

	<p>Estes indivíduos, contudo, não estão dispostos lado a lado como um mero agregado, mas operam juntos, numa maneira desconhecida por nós, de modo a produzir um todo harmonioso (Schwann, 1839, p. 2, tradução nossa).</p>	<p><i>Indivíduo constituído por células individualizadas e interdependentes que mantêm a totalidade</i></p>
<p>FP/CCC-3.8A</p>	<p>Quando a natureza orgânica de animais e plantas é considerada como um todo, em contraste com o reino inorgânico, nós não consideramos que todos os organismos e todos os seus órgãos separados são massas compactas, mas que são compostos de inúmeras pequenas partículas de uma forma definida. Estas partículas elementares, porém, estão sujeitas à mais extraordinária diversidade de figuras, especialmente nos animais; nas plantas são, em sua maior parte ou exclusivamente, células. Essa variedade nas partes elementares parecia manter alguma relação com suas funções fisiológicas mais diversificadas nos animais, de modo que poderia ser estabelecido como princípio que toda diversidade na significação fisiológica de um órgão requer uma diferença em suas partículas elementares; e, ao contrário, a semelhança de duas partículas elementares parecia justificar a conclusão de que eram fisiologicamente semelhantes (Schwann, 1839, p. 161-162, tradução nossa).</p>	
	<p>Como todas as células crescem de acordo com as mesmas leis, e conseqüentemente a causa do crescimento não pode, por uma causa, estar na célula e, por outra, em todo o organismo; e uma vez que isso pode ser no futuro provado que algumas células, as quais não diferem do resto em seu modo de crescimento, são desenvolvidas independentemente, devemos atribuir a todas as células uma vitalidade independente, isto é, as combinações de moléculas que ocorrem em qualquer célula individual, são capazes de liberar a força pela qual é capaz de absorver novas moléculas. A causa da nutrição e crescimento reside não no organismo como um todo, mas nas partes elementares separadas - as células. A falha de crescimento, no caso de alguma célula particular, quando separada de um corpo organizado, é uma pequena objeção à esta teoria, como é uma objeção contra a</p>	
<p>FP/CCC-3.15A</p>		

	<p>vitalidade independente de uma abelha, que não pode continuar por muito tempo existindo, depois de ser separada do seu enxame. A manifestação do poder que existe na célula depende das condições às quais está sujeita somente quando em conexão com o todo (organismo) (Schwann, 1839, p. 192-193, tradução nossa).</p>	
FP/CCC-3.13A	<p>Vimos que todos os corpos organizados são compostos de partes essencialmente similares, ou seja, de células, que estas células são formadas e crescem de acordo com leis essencialmente similares; e, portanto, que esses processos devem, em toda instância, ser produzidos pelos mesmos poderes. Agora, se nós consideramos que algumas destas partes elementares não se diferenciando das outras, são capazes de se separar do organismo e buscar um crescimento independente, nós podemos concluir que cada uma das outras partes elementares, cada célula, já possui poder para tomar moléculas novas e crescer; e que, portanto, cada parte elementar possui um poder próprio, uma vida independente, por meio do qual seria capaz de desenvolver-se independentemente, desde que as relações que mantém com o exterior forem semelhantes àquelas que mantém nos organismos. A célula-ovo dos animais nos fornece o exemplo de tais células independentes, crescendo à parte dos organismos (Schwann, 1839, p. 191-192, tradução nossa).</p>	
FP/CCC-3.8B	<p>Quando a natureza orgânica de animais e plantas é considerada como um todo, em contraste com o reino inorgânico, nós não consideramos que todos os organismos e todos os seus órgãos separados são massas compactas, mas que são compostos de inúmeras pequenas partículas de uma forma definida. Estas partículas elementares, porém, estão sujeitas à mais extraordinária diversidade de figuras, especialmente nos animais; nas plantas são, em sua maior parte ou exclusivamente, células. Essa variedade nas partes elementares parecia manter alguma relação com suas funções fisiológicas mais diversificadas nos animais, de modo que poderia ser</p>	<p><i>Uso do termo cell (célula) como identificação da unidade morfológica e fisiológica dos seres vivos</i></p>

	estabelecido como princípio que toda diversidade na significação fisiológica de um órgão requer uma diferença em suas partículas elementares; e, ao contrário, a semelhança de duas partículas elementares parecia justificar a conclusão de que eram fisiologicamente semelhantes (Schwann, 1839, p. 161-162, tradução nossa).	
FP/CCC-3.9A	As partes elementares de todos os tecidos são formadas por células de maneira análoga, embora muito diversificada, de modo que se pode afirmar que existe um princípio fundamental de desenvolvimento para as partes elementares dos organismos, embora diferentes, e que este princípio é a formação das células. Este é o principal resultado das observações anteriores (Schwann, 1839, p. 165, tradução nossa).	
FP/CCC-3.14A	Estes fenômenos [que participam da formação das células] podem ser organizados em dois grupos naturais: primeiro, aqueles relacionados à combinação de moléculas para formar uma célula e que podem ser denominados de fenômenos plásticos das células; segundo, aqueles que resultam das mudanças químicas tanto nas partículas componentes das próprias células ou do citoblastema circundante e que podem ser chamados de fenômenos metabólicos (Schwann, 1839, p. 193, tradução nossa).	<i>Propriedades da célula compreendidas pelo reducionismo físico-químico</i>
FP/CCC-3.17A	Se, no entanto, pudesse ser provado matematicamente pelas leis da cristalização dos corpos inorgânicos, que sob as circunstâncias alteradas em que os corpos capazes de embeber são colocados, esses depósitos devem ser arranjados em formas espirais, poderia ser afirmado sem hesitação que o poder plástico das células e os poderes fundamentais dos cristais são idênticos (Schwann, 1839, p. 210, tradução nossa).	<i>Física Clássica/Matemática como modelo para explicar a ciência</i>
FP/CCC-3.6A	Animais, que apresentam muito maior variedade de formas externas do que é encontrado no reino vegetal, exibem também, em especial nas mais altas classes em condições perfeitas de desenvolvimento, uma estrutura muito mais complexa em seus tecidos individuais. [...]. Quando, contudo, nos	<i>Correlação entre célula e manifestação de vida</i>

	<p>voltamos para a história do desenvolvimento desses tecidos, aparece, que todas as suas múltiplas formas se originam igualmente apenas de células, de fato das células que são completamente análogas àquelas dos vegetais e as quais exibem a mais notável concordância com elas em alguns dos fenômenos vitais os quais eles manifestam. <i>O projeto do presente tratado é provar isto por uma série de observações</i> (Schwann, 1839, p. 2, tradução nossa, grifo do autor).</p>	
FP/CCC-3.16B	<p>Se os cristais fossem formados a partir da mesma substância que as células, eles provavelmente estariam, <i>nestes</i> aspectos, sujeitos às mesmas condições que as células. Enquanto isso, os fenômenos metabólicos, totalmente ausentes nos cristais, ainda indicam distinções essenciais.</p> <p>Se esta importante diferença entre o modo de formação das células e dos cristais nos levar a negar toda conexão íntima dos dois processos, a comparação dos dois pode servir pelo menos para dar uma representação clara da vida celular (Schwann 1839, p. 208, tradução nossa).</p>	
CÓDIGO	EXCERTO	CATEGORIAS EMERGENTES
FP/CCC-3.2A	<p>O principal resultado desta investigação é que um princípio comum de desenvolvimento para cada partícula elementar separada forma a base para todos os corpos organizados, assim como todos os cristais, apesar da diversidade das suas figuras/formas, são formadas de acordo com leis similares (Schwann, 1839, p. ix, tradução nossa).</p>	
FP/CCC-3.16A	<p>Se os cristais fossem formados a partir da mesma substância que as células, eles provavelmente estariam, <i>nestes</i> aspectos, sujeitos às mesmas condições que as células. Enquanto isso, os fenômenos metabólicos, totalmente ausentes nos cristais, ainda indicam distinções essenciais.</p> <p>Se esta importante diferença entre o modo de formação das células e dos cristais nos levar a negar toda conexão íntima dos dois processos, a comparação dos dois pode servir pelo menos para dar uma representação clara da vida celular (Schwann, 1839, p. 208, tradução nossa).</p>	<i>Processos inorgânicos como modelo para compreensão de processos orgânicos celulares</i>
FP/CCC-3.18A	<p>A visão, então, de que os organismos nada mais são do que a forma sob a qual as</p>	

	<p>substâncias capazes de embeber se cristalizam, parece ser compatível com o fenômeno mais importante da vida orgânica, e pode-se admitir até agora que é uma hipótese possível ou tentativa de explicação destes fenômenos. Envolve muita coisa incerta ou paradoxal, mas eu tenho desenvolvido em detalhes, porque isso pode servir como um guia para novas investigações. Pois mesmo que nenhuma relação entre cristalização e o crescimento de organismos seja admitida em princípio, essa visão tem a vantagem de proporcionar uma representação distinta dos processos orgânicos; um requisito indispensável para instituição de novas investigações de uma maneira sistemática, ou para testar pela descoberta de novos fatos um modo de explicação que harmoniza com fenômenos já conhecidos (Schwann, 1839, p. 215, tradução nossa).</p>	
--	--	--

**APÊNDICE G - EXCERTOS IDENTIFICADOS NO LIVRO 4- 'PATOLOGIA
CELULAR', DE RUDOLF VIRCHOW (FP/CCC-4)**

FATO CIENTÍFICO EM ANÁLISE: Conceito Clássico de Célula.	
EPISÓDIO HISTÓRICO (EH): Investigação de Rudolf Virchow sobre a natureza e origem das células e seus constituintes (1859) – EH4.	
CÓDIGO	EXCERTO
FP/CCC-4.1	O objetivo principal delas [palestras], ilustradas como eram por uma série tão extensa de preparações microscópicas quanto estava ao meu alcance, era fornecer uma explicação clara e conectada daqueles fatos sobre os quais, de acordo com minhas ideias, a teoria da vida deve agora ser baseada, e fora da qual também a ciência da patologia tem agora de ser construída. Pretendiam mais particularmente ser uma tentativa de, por meio uma forma mais bem organizada do que até então, apresentar uma visão da natureza celular de todos os processos vitais, tanto fisiológicos quanto patológicos, animais e vegetais, de modo a expor distintamente o que há muito tempo as pessoas têm uma vaga consciência, a saber, da unidade da vida em todos os seres organizados, em oposição às tendências humorais e neurísticas (solidistas) unilaterais que foram transmitidas desde os dias míticos da antiguidade até nossos tempos, e ao mesmo tempo para contrastar com as interpretações igualmente unilaterais de vieses grosseiramente mecânicos e químicos — o mecanismo e a química mais delicados da célula (Virchow, 1859, prefácio à primeira edição, p. vii, tradução nossa).
FP/CCC-4.2	[...] O ponto principal nesta aplicação da histologia à patologia é obter o reconhecimento do fato de que a célula é realmente o elemento morfológico último no qual existe qualquer manifestação de vida, e que não devemos transferir a sede da ação real para qualquer ponto além da célula. Diante de vocês, não terei nenhum motivo especial para me justificar, se a esse respeito fizer uma reserva muito especial em favor da vida (Virchow, 1859, p. 3, tradução nossa).
FP/CCC-4.3	No decorrer destas palestras vocês serão capazes de se convencer de que é quase impossível para qualquer um nutrir mais ideias mecânicas em casos particulares do que eu costumo fazer, quando chamado a interpretar os processos individuais da vida (Virchow, 1859, p. 3, tradução nossa).
FP/CCC-4.4	[...] Mas penso que devemos considerar isto como certo, que, por mais que grande parte do intercâmbio mais delicado de matéria, que ocorre dentro de uma célula, possa não dizer respeito à estrutura material como um todo, ainda assim a ação real procede da estrutura como tal, e que o elemento vivo só mantém a sua atividade enquanto realmente se apresenta a nós como um todo independente (Virchow, 1859, p. 4, tradução nossa).
FP/CCC-4.5	[...] Somente quando aderimos a esta visão da matéria, quando separamos da célula tudo o que lhe foi acrescentado por um desenvolvimento posterior, é que obtemos uma estrutura simples, homogênea e extremamente monótona, recorrente com extraordinária constância nos organismos vivos. Mas é precisamente esta mesma constância que constitui o melhor critério para termos diante de nós, nesta estrutura, um daqueles corpos realmente elementares, cuja construção é eminentemente característica de todos os seres vivos - sem cuja preexistência não surgem formas vivas, e ao qual a continuidade e a manutenção da vida estão intimamente ligadas. Só desde que a nossa ideia de célula assumiu esta forma severa – e tenho um certo orgulho de ter sempre, apesar da censura ao pedantismo, aderido firmemente a ela – só a partir dessa altura se pode dizer que se obteve uma forma simples que podemos esperar encontrar em qualquer lugar e que, embora diferente em tamanho e forma externa, é sempre idêntico em seus constituintes essenciais (Virchow, 1859, p. 8, tradução nossa).
FP/CCC-4.6	[...] Geralmente, pode-se dizer que, enquanto a vida da célula não tiver terminado,

	enquanto as células se comportarem como elementos ainda dotados de força vital, o núcleo manterá uma forma quase constante (Virchow, 1859, p. 9, tradução nossa).
FP/CCC-4.7	Daí resulta que as peculiaridades especiais que as células individuais exibem em locais particulares, sob circunstâncias particulares, são em geral dependentes das propriedades variáveis do conteúdo celular, e que não são os constituintes que consideramos até agora (membrana e núcleo), mas os conteúdos (ou então as massas de matéria depositadas fora da célula, intercelular), que dão origem às diferenças funcionais (fisiológicas) dos tecidos. Para nós é fundamental saber que nos mais diversos tecidos estes constituintes, que, em certa medida, representam a célula na sua forma abstrata, o núcleo e a membrana, recorrem com grande constância, e que pela sua combinação se obtém um elemento simples, que, ao longo de toda a série de formas vivas vegetais e animais, por mais diferentes que sejam externamente, por mais que sua composição interna possa estar sujeita a mudanças, apresenta-nos uma estrutura de conformação bastante peculiar, como uma base definida para todos os fenômenos da vida (Virchow, 1859, p. 13, tradução nossa).
FP/CCC-4.8	De acordo com as minhas ideias, este é o único ponto de partida possível para todas as doutrinas biológicas. Se uma correspondência definida na forma elementar permeia toda a série de todos os seres vivos, e se nesta série se busca em vão alguma outra coisa que possa ser colocada no lugar da célula, então todo organismo mais altamente desenvolvido, seja vegetal ou o animal, necessariamente, sobretudo, deve ser considerado como um total progressivo, constituído por maior ou menor número de células semelhantes ou dissimilares (Virchow, 1859, p. 13, tradução nossa).
FP/CCC-4.9	Assim como uma árvore constitui uma massa disposta de maneira definida, na qual, em cada parte, nas folhas como na raiz, no tronco assim como na flor, descobre-se que as células são os elementos fundamentais, o mesmo acontece com as formas de vida animal. Cada animal apresenta-se como uma soma de unidades vitais, cada uma das quais manifesta todas as características da vida. As características e a unidade da vida não podem ser limitadas a qualquer ponto particular de um organismo altamente desenvolvido (por exemplo, ao cérebro do homem), mas devem ser encontradas apenas na estrutura definida e constantemente recorrente que cada elemento individual apresenta (Virchow, 1859, p. 13-14, tradução nossa).
FP/CCC-4.10	Segue-se daí que a composição estrutural de um corpo de tamanho considerável, um chamado indivíduo, representa sempre uma espécie de arranjo social de partes, um arranjo de tipo social, no qual um certo número de existências individuais são mutuamente dependentes, mas de tal maneira que cada elemento tem sua própria ação especial e, embora derive seu estímulo à atividade de outras partes, é o único que efetua o desempenho real de suas funções. Portanto, considere necessário, e acredito que você obterá benefícios com a concepção, repartir o corpo em territórios celulares (Zellenterrorien) (Virchow, 1859, p. 14, tradução nossa).
FP/CCC-4.11	Segundo Schwann, a substância intercelular era o citoblastema, destinado ao desenvolvimento de novas células. Não considero isto correto, mas, pelo contrário, cheguei, por meio de uma série de observações patológicas, à conclusão de que a substância intercelular depende de uma certa maneira definida das células, e que é necessário traçar limites também, de modo que certos distritos pertençam a uma célula e outros a outra. Você verá quão nitidamente essas fronteiras são definidas por processos patológicos e como é fornecida evidência direta de que qualquer distrito de substância intercelular é governado pela célula, que fica no meio dela e exerce influência sobre as partes vizinhas (Virchow, 1859, p. 15, tradução nossa).
FP/CCC-4.12	[...] Tão pouco quanto podemos agora admitir que uma tênia possa surgir do muco saburral, ou que do resíduo da decomposição de matéria animal ou vegetal possa formar-se um animáculo infusorial, um fungo ou uma alga. Igualmente, pouco estamos dispostos a admitir, tanto na histologia fisiológica como na patológica, que uma nova célula pode construir-se a partir de qualquer substância não celular. Onde surge uma célula, aí deve ter existido previamente uma célula (<i>omnis cellula</i>

	<p>e <i>cellula</i>), tal como um animal só pode surgir de um animal, uma planta só pode surgir de uma planta. Desta forma, embora ainda existam alguns pontos no corpo onde a demonstração absoluta ainda não foi proporcionada, o princípio é, no entanto, estabelecido, que em toda a série de seres vivos, sejam eles plantas inteiras ou organismos animais, ou constituintes essenciais do mesmo, prevalece uma lei eterna de desenvolvimento contínuo. Não há descontinuidade de desenvolvimento tal que uma nova geração possa, por si só, dar origem a uma nova série de formas de desenvolvimento. Nenhum tecido desenvolvido pode ser rastreado até qualquer elemento simples, grande ou pequeno, a menos que seja até uma célula (Virchow, 1859, p. 27-28, tradução nossa).</p>
--	---

