

OTTO HENRIQUE MARTINS DA SILVA

**A CONSTRUÇÃO DO CONCEITO DE CAMPO ELÉTRICO: DA
CIÊNCIA FÍSICA À FÍSICA ESCOLAR**

**Dissertação apresentada como requisito
parcial à obtenção do grau de Mestre em
Educação, Curso de Pós-Graduação em
Educação, Setor de Educação,
Universidade Federal do Paraná.**

**Orientador: Prof. Dr. Nilson Marcos
Dias Garcia**

**CURITIBA
SETEMBRO 2006**

OTTO HENRIQUE MARTINS DA SILVA

**A CONSTRUÇÃO DO CONCEITO DE CAMPO ELÉTRICO: DA
CIÊNCIA FÍSICA À FÍSICA ESCOLAR**

**Dissertação apresentada como requisito
parcial à obtenção do grau de Mestre em
Educação, Curso de Pós-Graduação em
Educação, Setor de Educação,
Universidade Federal do Paraná.**

**Orientador: Prof. Dr. Nilson Marcos
Dias Garcia**

**CURITIBA
SETEMBRO 2006**

Dedico esta dissertação à minha esposa Vílma pela paciência e compreensão nos momentos em que estive ausente e, também, as minhas filhas Bárbara e Eduarda pelo carinho e cooperação.

Agradeço, primeiramente, aos meus pais pelo esforço, dedicação e empenho para que eu pudesse chegar até aqui e a todos que contribuíram de forma direta ou indiretamente para a realização deste trabalho. Também, a professora Aparecida Magalhães Villatorre pelas informações prestadas a esta pesquisa.

Ao professor Nílson Marcos Dias Garcia, meu orientador, pela confiança depositada na minha proposta e por ter proporcionado por meio da sua orientação, crítica e segura, que a minha proposta inicial se transformassem em projeto e o nosso projeto neste trabalho. Em especial, pelos seus ensinamentos cuidadosos na elaboração do texto dissertativo.

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	VI
INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 1 CULTURAS E TRANSMISSÃO DE SABERES.....	9
1.1 CULTURA	9
1.2 AS CULTURAS ESCOLARES	12
1.2.1 <i>Cultura escolar: uma breve perspectiva de análise no campo da história da educação no Brasil.....</i>	<i>13</i>
1.3 CULTURA ESCOLAR SEGUNDO FORQUIN.....	17
1.3.1 <i>O caráter semântico do conceito de cultura.....</i>	<i>17</i>
1.3.2 <i>A seleção cultural dos conteúdos.....</i>	<i>20</i>
1.4 TRANSPOSIÇÃO DO SABER	23
1.4.1 <i>As esferas do saber.....</i>	<i>26</i>
1.4.2 <i>Os sistemas e a noosfera.....</i>	<i>30</i>
1.4.3 <i>A Transposição Didática.....</i>	<i>32</i>
1.5 A TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA EM ALGUNS TRABALHOS EM ENSINO DE CIÊNCIAS.....	35
CAPÍTULO 2 ESTUDO DA CONCEPÇÃO E CONSTRUÇÃO DO CONCEITO DE CAMPO ELÉTRICO.....	44
2.1 ORIGENS E CONCEPÇÕES PRIMÁRIAS DOS FENÔMENOS ELÉTRICOS E MAGNÉTICOS	44
2.2 A PROBLEMÁTICA DA AÇÃO À DISTÂNCIA.....	47
2.3 A QUEBRA DE SIMETRIA E O CONCEITO DE CAMPO	50
2.4 A ‘LINGUAGEM DE FARADAY’	57
2.5 O CONCEITO ATUAL DE CAMPO ELÉTRICO.....	59
2.6 ASPECTOS CULTURAIS NA CONSTRUÇÃO DO CONCEITO DE CAMPO ELÉTRICO.....	62
2.6.1 <i>Os fenômenos físicos como elementos da cultura.....</i>	<i>62</i>
2.6.2 <i>Os saberes como elementos da cultura escolar.....</i>	<i>64</i>
CAPÍTULO 3 ORGANIZANDO A INVESTIGAÇÃO: ELEMENTOS E INSTRUMENTOS.....	69
3.1 ELEMENTOS DE PESQUISA	69
3.2 COLETAS DE DADOS	74
3.3 ELEMENTOS DE ANÁLISE.....	76
CAPÍTULO 4 ANÁLISE DE ALGUNS ASPECTOS DA TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA E DA CULTURA ASSOCIADOS AO CONCEITO DE CAMPO ELÉTRICO.....	79
4.1 O CAMPO ELÉTRICO, SEGUNDO O CONCEITO FÍSICO E A LINGUAGEM MATEMÁTICA	79
4.1.1 <i>Nos livros didáticos de Física Básica ou Geral.....</i>	<i>80</i>
4.1.2 <i>Nos livros didáticos da Física Escolar.....</i>	<i>87</i>
4.1.3 <i>Nos cadernos de Física.....</i>	<i>94</i>
4.2 ELEMENTOS DA CULTURA ASSOCIADOS AO CONCEITO DE CAMPO ELÉTRICO.....	98
4.2.1 <i>Os fenômenos físicos como elementos da cultura.....</i>	<i>98</i>
4.2.2 <i>O saber campo elétrico como elemento da cultura escolar.....</i>	<i>101</i>
4.3 DISTÂNCIA ENTRE O OBJETO DO SABER E O OBJETO DE ENSINO	104
4.3.1 <i>Objeto do saber.....</i>	<i>104</i>
4.3.2 <i>Objeto de ensino.....</i>	<i>105</i>
4.4 DESPERSONALIZAÇÃO E DESCONTEXTUALIZAÇÃO DO SABER A ENSINAR	107
4.4.1 <i>Nos livros didáticos de Física Básica ou Geral.....</i>	<i>108</i>
4.4.2 <i>Nos livros didáticos da Física Escolar.....</i>	<i>109</i>
4.5 PRÁTICAS SOCIAIS DE REFERÊNCIA NO SABER A ENSINAR	110
4.5.1 <i>Nos livros didáticos de Física Básica ou Geral.....</i>	<i>111</i>
4.5.2 <i>Nos livros didáticos da Física Escolar.....</i>	<i>112</i>
CAPÍTULO 5 O CONCEITO DE CAMPO ELÉTRICO NO ÂMBITO DA CIÊNCIA FÍSICA E DA FÍSICA ESCOLAR.....	113

5.1 O SABER A ENSINAR.....	113
5.2 O SABER ENSINADO	122
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	124
REFERÊNCIAS	127
ANEXOS	132

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1.1	DISPOSITIVO DE FARADAY PARA ILUSTRAR A ROTAÇÃO ELETROMAGNÉTICA	55
FIGURA 1.2	REPRESENTAÇÃO DOS FENÔMENOS ELÉTRICO E MAGNÉTICO POR LINHAS DE CAMPO	56
QUADRO 1.1	PERSONAGENS DAS VÁRIAS ESFERAS E SUAS FUNÇÕES BÁSICAS NO PROCESSO DA TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA	30
TABELA 3.1	RELAÇÃO DOS PROFESSORES PRÉ-SELECIONADOS	72
TABELA 5.1	FENÔMENOS FÍSICOS ASSOCIADOS AO CONCEITO CAMPO ELÉTRICO	114
TABELA 5.2	FORMAS DE INTRODUÇÃO DO CONCEITO DE CAMPO ELÉTRICO	116
TABELA 5.3	PRÁTICAS SOCIAIS DE REFERÊNCIA	118
TABELA 5.4	CONCEITO DE CAMPO ELÉTRICO	119
TABELA 5.5	CONCEPÇÕES DAS INTERAÇÕES ELÉTRICAS ENTRE OS CORPOS	121

RESUMO

Este trabalho desenvolve um estudo sobre a constituição do conceito de campo elétrico no âmbito da Ciência Física e da Física Escolar, tendo como objetivo a realização de uma análise de como foi constituído e como está posto o conceito de campo elétrico nas esferas do saber a ensinar e do saber ensinado. Para tal, se apóia na concepção de cultura escolar, segundo Jean Claude Forquin e de transposição didática desenvolvida por Yves Chevallard. Apoiado num breve resgate histórico da construção do conceito de campo elétrico, identificou-se e analisou-se os livros pelos quais os professores aprenderam e ensinam tal conceito, como também verificou-se como os alunos, em seus cadernos, registram o que aprenderam. As análises que foram realizadas em alguns manuais didáticos, tanto da Educação Superior como da Educação Básica, assim como, em alguns cadernos de anotações das aulas de Física, mostraram a forma como o conceito de campo elétrico se apresenta nos textos analisados, levando em consideração aspectos da cultura e da transposição didática associados a este conceito. Também, como resultados das análises, são apresentados aspectos associados ao saber que revelam a descontextualização e despersonalização observados durante o desenvolvimento do trabalho, como também, suas limitações e perspectivas de novas investigações.