**APÊNDICE H - CATEGORIZAÇÃO REFERENTE AO ESTUDO DO EPISÓDIO
HISTÓRICO ENCONTRADO NO LIVRO 4- 'PATOLOGIA CELULAR', DE RUDOLF
VIRCHOW (FP/CCC-4)**

FATO CIENTÍFICO EM ANÁLISE: Conceito Clássico de Célula.		
EPISÓDIO HISTÓRICO (EH): Investigação de Rudolf Virchow sobre a natureza e origem das células e seus constituintes (1859) – EH4.		
CÓDIGO	EXCERTO	CATEGORIAS A PRIORI
FP/CCC-4.2A	[...] O ponto principal nesta aplicação da histologia à patologia é obter o reconhecimento do fato de que a célula é realmente o elemento morfológico último no qual existe qualquer manifestação de vida , e que não devemos transferir a sede da ação real para qualquer ponto além da célula. Diante de vocês, não terei nenhum motivo especial para me justificar, se a esse respeito fizer uma reserva muito especial em favor da vida (Virchow, 1859, p. 3, tradução nossa).	<i>Correlação entre célula e manifestação de vida</i>
FP/CCC-4.9A	Assim como uma árvore constitui uma massa disposta de maneira definida, na qual, em cada parte, nas folhas como na raiz, no tronco assim como na flor, descobre-se que as células são os elementos fundamentais, o mesmo acontece com as formas de vida animal. Cada animal apresenta-se como uma soma de unidades vitais, cada uma das quais manifesta todas as características da vida. As características e a unidade da vida não podem ser limitadas a qualquer ponto particular de um organismo altamente desenvolvido (por exemplo, ao cérebro do homem), mas devem ser encontradas apenas na estrutura definida e constantemente recorrente que cada elemento individual apresenta (Virchow, 1859, p. 13-14, tradução nossa).	
FP/CCC-4.1B	O objetivo principal delas [palestras], ilustradas como eram por uma série tão extensa de preparações microscópicas quanto estava ao meu alcance, era fornecer uma explicação clara e conectada daqueles fatos sobre os quais, de acordo com minhas ideias, a teoria da vida deve agora ser	

	<p>baseada, e fora da qual também a ciência da patologia tem agora de ser construída. Pretendiam mais particularmente ser uma tentativa de, por meio uma forma mais bem organizada do que até então, apresentar uma visão da natureza celular de todos os processos vitais, tanto fisiológicos quanto patológicos, animais e vegetais, de modo a expor distintamente o que há muito tempo as pessoas têm uma vaga consciência, a saber, da unidade da vida em todos os seres organizados, em oposição às tendências humorais e neurísticas (solidistas) unilaterais que foram transmitidas desde os dias míticos da antiguidade até nossos tempos, e ao mesmo tempo para contrastar com as interpretações igualmente unilaterais de vieses grosseiramente mecânicos e químicos — o mecanismo e a química mais delicados da célula (Virchow, 1859, prefácio à primeira edição, p. vii, tradução nossa).</p>	
FP/CCC-4.3A	<p>No decorrer destas palestras vocês serão capazes de se convencer de que é quase impossível para qualquer um nutrir mais ideias mecânicas em casos particulares do que eu costumo fazer, quando chamado a interpretar os processos individuais da vida (Virchow, 1859, p. 3, tradução nossa).</p>	<p><i>Propriedades da célula compreendidas pelo reducionismo físico-químico</i></p>
FP/CCC-4.4A	<p>[...] Mas penso que devemos considerar isto como certo, que, por mais que grande parte do intercâmbio mais delicado de matéria, que ocorre dentro de uma célula, possa não dizer respeito à estrutura material como um todo, ainda assim a ação real procede da estrutura como tal, e que o elemento vivo só mantém a sua atividade enquanto realmente se apresenta a nós como um todo independente (Virchow, 1859, p. 4, tradução nossa).</p>	<p><i>Indivíduo constituído por células individualizadas e interdependentes que mantêm a totalidade</i></p>
FP/CCC-4.8A	<p>De acordo com as minhas ideias, este é o único ponto de partida possível para todas as doutrinas biológicas. Se uma correspondência definida na forma elementar permeia toda a série de todos os seres vivos, e se nesta série se busca em vão alguma outra coisa que possa ser colocada no lugar da célula, então todo organismo mais altamente desenvolvido,</p>	

	<p>seja vegetal ou o animal, necessariamente, sobretudo, deve ser considerado como um total progressivo, constituído por maior ou menor número de células semelhantes ou dissimilares (Virchow, 1859, p. 13, tradução nossa).</p>	
FP/CCC-4.6A	<p>[...] Geralmente, pode-se dizer que, enquanto a vida da célula não tiver terminado, enquanto as células se comportarem como elementos ainda dotados de força vital, o núcleo manterá uma forma quase constante (Virchow, 1859, p. 9, tradução nossa).</p>	<p><i>Propriedades da célula compreendidas pelo recurso à força vital</i></p>
FP/CCC-4.5A	<p>[...] Somente quando aderimos a esta visão da matéria, quando separamos da célula tudo o que lhe foi acrescentado por um desenvolvimento posterior, é que obtemos uma estrutura simples, homogênea e extremamente monótona, recorrente com extraordinária constância nos organismos vivos. Mas é precisamente esta mesma constância que constitui o melhor critério para termos diante de nós, nesta estrutura, um daqueles corpos realmente elementares, cuja construção é eminentemente característica de todos os seres vivos - sem cuja preexistência não surgem formas vivas, e ao qual a continuidade e a manutenção da vida estão intimamente ligadas. Só desde que a nossa ideia de célula assumiu esta forma severa - e tenho um certo orgulho de ter sempre, apesar da censura ao pedantismo, aderido firmemente a ela - só a partir dessa altura se pode dizer que se obteve uma forma simples que podemos esperar encontrar em qualquer lugar e que, embora diferente em tamanho e forma externa, é sempre idêntica em seus constituintes essenciais (Virchow, 1859, p. 8, tradução nossa).</p>	<p><i>Uso do termo cell (célula) como identificação da unidade constitutiva dos seres vivos</i></p>
FP/CCC-4.12B	<p>[...] Tão pouco quanto podemos agora admitir que uma ténia possa surgir do muco saburral, ou que do resíduo da decomposição de matéria animal ou vegetal possa formar-se um animálculo infusorial, um fungo ou uma alga. Igualmente, pouco estamos dispostos a admitir, tanto na histologia fisiológica como na patológica, que uma nova célula pode construir-se a partir de qualquer substância não celular. Onde surge uma célula, aí deve</p>	

	<p>ter existido previamente uma célula (<i>omnis cellula e cellula</i>), tal como um animal só pode surgir de um animal, uma planta só pode surgir de uma planta. Desta forma, embora ainda existam alguns pontos no corpo onde a demonstração absoluta ainda não foi proporcionada, o princípio é, no entanto, estabelecido, que em toda a série de seres vivos, sejam eles plantas inteiras ou organismos animais, ou constituintes essenciais do mesmo, prevalece uma lei eterna de desenvolvimento contínuo. Não há descontinuidade de desenvolvimento tal que uma nova geração possa, por si só, dar origem a uma nova série de formas de desenvolvimento. Nenhum tecido desenvolvido pode ser rastreado até qualquer elemento simples, grande ou pequeno, a menos que seja até uma célula (Virchow, 1859, p. 27-28, tradução nossa).</p>	
FP/CCC-4.7A	<p>Daí resulta que as peculiaridades especiais que as células individuais exibem em locais particulares, sob circunstâncias particulares, são em geral dependentes das propriedades variáveis do conteúdo celular, e que não são os constituintes que consideramos até agora (membrana e núcleo), mas os conteúdos (ou então as massas de matéria depositadas fora da célula, intercelular), que dão origem às diferenças funcionais (fisiológicas) dos tecidos. Para nós é fundamental saber que nos mais diversos tecidos estes constituintes, que, em certa medida, representam a célula na sua forma abstrata, o núcleo e a membrana, recorrem com grande constância, e que pela sua combinação se obtém um elemento simples, que, ao longo de toda a série de formas vivas vegetais e animais, por mais diferentes que sejam externamente, por mais que sua composição interna possa estar sujeita a mudanças, apresenta-nos uma estrutura de conformação bastante peculiar, como uma base definida para todos os fenômenos da vida (Virchow, 1859, p. 13, tradução nossa).</p>	<p><i>Busca pela compreensão de processos fisiológicos celulares</i></p>
FP/CCC-4.10A	<p>Segue-se daí que a composição estrutural de um corpo de tamanho considerável, um chamado indivíduo, representa sempre uma espécie de arranjo social de partes, um arranjo de tipo social, no qual um certo número de existências individuais são mutuamente dependentes, mas de tal maneira que cada elemento tem sua própria ação especial e, embora derive seu estímulo à atividade de outras partes,</p>	<p><i>Influência do contexto na interpretação do objeto de investigação</i></p>

	<p>é o único que efetua o desempenho real de suas funções. Portanto, considere necessário, e acredito que você obterá benefícios com a concepção, repartir o corpo em territórios celulares (Zellenterritorien) (Virchow, 1859, p. 14, tradução nossa).</p>	
FP/CCC-4.11A	<p>Segundo Schwann, a substância intercelular era o citoblastema, destinado ao desenvolvimento de novas células. Não considero isto correto, mas, pelo contrário, cheguei, por meio de uma série de observações patológicas, à conclusão de que a substância intercelular depende de uma certa maneira definida das células, e que é necessário traçar limites também, de modo que certos distritos pertençam a uma célula e outros a outra. Você verá quão nitidamente essas fronteiras são definidas por processos patológicos e como é fornecida evidência direta de que qualquer distrito de substância intercelular é governado pela célula, que fica no meio dela e exerce influência sobre as partes vizinhas (Virchow, 1859, p. 15, tradução nossa).</p>	<p><i>Ênfase na observação e/ou experimentos na interpretação do objeto de investigação</i></p>
FP/CCC-4.1A	<p>O objetivo principal delas [palestras], ilustradas como eram por uma série tão extensa de preparações microscópicas quanto estava ao meu alcance, era fornecer uma explicação clara e conectada daqueles fatos sobre os quais, de acordo com minhas ideias, a teoria da vida deve agora ser baseada, e fora da qual também a ciência da patologia tem agora de ser construída. Pretendiam mais particularmente ser uma tentativa de, por meio uma forma mais bem organizada do que até então, apresentar uma visão da natureza celular de todos os processos vitais, tanto fisiológicos quanto patológicos, animais e vegetais, de modo a expor distintamente o que há muito tempo as pessoas têm uma vaga consciência, a saber, da unidade da vida em todos os seres organizados, em oposição às tendências humorais e neurísticas (solidistas) unilaterais que foram transmitidas desde os dias míticos da antiguidade até nossos tempos, e ao mesmo tempo para contrastar com as interpretações igualmente unilaterais de vieses</p>	

	grosseiramente mecânicos e químicos — o mecanismo e a química mais delicados da célula (Virchow, 1859, prefácio à primeira edição, p. vii, tradução nossa).	
CÓDIGO	EXCERTO	CATEGORIA EMERGENTE
FP/CCC-4.12A	<p>[...] Tão pouco quanto podemos agora admitir que uma tênia possa surgir do muco saburral, ou que do resíduo da decomposição de matéria animal ou vegetal possa formar-se um animálculo infusorial, um fungo ou uma alga. Igualmente, pouco estamos dispostos a admitir, tanto na histologia fisiológica como na patológica, que uma nova célula pode construir-se a partir de qualquer substância não celular. Onde surge uma célula, aí deve ter existido previamente uma célula (<i>omnis cellula e cellula</i>), tal como um animal só pode surgir de um animal, uma planta só pode surgir de uma planta. Desta forma, embora ainda existam alguns pontos no corpo onde a demonstração absoluta ainda não foi proporcionada, o princípio é, no entanto, estabelecido, que em toda a série de seres vivos, sejam eles plantas inteiras ou organismos animais, ou constituintes essenciais do mesmo, prevalece uma lei eterna de desenvolvimento contínuo. Não há descontinuidade de desenvolvimento tal que uma nova geração possa, por si só, dar origem a uma nova série de formas de desenvolvimento. Nenhum tecido desenvolvido pode ser rastreado até qualquer elemento simples, grande ou pequeno, a menos que seja até uma célula (Virchow, 1859, p. 27-28, tradução nossa).</p>	<i>Recusa à geração espontânea de seres vivos e da célula individual</i>
FP/CCC-4.5B	<p>[...] Somente quando aderimos a esta visão da matéria, quando separamos da célula tudo o que lhe foi acrescentado por um desenvolvimento posterior, é que obtemos uma estrutura simples, homogênea e extremamente monótona, recorrente com extraordinária constância nos organismos vivos. Mas é precisamente esta mesma constância que constitui o melhor critério para termos diante de nós, nesta estrutura, um daqueles corpos realmente elementares, cuja construção é eminentemente característica de todos os seres vivos - sem</p>	

	<p>cuja preexistência não surgem formas vivas, e ao qual a continuidade e a manutenção da vida estão intimamente ligadas. Só desde que a nossa ideia de célula assumiu esta forma severa – e tenho um certo orgulho de ter sempre, apesar da censura ao pedantismo, aderido firmemente a ela – só a partir dessa altura se pode dizer que se obteve uma forma simples que podemos esperar encontrar em qualquer lugar e que, embora diferente em tamanho e forma externa, é sempre idêntico em seus constituintes essenciais (Virchow, 1859, p. 8, tradução nossa).</p>	
FP/CCC-4.1C	<p>O objetivo principal delas [palestras], ilustradas como eram por uma série tão extensa de preparações microscópicas quanto estava ao meu alcance, era fornecer uma explicação clara e conectada daqueles fatos sobre os quais, de acordo com minhas ideias, a teoria da vida deve agora ser baseada, e fora da qual também a ciência da patologia tem agora de ser construída. Pretendiam mais particularmente ser uma tentativa de, por meio uma forma mais bem organizada do que até então, apresentar uma visão da natureza celular de todos os processos vitais, tanto fisiológicos quanto patológicos, animais e vegetais, de modo a expor distintamente o que há muito tempo as pessoas têm uma vaga consciência, a saber, da unidade da vida em todos os seres organizados, em oposição às tendências humorais e neurísticas (solidistas) unilaterais que foram transmitidas desde os dias míticos da antiguidade até nossos tempos, e ao mesmo tempo para contrastar com as interpretações igualmente unilaterais de vieses grosseiramente mecânicos e químicos — o mecanismo e a química mais delicados da célula (Virchow, 1859, prefácio à primeira edição, p. vii, tradução nossa).</p>	<p><i>Propriedades da célula compreendidas pela especificidade dos processos vitais</i></p>
FP/CCC-4.2B	<p>[...] O ponto principal nesta aplicação da histologia à patologia é obter o reconhecimento do fato de que a célula é realmente o elemento morfológico último no qual existe qualquer manifestação de vida, e que não devemos transferir a sede da ação real para qualquer ponto além da célula. Diante de vocês, não terei nenhum</p>	

	motivo especial para me justificar, se a esse respeito fizer uma reserva muito especial em favor da vida (Virchow, 1859, p. 3, tradução nossa).	
--	--	--

**APÊNDICE I - EXCERTOS IDENTIFICADOS EM 'A TEORIA CELULAR, DE
GEORGES CANGUILHEM (FS/CCC-1)**

FATO CIENTÍFICO EM ANÁLISE: Conceito Clássico de Célula.	
INTERESSE: Visão de Canguilhem sobre os condicionamentos histórico, social, político e filosófico do conceito de célula e da teoria celular (1945).	
CÓDIGO	EXCERTO
FS/CCC-1.1	Essa teoria é muito benfeita para levar o espírito filosófico a hesitar quanto ao caráter da ciência biológica: ela é racional ou experimental? São os olhos da razão que veem as ondas luminosas, mas parece que são os olhos, órgãos dos sentidos, que identificam as células de um corte vegetal. A teoria celular seria, então, uma compilação de protocolos de observação. O olho armado com o microscópio vê o vivo macroscópico composto de células tal como o olho nu vê o vivo macroscópico compondo a biosfera. E, no entanto, o microscópio é mais o prolongamento da inteligência do que o prolongamento da vista (Canguilhem, 1945/2012, p. 44, grifo do autor).
FS/CCC-1.2	[...] a teoria celular não é a afirmação de que o ser se compõe de células, mas, em primeiro lugar, de que a célula é o <i>único</i> componente de <i>todos</i> os seres vivos; e em seguida que toda célula provém de uma célula preexistente. Ora, não é o microscópio que autoriza a dizê-lo. O microscópio é, no máximo, um dos meios de verificá-lo quando o dizemos. Mas de onde veio a ideia de dizê-lo antes de verificá-lo? É aqui que a história da formação do conceito de <i>célula</i> tem sua importância (Canguilhem, 1945/2012, p. 44-45, grifo do autor).
FS/CCC-1.3	No que concerne à célula, é comum prestar-se uma grande honra a Hooke. Por certo foi ele que descobriu a coisa, um tanto por acaso e pelo jogo de uma curiosidade divertida das primeiras revelações do microscópio. [...] Mas a descoberta de Hooke não inicia nada, não é um ponto de partida. O eu mesmo se perde e só será reencontrado um século mais tarde. [...] Essa descoberta da coisa e essa invenção da palavra convocam, desde já, algumas reflexões. Com a célula, estamos diante de um objeto biológico cuja sobredeterminação afetiva é incontestável e considerável. A psicanálise do conhecimento conta, doravante, com felizes sucessos, suficientes para aspirar à dignidade de um gênero ao qual se podem trazer, mesmo sem intenção sistemática, algumas contribuições. Cada um encontrará, em suas lembranças de lições de história natural, a imagem da estrutura celular dos seres vivos. Essa imagem tem uma constância quase canônica. A representação esquemática de um epitélio é a imagem de um bolo de mel (Canguilhem, 1945/2012, p. 45).
FS/CCC-1.4	[...] Célula é uma palavra que não nos faz pensar no monge ou no prisioneiro, mas na abelha. [...] Mas, antes, quem sabe, se ao tomar conscientemente emprestado da colmeia das abelhas o termo célula, para designar o elemento do organismo vivo, o espírito humano também não lhe pediu emprestado, quase inconscientemente, a noção do trabalho cooperativo, do qual o raio de mel é o produto? Assim como o alvéolo é o elemento de um edifício, as abelhas são, segundo a palavra de Maeterlinck, indivíduos inteiramente absorvidos pela república. De fato, a célula é uma noção, a um só tempo, anatômica e funcional, a noção de um material elementar e de um trabalho individual, parcial e subordinado. O que é certo é que valores afetivos e sociais de cooperação e de associação pairam de perto ou de longe sobre o desenvolvimento da teoria celular (Canguilhem, 1945/2012, p. 45-46).
FS/CCC-1.5	Alguns anos depois de Hooke, Malpigni, por um lado, Grew, por outro, publicam simultânea (1671) e separadamente seus trabalhos sobre a anatomia microscópica das plantas. Sem referência a Hooke, eles redescobriram a mesma coisa, mas utilizam uma outra palavra. Tanto um como outro constatam haver no vivente o que hoje chamamos de células, mas nenhum deles afirma que o vivente é apenas células (Canguilhem, 1945/2012, p. 46).

FS/CCC-1.6	Depois que se interessou, em biologia, pela constituição morfológica dos corpos vivos, o espírito humano oscilou entre uma e outra das duas seguintes representações: ou uma substância plástica fundamental contínua, ou uma composição de partes, de átomos organizados ou grãos de vida. Aqui, como em ótica, as duas exigências intelectuais de continuidade e de descontinuidade se defrontam (Canguilhem, 1945/2012, p. 46).
FS/CCC-1.7	Em biologia, o termo protoplasma designa um constituinte da célula considerada como elemento atômico de composição do organismo, mas a significação etimológica do termo nos remete à concepção do líquido formador inicial. O botânico Hugo von Mohl, um dos primeiros autores a observar com precisão o nascimento das células por divisão de células preexistentes, propôs, em 1843, o termo “protoplasma”, como se reportando à função fisiológica de um fluido precedendo às primeiras produções sólidas por toda parte onde células devem nascer. Foi isso mesmo que, em 1835, Dujardin nomeara “sarcodio”, entendendo com isso a geleia viva capaz de se organizar ulteriormente. Até Schwann, ele não fora considerado como o fundador da teoria celular, para o qual as duas imagens teóricas não interferem. Existe, segundo Schwann, uma substância sem estrutura, o citoblastema, onde nascem os núcleos em torno dos quais se formam as células. Schwann diz que, nos tecidos, as células se formam onde o líquido nutritivo neles penetra (Canguilhem, 1945/2012, p. 47).
FS/CCC-1.8	[...] precisamos buscar as origens autênticas da teoria celular em outro lugar que não na descoberta de algumas estruturas microscópicas dos seres vivos. [...] Sob formas diferentes, eles [Lineu, Buffon e Haller] se preocuparam com as diversas manifestações da unidade da vida. A rigor, podemos dizer que a ideia de uma composição elementar do ser vivo não era estranha a nenhum deles. Em Lineu, porém, trata-se de uma visão intuitiva, quase poética. [...] Em compensação, Haller e Buffon formularam, mais para responder às exigências especulativas do que para se submeterem aos dados de anatomia microscópicas, tentativas de redução dos seres vivos a uma unidade viva desempenhando, em biologia, o papel de princípio, num duplo sentido: o de existência primordial e o de razão de inteligibilidade (Canguilhem, 1945/2012, p. 48-49).
FS/CCC-1.9	Na obra de Buffon, da qual Klein ¹⁶⁴ enfatiza o pouco uso feito do microscópio, encontramos uma teoria da composição dos viventes que é, propriamente dito, um sistema, no sentido dado a essa palavra, no século XVIII. Buffon supõe princípios para dar conta de um certo número de fatos, assim como de suas consequências. Trata-se essencialmente de fatos de reprodução e de hereditariedade. Em <i>Histoire des animaux</i> (1748), está exposta a teoria das “moléculas orgânicas” [...] Buffon admite a existência de uma quantidade infinita de partes orgânicas vivas, e cuja substância é a mesma que a dos seres organizados. Essas partes orgânicas comuns aos animais e aos vegetais são primitivas e incorruptíveis, de tal forma que a geração e a destruição do ser organizado não passam da conjunção e da disjunção desses viventes elementares (Canguilhem, 1945/2012, p. 50).
FS/CCC-1.10	Essa agregação por atração das moléculas orgânicas obedece a uma espécie de lei de constância morfológica, o que Buffon chama de “molde interior”. Sem a hipótese do “molde interior” acrescentada à das moléculas orgânicas, a nutrição, o desenvolvimento e a reprodução do vivente são ininteligíveis. O molde interior é um intermediário lógico entre a causa formal aristotélica e a ideia diretriz da qual fala Claude Bernard. Ele responde à mesma exigência do pensamento biológico, a de dar conta da individualidade morfológica do organismo. Buffon estava persuadido de não versar na metafísica ao propor uma tal hipótese; ele estava até mesmo seguro de não entrar em conflito com a explicação mecanicista da vida, sob condição de admitir os princípios da mecânica newtoniana, ao mesmo título que os princípios da mecânica cartesiana (Canguilhem, 1945/2012, p. 51-52).

¹⁶⁴ Autor de referência usado por Canguilhem para seu estudo sobre a teoria celular.

FS/CCC-1.11	<p>Buffon pensa ter provado por meio dos fatos, generalizando experiências, que existe um número infinito de partes orgânicas. De fato, Buffon traz ao ativo da experiência uma certa maneira de lê-la da qual a experiência é menos responsável do que o são as leituras de Buffon. Buffon leu, estudou, admirou Newton.</p> <p>É incontestável que Buffon procurou ser o Newton do mundo orgânico, um tanto como Hume procurava ser, na mesma época, o Newton do mundo psíquico. Newton havia demonstrado a unidade das forças que movem os astros e daquelas que se exercem sobre o corpo na superfície da Terra. Por meio da atração, ele dava conta da coesão das massas elementares em sistemas materiais mais complexos. Sem a atração, a realidade seria poeira e não universo.</p> <p>Para Buffon, “se a matéria cessasse de se atrair” é uma suposição equivalente a “se os copos perdessem sua coerência”. Como bom newtoniano, Buffon admite a realidade material e corpuscular da luz (Canguilhem, 1945/2012, p. 52-53).</p>
FS/CCC-1.12	<p>Como bom newtoniano, Buffon admite a realidade material e corpuscular da luz [...]</p> <p>Uma concepção corpuscular da matéria e da luz não pode não acarretar uma concepção corpuscular da matéria viva para quem pensa que ela é apenas matéria e calor. [...]</p> <p>Aí está, em nossa opinião, a filiação lógica que explica o nascimento da teoria das moléculas orgânicas. Uma teoria biológica nasce do prestígio de uma teoria física. A teoria das moléculas orgânicas ilustra um método de explicação, o método analítico, e privilegia um tipo de imaginação, a imaginação do descontínuo. A natureza é reconduzida à identidade de um elemento - “um só recurso e um só sujeito” - cuja composição com ele mesmo produz a aparência da diversidade - “variando suas obras ao infinito”. A vida de um indivíduo animal ou vegetal é, então, uma consequência e não um princípio, um produto e não uma essência. Um organismo é um mecanismo cujo efeito global resulta necessariamente da reunião das partes. A verdadeira individualidade viva é molecular, monádica (Canguilhem, 1945/2012, p. 53-54).</p>
FS/CCC-1.13	<p>Querer-se-ia poder prosseguir com a simetria qualificando de associacionismo biológico a teoria das moléculas orgânicas. Associacionismo implica associação, isto é, constituição de uma sociedade posterior à existência separada de indivíduos participantes. Buffon, por certo, compartilha das concepções sociológicas do século XVIII. A sociedade humana é o resultado da cooperação refletida de átomos sociais pensantes, de indivíduos capazes, como tais, de previsão e de cálculo. “A sociedade, considerada mesmo numa única família, supõe no homem a faculdade racional”. O corpo social, tal como o corpo orgânico, é um todo que se explica pela composição de suas partes. Mas não foi a uma sociedade de tipo humano que Buffon comparou o organismo complexo, foi mais a um agregado sem premeditação. Pois Buffon distingue com muita nitidez uma sociedade concertada, como a dos homens, de uma reunião mecânica, como a colmeia das abelhas. Conhecemos as páginas célebres nas quais Buffon, rastreando toda assimilação antropomórfica nos relatos da vida das abelhas, revigora, a fim de explicar as “maravilhas” da colmeia, os princípios do mecanismo cartesiano. A sociedade das abelhas “não é senão uma aglomeração física ordenada pela natureza e independente de toda visão, de todo conhecimento, de todo raciocínio”. Notar-se-á o termo <i>aglomeração (assemblage)</i> empregado por Buffon para definir o organismo individual tanto quanto para definir a sociedade dos insetos (Canguilhem, 1945/2012, p. 55-56).</p>
FS/CCC-1.14	<p>Segundo ele [Buffon], só há individualidade no último grau de realidade, alcançada pela análise, na decomposição de um todo. Só os elementos têm uma individualidade natural, os compostos têm apenas uma realidade factícia, seja ela mecânica ou intencional. É verdade que a introdução do conceito de “molde interior” na teoria da geração vem trazer um limite ao valor exaustivo da predisposição analítica que suscitou o conceito de “molécula orgânica”. O molde interior é o que foi requerido pela persistência de algumas formas no perpétuo remanejamento dos átomos vitais, é o que traduz os limites de uma certa exigência metodológica na presença do dado indivíduo.</p>

	<p>O obstáculo a uma teoria não é menos importante de se considerar, a fim de se compreender o futuro da teoria, do que a própria tendência da teoria. Mas é por sua tendência que uma teoria começa a criar a atmosfera intelectual de uma geração de pesquisadores. A leitura de Buffon deveria reforçar, nos biólogos, o espírito de análise que a leitura de Newton suscitara nele (Canguilhem, 1945/2012, p. 56).</p>
FS/CCC-1.15	<p>Singer, falando de Buffon, diz o seguinte: “Se a teoria celular existisse no tempo dele, ela o teria agradado”. Não poderíamos duvidar disso. Quando o naturalista de Montbard procurava “o único recurso e o único sujeito” utilizados pela natureza para se diversificar em viventes complexos, ele ainda não podia saber que buscava o que os biólogos do século XIX chamaram de célula. E os que encontraram na célula o elemento último da vida sem dúvida esqueceram que realizavam um sonho, mais do que um projeto de Buffon. Mesmo os sonhos dos sábios conhecem a persistência de um pequeno número de temas fundamentais. Assim, o homem reconhece facilmente seus próprios sonhos nas aventuras e sucessos de seus semelhantes (Canguilhem, 1945/2012, p. 57).</p>
FS/CCC-1.16	<p>[...] no caso de Buffon, as origens de um tema de sonho teórico, que podemos dizer profético, sem desconhecer a distância que separa um pressentimento, mesmo sapiente, de uma antecipação, ainda que rudimentar. Para haver uma antecipação propriamente dita, é preciso que os fatos que a autorizam e as vias da conclusão sejam de ordem igual àqueles que conferem a uma teoria seu alcance, mesmo transitório. Para haver pressentimento, basta fidelidade a seu próprio elã, o que Bachelard, em <i>L'Air et les Songes</i>, chama de “um movimento da imaginação”. Essa distância do pressentimento à antecipação é aquela que separa Buffon de Oken (Canguilhem, 1945/2012, p. 57).</p>
FS/CCC-1.17	<p>[...] Oken pertence à Escola romântica dos filósofos da natureza fundada por Schelling. As especulações desta escola exerceram tanta influência sobre os médicos e biólogos alemães da primeira metade do século XIX quanto sobre os homens de letras. Entre Oken e os primeiros biólogos conscientes de encontrar nos fatos de observação os primeiros assentamentos da teoria celular, a filiação se estabelece sem descontinuidade; Schleiden, que formulou a teoria celular, no que concerne aos vegetais, professou na Universidade de Léna, por onde pairava a lembrança viva do ensino de Oken. Schwann, que generalizou a teoria celular estendendo-a a todos os seres vivos (1839-1842), viveu na sociedade de Schleiden e de Johannes Miiller, a quem teve como mestre. Ora, Johannes Müller pertenceu, em sua juventude, à escola dos filósofos da natureza. Singer, muito justamente, pôde então dizer sobre Oken “que ele, de algum modo, <i>semeou</i> o pensamento dos autores considerados em seu lugar como os fundadores da teoria celular” (Canguilhem, 1945/2012, p. 57-58, grifo do autor).</p>
FS/CCC-1.18	<p>Na época em que Oken escreveu seu tratado <i>La Génération</i> (1805), infusório não designava expressamente um protômero, mas, no entanto, foi com o sentido de um ser vivo absolutamente simples e independente que ele utilizou a palavra. Na mesma época, o termo célula reinventado muitas vezes depois de Hooke, notadamente por Gallini e Ackermann, só recobre o mesmo conjunto de noções a partir de Dujardin, Von Mohl, Schwann e Max Schultze. Contudo, era mais ou menos nesse mesmo sentido que Oken o entendia. Portanto, esta é, ou não, a ocasião de se falar de antecipação (Canguilhem, 1945/2012, p. 58, grifo do autor).</p>
FS/CCC-1.19	<p>O organismo não é uma soma de realidades biológicas elementares. É uma realidade superior na qual os elementos são negados como tais. Oken antecipa, com precisão exemplar, a teoria dos graus de individualidade. Não é só um pressentimento. [...] O organismo é concebido por Oken à imagem da sociedade; esta, porém, não é a associação de indivíduos tal como a concebe a filosofia política da <i>Aufklärung</i>, é a comunidade tal como a concebe a filosofia política do romantismo (Canguilhem, 1945/2012, p. 60-61, grifo do autor).</p>
FS/CCC-1.20	<p>A individualidade, pelas dificuldades teóricas que suscita, obriga-nos a dissociar dois aspectos dos seres vivos, imediata e ingenuamente intrincados na percepção desses seres: a matéria e a forma. O indivíduo é o que não pode ser dividido quanto à forma, ao passo que sentimos a possibilidade da divisão no que concerne à matéria. Em alguns casos, a indivisibilidade essencial à individualidade só se revela ao final da divisão de um ser materialmente mais amplo. Mas ela</p>

	<p>seria apenas um limite à divisão começada ou seria, <i>a priori</i>, transcendente a toda divisão? A história do conceito de célula é inseparável da história do conceito de indivíduo. Isso já nos autoriza a afirmar que valores sociais e afetivos pairam sobre o desenvolvimento da teoria celular (Canguilhem, 1945/2012, p. 61-62).</p>
FS/CCC-1.21	<p>Como não aproximar as teorias biológicas de Oken das teorias de filosofia política caras aos românticos alemães tão profundamente influenciados por Novalis? <i>Glaube und Liebe: der König und die Königin</i> foi publicado em 1798; <i>Europa oder die Christenheit</i>, em 1800 (<i>Die Zeugung</i>, de Oken, é de 1805). Essas obras contêm uma violenta crítica das ideias revolucionárias. Novalis censura o sufrágio universal por atomizar a vontade popular, desconhecer a continuidade da sociedade ou, mais exatamente, da comunidade.</p> <p>[...]</p> <p>Se essas concepções sociológicas podem oferecer alguma analogia com as teorias biológicas é que, como frequentemente se observou, o romantismo interpretou a experiência política a partir de uma certa concepção da vida. Trata-se do vitalismo. No exato momento em que o pensamento político francês propunha ao espírito europeu o contrato social e o sufrágio universal, a escola francesa de medicina vitalista lhe propunha uma imagem da vida transcendente ao entendimento analítico. Um organismo não poderia ser compreendido como um mecanismo. A vida é uma forma irreduzível a toda composição de partes materiais. A biologia vitalista forneceu a uma filosofia política totalitária o meio senão a obrigação de inspirar algumas teorias relativas à individualidade biológica. Tanto isso é verdade que o próprio problema da individualidade é indivisível (Canguilhem, 1945/2012, p. 62-63).</p>
FS/CCC-1.22	<p>Bichat não gostava do microscópio, talvez por não saber se servir bem dele, como o sugere Klein, segundo Magendie. Bichat preferia o bisturi. E o que ele chamava o elemento último na ordem anatômica era o que o bisturi permitia dissociar e separar. Na ponta do bisturi, não se saberia encontrar uma célula mais do que uma alma. [...] Se o vitalismo considera a vida como um princípio transcendente à matéria, indivisível e inapreensível como uma forma, até mesmo um atomista, inspirando-se nessa ideia, não poderia fazer conter nos elementos supostos do vivente o que ele considera uma qualidade da totalidade desse ser. Os tecidos, reconhecidos por Bichat como o pano no qual os viventes são talhados, são uma imagem suficiente da continuidade do fato vital, requerida pela exigência vitalista (Canguilhem, 1945/2012, p. 64, grifo do autor).</p>
FS/CCC-1.23	<p>Ora, a doutrina de Bichat, seja pela leitura direta, seja por meio do ensino de Blainville, forneceu a Auguste Comte alguns dos temas expostos em sua lição XLI do <i>Curso de Filosofia positivista</i>.</p> <p>[...]</p> <p>Comte manifesta sua hostilidade ao emprego do microscópio e à teoria celular, pelo que, com frequência, foi criticado por aqueles que viram, na marcha da ciência biológica desde então, uma condenação de suas reticências e de suas aversões. Comte considera a teoria celular “uma fantástica teoria saída, aliás, evidentemente de um sistema essencialmente metafísico de filosofia geral”. E foram os naturalistas alemães, da época, prosseguindo com “especulações superiores da ciência biológica”, que Comte tornou responsáveis desse desvio manifesto. Este é o paradoxo. Ele consiste em não ver que as ideias de Oken e de sua escola têm todo um outro alcance que não as observações dos micrógrafos, e que o essencial da biologia de Oken é uma certa concepção da individualidade. Oken representa o ser vivo à imagem de uma sociedade comunitária. Contrariamente a Buffon, Comte não admite que a vida de um organismo seja uma soma de vidas particulares, nem tampouco admite, contrariamente à filosofia política do século XVIII, que a sociedade seja uma associação de indivíduos. Será que nisso ele estaria tão distante quanto possa parecer dos filósofos da natureza? Verificamos, aqui também, a unidade latente e profunda, num mesmo pensador, das concepções relativas à individualidade, seja ela biológica ou social. Assim como em sociologia o indivíduo é uma abstração, também em biologia as “mônadas orgânicas”, como diz Comte ao falar das células, são abstrações (Canguilhem, 1945/2012, p. 64-65).</p>
FS/CCC-1.24	<p>[...] “Em que poderia consistir então, realmente, seja a organização, seja a vida de</p>