PALAVRAS CHAVE

Campo elétrico, cultura escolar, saber escolar, transposição didática.

ABSTRACT

This work presents a study about the composition of the electric field concept in Physics as science and in Physics at school. Its aim is to analyze how the concept of electric field was constituted and how this concept is present in teaching and learning. To achieve its aim, this study is based on Jean Claude Forquin's concept of school culture and on Yves Chevallard's view of didactic transposition. After a short historic review of how the electric field concept was made up, some books used by teachers to learn and to teach this concept were analyzed and as well as notes taken by students. The material for this analysis was taken from graduation and compulsory education textbooks and notebooks of Physics classrooms and it was able to point out how the electric field concept was composed in relationship to school culture and didactic transposition. Furthermore, the results of this analysis present non-contextualized and non-personalized aspects of knowledge observed during the study, study limitations and new lines of investigation.

KEY-WORDS

Electric field, school culture, scholarly knowledge, didactic transposition.

INTRODUÇÃO

Por um longo período trabalhei com o Ensino Fundamental e Médio na Escola pública e privada, tive a oportunidade de vivenciar estes dois ambientes pedagógicos da Educação Básica. Neles, atuei no Ensino Fundamental como professor de Matemática e no Médio como professor de Física e Matemática. Nesse período, os problemas presenciados e vividos foram inúmeros, desde os estruturais, como a organização do espaço físico e o funcionamento administrativo-pedagógico na Escola pública ou a relação ‘escola-cliente’ na Escola privada, até os relacionados ao ensino-aprendizagem comuns a todas as Escolas.

Como exemplo das questões relacionadas ao ensino e a aprendizagem, pude vivenciar a situação: o que fazer para que os alunos entendam os conceitos trabalhados em aula ou como fazer para tornar os conteúdos de ensino mais ‘fáceis’ de serem entendidos; como proporcionar um ensino que tornasse a linguagem utilizada simples e objetiva, mas que não perdesse a essência do conceito físico; como descomplexificar a difícil linguagem matemática e/ou científica. Uma coisa eu tinha consciência, os problemas associados a estas questões tornavam as aulas desestimulantes e monótonas, resultados, também, de uma metodologia que se esgota em si mesma, ou seja, com pouca aprendizagem dos conceitos físicos.

Problemas de ensino-aprendizagem – como os citados acima – presentes nos dois níveis escolares e relacionados às duas disciplinas citadas foram causas de muitas reflexões e ponderações acerca do papel do educador e da sua formação, enquanto um profissional do ensino da Educação Básica. Quanto à minha atuação, até o presente momento, pouco tinha a fazer senão refletir e analisar, procurando entender o seu percurso. Mas, em relação ao meu papel de educador frente aos problemas reais na área de ensino-aprendizagem, não foi possível ignorá-los e fingir que eles não estivessem lá e dissessem respeito ao fazer e pensar do educador.

A complexidade e a dimensão destes problemas fizeram-me aprofundar essas questões e transformá-las em objetos de pesquisa. Nesse sentido optei por investigar um tipo de Escola e uma natureza específica do problema, ou seja, questões relacionadas ao ensino e, especificamente, na disciplina de Física. Quanto ao tipo de Escola, escolhi a pública, pois além do nobre papel de produção e transmissão do conhecimento – inerente às Escolas, entendendo que este espaço segundo GIROUX e SIMON (2000, p. 95), é um território de lutas que possibilita o fortalecimento do poder social e das práticas democráticas. No entanto, procurei restringir as reflexões aos problemas de natureza didático-pedagógicas que diziam respeito à constituição e a transmissão do conhecimento.

A pesquisa realizou-se tendo como referência a cultura escolar e a transposição didática. Tal escolha se deveu ao fato de que ao ser elaborado no âmbito da Ciência Física, o conhecimento que é transmitido para o âmbito escolar, e, em todos os momentos em que o conhecimento escolar é constituído ou ensinado, há, a priori, uma ação pedagógica sobre o conhecimento que proporcionou a sua constituição ou transmissão. Ou seja, este conhecimento antes da sua transmissão já foi alvo de uma escolha não arbitrária por meio de uma cultura pré-estabelecida, mesmo quando não fora verdadeiramente produzido (FORQUIN, 1992). A esta cultura – transmitida ou constituída no âmbito da Escola – denominada cultura escolar, FORQUIN (1993, p.167) definiu como “um conjunto de conceitos cognitivos e simbólicos selecionados, organizados, ‘normalizados’ e ‘rotinizados’, sob o efeito dos imperativos da didatização, e que constituem habitualmente o objeto de uma transmissão deliberada no contexto das escolas.” É com esta perspectiva que iremos abordar a cultura, ou seja, o saber científico uma vez designado como objeto de ensino, foi didatizado, depois apropriado e reestruturado pelo professor e posteriormente ensinado aos alunos, frente a uma cultura escolar que privilegia os saberes, os alunos, o professor e os processos de didatização.

No processo da transmissão cultural, observa-se que os elementos da cultura – contidos nos saberes – ‘descrevem’ um curso onde se inicia e se desloca, desde o momento de sua criação até o momento em que é ensinado. Nesse processo é possível perceber as esferas que contemplam os saberes científico e escolar. Ao saber científico podemos associar, por exemplo, o processo laborioso da sua criação e transmissão ao longo dos tempos, onde os cientistas, o contexto sociocultural e o próprio conhecimento criado são participantes fundamentais na constituição da sua história. Ao saber escolar, por sua vez, além da sua construção histórica, destacamos a presença de três elementos: o professor, o aluno e o saber, que constituem uma trama de relações das quais se destacam pelo menos três momentos determinantes e carregados de complexidade: um que envolve o saber e o professor quando em suas atividades que antecedem o momento didático ou a sua prática pedagógica; outro, rico em ações pedagógicas, que é formado pelo professor, saber e aluno, naquilo que constituem a sua prática pedagógica, ou seja, um momento pleno de ensino-aprendizagem; e finalmente, o momento ‘solitário’ entre o saber e o aluno, onde este exercita a sua aprendizagem através da reflexão sobre o saber e suas situações problemas.

A forma como o saber se apresenta nos manuais didáticos diferem daquela apresentada à comunidade científica na ocasião da sua criação e é mais distinta ainda, quando nos referimos aos saberes dos livros didáticos da Física Escolar. Este saber que chega às mãos do professor, principalmente em livros didáticos, não corresponde, necessariamente, à mesma forma que ele *dispõe* no momento em que *expõe* didaticamente o conteúdo de ensino diante dos alunos. Pressupomos que o saber sofreu várias modificações desde a esfera acadêmica até a escolar, sendo ao longo do seu curso re-elaborado e didatizado, adequando o conteúdo de ensino à realidade do educando. Este processo de transformação e transmissão do saber constitui o foco da investigação deste trabalho de pesquisa.

Elegendo a Escola, local de fortes interações socioculturais e onde ocorrem complexos fenômenos pedagógicos, como parte do espaço investigativo da nossa

pesquisa e sem deixar de considerar as diversas relações sociais, políticas e educacionais nas quais ela se envolve e se desenvolve, mas tendo consideração de que “a escola não é apenas, com efeito, um local onde circulam fluxos humanos, onde se investem e se gerem riquezas materiais, onde se travam interações sociais e relações de poder, ela é também um local – o local por excelência nas sociedades modernas – **de gestão e de transmissão de saberes** [grifo nosso] e de símbolos” (FORQUIN, 1992, p. 28), centraremos nossa atenção às questões socioculturais, tendo como foco a construção e a transmissão dos saberes, delimitado pela idéia de transmissão cultural da Escola desenvolvida, dentre outros, por FORQUIN (1992).

Considerando que “os ensinamentos dispensados nas escolas não transmitem nunca senão uma ínfima parte da experiência humana acumulada ao longo do tempo” (*idem*, 1992, p. 29), percebe-se a existência de uma instância que atua fora dos domínios dos estabelecimentos escolares e que proporciona saberes específicos que resultaram em conteúdos de ensino nos processos de didatização ao sistema de ensino. Estes conteúdos de ensino são resultados, como fala Forquin, de um imenso trabalho de reorganização, de reestruturação e de transposição didática.