	<p>uma simples mônada?” Ora, tanto Fischer quanto Policard puderam mostrar, há alguns anos, por meio da técnica de cultura dos tecidos, que uma cultura de tecidos capaz de proliferar deve conter uma quantidade mínima de células, abaixo da qual a multiplicação celular é impossível. Um fibroblasto isolado em uma gota de plasma sobrevive, mas não se multiplica (Fischer). Sobreviver sem se multiplicar, ainda assim, é viver? Podemos dividir as propriedades do vivente conservando-lhe a qualidade de vivente? Essas são questões que nenhum biólogo pode evitar. Esses são fatos que, junto com muitos outros, enfraqueceram o império sobre os espíritos da teoria celular. Em que Comte é culpado de haver pressentido essas questões, senão antecipando esses fatos? Com razão, censurou-se Comte de assentar a filosofia positiva sobre as ciências de seu tempo, consideradas, sob um certo aspecto, eternas. É certamente importante não desconhecer a historicidade do tempo. Mas o tempo, tanto quanto a eternidade, não é de ninguém; e a fidelidade à história pode nos levar a reconhecer nisso alguns retornos de teorias que apenas traduzem a oscilação do espírito humano entre algumas orientações permanentes da pesquisa em tal ou tal região da existência (Canguilhem, 1945/2012, p. 65-66).</p>
FS/CCC-1.25	<p>Convivências teóricas, inconscientes e involuntárias, podem aparecer. O botânico alemão de Baty escreveu (1860) que não são as células que formam as plantas, mas as plantas que formam as células. Seremos levados a ver, nessa frase, um aforismo de biologia romântico, tanto mais facilmente quanto o aproximarmos de uma observação de Bergson em <i>A Evolução criadora</i>: “Muito provavelmente, não foram as células que fizeram o indivíduo por via de associação; foi, antes, o indivíduo que fez as células por via de dissociação”. Sua reputação de romântico, de resto justificada, foi feita a Bergson por uma geração de pensadores positivistas do seio da qual ele desentoeava. A rigor, pode-se dizer que os mesmos pensadores eram os mais prontos para denunciar, também no próprio Comte, os traços desse romantismo biológico e social que deveria levá-lo do <i>Cours de Philosophie positive</i> à <i>Synthèse subjective</i> passando pelo <i>Système de politique positive</i>. Mas como explicar que essas concepções românticas de filosofia biológica tenham animado a pesquisa de sábios que permaneceram fiéis a uma doutrina científica e materialista incontestavelmente surgida do <i>Cours de Philosophie positive</i>? (Canguilhem, 1945/2012, p. 66-67).</p>
FS/CCC-1.26	<p>Podemos fixar a consagração desse império [da teoria celular] no ano de 1874, no qual Haeckel acabava de começar suas publicações sobre a <i>gastrea</i>, nas quais Claude Bernard, estudando do ponto de vista fisiológico os fenômenos de nutrição e de geração comuns aos animais e aos vegetais, escreve: “Na análise íntima de um fenômeno fisiológico, chega-se sempre ao mesmo ponto, chega-se ao mesmo agente elementar, irreduzível, o elemento organizado, a célula”. Segundo Claude Bernard, a célula é o “átomo vital”. Mas notemos que, no mesmo ano, Robin publica seu tratado de <i>Anatomie et Physiologie cellulaire</i> no qual a célula não é admitida a título de <i>único</i> elemento dos viventes complexos. Mesmo no momento de sua proclamação quase oficial, o império da teoria celular não é integral (Canguilhem, 1945/2012, p. 69).</p>
FS/CCC-1.27	<p>Em <i>Leçons sur les phénomènes de la vie communs aux animaux et aux végétaux</i>, publicadas depois de sua morte por Dastre, Claude Bernard, descrevendo o organismo como “um agregado de células ou de organismos elementares”, afirma o princípio da autonomia dos elementos anatômicos. Isso equivale a admitir que as células se comportam na associação tal como se comportariam isoladamente em um meio idêntico àquele que a ação das células vizinhas lhes cria no organismo; em suma, que as células <i>viveriam em liberdade exatamente como em sociedade</i>. Notar-se-á, <i>en passant</i>, que, se o meio de cultura de células livres contém as mesmas substâncias reguladoras da vida celular, por inibição ou estimulação, contidas no meio interior de um organismo, não se pode dizer que a célula vive em liberdade. A verdade é que Claude Bernard, querendo se fazer melhor entender, valendo-se de uma comparação, engaja-nos a considerar o ser vivo complexo como “uma cidade tendo seu carimbo especial”, na qual os indivíduos se alimentam identicamente e exercem as mesmas faculdades gerais, as do homem, mas onde cada um participa de modo diferente da vida social, por meio de seu trabalho e de suas aptidões (Canguilhem, 1945/2012, p. 70).</p>

FS/CCC-1.28	Em 1899, Haeckel escreve: “As células são verdadeiros cidadãos autônomos que, reunidos aos milhares, constituem nosso corpo, o estado celular”. Assembleia de cidadãos autônomos, estado, são talvez mais do que imagens e metáforas. Uma filosofia política domina uma teoria biológica. Quem poderia dizer se somos republicanos por sermos partidários da teoria celular, ou então partidários da teoria celular por sermos republicanos? (Canguilhem, 1945/2012, p. 70).
FS/CCC-1.29	Estamos tão distantes dos pontos de vista de Oken? Não é a ocasião de se dizer de novo que o problema da individualidade não se divide? Talvez não se tenha suficientemente destacado que a etimologia da palavra faz do conceito de indivíduo uma negação. O indivíduo é um ser no limite do não ser, sendo que não pode mais ser fragmentado sem perder seus caracteres próprios. É um mínimo de ser. Mas nenhum ser em si é um mínimo. O indivíduo supõe necessariamente em si sua relação com um ser mais amplo, ele convoca, exige (no sentido em que Hamelin dá a esses termos em sua teoria da oposição dos conceitos) um fundo de continuidade sobre o qual sua descontinuidade se destaca. Nesse sentido, não há nenhuma razão de parar, nos limites da célula, o poder da individualidade (Canguilhem, 1945/2012, p. 71-72).
FS/CCC-1.30	Mas parece interessante ressaltar, por meio de uma aproximação, que o problema da individualidade, sob o aspecto do problema da célula, sugere hipóteses análogas a espíritos tão diferentes quanto os de um histologista puro e um antropólogo mais preocupado com as generalizações metafísicas do que com humildes e pacientes observações. O que é hoje a teoria celular? Lembremos, inicialmente, apenas as críticas já antigas de Sachs, substituindo a noção de <i>energide</i> pela de célula, ou seja, a de uma área citoplásmica representando, sem delimitação topográfica estrita, a zona de influência de um dado núcleo; em seguida, as pesquisas de Heidenhein, em 1902, sobre os <i>metaplasmas</i> , ou seja, as substâncias intercelulares, tais como as substâncias de base de cartilagens, ossos ou tendões, substâncias tendo perdido, de modo irreversível, toda relação com formações nucleares; por fim, os trabalhos de Dobell, a partir de 1913, e sua recusa de considerar como equivalentes, do ponto de vista anatômico e fisiológico, a célula do metazoário, o protista e o ovo, pois o protista deve ser considerado como um verdadeiro organismo, nas dimensões da célula, e o ovo como uma entidade original, diferente da célula e do organismo, de modo que “a teoria celular deve desaparecer; ela não cessou apenas de ser válida, ela é realmente perigosa” (Canguilhem, 1945/2012, p. 74).
FS/CCC-1.31	A partir de argumentos diferentes, ou diferentemente ressaltados, essas exposições convergem para uma solução análoga que deixamos a Duboscq o cuidado de formular: “Tomamos um caminho errado ao considerar a célula como uma unidade necessária à constituição dos seres vivos”. Em primeiro lugar, o organismo dos metazoários dificilmente se deixa assimilar a uma república de células ou a uma construção por somação das células individualizadas, quando se observa o lugar mantido na constituição de sistemas essenciais, tais como o sistema muscular, pelas formações plasmodiais ou sinciciais, ou seja, camadas de citoplasma contínuo salpicado de núcleos. No fundo, no corpo humano, apenas os epitélios são nitidamente celulosos. Entre uma célula livre, como o leucócito, e um sincício, como é o músculo cardíaco ou a camada superficial das vilosidades coriais da placenta fetal, todas as formas intermediárias podem se encontrar, notadamente as células gigantes plurinucleadas (policariócitos), sem que se possa dizer com precisão se as camadas sinciciais nascem da fusão de células <i>previamente independentes ou se é o contrário que se produz</i> . Com efeito, os dois mecanismos podem ser observados. Mesmo no decorrer do desenvolvimento do ovo, não é certo que toda célula derive da divisão de uma célula preexistente. Émile Rhode pôde demonstrar, em 1923, que com muita frequência, tanto nos vegetais como nos animais, células individualizadas provêm da subdivisão de um plasmódio primitivo (Canguilhem, 1945/2012, p. 75).
FS/CCC-1.32	Se o corpo é realmente uma soma de células independentes, como explicar o fato de ele formar um todo funcionando de maneira uniforme? Se as células são sistemas fechados, como o organismo pode viver e agir como um todo? Podemos tentar resolver a dificuldade buscando no sistema nervoso ou nas secreções hormonais o mecanismo dessa totalização. Mas, no que concerne ao sistema

	<p>nervoso, devemos reconhecer que a maioria das células lhes são atadas de maneira unilateral, não recíproca. E, para o que cabe aos hormônios, devemos confessar que muitos fenômenos vitais, notadamente os de regeneração, são bastante mal explicados por esse modo de regulação, seja qual for a difícil complicação que se lhe atribua.</p> <p>Vemos reaparecer, aqui, o problema da individualidade vivente e como o aspecto de uma totalidade, inicialmente rebelde a toda divisão, prevalece sobre o aspecto de atomicidade, termo último suposto de uma divisão iniciada. Portanto, é com muita pertinência que Petersen cita as palavras de Julius Sachs, em 1887, concernindo aos vegetais pluricelulares: “Depende por completo de nossa <i>maneira de ver</i>, de olhar as células como organismos independentes elementares ou somente como partes” (Canguilhem, 1945/2012 p. 76).</p>
FS/CCC-1.33	<p>Nos anos mais recentes, vimos intensificar as reticências e as críticas relativas à teoria celular em seu aspecto clássico, ou seja, sob a forma dogmática e enrijecida que lhe deram os manuais de ensino, mesmo superior. A consideração, na ordem das substâncias constitutivas do organismo, de elementos não celulares e da atenção dada aos modos possíveis de formação de células a partir de massas protoplásmicas contínuas encontra, hoje, muito menos objeções que no tempo em que Virchow, na Alemanha, criticava Schwann por admitir a existência de um citoblastema inicial, e Charles Robin, na França, bancava o retrógrado rabugento. Em 1941, em seu livro <i>Zwischen Zellen Organisation</i>, Huzella mostrou que as relações intercelulares e as substâncias extracelulares (por exemplo, a linfa intersticial, ou, então, o que no tecido conjuntivo não se reúne às células) soam pelo menos tão importantes, biologicamente falando, como as próprias células, de tal forma que o vazio intercelular, observado nas preparações microscópicas, está muito longe de ser um nada histológico e funcional. Em 1946, R Busse Grawitz, em suas <i>Experimentelle Grundlagen der modernen Pathologies</i> pensa poder concluir de suas observações que as células são suscetíveis de aparecer no seio de substâncias fundamentais acelulares” (Canguilhem, 1945/2012, p. 77).</p>
FS/CCC-1.34	<p>Desde 1933, Olga Lepechinskaia dedica suas pesquisas ao fenômeno do nascimento de células a partir de matérias vivas acelulares. Sua obra, <i>Origine des cellules à partir de la matière vivante</i>, publicada em 1945, foi reeditada em 1950, e deu origem, nessa última ocasião, ao exame e à aprovação das teses que ela contém pela seção de biologia da Academia das Ciências da URSS e à publicação de inúmeros artigos nas revistas. As concepções “idealistas” de Virchow ali foram violentamente criticadas em nome dos fatos de observação e em nome de uma dupla autoridade, a da ciência russa - o fisiologista Setchenow havia, desde 1860, combatido as ideias de Virchow e a do materialismo dialético - Engels fizera reservas quanto ao aspecto onivalente da teoria celular em <i>Anti-Dühring</i> e em <i>Dialética da natureza</i> (Canguilhem, 1945/2012, p. 78).</p>
FS/CCC-1.35	<p>Se as experiências de Olga Lepechinskaia e as teorias que elas suportam resistissem à crítica bem armada e bem informada dos biólogos, nelas veríamos menos a prova do fato “de haver sobre a Terra um país que é o sustentáculo da verdadeira ciência: esse país é a União Soviética”, do que uma razão para verificar novamente, sobre a teoria celular e as ideias de Virchow, que, segundo uma palavra célebre, “uma teoria não vale nada quando não se pode demonstrar que ela é falsa” (Canguilhem, 1945/2012, p. 80).</p>
FS/CCC-1.36	<p>[...] ele [Haeckel, 1904] acrescentava que nem tudo já estava claro nesse conceito e que todos os biólogos ainda não o tinham adquirido. Mas o que parecia a Haeckel como a última resistência de espíritos estreitos ou retrógrados parece-nos mais, hoje, como uma atenção meritória à própria estreiteza de uma teoria. Certamente, o sentido da teoria celular é bastante claro: é o sentido de uma extensão do método analítico à totalidade dos problemas teóricos formulados pela experiência. Mas o valor dessa mesma teoria reside tanto nos obstáculos suscitados por ela quanto nas soluções que ela permite, notadamente no rejuvenescimento provocado por ela no terreno biológico do velho debate concernente às relações do contínuo e do descontínuo. Sob o nome de célula, é a individualidade biológica que está em questão. O indivíduo é uma realidade? Uma ilusão? Um ideal? Não é <i>uma</i> ciência, mesmo a biologia, que pode responder a</p>

	essa questão. E, se <i>todas</i> as ciências podem e devem trazer sua contribuição a esse esclarecimento, é duvidoso que o problema seja propriamente científico, no sentido usual desta palavra (Canguilhem, 1945/2012, p. 80-81).
FS/CCC-1.37	No que concerne à biologia, não é absurdo pensar que, no que toca à estrutura dos organismos, ela caminha para uma fusão de representações e de princípios, análoga àquela realizada pela mecânica ondulatória entre os dois conceitos, aparentemente contraditórios, de onda e de corpúsculo. A célula e o plasmídeo são uma das duas últimas encarnações das duas exigências intelectuais de descontinuidade e de continuidade, incessantemente confrontadas ao longo da elucidação teórica que prossegue desde que os homens pensam. Talvez seja verdade dizer que as teorias científicas, no que concerne aos conceitos fundamentais que elas fazem sustentar em seus princípios de explicação, enxertam-se em antigas imagens e, diríamos nós, em mitos, se esse termo não fosse hoje desvalorizado, com alguma razão, em seguida ao uso que dele foi feito nas filosofias manifestamente edificadas para fins de propaganda e de mistificação (Canguilhem, 1945/2012, p. 81).
FS/CCC-1.38	[...] Pois, afinal, esse plasma inicial contínuo, cuja consideração sob nomes diversos forneceu aos biólogos, desde a formulação do problema de uma estrutura comum aos seres vivos, o princípio de explicação evocado pelas insuficiências, em suas opiniões, de uma explicação corpuscular, esse plasma inicial seria outra coisa que não num avatar lógico do fluido mitológico gerador de toda vida, da onda espumante de onde emergiu Vênus? Charles Naudin, o biólogo francês que deixou de descobrir, antes de Mendel as leis matemáticas da hereditariedade, dizia que o blastema primordial era o lodo da Bíblia. Eis a razão de termos proposto que as teorias não nascem dos fatos que coordenam e que são supostos de tê-las suscitado. Ou mais exatamente, os fatos suscitam as teorias, mas não engendram os conceitos que as unificam interiormente, nem as intenções intelectuais desenvolvidas por elas. Essas intenções vêm de longe, esses conceitos são em número pequeno e, por essa razão, os temas teóricos sobrevivem à sua destruição aparente que uma polêmica e uma refutação se gabam de haver obtido (Canguilhem, 1945/2012, p. 81-82).