Verret¹, citado por FORQUIN (1992, p.33), afirma que “toda prática de ensino de um objeto pressupõe a transformação prévia deste objeto em objeto de ensino”. Fica então patente a necessidade da transformação do ‘saber’ em objeto de ensino, conceito desenvolvido e denominado por CHEVALLARD (1991) de transposição didática.

Segundo a transposição didática, um saber possui uma legitimidade própria quando o mesmo é legitimado epistemologicamente. A esta epistemologia a que se refere Chevallard, ASTOLFI e DEVELAY (1995, p. 48) denominam de “epistemologia escolar que pode ser distinguida da epistemologia em vigor nos saberes de referência”. Nesta teoria, de acordo com BOLIGIAN (2003, p. 15), os saberes relevantes e epistemologicamente legitimados são: *o saber sábio* – elaborado pelos

¹VERRET, M. Le temps des études, Lille, Atelier de reproduction des thèses, v. 2, 1995

cientistas; *o saber a ser ensinado* – selecionado e produzido pelos especialistas no âmbito da *noosfera* e *o saber ensinado* – produzido pelo professor nos estabelecimentos escolares.

Para Chevallard, no curso do saber, que se inicia na esfera acadêmica e chega até a sala de aula, ocorrem dois momentos para a transposição didática: um *externo* e outro *interno*. A transposição didática em sua fase externa é realizada pelos especialistas da área, onde o saber sábio sofre transformações até ser adaptado como saber a ensinar. A interna ocorre no domínio escolar, onde o professor desempenha um papel determinante no processo da transposição didática. Este momento apresenta uma grande complexidade e riquezas pedagógicas, que envolve o professor, o saber e o aluno e se constitui numa base para que se possa pensar o objeto de estudo. É também neste espaço que são fundadas as relações didáticas, e o bom funcionamento do sistema – *professor-saber-aluno* – depende das ‘tensões’ estabelecidas pela relação professor-aluno, impostas, explícita ou implicitamente, por meio do contrato didático².

Os conteúdos de ensino, por sua vez, são abordados, no ambiente escolar, com as devidas modificações e transformações didáticas que o processo de ensino-aprendizagem lhes impõe. Este processo modifica a natureza do conhecimento científico, onde muitas informações associadas a ele são perdidas e outras lhes são vinculadas, além de simplificar a linguagem e a concepção conceitual deste conhecimento.

Entretanto, apesar da intenção de facilitar o entendimento do conhecimento científico, os processos de didatização, para alguns casos, não têm conseguido alcançar esse objetivo. No caso particular do conceito de campo e, especialmente, o de campo elétrico, verifica-se que o mesmo é apresentado nos livros didáticos de forma abstrata

² “A noção de *contrato didático*, a qual, descrita por Brousseau (1986), refere-se ao estudo das regras e das condições que condicionam o funcionamento da educação escolar, quer seja no contexto de uma sala de aula, no espaço intermediário da instituição escolar quer seja na dimensão mais ampla do sistema educativo.” (PAIS, 2002, p. 77).

e descontextualizada, causando uma perplexidade aos alunos (e porque não aos professores?) quando é abordado.

Nessa perspectiva, em que o saber transita e é constituído e tomando como referência a concepção de cultura escolar e transposição didática, segundo as abordagens dadas, respectivamente, por FORQUIN (1993) e CHEVALLARD (1991), delimitamos o objetivo desta investigação, qual seja o de analisar como foi constituído e como está posto o conceito de campo elétrico nas esferas do saber a ensinar e do saber ensinado.

As questões de investigação que foram surgindo nesse processo diziam respeito aos seguintes aspectos:

- a) Como foi criado e desenvolvido o conceito físico de campo elétrico?
- b) Quais as implicações deste conceito, no âmbito da cultura, na Ciência Física e na Física Escolar?
- c) Após a sua transposição didática que características ou propriedades foram mantidas ou suprimidas ou até criadas?
- d) Como o conceito de campo elétrico, após ter sido histórica e culturalmente aceito, tem sido apresentado nos manuais didáticos e nas anotações dos cadernos de Física nas salas de aula?

Procurando responder a essas questões e atingir ao objetivo proposto, no primeiro capítulo dessa dissertação – **Culturas e transmissão de saberes** – buscamos, no trabalho de Williams, informações para uma compreensão da dimensão histórica do significado da palavra ‘cultura’ e o seu aspecto polissêmico. Já em relação à ‘cultura escolar’ fizemos, inicialmente, uma breve retrospectiva, no momento em que ela é considerada como um campo de investigação ou como um instrumento de análise no âmbito da História das Disciplinas Escolares. Também analisamos a relação ‘educação e cultura’, tendo como pontos importantes a idéia de ‘transmissão cultural’ e as definições de ‘cultura e saberes escolares’ desenvolvidas por Forquin. Ainda neste capítulo, procuramos fundar a pesquisa nos conceitos referentes à teoria da

transposição didática desenvolvida por Chevallard, onde destacamos os saberes nas esferas acadêmica e escolar e as transformações e implicações através do processo transpositivo. Finalmente, são descritos alguns trabalhos de pesquisadores que têm no conceito de transposição didática um embasamento teórico, principalmente, no âmbito da Educação em Ciências.

O segundo capítulo – **Estudo da concepção e construção do conceito de campo elétrico** – por sua vez, apresenta um texto que abordou a construção histórica do conceito de campo elétrico, considerando as primeiras concepções associadas aos fenômenos de atração eletrostática, assim como as questões que problematizaram a criação deste conceito. Em seguida, realçamos os aspectos culturais no âmbito da criação deste conceito como elementos da cultura.

Os elementos da pesquisa de campo são apresentados no terceiro capítulo – **Organizando a investigação: elementos e instrumentos** – no qual são descritos aspectos metodológicos da pesquisa. A partir dos dados coletados sobre 25 escolas investigadas por VILLATORRE (2004), selecionamos duas turmas de dois professores de escolas distintas para serem objeto de nossa investigação. No contato com estes professores foram identificados os livros de Física nos quais eles estudaram em seus cursos superiores e aqueles que usam para suas atividades didáticas, como livro texto ou como livro de apoio, sobre os quais foi feita uma análise de como o conceito de campo elétrico era apresentado e construído. Essa mesma análise foi também feita com os cadernos dos alunos das turmas dos professores participantes. Ainda, neste capítulo descrevemos os elementos de análise que foram utilizados na investigação.

Os resultados do trabalho de análise com esse material, livros de formação, livros de texto de sala de aula e cadernos, são apresentados no quarto capítulo - **Análise de alguns aspectos da transposição didática e da cultura associados ao conceito de campo elétrico** - onde descrevemos alguns aspectos da cultura e da transposição didática associadas ao conceito de campo elétrico, como: a forma como este conceito se apresenta nos textos analisados, o conhecimento e os saberes a ele

relacionados como um elemento da cultura e outros aspectos inerentes ao conceito de transposição didática.

No quinto capítulo – **O conceito de campo elétrico no âmbito da Ciência Física e da Física Escolar** – concluímos as análises para que nos permitiram identificar alguns aspectos do saber a ensinar e saber ensinado a respeito do conceito de campo elétrico no âmbito da Ciência Física e da Física Escolar.

Finalmente, nas **Considerações finais**, são apresentados aspectos gerais observados durante o desenvolvimento do trabalho, suas limitações e perspectivas de novas investigações, dentre as quais destacamos a mudança da natureza do saber campo elétrico nas esferas do saber e a ausência de um modelo físico para o conceito de campo elétrico.

CAPÍTULO 1 CULTURAS E TRANSMISSÃO DE SABERES

A Escola mantém, ainda hoje, na sua concepção moderna, tradições que perduram desde a sua origem, quando foi institucionalizada. Do universo de tradições que a Escola conserva, dois deles são importantes destacar para esta investigação: *a transformação e a transmissão do conhecimento*. O conhecimento no âmbito escolar foi e é submetido a vários processos educacionais, tais como as práticas escolares e os processos de didatização. A principal finalidade destas ações educacionais é possibilitar a transformação e a transmissão de alguns conhecimentos na forma de saber escolar. Porém, este conhecimento – saber escolar – antes de ser escolarizado, foi previamente ‘eleito’ como um conhecimento que as gerações futuras deverão, não só conhecer, mas também, praticar e garantir a sua existência.

Estes conhecimentos, que são submetidos aos processos didáticos, podem ser entendidos como resultados das inúmeras experiências do homem com o seu meio e da sua relação com os saberes e que permitem que sejam construídos significados nas relações socioculturais e nas criações do homem, constituindo-se assim a Cultura da sociedade na qual está inserido.