APÊNDICE J - EXCERTOS IDENTIFICADOS NO ARTIGO 1- ‘CRIAÇÃO DE UMA CÉLULA BACTERIANA CONTROLADA POR UM GENOMA SINTETIZADO QUIMICAMENTE’, DE GIBSON *ET AL.* (FP/CCM-1)

FATO CIENTÍFICO EM ANÁLISE: Conceito de Célula Mínima.	
EPISÓDIO CONTEMPORÂNEO (EC): ‘Produção da primeira célula bacteriana sintética autorreplicante’ (2010) - EC1.	
CÓDIGO	EXCERTO
FP/CCM-1.1	[...] A capacidade de digitalizar rapidamente a informação genômica aumentou em mais de oito ordens de magnitude nos últimos 25 anos (Gibson <i>et al.</i> , 2010, p. 52, tradução nossa).
FP/CCM-1.2	Os esforços para compreender toda esta nova informação genômica geraram numerosos novos paradigmas computacionais e experimentais, mas o nosso conhecimento genômico permanece muito limitado. Nenhum sistema celular tem todos os seus genes compreendidos em termos de suas funções biológicas (Gibson <i>et al.</i> , 2010, p. 52, tradução nossa).
FP/CCM-1.3	Nosso interesse na síntese de grandes moléculas de DNA e cromossomos surgiu de nossos esforços nos últimos 15 anos para construir uma célula mínima que contenha apenas genes essenciais. Esse trabalho foi inaugurado em 1995, quando sequenciamos o genoma do <i>Mycoplasma genitalium</i> , bactéria com o menor complemento de genes de qualquer organismo conhecido capaz de crescimento independente em laboratório (Gibson <i>et al.</i> , 2010, p. 52, tradução nossa).
FP/CCM-1.4	Desenvolvemos uma estratégia para montar peças de tamanho viral a fim de produzir grandes moléculas de DNA que nos permitiram montar um genoma sintético de <i>M. genitalium</i> em quatro estágios a partir de cassetes de DNA quimicamente sintetizados com tamanho médio de cerca de 6Kb. Isto foi conseguido através de uma combinação de métodos enzimáticos <i>in vitro</i> e recombinação <i>in vivo</i> em <i>Saccharomyces cerevisiae</i> (Gibson <i>et al.</i> , 2010, p. 52, tradução nossa).
FP/CCM-1.5	Vários obstáculos foram superados no transplante e na expressão de um cromossomo sintetizado quimicamente em uma célula receptora. Precisávamos melhorar os métodos de extração de cromossomos intactos de leveduras. Também precisávamos aprender como transplantar esses genomas para uma célula bacteriana receptora para estabelecer uma célula controlada apenas por um genoma sintético. Como <i>M. genitalium</i> tem uma taxa de crescimento extremamente lenta, recorremos a duas espécies de micoplasma de crescimento mais rápido, <i>M. mycoides</i> subespécie <i>capri</i> (GM12) como doador, e <i>M. capricolum</i> subespécie <i>capricolum</i> (CK) como receptor (Gibson <i>et al.</i> , 2010, p. 52, tradução nossa).
FP/CCM-1.6	Para estabelecer condições e procedimentos para o transplante do genoma sintético de levedura, desenvolvemos métodos para clonar cromossomos bacterianos inteiros como plasmídeos centroméricos em levedura, incluindo um genoma nativo de <i>M. mycoides</i> . No entanto, as tentativas iniciais de extrair o genoma de <i>M. mycoides</i> da levedura e transplantá-lo para <i>M. capricolum</i> falharam. Descobrimos que os micoplasmas do doador e do receptor compartilham um sistema de restrição comum. O genoma do doador foi metilado nas células nativas de <i>M. mycoides</i> e foi, portanto, protegido contra restrições durante o transplante de uma célula doadora nativa. No entanto, os genomas bacterianos cultivados em leveduras não são metilados e, portanto, não estão protegidos do sistema de restrição único da célula receptora. Superamos essa barreira de restrição metilando o DNA do doador com metilases purificadas ou extratos brutos de <i>M. mycoides</i> ou <i>M. capricolum</i> , ou simplesmente interrompendo

	o sistema de restrição da célula receptora (Gibson <i>et al.</i> , 2010, p. 52, tradução nossa).
FP/CCM-1.7	Não encontramos nenhuma sequência no genoma sintético que pudesse ser identificada como pertencente a <i>M. capricolum</i> . Isto indica que houve uma substituição completa do genoma de <i>M. capricolum</i> pelo nosso genoma sintético durante o processo de transplante. As células com apenas o genoma sintético são autorreplicantes e capazes de crescimento logarítmico (Gibson <i>et al.</i> , 2010, p. 55, tradução nossa).
FP/CCM-1.8	Em 1995, o padrão de qualidade para sequenciamento era considerado um erro em 10.000 pb, e o sequenciamento de um genoma microbiano exigia meses. Hoje, a precisão é substancialmente maior. A cobertura do genoma de 30 a 50x não é incomum, e o sequenciamento requer apenas alguns dias. No entanto, obter um genoma livre de erros que pudesse ser transplantado para uma célula receptora para criar uma nova célula controlada apenas pelo genoma sintético era complicado e exigia muitas etapas de controle de qualidade. Nosso sucesso foi frustrado durante muitas semanas por uma deleção de um único par de bases no gene essencial <i>dnaA</i> (Gibson <i>et al.</i> , 2010, p. 55, tradução nossa).
FP/CCM-1.9	[...] A demonstração de que o nosso genoma sintético dá origem a transplantes com as características das células de <i>M. mycoides</i> implica que a sequência de DNA em que se baseia é suficientemente precisa para especificar uma célula viva com as propriedades apropriadas (Gibson <i>et al.</i> , 2010, p. 55, tradução nossa).
FP/CCM-1.10	Nossa abordagem genômica sintética contrasta fortemente com várias outras abordagens de engenharia genômica que modificam genomas naturais introduzindo múltiplas inserções, substituições ou deleções. Este trabalho fornece uma prova de princípio para a produção de células baseadas em sequências genômicas projetadas por computador. O sequenciamento de DNA de um genoma celular permite o armazenamento das instruções genéticas para a vida como um arquivo digital. O genoma sintético descrito aqui tem apenas modificações limitadas do genoma de <i>M. mycoides</i> que ocorre naturalmente. No entanto, a abordagem que desenvolvemos deverá ser aplicável à síntese e transplante de mais genomas novos à medida que o desenho do genoma avança (Gibson <i>et al.</i> , 2010, p. 55, tradução nossa).
FP/CCM-1.11	Referimo-nos a essa célula controlada por um genoma montado a partir de pedaços de DNA sintetizados quimicamente como uma “célula sintética”, embora o citoplasma da célula receptora não seja sintético. Os efeitos fenotípicos do citoplasma receptor são diluídos com a renovação proteica e à medida que as células que transportam apenas o genoma transplantado se replica (Gibson <i>et al.</i> , 2010, p. 55-56, tradução nossa).
FP/CCM-1.12	Após transplante e replicação em uma placa para formar uma colônia (>30 divisões ou diluição >109 vezes), a progênie não conterá quaisquer moléculas de proteína que estavam presentes na célula receptora original. Isso foi demonstrado anteriormente quando descrevemos pela primeira vez o transplante de genoma [2007]. Espera-se que as propriedades das células controladas pelo genoma montado sejam as mesmas como se a célula inteira tivesse sido produzida sinteticamente (o software de DNA constrói seu próprio hardware) (Gibson <i>et al.</i> , 2010, p. 56, tradução nossa).
FP/CCM-1.13	Se os métodos aqui descritos puderem ser generalizados, o projeto, a síntese, a montagem e o transplante de cromossomos sintéticos não serão mais uma barreira ao progresso da biologia sintética. Esperamos que o custo da síntese do DNA siga o que aconteceu com o sequenciamento do DNA e continue a diminuir exponencialmente. Custos de síntese mais baixos combinados com automação permitirão amplas aplicações para a genômica sintética (Gibson <i>et al.</i> , 2010, p. 56, tradução nossa).
FP/CCM-1.14	Temos conduzido a discussão ética relativa à vida sintética desde os primeiros estágios deste trabalho. À medida que as aplicações genômicas sintéticas se expandem, prevemos que este trabalho continuará a levantar questões filosóficas que têm amplas implicações sociais e éticas. Encorajamos o discurso contínuo (Gibson <i>et al.</i> , 2010, p. 56, tradução nossa).

**APÊNDICE K - CATEGORIZAÇÃO REFERENTE AO ESTUDO DO
EPISÓDIO CONTEMPORÂNEO ENCONTRADO NO ARTIGO 1- 'CRIAÇÃO DE
UMA CÉLULA BACTERIANA CONTROLADA POR UM GENOMA SINTETIZADO
QUIMICAMENTE', DE GIBSON *ET AL.* (FP/CCM-1)**

FATO CIENTÍFICO EM ANÁLISE: Conceito de Célula Mínima.		
EPISÓDIO CONTEMPORÂNEO (EC): 'Produção da primeira célula sintética autorreplicante' (2010) - EC1.		
CÓDIGO	EXCERTO	CATEGORIAS A PRIORI
FP/CCM-1.3A	<p>Nosso interesse na síntese de grandes moléculas de DNA e cromossomos surgiu de nossos esforços nos últimos 15 anos para construir uma célula mínima que contenha apenas genes essenciais. Esse trabalho foi inaugurado em 1995, quando sequenciamos o genoma do <i>Mycoplasma genitalium</i>, bactéria com o menor complemento de genes de qualquer organismo conhecido capaz de crescimento independente em laboratório (Gibson <i>et al.</i>, 2010, p. 52, tradução nossa).</p>	<i>Busca pela criação de uma célula mínima, com genoma artificial</i>
FP/CCM-1.7B	<p>Não encontramos nenhuma sequência no genoma sintético que pudesse ser identificada como pertencente a <i>M. capricolum</i>. Isto indica que houve uma substituição completa do genoma de <i>M. capricolum</i> pelo nosso genoma sintético durante o processo de transplante.</p> <p>As células com apenas o genoma sintético são autorreplicantes e capazes de crescimento logarítmico (Gibson <i>et al.</i>, 2010, p. 55, tradução nossa).</p>	
FP/CCM-1.8B	<p>Em 1995, o padrão de qualidade para sequenciamento era considerado um erro em 10.000 pb, e o sequenciamento de um genoma microbiano exigia meses. Hoje, a precisão é substancialmente maior. A cobertura do genoma de 30 a 50x não é incomum, e o sequenciamento requer apenas alguns dias. No entanto, obter um genoma livre de erros que pudesse ser transplantado para uma célula receptora para criar uma nova célula controlada apenas pelo genoma sintético era complicado e exigia muitas etapas de controle de qualidade. Nosso sucesso foi frustrado durante muitas semanas por uma deleção de um único par de bases no gene essencial <i>dnaA</i> (Gibson <i>et al.</i>, 2010, p. 55,</p>	<i>Propriedades da célula compreendidas pelo reducionismo genético</i>

	tradução nossa).	
FP/CCM-1.11A	Referimo-nos a essa célula controlada por um genoma montado a partir de pedaços de DNA sintetizados quimicamente como uma “célula sintética”, embora o citoplasma da célula receptora não seja sintético. Os efeitos fenotípicos do citoplasma receptor são diluídos com a renovação proteica e à medida que as células que transportam apenas o genoma transplantado se replica (Gibson <i>et al.</i> , 2010, p. 55-56, tradução nossa).	
FP/CCM-1.10B	Nossa abordagem genômica sintética contrasta fortemente com várias outras abordagens de engenharia genômica que modificam genomas naturais introduzindo múltiplas inserções, substituições ou deleções. Este trabalho fornece uma prova de princípio para a produção de células baseadas em sequências genômicas projetadas por computador. O sequenciamento de DNA de um genoma celular permite o armazenamento das instruções genéticas para a vida como um arquivo digital. O genoma sintético descrito aqui tem apenas modificações limitadas do genoma de <i>M. mycoides</i> que ocorre naturalmente. No entanto, a abordagem que desenvolvemos deverá ser aplicável à síntese e transplante de mais genomas novos à medida que o desenho do genoma avança (Gibson <i>et al.</i> , 2010, p. 55, tradução nossa).	
FP/CCM-1.12A	Após transplante e replicação em uma placa para formar uma colônia (>30 divisões ou diluição>109 vezes), a progênie não conterá quaisquer moléculas de proteína que estavam presentes na célula receptora original. Isso foi demonstrado anteriormente quando descrevemos pela primeira vez o transplante de genoma [2007]. Espera-se que as propriedades das células controladas pelo genoma montado sejam as mesmas como se a célula inteira tivesse sido produzida sinteticamente (o software de DNA constrói seu próprio hardware) (Gibson <i>et al.</i> , 2010, p. 56, tradução nossa).	<i>Assimilação dos seres vivos/células às máquinas (computador)</i>
FP/CCM-1.1A	[...] A capacidade de digitalizar rapidamente a informação genômica aumentou em mais de oito ordens de magnitude nos últimos 25 anos (Gibson <i>et</i>	

	<i>al.</i> , 2010, p. 52, tradução nossa).	
FP/CCM-1.13C	Se os métodos aqui descritos puderem ser generalizados, o projeto, a síntese, a montagem e o transplante de cromossomos sintéticos não serão mais uma barreira ao progresso da biologia sintética. Esperamos que o custo da síntese do DNA siga o que aconteceu com o sequenciamento do DNA e continue a diminuir exponencialmente. Custos de síntese mais baixos combinados com automação permitirão amplas aplicações para genômica sintética (Gibson <i>et al.</i> , 2010, p. 56, tradução nossa).	
FP/CCM-1.2A	Os esforços para compreender toda esta nova informação genômica geraram numerosos novos paradigmas computacionais e experimentais, mas o nosso conhecimento genômico permanece muito limitado. Nenhum sistema celular tem todos os seus genes compreendidos em termos de suas funções biológicas (Gibson <i>et al.</i> , 2010, p. 52, tradução nossa).	
FP/CCM-1.4A	Desenvolvemos uma estratégia para montar peças de tamanho viral a fim de produzir grandes moléculas de DNA que nos permitiram montar um genoma sintético de <i>M. genitalium</i> em quatro estágios a partir de cassetes de DNA quimicamente sintetizados com tamanho médio de cerca de 6Kb. Isto foi conseguido através de uma combinação de métodos enzimáticos <i>in vitro</i> e recombinação <i>in vivo</i> em <i>Saccharomyces cerevisiae</i> (Gibson <i>et al.</i> , 2010, p. 52, tradução nossa).	<i>Ênfase na observação e/ou experimentos na interpretação do objeto de investigação</i>
FP/CCM-1.5A	Vários obstáculos foram superados no transplante e na expressão de um cromossomo sintetizado quimicamente em uma célula receptora. Precisávamos melhorar os métodos de extração de cromossomos intactos de leveduras. Também precisávamos aprender como transplantar esses genomas para uma célula bacteriana receptora para estabelecer uma célula controlada apenas por um genoma sintético. Como <i>M. genitalium</i> tem uma taxa de crescimento	

	<p>extremamente lenta, recorremos a duas espécies de micoplasma de crescimento mais rápido, <i>M. mycoides</i> subespécie <i>capri</i> (GM12) como doador, e <i>M. capricolum</i> subespécie <i>capricolum</i> (CK) como receptor (Gibson <i>et al.</i>, 2010, p. 52, tradução nossa).</p>	
FP/CCM-1.6A	<p>Para estabelecer condições e procedimentos para o transplante do genoma sintético de levedura, desenvolvemos métodos para clonar cromossomos bacterianos inteiros como plasmídeos centroméricos em levedura, incluindo um genoma nativo de <i>M. mycoides</i>. No entanto, as tentativas iniciais de extrair o genoma de <i>M. mycoides</i> da levedura e transplantá-lo para <i>M. capricolum</i> falharam. Descobrimos que os micoplasmas do doador e do receptor compartilham um sistema de restrição comum. O genoma do doador foi metilado nas células nativas de <i>M. mycoides</i> e foi, portanto, protegido contra restrições durante o transplante de uma célula doadora nativa. No entanto, os genomas bacterianos cultivados em leveduras não são metilados e, portanto, não estão protegidos do sistema de restrição único da célula receptora. Superamos essa barreira de restrição metilando o DNA do doador com metilases purificadas ou extratos brutos de <i>M. mycoides</i> ou <i>M. capricolum</i>, ou simplesmente interrompendo o sistema de restrição da célula receptora (Gibson <i>et al.</i>, 2010, p. 52, tradução nossa).</p>	
FP/CCM-1.9A	<p>[...] A demonstração de que o nosso genoma sintético dá origem a transplantes com as características das células de <i>M. mycoides</i> implica que a sequência de DNA em que se baseia é suficientemente precisa para especificar uma célula viva com as propriedades apropriadas (Gibson <i>et al.</i>, 2010, p. 55, tradução nossa).</p>	
FP/CCM-1.8A	<p>Em 1995, o padrão de qualidade para sequenciamento era considerado um erro em 10.000 pb, e o sequenciamento de um genoma microbiano exigia meses. Hoje, a precisão é substancialmente maior. A cobertura do genoma de 30 a 50x não é incomum, e o sequenciamento requer</p>	

	<p>apenas alguns dias. No entanto, obter um genoma livre de erros que pudesse ser transplantado para uma célula receptora para criar uma nova célula controlada apenas pelo genoma sintético era complicado e exigia muitas etapas de controle de qualidade. Nosso sucesso foi frustrado durante muitas semanas por uma deleção de um único par de bases no gene essencial <i>dnaA</i> (Gibson <i>et al.</i>, 2010, p. 55, tradução nossa).</p>	
FP/CCM-1.7A	<p>Não encontramos nenhuma sequência no genoma sintético que pudesse ser identificada como pertencente a <i>M. capricolum</i>. Isto indica que houve uma substituição completa do genoma de <i>M. capricolum</i> pelo nosso genoma sintético durante o processo de transplante. As células com apenas o genoma sintético são autorreplicantes e capazes de crescimento logarítmico (Gibson <i>et al.</i>, 2010, p. 55, tradução nossa).</p>	
FP/CCM-1.9B	<p>[...] A demonstração de que o nosso genoma sintético dá origem a transplantes com as características das células de <i>M. mycoides</i> implica que a sequência de DNA em que se baseia é suficientemente precisa para especificar uma célula viva com as propriedades apropriadas (Gibson <i>et al.</i>, 2010, p. 55, tradução nossa).</p>	<p><i>Correlação entre célula e manifestação de vida</i></p>
FP/CCM-1.14A	<p>Temos conduzido a discussão ética relativa à vida sintética desde os primeiros estágios deste trabalho. À medida que as aplicações genômicas sintéticas se expandem, prevemos que este trabalho continuará a levantar questões filosóficas que têm amplas implicações sociais e éticas. Encorajamos o discurso contínuo (Gibson <i>et al.</i>, 2010, p. 56, tradução nossa).</p>	
FP/CCM-1.13B	<p>Se os métodos aqui descritos puderem ser generalizados, o projeto, a síntese, a montagem e o transplante de cromossomos sintéticos não serão mais uma barreira ao progresso da biologia sintética. Esperamos que o custo da síntese do DNA siga o que aconteceu com o sequenciamento do DNA e continue a diminuir exponencialmente. Custos de síntese mais baixos combinados com automação permitirão amplas aplicações para a genômica sintética (Gibson <i>et al.</i>, 2010, p. 56, tradução nossa).</p>	<p><i>Influência do contexto na interpretação do objeto de investigação</i></p>
CÓDIGO	EXCERTO	CATEGORIAS EMERGENTES

FP/CCM-1.2B	<p>Os esforços para compreender toda esta nova informação genômica geraram numerosos novos paradigmas computacionais e experimentais, mas o nosso conhecimento genômico permanece muito limitado. Nenhum sistema celular tem todos os seus genes compreendidos em termos de suas funções biológicas (Gibson <i>et al.</i>, 2010, p. 52, tradução nossa).</p>	<p><i>Funções celulares determinadas por informações codificadas nos genes</i></p>
FP/CCM-1.10A	<p>Nossa abordagem genômica sintética contrasta fortemente com várias outras abordagens de engenharia genômica que modificam genomas naturais introduzindo múltiplas inserções, substituições ou deleções. Este trabalho fornece uma prova de princípio para a produção de células baseadas em sequências genômicas projetadas por computador. O sequenciamento de DNA de um genoma celular permite o armazenamento das instruções genéticas para a vida como um arquivo digital. O genoma sintético descrito aqui tem apenas modificações limitadas do genoma de <i>M. mycoides</i> que ocorre naturalmente. No entanto, a abordagem que desenvolvemos deverá ser aplicável à síntese e transplante de mais genomas novos à medida que o desenho do genoma avança (Gibson <i>et al.</i>, 2010, p. 55, tradução nossa).</p>	<p><i>Especificidades da Biologia Sintética</i></p>
FP/CCM-1.13A	<p>Se os métodos aqui descritos puderem ser generalizados, o projeto, a síntese, a montagem e o transplante de cromossomos sintéticos não serão mais uma barreira ao progresso da biologia sintética. Esperamos que o custo da síntese do DNA siga o que aconteceu com o sequenciamento do DNA e continue a diminuir exponencialmente. Custos de síntese mais baixos combinados com automação permitirão amplas aplicações para a genômica sintética (Gibson <i>et al.</i>, 2010, p. 56, tradução nossa).</p>	

APÊNDICE L - EXCERTOS IDENTIFICADOS NO ARTIGO 2- ‘PROJETO E SÍNTESE DE UM GENOMA BACTERIANO MÍNIMO’, DE HUTCHISON *ET AL.* (FP/CCM-2)

FATO CIENTÍFICO EM ANÁLISE: Conceito de Célula Mínima.	
EPISÓDIO CONTEMPORÂNEO (EC): ‘Produção da primeira célula bacteriana sintética mínima’ (2016) – EC2.	
CÓDIGO	EXCERTO
FP/CCM-2.1	As células são as unidades fundamentais da vida. A sequência do genoma de uma célula pode ser considerada seu sistema operacional. Ele carrega o código que especifica todas as funções genéticas da célula, que por sua vez determinam a química celular, estrutura, replicação e outras características. Cada genoma contém instruções para funções universais comuns a todas as formas de vida, bem como instruções específicas para cada espécie em particular. O genoma depende das funções do citoplasma celular para sua expressão. Por sua vez, as propriedades do citoplasma são determinadas pelas instruções codificadas no genoma. O genoma pode ser visto como um software; O sequenciamento de DNA permite que o código do software seja lido (Hutchison <i>et al.</i> , 2016, p. 1, tradução nossa).
FP/CCM-2.2	Em 1984, Morowitz propôs as células mais simples com capacidade de crescimento autônomo, os micoplasmas, como modelos para a compreensão dos princípios básicos da vida. Um passo inicial fundamental na sua proposta foi a sequenciação do genoma de um micoplasma, que realizamos para o <i>Mycoplasma genitalium</i> em 1995. Mesmo com a sequência em mãos, decifrar o sistema operacional da célula foi uma tarefa difícil (Hutchison <i>et al.</i> , 2016, p. 1, tradução nossa).
FP/CCM-2.3	Há muito que estamos interessados em simplificar o software genômico de uma célula bacteriana, eliminando genes que não são essenciais para o crescimento celular em condições ideais no laboratório. Isto facilita o objetivo de alcançar uma compreensão da função molecular e biológica de cada gene que é essencial para a vida. Para sobreviver na natureza, a maioria das células bacterianas deve ser capaz de se adaptar a vários ambientes. Bactérias típicas bem estudadas, como <i>Bacillus subtilis</i> e <i>Escherichia coli</i> , carregam de 4.000 a 5.000 genes. Elas são altamente adaptáveis, porque muitos dos seus genes fornecem funções que são necessárias apenas sob certas condições de crescimento. Algumas bactérias, no entanto, crescem em ambientes restritos e sofreram redução do genoma ao longo do tempo evolutivo. Elas perderam genes desnecessários em um ambiente estável. Os micoplasmas, que normalmente crescem no ambiente rico em nutrientes dos hospedeiros animais, têm os menores genomas conhecidos de qualquer célula que se replica de modo autônomo. Uma comparação das duas primeiras sequências do genoma disponíveis, <i>Haemophilus influenzae</i> [1815 genes] e <i>M. genitalium</i> [o menor genoma de micoplasma conhecido; 525 genes], revelou um núcleo comum de apenas 256 genes, muito menor que qualquer um dos genomas. Este foi proposto como o conjunto mínimo de genes para a vida (Hutchison <i>et al.</i> , 2016, p. 1, tradução nossa).
FP/CCM-2.4	Em 1999, para testar experimentalmente este estudo comparativo, introduzimos o método de mutagênese global por transposon [1999], que nos permitiu catalogar 150 genes não essenciais em <i>M. genitalium</i> [2006] e prever um conjunto de 375 genes essenciais. Estes resultados mostraram que deveria ser possível produzir um genoma mínimo menor do que qualquer outro encontrado na natureza, mas que o genoma mínimo seria maior do que o conjunto comum de 256 genes. Naquela época, propusemos criar e testar um genoma artificial mínimo baseado em cassete [1999]. Temos trabalhado desde então para produzir as ferramentas

	necessárias para conseguir isso (Hutchison <i>et al.</i> , 2016, p. 1, tradução nossa).
FP/CCM-2.5	Desenvolvemos métodos para sintetizar quimicamente o genoma de <i>M. genitalium</i> (2008). No entanto, <i>M. genitalium</i> cresce muito lentamente, por isso recorremos ao genoma de <i>M. mycoides</i> de crescimento mais rápido como nosso alvo de minimização. Desenvolvemos o método de transplante de genoma, que nos permitiu introduzir genomas de <i>M. mycoides</i> , como moléculas isoladas de DNA, em células de uma espécie diferente, <i>M. capricolum</i> (2007). Nesse processo, o genoma do <i>M. capricolum</i> é perdido, resultando em uma célula contendo apenas o genoma transplantado. Em 2010, relatamos a síntese química completa e instalação do genoma de <i>M. mycoides</i> JCVI-syn1.0 [1.078.809 pares de bases (pb)] [...]. Este genoma era uma cópia quase exata do genoma de <i>M. mycoides</i> de tipo selvagem, com a adição de algumas marcas d'água e sequências vetoriais (Hutchison <i>et al.</i> , 2016, p. 1, tradução nossa).
FP/CCM-2.6	A redução do genoma em bactérias como <i>E. coli</i> e <i>B. subtilis</i> foi anteriormente alcançada por uma série de eventos de deleção sequenciais [2006; 2014]. Após cada deleção, a viabilidade, a taxa de crescimento e outros fenótipos podem ser determinados. Em contraste com esta abordagem, decidimos projetar um genoma reduzido, depois construí-lo e testá-lo. Inicialmente projetamos um Genoma Mínimo Hipotético (HMG) ¹⁶⁵ baseado em uma combinação de dados existentes de mutagênese e deleção de transposons [2015] e conhecimento cumulativo de biologia molecular da literatura (Hutchison <i>et al.</i> , 2016, p. 1, tradução nossa).
FP/CCM-2.7	[...] Inicialmente, apenas um dos segmentos HMG projetados produziu um genoma viável. Melhorias em nosso método global de mutagênese por transposon nos permitiram classificar de forma confiável os genes como essenciais ou não essenciais e identificar genes quase essenciais que são necessários para um crescimento robusto, embora não sejam absolutamente necessários [2015]. Também estabelecemos regras para remover genes do projeto do nosso genoma sem perturbar a expressão dos genes restantes. Os métodos que desenvolvemos durante a construção do syn1.0 [2010] fornecem uma maneira de construir um novo genoma como um plasmídeo centromérico em levedura e testá-lo quanto à viabilidade e outras características fenotípicas após o transplante em uma célula receptora de <i>M. capricolum</i> . Esses métodos, juntamente com as melhorias descritas aqui, constituem um ciclo de Projeto-Construção-Teste (DBT) ¹⁶⁶ (Hutchison <i>et al.</i> , 2016, p. 1, tradução nossa).
FP/CCM-2.8	Aqui relatamos uma nova célula, JCVI-syn3.0 (abreviada syn3.0), que é controlada por um genoma sintético de 531 pares de quilobases (kbp) que codifica 438 proteínas e 35 RNAs. É uma aproximação funcional para uma célula mínima. O seu genoma é substancialmente menor que o do <i>M. genitalium</i> e a sua taxa de duplicação é cerca de cinco vezes mais rápida (Hutchison <i>et al.</i> , 2016, p. 1-2, tradução nossa).
FP/CCM-2.9	O projeto preliminar de HMG baseado em conhecimento não produz uma célula viável. Em nossa primeira tentativa de fazer uma célula minimizada, começamos com syn1.0 [2010] e usamos informações da literatura bioquímica, bem como alguns dados de mutagênese de transposon, para produzir um design racional. Genes que poderiam ser interrompidos por inserções de transposons sem afetar a viabilidade celular foram considerados não essenciais. Com base em ~ 16.000 inserções do transposon 4001 (Tn4001) e Tn5 no genoma syn1.0, fomos capazes de encontrar e excluir um total de 440 genes aparentemente não essenciais do genoma syn1.0. O desenho HMG resultante tinha 483 kpb de tamanho e continha 432 genes de proteínas e 39 genes de RNA. Durante o projeto do HMG, desenvolvemos um conjunto simples de regras de exclusão que foi usado durante todo o projeto (Hutchison <i>et al.</i> , 2016, p. 1-2, tradução nossa).
FP/CCM-2.10	Em syn3.0, 149 genes não podem receber uma função biológica específica. Syn3.0 possui 438 genes codificadores de proteínas e 35 genes codificadores de

¹⁶⁵ Do inglês *Hypothetical Minimal Genome* (HMG).

¹⁶⁶ Do inglês *Design-Build-Test* (DBT).

	<p>RNA. Organizamos os 473 genes em cinco classes, com base em nosso nível de confiança em suas funções precisas [...]. Muitos desses genes foram estudados exaustivamente e suas funções biológicas primárias são conhecidas. [...] devido ao rico meio de crescimento que fornece quase todas as pequenas moléculas necessárias, muitos genes envolvidos no transporte, catabolismo, proteólise e outros processos metabólicos tornaram-se dispensáveis. Por exemplo, como a glicose é abundante no meio, a maioria dos genes para transporte e catabolismo de outras fontes de carbono foram deletados (34 de 36), enquanto todos os 15 genes envolvidos no transporte de glicose e na glicólise foram retidos (Hutchison <i>et al.</i>, 2016, p. 6, tradução nossa).</p>
FP/CCM-2.11	<p>Em contraste, quase todos os genes envolvidos na maquinaria de leitura e expressão da informação genética no genoma e na garantia da preservação da informação genética ao longo das gerações foram retidos. O primeiro destes dois processos fundamentais da vida, a expressão da informação genética como proteínas, requer a retenção de 195 genes nas categorias de transcrição, regulação, metabolismo de RNA, tradução, enovelamento de proteínas, RNA (RNAr, RNAt e pequenos RNAs), biogênese de ribossomo, modificação de RNAr e modificação de tRNA. O segundo desses dois processos fundamentais, a preservação da informação da sequência do genoma, requer a retenção de 34 genes nas categorias de replicação do DNA, reparo do DNA, topologia do DNA, metabolismo do DNA, segregação cromossômica e divisão celular. Esses dois processos juntos requerem 229 (48%) do total de 473 genes em syn3.0 (Hutchison <i>et al.</i>, 2016, p. 6, tradução nossa).</p>
FP/CCM-2.12	<p>Além dos dois processos vitais que acabamos de descrever, outro componente importante das células vivas é a membrana celular que separa o meio externo do citoplasma e governa o tráfego molecular para dentro e para fora da célula. É uma estrutura isolável e muitos dos genes syn3.0 codificam seus constituintes proteicos. Como nossa célula mínima carece em grande parte da biossíntese de aminoácidos, lipídios, nucleotídeos e vitaminas, ela depende do meio rico para fornecer quase todas essas pequenas moléculas necessárias. Isto requer numerosos sistemas de transporte dentro da membrana. Além disso, a membrana é rica em lipoproteínas. Os genes relacionados à membrana são responsáveis por 84 (18%) do total de 473 genes syn3 (Hutchison <i>et al.</i>, 2016, p. 6, tradução nossa).</p>
FP/CCM-2.13	<p>A genômica está saindo de uma fase descritiva, na qual os genomas são sequenciados e analisados, para uma fase sintética, na qual genomas inteiros podem ser construídos por síntese química. À medida que os requisitos genéticos detalhados para a vida forem descobertos, será possível conceber genomas inteiros a partir dos primeiros princípios, construí-los por síntese química e depois trazê-los à vida por instalação num ambiente celular receptivo. Aplicamos essa abordagem de projeto e síntese do genoma completo ao problema de minimização de um genoma celular (Hutchison <i>et al.</i>, 2016, p. 8, tradução nossa).</p>
FP/CCM-2.14	<p>Uma célula mínima é geralmente definida como uma célula na qual todos os genes são essenciais. Esta definição está incompleta, porque os requisitos genéticos para a sobrevivência e, portanto, o tamanho mínimo do genoma, dependem do ambiente em que a célula é cultivada. O trabalho aqui descrito foi conduzido em um meio que fornecia praticamente todas as pequenas moléculas necessárias à vida. Um genoma mínimo determinado sob tais condições permissivas deveria revelar um conjunto central de funções independentes do ambiente que são necessárias e suficientes para a vida. Sob condições menos permissivas, esperamos que sejam necessários genes adicionais (Hutchison <i>et al.</i>, 2016, p. 8, tradução nossa).</p>
FP/CCM-2.15	<p>Há um grande corpo de literatura sobre o conceito de célula mínima e conjuntos mínimos de genes essenciais em vários organismos. O trabalho na área tem se concentrado em análises genômicas comparativas e em experimentos em que genes são eliminados ou rompidos individualmente pela inserção de transposons. Esses estudos identificam um núcleo de genes essenciais, geralmente em número de 250. Mas este não é um conjunto de genes suficiente para constituir um genoma celular viável, porque genes redundantes para funções essenciais são classificados como não essenciais nestes estudos (Hutchison <i>et al.</i>, 2016, p. 8,</p>