1.1 CULTURA

A palavra ‘cultura’ é um termo freqüentemente usado em diversos espaços sociais em que estão presentes ações de natureza sociais, políticas, econômicas e, principalmente, educacionais. Assim encontramos, nos diversos meios e discursos, denominações associando à palavra ‘cultura’ algo como: ‘cultura geral’, ‘cultura popular’, ‘cultura de massa’, ‘cultura escolar’, ‘cultura erudita’, ‘cultura acadêmica’ etc. Também, da mesma forma, é usada para designar as tradições de um povo, como: a ‘cultura indígena’, a ‘cultura européia’, a ‘cultura africana’, a ‘cultura brasileira’, as ‘culturas regionais’ etc. Ainda, podemos ver o emprego deste vocábulo associado ao indivíduo, procurando de alguma forma lhe atribuir um ‘status social’ quanto ao

conhecimento por ele acumulado, ou seja, um homem de ‘pouca cultura’ ou de ‘muita cultura’.

Pode-se assim perceber que a palavra ‘cultura’, amplamente falada e empregada, é usada nas mais diversas formas. Porém, uma compreensão do seu significado, segunda uma construção histórica do conceito, requer uma análise, também histórica da sua constituição na e pela sociedade. Segundo WILLIAMS (1969), no seu livro ‘Cultura e Sociedade’, o seu caráter polissêmico é observado mais na sociedade moderna do que no período em que a sociedade sofreu grandes transformações, como por exemplo, a partir da *Revolução Industrial*. Segundo esse autor, o vocábulo *cultura* significava, originalmente, uma tendência de crescimento natural de alguma coisa, significado que foi mudando no século XIX e que

“veio a significar, de começo, ‘um estado geral ou disposição de espírito’, em relação estreita com a idéia de perfeição humana. Depois, passou a corresponder a ‘estado geral de desenvolvimento intelectual no conjunto da sociedade’. Mais tarde, correspondeu a ‘corpo geral das artes’. Mais tarde ainda, ao final do século, veio a indicar ‘todo um sistema de vida, no seu aspecto material, intelectual e espiritual.’” (WILLIAMS, 1969, p. 18).

Para WILLIAMS as grandes transformações históricas geraram questões que estavam enleadas no significado da palavra *cultura*, resultando num “movimento amplo e geral das idéias e sentimentos”. Para o autor, a *cultura*, neste período, foi “uma resposta aos novos métodos de produção e desenvolvimentos políticos e sociais”, vindo a significar “um estado ou um hábito mental ou, ainda, um corpo de atividades intelectuais e morais; agora, significa também todo um modo de vida.” (*idem*, 1969, p. 19 e 20).

STUART HALL (2003, p. 134 e 135) observa que em *The Long Revolution*, de Raymond Williams, pode-se extrair duas maneiras distintas, dentre outras, de se conceituar a *cultura*. Uma “relaciona cultura à soma das descrições disponíveis pelas quais as sociedades dão sentido e refletem as suas experiências comuns”; outra define a *cultura* como “um modo de vida global”, apoiando-se nas práticas sociais. Para HALL, o grande mérito da discussão é o apoio “nas relações ativas e indissolúveis entre elementos e práticas sociais normalmente isoladas.”. Para ele, “a cultura não é

uma prática; nem apenas a soma descritiva dos costumes e ‘cultura populares’ [*folkways*] das sociedades, como ela tende a se tornar em certos tipos de antropologia. Está perpassada por todas as práticas sociais e constitui a soma do inter-relacionamento das mesmas.” (HALL, 2003, p. 136).

Já PESSANHA et alii³ (2004, p. 62), observam que o termo polissêmico *cultura* é considerado por WILLIAMS⁴ em dois sentidos. Um antropológico/sociológico, “define o modo de vida global e o sistema de significações de um determinado grupo; [o outro] no sentido mais especializado, inclui a produção intelectual e as práticas significativas (artes, linguagem, filosofia, moda, publicidade...)”.

O grupo de pesquisa ‘Professores e Disciplinas Escolares’ da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, ao qual estão ligadas as pesquisadoras e autoras do artigo acima citado, vem pesquisando no “campo conhecido como história das disciplinas escolares desde 1993” (PESSANHA et alii, 2004, p. 57) e enfatizam que a noção do significado do termo ‘cultura’ constitui um elemento fundamental. Asseveram que o conceito de *cultura* concebida pelo grupo, toma-a, “como produto e processo que impõe significado às práticas humanas” (*idem*, 2004, p. 62). Segundo as autoras, este conceito “tem permitido ampliar a visão sobre os bens culturais e seus modos de produção. É nesse sentido, também, que é possível se libertar das visões limitadas que só compreendem como cultura aquela chamada erudita e a feita às belas-artes, em detrimento dos outros modos de expressão.” (*ibidem*).

³ Da história das disciplinas escolares à história da cultura escolar: uma trajetória de pesquisa, publicada na Revista Brasileira de Educação n. 27 em 2004. (2004, p. 62).

⁴ Cultura, Rio de Janeiro, PAZ e Terra (1992).

1.2 AS CULTURAS ESCOLARES

HOBSBAWM⁵, citado por VALDEMARIN (2000, p. 74), coloca a instituição escolar moderna entre as ‘tradições inventadas’ no século XIX que tem como objetivo “inculcar valores e normas de comportamento então nascentes, por meio de um conjunto de práticas, cujos princípios e conteúdos serviram à coesão social e à legitimidade hierárquica”. Corroborando com esse pensamento, PESSANHA et alii (2004, p. 62), ponderam que é a Escola, de fato, um espaço de transmissão de saberes, símbolos e valores, como também um lugar de cultura, de formação e de reprodução dos valores da sociedade.

Numa abordagem sociocultural da Escola, MAFRA (2003), identifica três dimensões culturais presentes nos estabelecimentos escolares: *a Cultura na Escola*, *a Cultura da Escola* e *a Cultura Escolar*. A autora mostra que os estudos que abordam a *Cultura na Escola* têm sido produzidos nos EUA, em países europeus e anglo-saxões e a questão central destes estudos está na descrição das manifestações de uma ou mais culturas no interior da Escola e na análise de suas relações com o instituído da cultura hegemônica. A *Cultura da Escola*, por sua vez, busca dar visibilidade ao que se denomina *ethos* cultural de um estabelecimento escolar, sua marca ou identidade cultural. Assim, o olhar do pesquisador está voltado para os processos mais particulares e contingentes da Escola. Para a autora, a terceira dimensão cultural, a *Cultura Escolar*, busca privilegiar as transformações e impregnações que constituem a vida escolar, como também a trajetória histórica e social de instituições escolares.

⁵ HOBSBAWM, E. e RANGER, T. (Orgs.). A invenção das tradições. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1997.

1.2.1 Cultura escolar: uma breve perspectiva de análise no campo da história da educação no Brasil

Os estabelecimentos escolares parecem ser um espaço privilegiado para a transmissão do conhecimento e valores para um determinado tempo, contribuindo assim para a constituição da cultura escolar, conceito que, a exemplo de outros já mencionados, não é de fácil formulação. Uma análise sobre como esse conceito é mais comumente utilizado pelos pesquisadores e uma síntese das investigações que toma a cultura escolar como perspectiva de análise ou como campo de investigação foi realizado em artigo elaborado por FARIA FILHO et alii (2004, p. 139-159).

Neste artigo, que vamos tomar como uma referência importante, os autores trazem uma significativa síntese dos trabalhos investigativos que vêm sendo realizados pelos pesquisadores da educação brasileira e apresenta um resgate de como o conceito de cultura escolar foi sendo construído como categoria de análise e como campo de investigação⁶.

JULIA⁷, citado por FARIA FILHO et alii (2004, p. 143), afirma que “poder-se-ia descrever a cultura escolar como um conjunto de normas que definem conhecimentos a ensinar e condutas a inculcar, e um conjunto de práticas que permitem a transmissão desses conhecimentos e a incorporação desses comportamentos.”

Também segundo FARIA FILHO et alii (2004, p. 144), CHERVEL “advogava a capacidade da escola em produzir uma cultura específica, singular e original” e também que “a instituição escolar era capaz de produzir um saber específico cujos efeitos estendiam-se sobre a sociedade e a cultura, e que emergia das

⁶ ‘A cultura escolar como categoria de análise e como campo de investigação na história da educação brasileira’, publicado na revista Educação e Pesquisa da USP em 2004. Neste artigo observamos como o conceito de cultura escolar aparece nos trabalhos de D. Julia, A. Chervel, J. C. Forquin e A. V. Frago.