	tradução nossa).
FP/CCM-2.16	Em contrapartida, pretendemos construir um genoma celular mínimo para determinar experimentalmente um conjunto central de genes para uma célula que se replica independentemente. Projetamos um genoma usando genes de <i>M. mycoides</i> JCVI-syn1.0 [2010]. Esta célula de micoplasma apresenta diversas vantagens para esse fim. Primeiro, os micoplasmas já possuem genomas muito pequenos. Eles evoluíram a partir de bactérias gram-positivas com genomas maiores, perdendo genes que são desnecessários em seu nicho como parasitas de mamíferos. Elas já estão bem adiantadas no caminho evolutivo rumo a um genoma mínimo e, conseqüentemente, é provável que tenham menos genes funcionalmente redundantes do que outras bactérias. Também temos um conjunto altamente desenvolvido de ferramentas para construir esse genoma e para montar e manipular o genoma como um cromossomo extra na levedura (Hutchison <i>et al.</i> , 2016, p. 8, tradução nossa).
FP/CCM-2.17	Nossa tentativa inicial de projetar um genoma mínimo baseou-se no atual conhecimento coletivo da biologia molecular, em combinação com dados limitados sobre a ruptura dos transposons dos genes, que forneceram informações adicionais sobre a essencialidade dos genes. Esta informação foi particularmente valiosa no que diz respeito aos genes de função desconhecida. Propostas experimentais específicas para a construção do genoma mínimo foram feitas exclusivamente com base no conhecimento acumulado sobre os genes que estão envolvidos em processos biológicos fundamentais. Nosso HMG foi montado a partir de oito segmentos e se mostrou inviável, embora um dos segmentos tenha funcionado quando testado no contexto dos outros sete segmentos syn1.0. Esses resultados nos convenceram de que inicialmente não tínhamos conhecimento suficiente para projetar um genoma funcional mínimo a partir dos primeiros princípios. Portanto, para obter melhores informações sobre a essencialidade do gene, fizemos grandes melhorias em nossos métodos de mutagênese por transposon (Hutchison <i>et al.</i> , 2016, p. 8-9, tradução nossa).
FP/CCM-2.18	O maior grupo de genes retidos em syn3.0 está envolvido na expressão gênica (195 genes, 41%). Números aproximadamente iguais de genes estão envolvidos na membrana celular (84 genes, 18%) e no metabolismo (81 genes, 17%). Durante a evolução redutiva como um micoplasma, muitos genes biossintéticos foram perdidos e substituídos por transportadores residentes na membrana, resultando numa compensação entre estas duas categorias. Um número relativamente pequeno de genes funciona na replicação do genoma e na preservação da informação genômica através da divisão celular (36 genes, 7%). Inesperadamente, existem 79 genes (17%) que não conseguimos atribuir a uma categoria funcional. Destes, 19 estão na categoria essencial (e-genes), 36 são necessários para o crescimento rápido) e 24 não são essenciais ou quase essenciais. Presumimos que a maioria deles se enquadrará em uma das quatro categorias principais descritas acima (expressão gênica, estrutura e função da membrana, metabolismo citosólico e preservação do genoma), mas parece provável que alguns deles possam desempenhar funções biológicas anteriormente não descritas (Hutchison <i>et al.</i> , 2016, p. 10, tradução nossa).
FP/CCM-2.19	[...] Em particular, 13 dos 19 e-genes funcionalmente não atribuídos são de função completamente desconhecida. Alguns deles correspondem a genes de função desconhecida em outras bactérias ou mesmo em eucariotos, e estes são os principais candidatos a proteínas com novas funções. Genes de função desconhecida que são necessários no syn3.0 e presentes na maioria dos organismos devem representar funções quase universais e, portanto, podem fornecer <i>insights</i> biológicos. Da mesma forma, genes desconhecidos sem homólogos podem ser novos ou podem representar sequências incomuns, mas com funções bem compreendidas. Em contraste com os genes totalmente desconhecidos, é fácil simplificar demasiado o suposto papel de um gene na sobrevivência celular se este tiver uma atribuição funcional genérica. [...] A questão é: todas as funções genéricas dos genes desconhecidos serão tão comuns ou algumas delas representam processos fundamentalmente novos? Existem genes cujas anotações genéricas são desconcertantes, embora sejam necessárias para a sobrevivência (Hutchison <i>et al.</i> , 2016, p. 10, tradução nossa).

FP/CCM-2.20	A replicação da informação genômica e a sua distribuição coordenada em compartimentos celulares segregados delimitados por membrana são marcas distintivas dos sistemas vivos existentes que são comumente considerados entre os atributos que definem a vida celular [2014]. Os requisitos mínimos para este processo não são conhecidos, mas evidências de diferentes campos de estudo sugerem que mecanismos muito mais simples do que o complexo aparelho de divisão na maioria das eubactérias pode ser suficiente (Hutchison <i>et al.</i> , 2016, p. 10, tradução nossa).
FP/CCM-2.21	[...] Através do nosso processo de design com base empírica, um cluster de genes não essenciais presente em syn1.0 [...] foi removido durante a construção de células syn3.0 (Hutchison <i>et al.</i> , 2016, p. 10, tradução nossa).
FP/CCM-2.22	Em última análise, a compreensão da base genética e mecanicista do fenótipo da propagação de syn3.0 pode esclarecer os requisitos mínimos para a segregação do compartimento celular delimitado por membrana que é essencial para uma célula viva (Hutchison <i>et al.</i> , 2016, p. 10, tradução nossa).
FP/CCM-2.23	Nosso foco principal aqui tem sido a aplicação do ciclo DBT do genoma completo a um problema específico, a construção de um genoma celular mínimo. Contudo, a abordagem que descrevemos pode ser aplicada à construção de uma célula com quaisquer propriedades desejadas. Por exemplo, uma célula poderia ser projetada com vias metabólicas adicionadas, um código genético alterado ou arranjos genéticos dramaticamente alterados (Hutchison <i>et al.</i> , 2016, p. 10, tradução nossa).
FP/CCM-2.24	A aplicação do nosso ciclo DBT é limitada apenas pela sua capacidade de produzir projetos com uma chance razoável de sucesso. Com o aumento do conhecimento das funções de genes essenciais que são atualmente desconhecidos, e com o aumento da experiência na reorganização do genoma, esperamos que as nossas capacidades de design se fortaleçam. A capacidade de projetar células nas quais a função de cada gene é conhecida deve facilitar a modelagem computacional completa da célula. Isto tornaria possível calcular as consequências da adição de vias para a produção de produtos úteis, como medicamentos ou produtos químicos industriais, e levaria a uma maior eficiência no desenvolvimento (Hutchison <i>et al.</i> , 2016, p. 10, tradução nossa).

**APÊNDICE M - CATEGORIZAÇÃO REFERENTE AO ESTUDO DO
EPISÓDIO CONTEMPORÂNEO ENCONTRADO NO ARTIGO 2- 'PROJETO E
SÍNTESE DE UM GENOMA BACTERIANO MÍNIMO', DE HUTCHISON *ET AL.*
(FP/CCM-2)**

FATO CIENTÍFICO EM ANÁLISE: Conceito de Célula Mínima.		
EPISÓDIO CONTEMPORÂNEO (EC): 'Produção da primeira célula bacteriana sintética mínima' (2016) – EC2.		
CÓDIGO	EXCERTO	CATEGORIAS A PRIORI
FP/CCM-2.8A	Aqui relatamos uma nova célula, JCVI-syn3.0 (abreviada syn3.0), que é controlada por um genoma sintético de 531 pares de quilobases (kbp) que codifica 438 proteínas e 35 RNAs. É uma aproximação funcional para uma célula mínima. O seu genoma é substancialmente menor que o do <i>M. genitalium</i> e a sua taxa de duplicação é cerca de cinco vezes mais rápida (Hutchison <i>et al.</i> , 2016, p. 1-2, tradução nossa).	<i>Busca pela criação de uma célula mínima, com genoma artificial</i>
FP/CCM-2.2B	Em 1984, Morowitz propôs as células mais simples com capacidade de crescimento autônomo, os micoplasmas, como modelos para a compreensão dos princípios básicos da vida. Um passo inicial fundamental na sua proposta foi a sequenciação do genoma de um micoplasma, que realizámos para o <i>Mycoplasma genitalium</i> em 1995. Mesmo com a sequência em mãos, decifrar o sistema operacional da célula foi uma tarefa difícil (Hutchison <i>et al.</i> , 2016, p. 1, tradução nossa).	
FP/CCM-2.3B	Há muito que estamos interessados em simplificar o software genômico de uma célula bacteriana, eliminando genes que não são essenciais para o crescimento celular em condições ideais no laboratório. Isto facilita o objetivo de alcançar uma compreensão da função molecular e biológica de cada gene que é essencial para a vida. Para sobreviver na natureza, a maioria das células bacterianas deve ser capaz de se adaptar a vários ambientes. Bactérias típicas bem estudadas, como <i>Bacillus subtilis</i> e <i>Escherichia coli</i> , carregam de 4.000 a 5.000 genes. Elas são altamente adaptáveis, porque muitos dos seus genes fornecem funções que são necessárias apenas sob	<i>Propriedades da célula compreendidas pelo reducionismo genético</i>

	<p>certas condições de crescimento. Algumas bactérias, no entanto, crescem em ambientes restritos e sofreram redução do genoma ao longo do tempo evolutivo. Elas perderam genes desnecessários em um ambiente estável. Os micoplasmas, que normalmente crescem no ambiente rico em nutrientes dos hospedeiros animais, têm os menores genomas conhecidos de qualquer célula que se replica de modo autônomo. Uma comparação das duas primeiras sequências do genoma disponíveis, <i>Haemophilus influenzae</i> [1815 genes] e <i>M. genitalium</i> [o menor genoma de micoplasma conhecido; 525 genes], revelou um núcleo comum de apenas 256 genes, muito menor que qualquer um dos genomas. Este foi proposto como o conjunto mínimo de genes para a vida (Hutchison <i>et al.</i>, 2016, p. 1, tradução nossa).</p>	
FP/CCM-2.4A	<p>Em 1999, para testar experimentalmente este estudo comparativo, introduzimos o método de mutagênese global por transposon que nos permitiu catalogar 150 genes não essenciais em <i>M. genitalium</i> [2006] e prever um conjunto de 375 genes essenciais. Estes resultados mostraram que deveria ser possível produzir um genoma mínimo menor do que qualquer outro encontrado na natureza, mas que o genoma mínimo seria maior do que o conjunto comum de 256 genes. Naquela época, propusemos criar e testar um genoma artificial mínimo baseado em cassete [1999]. Temos trabalhado desde então para produzir as ferramentas necessárias para conseguir isso (Hutchison <i>et al.</i>, 2016, p. 1, tradução nossa).</p>	
FP/CCM-2.18A	<p>O maior grupo de genes retidos em syn3.0 está envolvido na expressão gênica (195 genes, 41%). Números aproximadamente iguais de genes estão envolvidos na membrana celular (84 genes, 18%) e no metabolismo (81 genes, 17%). Durante a evolução reductiva como um micoplasma, muitos genes biossintéticos foram perdidos e substituídos por transportadores residentes na membrana, resultando numa compensação entre estas duas categorias. Um número relativamente pequeno de genes funciona na replicação do genoma e na preservação da informação genômica através da divisão celular (36 genes, 7%). Inesperadamente, existem 79 genes (17%) que não conseguimos atribuir a uma categoria funcional. Destes, 19 estão na categoria essencial (e-genes), 36 são necessários para o crescimento rápido e</p>	

	<p>24 não são essenciais ou quase essenciais. Presumimos que a maioria deles se enquadrará em uma das quatro categorias principais descritas acima (expressão gênica, estrutura e função da membrana, metabolismo citosólico e preservação do genoma), mas parece provável que alguns deles possam desempenhar funções biológicas anteriormente não descritas (Hutchison <i>et al.</i>, 2016, p. 10, tradução nossa).</p>	
FP/CCM-2.19A	<p>[...] Em particular, 13 dos 19 e-genes funcionalmente não atribuídos são de função completamente desconhecida. Alguns deles correspondem a genes de função desconhecida em outras bactérias ou mesmo em eucariotos, e estes são os principais candidatos a proteínas com novas funções.</p> <p>Genes de função desconhecida que são necessários no syn3.0 e presentes na maioria dos organismos devem representar funções quase universais e, portanto, podem fornecer <i>insights</i> biológicos. Da mesma forma, genes desconhecidos sem homólogos podem ser novos ou podem representar sequências incomuns, mas com funções bem compreendidas. Em contraste com os genes totalmente desconhecidos, é fácil simplificar demasiado o suposto papel de um gene na sobrevivência celular se este tiver uma atribuição funcional genérica. [...] A questão é: todas as funções genéricas dos genes desconhecidos serão tão comuns ou algumas delas representam processos fundamentalmente novos? Existem genes cujas anotações genéricas são desconcertantes, embora sejam necessárias para a sobrevivência (Hutchison <i>et al.</i>, 2016, p. 10, tradução nossa).</p>	

FP/CCM-2.1B	<p>As células são as unidades fundamentais da vida. A sequência do genoma de uma célula pode ser considerada seu sistema operacional. Ele carrega o código que especifica todas as funções genéticas da célula, que por sua vez determinam a química celular, estrutura, replicação e outras características. Cada genoma contém instruções para funções universais comuns a todas as formas de vida, bem como instruções específicas para cada espécie em particular. O genoma depende das funções do citoplasma celular para sua expressão. Por sua vez, as propriedades do citoplasma são determinadas pelas instruções codificadas no genoma. O genoma pode ser visto como um software; O sequenciamento de DNA permite que o código do software seja lido (Hutchison <i>et al.</i>, 2016, p. 1, tradução nossa).</p>	
FP/CCM-2.2C	<p>Em 1984, Morowitz propôs as células mais simples com capacidade de crescimento autônomo, os micoplasmas, como modelos para a compreensão dos princípios básicos da vida. Um passo inicial fundamental na sua proposta foi a sequenciação do genoma de um micoplasma, que realizamos para o <i>Mycoplasma genitalium</i> em 1995. Mesmo com a sequência em mãos, decifrar o sistema operacional da célula foi uma tarefa difícil (Hutchison <i>et al.</i>, 2016, p. 1, tradução nossa).</p>	<p><i>Assimilação dos seres vivos/células às máquinas (computador)</i></p>
FP/CCM-2.3A	<p>Há muito que estamos interessados em simplificar o software genômico de uma célula bacteriana, eliminando genes que não são essenciais para o crescimento celular em condições ideais no laboratório. Isto facilita o objetivo de alcançar uma compreensão da função molecular e biológica de cada gene que é essencial para a vida. Para sobreviver na natureza, a maioria das células bacterianas deve ser capaz de se adaptar a vários ambientes. Bactérias típicas bem estudadas, como <i>Bacillus subtilis</i> e <i>Escherichia coli</i>, carregam de 4.000 a 5.000 genes. Elas são altamente adaptáveis, porque muitos dos seus genes fornecem funções que são necessárias apenas sob certas condições de crescimento. Algumas bactérias, no entanto, crescem em ambientes restritos e sofreram</p>	

	<p>redução do genoma ao longo do tempo evolutivo. Elas perderam genes desnecessários em um ambiente estável. Os micoplasmas, que normalmente crescem no ambiente rico em nutrientes dos hospedeiros animais, têm os menores genomas conhecidos de qualquer célula que se replica de modo autônomo. Uma comparação das duas primeiras sequências do genoma disponíveis, <i>Haemophilus influenzae</i> [1815 genes] e <i>M. genitalium</i> [o menor genoma de micoplasma conhecido; 525 genes], revelou um núcleo comum de apenas 256 genes, muito menor que qualquer um dos genomas. Este foi proposto como o conjunto mínimo de genes para a vida (Hutchison <i>et al.</i>, 2016, p. 1, tradução nossa).</p>	
FP/CCM-2.7A	<p>[...] Inicialmente, apenas um dos segmentos HMG projetados produziu um genoma viável. Melhorias em nosso método global de mutagênese por transposon nos permitiram classificar de forma confiável os genes como essenciais ou não essenciais e identificar genes quase essenciais que são necessários para um crescimento robusto, embora não sejam absolutamente necessários [2015]. Também estabelecemos regras para remover genes do projeto do nosso genoma sem perturbar a expressão dos genes restantes. Os métodos que desenvolvemos durante a construção do syn1.0 [2010] fornecem uma maneira de construir um novo genoma como um plasmídeo centromérico em levedura e testá-lo quanto à viabilidade e outras características fenotípicas após o transplante em uma célula receptora de <i>M. capricolum</i>. Esses métodos, juntamente com as melhorias descritas aqui, constituem um ciclo de Projeto-Construção-Teste (DBT)¹⁶⁷ (Hutchison <i>et al.</i>, 2016, p. 1, tradução nossa).</p>	
FP/CCM-2.9A	<p>O projeto preliminar de HMG baseado em conhecimento não produz uma célula viável. Em nossa primeira tentativa de fazer uma célula minimizada, começamos com syn1.0 [2010] e usamos informações da</p>	

¹⁶⁷ Do inglês *Design-Build-Test* (DBT).