⁷ JULIA, D. A cultura escolar como objeto histórico. Revista Brasileira de História da Educação, Campinas, n. 1, p. 9-44, 2001.

determinantes do próprio funcionamento institucional.” (FARIA FILHO et alii, 2004, p. 145).

Já FORQUIN, *apud* FARIA FILHO et alii (2004, p. 146), “caracterizava a cultura escolar como seletiva, no que concerne à cultura social, e derivada, no que tange à sua relação com a cultura de criação ou invenção das ciências fonte”, enquanto que para FRAGO, *apud* FARIA FILHO et alii (2004, p. 147) a “cultura escolar recobre as diferentes manifestações das práticas instauradas no interior da escola, transitando de alunos a professores, de normas a teorias. Na sua interpretação, englobava tudo o que acontecia no interior da escola.”.

Outro trabalho analisado pelos autores é o artigo de J. M. AZANHA, ‘Cultura escolar brasileira: um programa de pesquisa’, editado na Revista da USP em 1991. Segundo os autores, AZANHA “partia de uma interrogação sobre a crise em educação e propunha um inventário das práticas escolares, de maneira a realizar um mapeamento cultural da escola, atento à sua constituição histórico-social.” (*idem*, 2004, p.141), assim como indagava acerca da eficiência das reformas educacionais e nas problematizações e dava “destaque à função cultural da escola em face da diversidade da clientela, às relações entre saber teórico e saber escolar e as conexões entre vida escolar e reformas educativas.” (*ibidem*).

Com as traduções dos artigos de André Chervel, ‘História das disciplinas escolares: reflexões sobre um campo de pesquisa’, em 1990 e de Jean Claude FORQUIN, ‘Saberes escolares, imperativos didáticos e dinâmicas sociais’, em 1992, pela revista Teoria e Educação, dava-se início, segundo FARIA FILHO et alii (2004, p. 142), “a uma reflexão que atingiria uma gama variada de pesquisas educacionais.”

Além disso, tendo como referência a noção de cultura escolar como categoria de análise ou como campo de investigação, os pesquisadores brasileiros têm desenvolvido estudos de reconhecida importância em história da educação brasileira, levando não somente à aplicação das teorias ou definições criadas por pesquisadores estrangeiros, mas também, a uma grande riqueza de elaboração e criatividade

acentuada nos processos de apropriação, ocorrendo, até mesmo, tentativas de se propor outras definições alternativas àquelas propostas nos textos anteriormente citados (*idem*, 2004, p. 150).

Ainda segundo FARIA FILHO et alii (2004, p. 150 e 151), a área de pesquisa que mais imediata e intensamente tem se utilizado dos diversos pressupostos teóricos subjacentes às diversas interpretações de cultura escolar na história da educação é a da investigação acerca dos saberes e conhecimentos escolares. Estas pesquisas estão voltadas ao menos sobre três grandes focos independentes: “de um lado, há aqueles que se dedicam a investigar os impressos pedagógicos e sua importância como estratégia de difusão de modelos e idéias pedagógicas, analisando também as práticas de apropriação a que tais objetos culturais estão sujeitos (Carvalho, 1991, 1998; Biccas, 2001; Souza, 2001; Catani; Bastos, 1997)” e para a análise das práticas da leitura e da escrita, sejam estas escolares ou não, interrogando desde o seu ensino e disseminação social, até a presença desses saberes e competências na constituição de subjetividades, nos modos de vida e nas diversas maneiras de estruturação dos saberes e poderes em nossa sociedade (Vidal, 2002; Esteves, 2002).”

O segundo foco de estudos, segundo os autores, diz respeito à história do currículo e das disciplinas escolares, onde se podem observar os trabalhos de SOUZA (2000) e BITTENCOURT (2003). E, finalmente, a outra vertente são as práticas escolares, a *materialidade e formalidade* da cultura escolar. “Nessa direção, ganha relevo um número significativo de trabalhos que têm renovado de formas marcantes os estudos sobre os métodos escolares ou pedagógicos no Brasil (Camargo, 1997; Bastos e Faria Filho, 1999; Valdemarin, 1998; Barra, 2001; Inácio, 2003; Schelbauer, 2003; Gonçalves, 2004).”

De acordo com FARIA FILHO et alii (2004, p. 153), a noção de cultura escolar tem proporcionado um requintado aprimoramento metodológico e analítico nas nossas pesquisas e isso demanda estudos cada vez mais fundamentais; isto implica em pesquisas de base no âmbito da história da educação, onde há uma ausência de

pesquisas desta natureza. As práticas escolares constituem o principal foco nos estudos sobre as culturas escolares, tornando-se, portanto, o objeto de dimensão fundamental. É sobre este objeto que o nosso olhar e indagações devem nos levar a perceber as práticas de que o objeto é portador ou que formaliza. No entanto, muitas vezes, estamos lidando mais com exercícios de *prescrição* de práticas do que com práticas no interior da Escola, ou seja, em boa parte estamos lidando mais com culturas prescritas do que com culturas escolares no interior da Escola.

O estudo da cultura escolar, de acordo com PESSANHA et alii (2004, p. 63), é o estudo dos processos e produtos das práticas escolares que admitem a transmissão de conhecimentos e a determinação de condutas circunscritas à Escola. Isso implica analisar a acepção imposta aos processos de transmissão de saberes e inculcação de valores dentro desse espaço, como também, definir a transmissão como elemento principal desse processo.

JULIA⁸, citado por PESSANHA et alii (2004, p. 63), diz que

“a constituição de uma cultura escolar exigiu três elementos essenciais: um espaço específico, cursos graduados em níveis e corpo profissional próprio. Esses elementos constituem a base para a análise das práticas que permitiram a transmissão de conhecimentos e a inculcação de condutas e valores.

A análise da história da cultura escolar fundamenta-se, como qualquer história cultural, na história de três elementos indissociáveis: os objetos em sua materialidade, as práticas e as configurações dos dispositivos e das suas variações. Elementos que podem ser recuperados apenas quando se vai às fontes primárias.

Para analisar a cultura escolar, é preciso analisar o conjunto das normas e práticas definidoras dos conhecimentos que aquela sociedade desejava que fossem ensinados, e os valores e comportamentos a serem impostos. Esses elementos nem sempre são visíveis nos registros oficiais (relatórios, atas, boletins). Muitas vezes, é preciso ler esses registros de forma diferente, além de procurar outros menos formais, como: cadernos, planos de ensino, livros, provas e material didático em geral.”

Segundo CHERVEL⁹, citado por VALDEMARIN (2000, p. 75) “a análise da cultura que a escola transmite aos seus alunos comporta, além da clivagem histórico-social, a análise propriamente pedagógica ou interna, que engloba o programa escolar,

⁸ JULIA, D. A cultura escolar como objeto histórico. Revista Brasileira de História da Educação, Campinas, n. 1, p. 9-44, 2001.

⁹ CHERVEL, A. La Culture Scolaire. Une Approche Historique. Paris : Berlin, 1998.

com as finalidades educativas que lhe são confiadas, o conteúdo aprendido e também objetivos não explicitados, decorrentes dos mecanismos didáticos postos em ação para o ensino, isto é, o modo como os conceitos são aprendidos.” Ainda nos fala a autora VALDEMARIN (2000, p. 77), citando CHEVALLARD¹⁰ que “a análise interna da cultura ensinada na escola, portanto, pode incidir também sobre a formalização de concepções sobre o conhecimento num rol de atividades e de situações de aprendizagem, tarefa à qual se propõem os manuais de ensino e que constitui núcleo da transposição didática.”

1.3 CULTURA ESCOLAR SEGUNDO FORQUIN

Desde o início dos anos 1960, os problemas inerentes à educação e aqueles que se referem à transmissão cultural na Escola, são, segundo FORQUIN (1993), os mais árduos e obscuros. Tal fato se dá porque este conteúdo corresponde ao próprio objeto do processo pedagógico e porque o conteúdo da transmissão cultural perdeu a sua centralização e harmonia, e a cultura geral sua forma e substância.

Segundo o autor, questões fundamentais que justificam a transmissão cultural escolar são sufocadas ou esquecidas, tornando esta função de difícil identificação. Porém, a sua elucidação é uma tarefa difícil que vale a pena ser perseguida para que se possa conhecer os fundamentos e as implicações culturais da educação. (FORQUIN, 1993, p. 9 e 10).

1.3.1 O caráter semântico do conceito de cultura

A educação e a cultura possuem relações íntimas e orgânicas que se estendem desde o universo do indivíduo, passando pelo âmbito social, alargando-se além das fronteiras políticas, geográficas e culturais. Em qualquer esfera em que se

¹⁰ CHEVALLARD, Y. La Transposition Didactique, du savoir savant au savoir enseigné. Grenoble: La Pensée Sauvage, 1985.

queira analisar estas relações, o vocábulo ‘educação’, como diz FORQUIN (1993, p. 10), quer seja entendido no sentido amplo da formação e socialização do indivíduo ou no sentido restrito do domínio escolar, significa, necessariamente, educar alguém por alguém, supondo ainda condição necessária a comunicação, a transmissão e a aquisição de conhecimentos, competências, crenças, hábitos, valores que constituem o ‘conteúdo’ da educação.

Para este autor, o

“fato de que este conteúdo parece irredutível ao que há de particular e de contingente na experiência subjetiva ou intersubjetiva imediata, constituindo, antes, a moldura, o suporte e a forma de toda experiência individual possível, devido, então, a que este conteúdo que se transmite na educação é sempre alguma coisa que nos precede, nos ultrapassa e nos institui enquanto sujeitos humanos, pode-se perfeitamente dar-lhe o nome de **cultura** [grifo nosso].” (*idem*, 1993, p. 10).

De acordo com FORQUIN (1993, p. 11), o termo cultura em seu espectro semântico estabelece uma “tensão entre uma faceta individual e uma faceta coletiva, um pólo normativo e um pólo descritivo, uma ênfase universalista e uma ênfase diferencialista”. Por outro lado, para FORQUIN, na outra “extremidade do campo semântico desta palavra, encontramos, ao contrário, a acepção puramente descritiva e objetiva desenvolvida pelas ciências sociais contemporâneas: a cultura considerada como o conjunto dos traços característicos do modo de vida de uma sociedade, de uma comunidade ou de um grupo, aí compreendidos os aspectos que se podem considerar como os mais cotidianos, os mais triviais ou os mais ‘inconfessáveis’.” (1993, p. 11).

Segundo o autor, alguns aspectos da cultura dão lugar a uma determinada transmissão mais ou menos institucionalizada, enquanto que outros se constituem em objetos de aprendizagens informais e outros são esquecidos pelas gerações. Portanto, falar de transmissão cultural supõe-se uma idéia de permanência (ao menos relativa) e de valor ou excelência.

Para ele, a palavra ‘cultura’ no âmbito da transmissão cultural significa, fundamentalmente,

“um patrimônio de conhecimentos e de competências, de instituições, de valores e símbolos, constituído ao longo de gerações e característicos de uma comunidade humana particular, definida de modo mais ou menos amplo e mais ou menos exclusivo. Sendo obra coletiva e bem coletivo objetivável, este patrimônio distingue-se da cultura no sentido subjetivo e ‘perfectivo’, ele não é monopólio do ‘homem cultivado’”. (*idem*, 1993, p. 12).

Entendida como herança coletiva, patrimônio intelectual e espiritual, a cultura “transcende necessariamente as fronteiras entre grupos humanos e os particularismos mentais e advém de uma memória comum e de um destino comum a toda humanidade”, podendo mesmo ser entendida como um “estado especificamente humano, o próprio fato de ser humano, isto é, aquilo pelo qual o homem distancia-se da natureza e distingue-se especificamente da animalidade” (*ibidem*).

Dessa forma, para ele,

“toda reflexão sobre a educação e a cultura pode assim partir da idéia segundo a qual o que justifica fundamentalmente, e sempre, o empreendimento educativo é a responsabilidade de ter de transmitir e perpetuar a experiência humana considerada como cultura, isto é, não como soma bruta (e aliás inimputável) de tudo o que pode ser realmente vivido, pensado, produzido pelos homens desde o começo dos tempos, mas como aquilo que, ao longo dos tempos, pôde acender a uma existência ‘pública’, virtualmente comunicável e memorável, cristalizando-se nos saberes cumulativos e controláveis, nos sistemas de símbolos inteligíveis, os instrumentos aperfeiçoáveis, nas obras admiráveis. Neste sentido pode-se dizer perfeitamente que a cultura é o conteúdo substancial da educação.”(*idem*, 1993, p. 13 e 14).

Tendo a cultura como conteúdo substancial da educação e a ênfase da função de conservação e de transmissão culturais da educação, como diz FORQUIN (1993, p. 14,15), há sempre uma seleção no interior da cultura e uma re-elaboração dos conteúdos designados para serem transmitidos às gerações. Isto implica dizer que a educação não transmite *a cultura*, ou *uma cultura*; a educação transmite, no máximo, *algo* da cultura, elementos da cultura que podem ser oriundos de distintas fontes e épocas diferentes, obedecendo a regras próprias e mecanismos de legitimação específicos.

Certamente é importante perguntar, como fala FORQUIN, “quais são os determinantes, os mecanismos, os fatores desta seleção cognitiva e cultural que faz com que uma parte da herança humana é assim mantida ‘a salvo do esquecimento’, de

geração a geração, enquanto que o resto parece consagrado ao sepultamento definitivo.” (*idem*, 1993, p. 15).

Outro fator relevante para ele é o fato de que no interior da cultura os conteúdos culturais considerados como patrimônio intelectual e espiritual, ‘eleitos’ para serem preservados e transmitidos não são totalmente incorporados na educação escolar e compõem “senão um espectro estreito dos saberes, de competências, de formas de expressão, de mitos e de símbolos sociais mobilizadores.” (*idem*, 1993, p. 16). Ainda diz o autor, “a educação escolar não se limita a fazer uma seleção entre os saberes e os materiais culturais disponíveis num dado momento, ela deve também, para torná-los efetivamente transmissíveis, efetivamente assimiláveis às jovens gerações, entregar-se a um imenso trabalho de reorganização, de reestruturação, ou de ‘transposição didática’.” (*idem*, 1993, p. 16).

1.3.2 A seleção cultural dos conteúdos

WILLIAMS¹¹, citado por FORQUIN (1993, p. 37), ao abordar a questão da transformação do sistema educativo britânico ao longo dos anos 1960, pondera que dentre os fatores que interferem na organização e seleção dos conteúdos escolares, um que merece especial atenção se refere àqueles relacionados à cultura, fazendo com que o conceito de seleção cultural ocupe uma posição central nessa sua ‘tese’. Discutindo essa argumentação, FORQUIN (1993, p. 37) diz parecer nela existir uma ambigüidade em relação ao entendimento de cultura. Para este autor,

“Williams nos diz que os conteúdos do ensino são o produto de uma seleção efetuada no seio da cultura. Isto significa que não se ensina tudo o que compõe uma cultura, e que toda educação realiza uma combinação particular de ênfases sobre alguma coisa de omissões de algumas outras coisas. Nesta perspectiva, a cultura é considerada como um repertório, um fundo, um tesouro no interior do qual a educação efetua, de certo modo, extratos para fins didáticos. A cultura é, neste sentido, o objeto de seleção, o material de e para a seleção.” (*idem*, 1993, p. 37).

¹¹ WILLIAMS, R. (1961): *The Long Revolution*, Londres, Chatto and Windus (reed. Harmondsworth, Penguin Books, 1963).

Continuando, ainda, FORQUIN (1993, p. 38) escreve:

“mas Williams nos diz também que esta seleção operada no interior da cultura, para e pelo o ensino, corresponde a princípios e a escolhas culturais fundamentais, ligadas, aliás, às escolhas sociais que governam a organização política do sistema educativo. Assim a cultura não é mais somente o repertório, o material simbólico, no interior do qual se efetua a escolha das coisas ensinadas, ela é também o princípio dinâmico, o impulso, o esquema gerador da escolha do ensino. É exatamente esta, parece, a ambivalência da noção de ‘seleção cultural escolar’, que significa, ao mesmo tempo, seleção na cultura e seleção em função da cultura.”

Relacionado a essa problemática, uma questão levantada por JOHN EGGLESTON¹², citado por FORQUIN (1992, p. 31), diz respeito à forma como se pode efetuar a seleção de um currículo, haja vista o número quase ilimitado de combinações possíveis geradas pelos diversos matizes culturais. Respondendo a essa questão, DENIS LAWTON¹³, *apud* FORQUIN (*ibidem*), pondera que

“certos tipos de conhecimento, certas atitudes e certos valores são considerados, na verdade, como tendo suficiente importância para que sua transmissão à geração seguinte não seja deixada ao acaso em nossa sociedade, mas seja confiada a profissionais especialmente formados (os docentes) no contexto de instituições complexas e custosas (as escolas).

Mas nem tudo aquilo que constitui uma cultura é considerado como tendo uma tal importância, e, de todo modo, dispomos de um tempo limitado; por isso *uma seleção* é necessária. Diferentes escolas podem fazer diferentes tipos de seleção no interior da cultura. Os docentes podem ter hierarquias de prioridades divergentes, mas todos os docentes e todas as escolas fazem seleções de um tipo ou de outro no interior das culturas. Proponho utilizar o termo currículo para designar essas seleções.”