	<p>literatura bioquímica, bem como alguns dados de mutagênese de transposon, para produzir um design racional. Genes que poderiam ser interrompidos por inserções de transposons sem afetar a viabilidade celular foram considerados não essenciais. Com base em ~ 16.000 inserções do transposon 4001 (Tn4001) e Tn5 no genoma syn1.0, fomos capazes de encontrar e excluir um total de 440 genes aparentemente não essenciais do genoma syn1.0. O desenho HMG resultante tinha 483 kpb de tamanho e continha 432 genes de proteínas e 39 genes de RNA. Durante o projeto do HMG, desenvolvemos um conjunto simples de regras de exclusão que foi usado durante todo o projeto (Hutchison <i>et al.</i>, 2016, p. 1-2, tradução nossa).</p>	
FP/CCM-2.10A	<p>Em syn3.0, 149 genes não podem receber uma função biológica específica. Syn3.0 possui 438 genes codificadores de proteínas e 35 genes codificadores de RNA. Organizamos os 473 genes em cinco classes, com base em nosso nível de confiança em suas funções precisas [...]. Muitos desses genes foram estudados exaustivamente e suas funções biológicas primárias são conhecidas. [...] devido ao rico meio de crescimento que fornece quase todas as pequenas moléculas necessárias, muitos genes envolvidos no transporte, catabolismo, proteólise e outros processos metabólicos tornaram-se dispensáveis. Por exemplo, como a glicose é abundante no meio, a maioria dos genes para transporte e catabolismo de outras fontes de carbono foram deletados (34 de 36), enquanto todos os 15 genes envolvidos no transporte de glicose e na glicólise foram retidos (Hutchison <i>et al.</i>, 2016, p. 6, tradução nossa).</p>	<p><i>Ênfase na observação e/ou experimentos na interpretação do objeto de investigação</i></p>
FP/CCM-2.11A	<p>Em contraste, quase todos os genes envolvidos na maquinaria de leitura e expressão da informação genética no genoma e na garantia da preservação da informação genética ao longo das gerações foram retidos. O primeiro destes dois processos fundamentais da vida, a expressão da informação genética como proteínas, requer a retenção de 195 genes nas categorias de transcrição, regulação, metabolismo de RNA, tradução,</p>	

	<p>enovelamento de proteínas, RNA (RNAr, RNAt e pequenos RNAs), biogênese de ribossomo, modificação de RNAr e modificação de tRNA. O segundo desses dois processos fundamentais, a preservação da informação da sequência do genoma, requer a retenção de 34 genes nas categorias de replicação do DNA, reparo do DNA, topologia do DNA, metabolismo do DNA, segregação cromossômica e divisão celular. Esses dois processos juntos requerem 229 (48%) do total de 473 genes em syn3.0 (Hutchison <i>et al.</i>, 2016, p. 6, tradução nossa).</p>	
FP/CCM-2.16A	<p>Em contrapartida, pretendemos construir um genoma celular mínimo para determinar experimentalmente um conjunto central de genes para uma célula que se replica independentemente. Projetamos um genoma usando genes de <i>M. mycoides JCVI-syn1.0</i> [2010]. Esta célula de micoplasma apresenta diversas vantagens para esse fim. Primeiro, os micoplasmas já possuem genomas muito pequenos. Eles evoluíram a partir de bactérias gram-positivas com genomas maiores, perdendo genes que são desnecessários em seu nicho como parasitas de mamíferos. Elas já estão bem adiantadas no caminho evolutivo rumo a um genoma mínimo e, conseqüentemente, é provável que tenham menos genes funcionalmente redundantes do que outras bactérias. Também temos um conjunto altamente desenvolvido de ferramentas para construir esse genoma e para montar e manipular o genoma como um cromossomo extra na levedura (Hutchison <i>et al.</i>, 2016, p. 8, tradução nossa).</p>	
FP/CCM-2.17B	<p>Nossa tentativa inicial de projetar um genoma mínimo baseou-se no atual conhecimento coletivo da biologia molecular, em combinação com dados limitados sobre a ruptura dos transposons dos genes, que forneceram informações adicionais sobre a essencialidade dos genes. Esta informação foi particularmente valiosa no que diz respeito aos genes de função desconhecida. Propostas experimentais específicas para a construção do genoma mínimo foram feitas exclusivamente com base no conhecimento acumulado sobre os genes que estão envolvidos em processos biológicos fundamentais. Nosso HMG foi montado a partir de oito segmentos e se mostrou inviável, embora um dos segmentos tenha funcionado quando testado no contexto dos outros sete segmentos syn1.0. Esses</p>	

	<p>resultados nos convenceram de que inicialmente não tínhamos conhecimento suficiente para projetar um genoma funcional mínimo a partir dos primeiros princípios. Portanto, para obter melhores informações sobre a essencialidade do gene, fizemos grandes melhorias em nossos métodos de mutagênese por transposon (Hutchison <i>et al.</i>, 2016, p. 8-9, tradução nossa).</p>	
FP/CCM-2.21A	<p>[...] Através do nosso processo de design com base empírica, um cluster de genes não essenciais presente em syn1.0 [...] foi removido durante a construção de células syn3.0 (Hutchison <i>et al.</i>, 2016, p. 10, tradução nossa).</p>	
FP/CCM-2.6A	<p>A redução do genoma em bactérias como <i>E. coli</i> e <i>B. subtilis</i> foi anteriormente alcançada por uma série de eventos de deleção sequenciais [2006; 2014]. Após cada deleção, a viabilidade, a taxa de crescimento e outros fenótipos podem ser determinados. Em contraste com esta abordagem, decidimos projetar um genoma reduzido, depois construí-lo e testá-lo. Inicialmente projetamos um Genoma Mínimo Hipotético (HMG) baseado em uma combinação de dados existentes de mutagênese e deleção de transposons [2015] e conhecimento cumulativo de biologia molecular da literatura (Hutchison <i>et al.</i>, 2016, p. 1, tradução nossa).</p>	
FP/CCM-2.15A	<p>Há um grande corpo de literatura sobre o conceito de célula mínima e conjuntos mínimos de genes essenciais em vários organismos. O trabalho na área tem se concentrado em análises genômicas comparativas e em experimentos em que genes são eliminados ou rompidos individualmente pela inserção de transposons. Esses estudos identificam um núcleo de genes essenciais, geralmente em número de 250. Mas este não é um conjunto de genes suficiente para constituir um genoma celular viável, porque genes redundantes para funções essenciais são classificados como não essenciais nestes estudos (Hutchison <i>et al.</i>, 2016, p. 8, tradução nossa).</p>	<p>Observação e/ou experimentos orientados por teoria</p>
FP/CCM-2.16B	<p>Em contrapartida, pretendemos construir um genoma celular mínimo para determinar experimentalmente um conjunto central de genes para uma célula que se replica independentemente. Projetamos um genoma usando genes de <i>M. mycoides</i> JCVI-syn1.0 [2010]. Esta célula de micoplasma apresenta diversas vantagens para esse fim. Primeiro, os micoplasmas já possuem genomas muito pequenos.</p>	

	<p>Eles evoluíram a partir de bactérias gram-positivas com genomas maiores, perdendo genes que são desnecessários em seu nicho como parasitas de mamíferos. Elas já estão bem adiantadas no caminho evolutivo rumo a um genoma mínimo e, conseqüentemente, é provável que tenham menos genes funcionalmente redundantes do que outras bactérias. Também temos um conjunto altamente desenvolvido de ferramentas para construir esse genoma e para montar e manipular o genoma como um cromossomo extra na levedura (Hutchison <i>et al.</i>, 2016, p. 8, tradução nossa).</p>	
FP/CCM-2.17A	<p>Nossa tentativa inicial de projetar um genoma mínimo baseou-se no atual conhecimento coletivo da biologia molecular, em combinação com dados limitados sobre a ruptura dos transposons dos genes, que forneceram informações adicionais sobre a essencialidade dos genes. Esta informação foi particularmente valiosa no que diz respeito aos genes de função desconhecida. Propostas experimentais específicas para a construção do genoma mínimo foram feitas exclusivamente com base no conhecimento acumulado sobre os genes que estão envolvidos em processos biológicos fundamentais. Nosso HMG foi montado a partir de oito segmentos e se mostrou inviável, embora um dos segmentos tenha funcionado quando testado no contexto dos outros sete segmentos syn1.0. Esses resultados nos convenceram de que inicialmente não tínhamos conhecimento suficiente para projetar um genoma funcional mínimo a partir dos primeiros princípios. Portanto, para obter melhores informações sobre a essencialidade do gene, fizemos grandes melhorias em nossos métodos de mutagênese por transposon (Hutchison <i>et al.</i>, 2016, p. 8-9, tradução nossa).</p>	
FP/CCM-2.1A	<p>As células são as unidades fundamentais da vida. A sequência do genoma de uma célula pode ser considerada seu sistema operacional. Ele carrega o código que especifica todas as funções genéticas da célula, que por sua vez determinam a química celular, estrutura, replicação e outras características. Cada genoma contém instruções para funções universais comuns a todas as formas de vida, bem como instruções específicas para cada espécie em particular. O genoma depende das funções do citoplasma celular para sua expressão.</p>	<p><i>Correlação entre célula e manifestação de vida</i></p>

	<p>Por sua vez, as propriedades do citoplasma são determinadas pelas instruções codificadas no genoma. O genoma pode ser visto como um software; O sequenciamento de DNA permite que o código do software seja lido (Hutchison <i>et al.</i>, 2016, p. 1, tradução nossa).</p>	
FP/CCM-2.2A	<p>Em 1984, Morowitz propôs as células mais simples com capacidade de crescimento autônomo, os micoplasmas, como modelos para a compreensão dos princípios básicos da vida. Um passo inicial fundamental na sua proposta foi a sequenciação do genoma de um micoplasma, que realizamos para o <i>Mycoplasma genitalium</i> em 1995. Mesmo com a sequência em mãos, decifrar o sistema operacional da célula foi uma tarefa difícil (Hutchison <i>et al.</i>, 2016, p. 1, tradução nossa).</p>	
FP/CCM-2.12A	<p>Além dos dois processos vitais que acabamos de descrever, outro componente importante das células vivas é a membrana celular que separa o meio externo do citoplasma e governa o tráfego molecular para dentro e para fora da célula. É uma estrutura isolável e muitos dos genes syn3.0 codificam seus constituintes proteicos. Como nossa célula mínima carece em grande parte da biossíntese de aminoácidos, lipídios, nucleotídeos e vitaminas, ela depende do meio rico para fornecer quase todas essas pequenas moléculas necessárias. Isto requer numerosos sistemas de transporte dentro da membrana. Além disso, a membrana é rica em lipoproteínas. Os genes relacionados à membrana são responsáveis por 84 (18%) do total de 473 genes syn3 (Hutchison <i>et al.</i>, 2016, p. 6, tradução nossa).</p>	

FP/CCM-2.24B	<p>A aplicação do nosso ciclo DBT é limitada apenas pela sua capacidade de produzir projetos com uma chance razoável de sucesso. Com o aumento do conhecimento das funções de genes essenciais que são atualmente desconhecidos, e com o aumento da experiência na reorganização do genoma, esperamos que as nossas capacidades de design se fortaleçam. A capacidade de projetar células nas quais a função de cada gene é conhecida deve facilitar a modelagem computacional completa da célula. Isto tornaria possível calcular as consequências da adição de vias para a produção de produtos úteis, como medicamentos ou produtos químicos industriais, e levaria a uma maior eficiência no desenvolvimento (Hutchison <i>et al.</i>, 2016, p. 10, tradução nossa).</p>	<p><i>Influência do contexto na interpretação do objeto de investigação</i></p>
CÓDIGO	EXCERTO	CATEGORIAS EMERGENTES
FP/CCM-2.1C	<p>As células são as unidades fundamentais da vida. A sequência do genoma de uma célula pode ser considerada seu sistema operacional. Ele carrega o código que especifica todas as funções genéticas da célula, que por sua vez determinam a química celular, estrutura, replicação e outras características. Cada genoma contém instruções para funções universais comuns a todas as formas de vida, bem como instruções específicas para cada espécie em particular. O genoma depende das funções do citoplasma celular para sua expressão. Por sua vez, as propriedades do citoplasma são determinadas pelas instruções codificadas no genoma. O genoma pode ser visto como um software; O sequenciamento de DNA permite que o código do software seja lido (Hutchison <i>et al.</i>, 2016, p. 1, tradução nossa).</p>	<p><i>Informações codificadas nos genes determinam as funções celulares</i></p>
FP/CCM-2.3C	<p>Há muito que estamos interessados em simplificar o software genômico de uma célula bacteriana, eliminando genes que não são essenciais para o crescimento celular em condições ideais no laboratório. Isto facilita o objetivo de alcançar uma compreensão da função molecular e biológica de cada gene que é essencial para a vida. Para sobreviver na natureza, a maioria das células bacterianas deve ser capaz de se adaptar a vários ambientes. Bactérias típicas bem estudadas, como <i>Bacillus subtilis</i> e</p>	<p><i>Evolução biológica compreendida como alteração no número de genes</i></p>

	<p><i>Escherichia coli</i>, carregam de 4.000 a 5.000 genes. Elas são altamente adaptáveis, porque muitos dos seus genes fornecem funções que são necessárias apenas sob certas condições de crescimento. Algumas bactérias, no entanto, crescem em ambientes restritos e sofreram redução do genoma ao longo do tempo evolutivo. Elas perderam genes desnecessários em um ambiente estável. Os micoplasmas, que normalmente crescem no ambiente rico em nutrientes dos hospedeiros animais, têm os menores genomas conhecidos de qualquer célula que se replica de modo autônomo. Uma comparação das duas primeiras sequências do genoma disponíveis, <i>Haemophilus influenzae</i> [1815 genes] e <i>M. genitalium</i> [o menor genoma de micoplasma conhecido; 525 genes], revelou um núcleo comum de apenas 256 genes, muito menor que qualquer um dos genomas. Este foi proposto como o conjunto mínimo de genes para a vida (Hutchison <i>et al.</i>, 2016, p. 1, tradução nossa).</p>	
FP/CCM-2.12B	<p>Além dos dois processos vitais que acabamos de descrever, outro componente importante das células vivas é a membrana celular que separa o meio externo do citoplasma e governa o tráfego molecular para dentro e para fora da célula. É uma estrutura isolável e muitos dos genes syn3.0 codificam seus constituintes proteicos. Como nossa célula mínima carece em grande parte da biossíntese de aminoácidos, lipídios, nucleotídeos e vitaminas, ela depende do meio rico para fornecer quase todas essas pequenas moléculas necessárias. Isto requer numerosos sistemas de transporte dentro da membrana. Além disso, a membrana é rica em lipoproteínas. Os genes relacionados à membrana são responsáveis por 84 (18%) do total de 473 genes syn3 (Hutchison <i>et al.</i>, 2016, p. 6, tradução nossa).</p>	<p><i>Reconhecimento da troca de substâncias entre a célula e o meio para manutenção da vida celular</i></p>
FP/CCM-2.14A	<p>Uma célula mínima é geralmente definida como uma célula na qual todos os genes são essenciais. Esta definição está incompleta, porque os requisitos genéticos para a sobrevivência e, portanto, o tamanho mínimo do genoma,</p>	

	<p>dependem do ambiente em que a célula é cultivada. O trabalho aqui descrito foi conduzido em um meio que fornecia praticamente todas as pequenas moléculas necessárias à vida. Um genoma mínimo determinado sob tais condições permissivas deveria revelar um conjunto central de funções independentes do ambiente que são necessárias e suficientes para a vida. Sob condições menos permissivas, esperamos que sejam necessários genes adicionais (Hutchison <i>et al.</i>, 2016, p. 8, tradução nossa).</p>	
FP/CCM-2.13A	<p>A genômica está saindo de uma fase descritiva, na qual os genomas são sequenciados e analisados, para uma fase sintética, na qual genomas inteiros podem ser construídos por síntese química. À medida que os requisitos genéticos detalhados para a vida forem descobertos, será possível conceber genomas inteiros a partir dos primeiros princípios, construí-los por síntese química e depois trazê-los à vida por instalação num ambiente celular receptivo. Aplicamos essa abordagem de projeto e síntese do genoma completo ao problema de minimização de um genoma celular (Hutchison <i>et al.</i>, 2016, p. 8, tradução nossa).</p>	
FP/CCM-2.23A	<p>Nosso foco principal aqui tem sido a aplicação do ciclo DBT do genoma completo a um problema específico, a construção de um genoma celular mínimo. Contudo, a abordagem que descrevemos pode ser aplicada à construção de uma célula com quaisquer propriedades desejadas. Por exemplo, uma célula poderia ser projetada com vias metabólicas adicionadas, um código genético alterado ou arranjos genéticos dramaticamente alterados (Hutchison <i>et al.</i>, 2016, p. 10, tradução nossa).</p>	<p><i>Especificidades da Biologia Sintética</i></p>
FP/CCM-2.24A	<p>A aplicação do nosso ciclo DBT é limitada apenas pela sua capacidade de produzir projetos com uma chance razoável de sucesso. Com o aumento do conhecimento das funções de genes essenciais que são atualmente desconhecidos, e com o aumento da experiência na reorganização do genoma,</p>	

	<p>esperamos que as nossas capacidades de design se fortaleçam. A capacidade de projetar células nas quais a função de cada gene é conhecida deve facilitar a modelagem computacional completa da célula. Isto tornaria possível calcular as consequências da adição de vias para a produção de produtos úteis, como medicamentos ou produtos químicos industriais, e levaria a uma maior eficiência no desenvolvimento (Hutchison <i>et al.</i>, 2016, p. 10, tradução nossa).</p>	
FP/CCM-2.20A	<p>A replicação da informação genômica e a sua distribuição coordenada em compartimentos celulares segregados delimitados por membrana são marcas distintivas dos sistemas vivos existentes que são comumente considerados entre os atributos que definem a vida celular [2014]. Os requisitos mínimos para este processo não são conhecidos, mas evidências de diferentes campos de estudo sugerem que mecanismos muito mais simples do que o complexo aparelho de divisão na maioria das eubactérias podem ser suficientes (Hutchison <i>et al.</i>, 2016, p. 10, tradução nossa).</p>	<p><i>Busca pela identificação de requisitos mínimos para a vida celular</i></p>
FP/CCM-2.22A	<p>Em última análise, a compreensão da base genética e mecanicista do fenótipo da propagação de syn3.0 pode esclarecer os requisitos mínimos para a segregação do compartimento celular delimitado por membrana que é essencial para uma célula viva (Hutchison <i>et al.</i>, 2016, p. 10, tradução nossa).</p>	