Neste sentido, FORQUIN evidencia

“a questão de saber quais são estes aspectos da cultura, quais são estes conhecimentos, estas atitudes, estes valores que justificam as despesas de toda a natureza que supõe um ensino sistemático e sustentado por um aparelho institucional complexo. Uma sociologia comparada dos programas escolares revela certamente o caráter instável, aleatório e numa certa medida arbitrária da demarcação entre o que pode ou deve ser transmitido num certo contexto altamente institucionalizado do tipo escolar, e o que pode ser aprendido ou adquirido em outros contextos, de acordo com as ocasiões e os acasos da vida.” (*ibidem*).

Para ele, além disso,

¹² EGGLESTON, J. *The sociology of the school curriculum*. Londres: Routledge and Kegan Paul, 1977, p. 22.

¹³ LAWTON, D. *Class, culture and the curriculum*. Londres: Routledge and Kegan Paul, 1975, p.6.

“a escola é também um mundo ‘social’, que tem suas características de vida próprias, seus ritmos e seus ritos, sua linguagem, seu imaginário, seus modos próprios de regulação e de transmissão, seu regime próprio de produção e de gestão de símbolos. E esta ‘cultura da escola’ (no sentido em que se pode também falar da ‘cultura da oficina’ ou da ‘cultura da prisão’) não deve ser confundida tampouco com o que se entende por ‘cultura escolar’, que se pode definir o conjunto dos conteúdos cognitivos e simbólicos que, selecionados, organizados, ‘normalizados’, ‘rotinizados’, sob o efeito dos imperativos de didatização, constituem habitualmente o objeto de uma transmissão deliberada no contexto das escolas.” (*idem*, 1993, p. 167).

Segundo FORQUIN, “uma das características morfológicas essenciais do saber escolar é sua organização sob a forma de matérias (disciplinas) de ensino dotadas de uma forte identidade institucional e entre as quais existem fronteiras bem nítidas” (1992, p. 37). Os saberes escolares são

“produtos de um processo contínuo de seleção e de elaboração didática, os saberes escolares apresentam-se como um universo no interior do qual existem não apenas diferenciações funcionais (segundo os tipos e os níveis de ensino, os ramos, as matérias), mas também fenômenos de hierarquização ou ‘estratificação’, que constituem hoje um motivo de reflexão privilegiada para os sociólogos do currículo.” (*idem*, 1992, p. 41).

Há de se perguntar, como fez FORQUIN (1992, p. 37), se esta compartimentação corresponde a necessidades epistemológicas e didáticas ou se ela resulta de motivações sociais.

Segundo o autor, os saberes são intensamente marcados pelo modo exclusivamente escolar de distribuição do tempo, ou seja, “a organização dos estudos por anos e a repetição das atividades no interior do ano, a duração dada a seqüência do curso, o ritmo de exercícios e de controle etc.” (*idem*, 1992, p. 33).

Para ele, a cultura escolar é considerada

“como uma ‘cultura segunda’ com relação à cultura de criação ou de invenção, uma cultura derivada e transposta, subordinada inteiramente a uma função de mediação didática e determinada pelos imperativos que decorrem desta função, como se vê através destes produtos e destes instrumentos característicos constituídos pelos programas e instruções oficiais, manuais e materiais didáticos, temas de deveres e de exercícios, controles, notas, classificações e outras formas propriamente escolares de recompensas e de sanções.” (*ibidem*).

Para FORQUIN “a educação escolar não se limita a fazer uma seleção entre saberes e os materiais culturais disponíveis num momento dado numa sociedade. Ela

deve também, a fim de torná-los efetivamente transmissíveis, efetivamente assimiláveis para as jovens gerações, se entregar a um imenso trabalho de reorganização, de reestruturação, de ‘transposição didática’.” (*idem*, 1992, p. 32).

Segundo as implicações dos imperativos didáticos, por exemplo, as questões de transposição didática, segundo FORQUIN, “não permitem dar conta de certos aspectos mais específicos dos saberes escolares enquanto objetos de ensino.” (*idem*, 1992, p. 34). Assim, o mesmo autor indaga “se de fato todos os saberes ensinados nas escolas não são verdadeiramente senão o resultado de uma seleção e de uma transposição efetuadas a partir de um corpo cultural pré-existente, e se não se pode considerar a escola como sendo também verdadeiramente produtora ou criadora de configurações cognitivas e de habitus originais que constituem de qualquer forma o elemento nuclear de uma cultura escolar *sui generis*.” (*idem*, 1992, p. 34,35).

1.4 TRANSPOSIÇÃO DO SABER

Entendendo a Escola como espaço das manifestações culturais (MAFRA, 2003, p. 125-129) e, também, como local de gestão e transmissão de saberes e símbolos (FORQUIN, 1993, p. 167), podemos identificar a cultura e os seus elementos – os saberes – como um dos principais ‘protagonistas’ neste contexto. Assim, considerando a transmissão do conhecimento produzido pela humanidade uma das principais funções sociais da Escola, observa-se que, para que esta transmissão seja possível é necessário que este conhecimento seja apresentado de maneira que possa ser aprendido pelos alunos. No entanto, para o mesmo conhecimento há distinção entre o que é produzido e o que é apresentado aos alunos, o que implica na aceitação da existência de processos transformadores que o modifica. (ALVES FILHO et alii, 2001, p. 78). Neste âmbito, a Escola desempenha o seu papel de reorganizar e reestruturar os

saberes selecionados para torná-los efetivamente ensináveis (FORQUIN, 1992), ou como afirma CHEVALLARD¹⁴ (1991), de serem transformados em ‘saber ensinado’.

De fato,

“uma transferência direta do saber científico para a sala de aula, tendo a física como referência, traz uma impossibilidade associada ao seu grau de complexidade. O saber escolar não abarca a totalidade de notas que caracterizam cientificamente um dado conceito, nem o conjunto dos nexos relacionais das estruturas teóricas. O que vai ocorrer então é uma forma de seleção e transformação desse saber, conforme (principalmente) as finalidades oriundas de fatores sociais e culturais, em geral, e também das limitações do processo de aprendizagem.” (WOU, 2000, p. 26).

Quando o professor prepara as suas aulas, geralmente tem como referência os livros didáticos dirigidos ao respectivo grau de ensino que leciona. No entanto, há na maioria das vezes uma *diferença* entre o tratamento dado em seus apontamentos para as aulas e o tratamento feito pelos livros didáticos mais utilizados. (ALVES FILHO et alii, 2001, p. 77). Estes conteúdos de ensino “não são apenas simplificações dos conteúdos das ciências de referência. Ao ser transposto para o contexto escolar, determinados elementos deste conhecimento desaparecem e outros são criados. Este processo de transformação resulta num conhecimento descaracterizado e descontextualizado.” (PIETROCOLA et alii, 2000, p. 102).

Entretanto, PIETROCOLA et alii salientam que há uma interpretação ingênua de que os conteúdos escolares de ciências são simplificações do conhecimento produzido pelos cientistas. Segundos estes autores, CHEVALLARD¹⁵ (1985) mostrou que “os objetos designados a ensinar não poderiam ser analisados como uma

¹⁴ “Yves Chevallard é um didata francês do campo do ensino das matemáticas (...). Sua publicação mais difundida no Brasil é a tradução para o espanhol e o original em francês do livro *La Transposition Didactique*, uma versão ampliada da primeira edição francesa de 1985. (...) Na segunda edição de 1991, Chevallard atualiza esse texto e acrescenta um estudo de caso, desenvolvido em parceria com Marie-Alberte Joshua, intitulado *Um exemplo de análise de transposição didática*, onde a trajetória da noção matemática de distância é investigada, desde a sua proposição pelo matemático francês Maurice Fréchet, em 1906, até a sua incorporação, em 1971, ao sistema de ensino fundamental francês.” (LEITE, p. 45, 46, 2004).

¹⁵ DUPIN, J. J., JOHSUA, S. (1993). *Introduction à la didactiques des sciences et des mathematiques*. Paris : PUF.

simplificação de objetos mais complexos, originados na comunidade dos cientistas. Eles são o resultado de uma construção qualitativamente diferente”. (*ibidem*).

A noção de transformar um objeto em objeto de ensino, quando se tem a intenção de ensiná-lo, é um tema presente na tese do sociólogo francês Michel Verret. Citado por FORQUIN (1992, p. 33), VERRET¹⁶ diz que “toda prática de ensino de um objeto pressupõe a transformação prévia deste objeto em objeto de ensino”. CHEVALLARD, por sua vez, coloca que “toda ciência deve assumir, como primeira condição, pretender ser ciência de um *objeto*, de um objeto real, cuja existência independe de como o transformará em objeto do conhecimento.” (CHEVALLARD, 1991, p.12). É segundo esta concepção da transformação do saber para torná-lo apto a ser ensinado que é constituído o conceito de transposição didática.

Oriundo do campo da didática das matemáticas, o conceito de transposição didática foi formalizado por Yves Chevallard e Marrie-Alberte Johsua¹⁷ num artigo sobre a noção matemática de distância. Os autores analisaram as transformações que o conceito de distância na matemática sofreu, desde a ocasião de sua inserção por Fréchet em 1906, até o momento de sua introdução nos programas de geometria da Educação Básica na França, em 1971.

“Em outras palavras, este exemplo mostra que a designação de um elemento do saber sábio como objeto de ensino modifica-lhe muito fortemente a natureza, na medida em que se encontram deslocadas as questões que ele permite resolver, bem como a rede relacional que mantém com os outros conceitos. Existe assim, uma ‘epistemologia escolar’ que pode ser distinguida da epistemologia em vigor nos saberes de referência.” (ASTOLFI e DEVELAY, 1995, p. 48).

Para Astolfi e Develay,

“três pontos de vistas devem ser considerados para dar conta de tais mudanças de estatuto epistemológico do saber sábio:

- a) explicam-se inicialmente pelo afastamento entre a lógica de exposição dos resultados e as modalidades da descoberta, do qual participam os cientistas já na ocasião das

¹⁶ VERRET, M. Le temps des études, Lille, Atelier de reproduction des thèses, v. 2, 1975.

¹⁷ CHEVALLARD, Y. ; JOHSUA, M. A. Um exemplo de análise da transposição didática: a noção de distância. Recherches em didactique des mathématiques, vol. 3.1, Grenoble, La Pensée Sauvage, 1982.

- comunicações a seus colegas. É o que se pode chamar de ‘efeito de reformulação’;
- b) correspondem também as posições epistemológicas dominantes, ligadas ao imperialismo fatural da observação e ao poder do empirismo como ‘filosofia espontânea dos sábios’. É sobre esse ponto que uma vigilância particular é conveniente para evitar os reescritos abusivos e incitar a volta freqüente às publicações originais. É esta faceta negativa da transposição que pode ser mais precisamente chamada de ‘processo de dogmatização’;
 - c) devem ser compreendidos igualmente como a inevitabilidade da transposição didática. Os historiadores da educação nos ensinaram, de fato, que o valor intrínseco de um conteúdo nunca é suficiente para fundar sua inserção didática, mas esta depende também de um projeto educativo que conduz a uma seleção dentre as várias possibilidades.

Pois a escola nunca ensinou saberes (‘em estado puro’, é o que se deseja dizer), mas sim conteúdos de ensino que resultam de cruzamentos complexos entre uma lógica conceitual, um projeto de formação e existências didáticas”. (*idem*, 1995, p. 51).

1.4.1 As esferas do saber

Na teoria da transposição didática, Chevallard considera três importantes instâncias em que os saberes são constituídos e/ou transformados, por ele denominadas de esferas do saber sábio, do saber a ensinar e do saber ensinado.

A esfera do saber sábio

Nesta esfera “o grupo é constituído de intelectuais e cientistas, sejam jovens ou antigos, com ou sem conflitos teóricos, vinculados a esta ou àquela escola de pensamento, mas todos pertencem ao mesmo nicho epistemológico em que ocorre a produção do saber.” (ALVES FILHO et alii, 2001, p. 81).

O saber sábio é gerado no âmbito da academia. É o saber produzido pelas pesquisas realizadas pelos cientistas, publicados em periódicos e que circulam nos meios e sociedades acadêmicas.

A esfera do saber a ensinar

Nesta esfera os componentes predominantemente são: autores dos livros ou manuais didáticos ou aqueles que emprestam o nome como responsável por uma publicação dirigida a estudantes; especialistas da disciplina ou matéria; professores (não cientistas) e opinião pública em geral, que influencia de algum modo o processo de transformação do saber. Das esferas é a mais eclética e diversificada na composição de suas personagens, não por ser de caráter democrático, mas pela defesa de interesses próprios. (*ibidem*).

Quanto a este saber, é criado no ambiente não escolar e nem acadêmico, onde sofreu transformações adaptativas por um grupo de especialistas para que possa ser ensinado. São os saberes dos livros textos ou manuais didáticos e os programas curriculares.

Segundo ALVES FILHO, “o saber a ensinar é produto organizado e hierarquizado em graus de dificuldade, resultante de um processo de total descontextualização e degradação do saber sábio. Enquanto o saber sábio apresenta-se ao público através das publicações científicas, o saber a ensinar faz-se por meio dos livros-textos e manuais de ensino.” (ALVES FILHO, 2000, p. 179).

Para PIETROCOLA et alii, muitos aspectos concorrem para a definição do saber a ensinar, mas pode-se identificar que ele é definido pela possibilidade de um controle social e legal da aprendizagem (PIETROCOLA et alii, 2000, p. 103). Segundo estes autores,

“o conteúdo nele presente deve atender aos seguintes requisitos:

- ser potencialmente ensinável, ou seja, pelo menos teoricamente, poder ser aprendido pelo aluno a que se destina. Para o atendimento deste requisito são levadas em consideração a faixa etária dos alunos, a especificidade do curso e da disciplina escolar dos quais fará parte;
- possibilitar a elaboração de objetivos de ensino, de exercícios, avaliações ou trabalhos práticos (Pinheiro, 1996).” (*ibidem*).

A esfera do saber ensinado

É nesta instância que se destaca a participação do professor como elemento mediador entre o conhecimento e o aluno. Aqui é importante destacar que nessa esfera ocorre o processo de seleção dos saberes que irão ser ministrados aos alunos. O professor e a Escola têm autonomia suficiente para decidir quais conteúdos deverão ser abordados em cada série, como também, decidir quais as obras didáticas que servirão de referência no desenvolvimento das aulas. (ROSA e ROSA, 2005, p. 8).

Segundo Pietrocola et alii, para esta esfera concorrem, principalmente, os grupos vinculados à comunidade escolar, como os diretores, os proprietários de estabelecimentos de ensino, os supervisores e orientadores educacionais, a comunidade dos pais e os professores. (PIETROCOLA et alii, 2000, p. 103).

Portanto, o saber ensinado é criado no âmbito escolar. É o saber produzido pelo professor quando na preparação de seus textos ou ‘notas’ de aula. Porém, Alves Filho et alii chama a atenção para a transposição didática do saber sábio para o saber a ensinar, onde argumenta a destinação deste saber para dois grupos de docentes distintos: os professores universitários e os professores da Educação Básica. Segundo os autores

“a Transposição Didática do *saber sábio* para o *saber a ensinar* apresenta, como resultado concreto, os livros didáticos e manuais de ensino, dirigidos particularmente aos estudantes universitários, futuros profissionais, que devem ser familiarizados com o contexto do *saber sábio* e suas aplicações, dentro do tempo didático estipulado pela estrutura escolar. (...) Por outro lado, encontramos no ensino secundário outro espaço escolar que, além dos interesses próprios e diferenciados daqueles do ensino universitário, tem outras regras e fontes de influência. Em primeiro lugar, vamos encontrar, para essa população, livros e manuais didáticos que não foram alvo de uma Transposição Didática ‘de fato’, mas que são apenas produto de uma ‘simplificação’ do conteúdo pertencente ao *saber a ensinar*. Em segundo lugar, a simplificação ocorre na linguagem utilizada e se estende aos recursos matemáticos utilizados, tanto na conceituação, como nas eventuais demonstrações matemáticas.” (ALVES FILHO et alii, 2001, p. 84,85).

Os autores citam, ainda, um comentário de CARVALHO¹⁸:

“... exemplo que pode ilustrar a reformulação, a dogmatização e a transposição de um elemento do *saber sábio* para o conteúdo físico escolar pode ser encontrado na maioria dos livros didáticos destinados à 1ª série do ensino médio, quando trataram das leis de Newton. A 2ª Lei foi formulada originalmente por Newton, definindo força como a derivada temporal da quantidade de movimento [$\mathbf{F} = d\mathbf{p}/dt$ (negrito é vetor)], ou numa linguagem mais apropriada ao ensino do 2º grau, como a variação do vetor quantidade de movimento com relação à variação do tempo ($\mathbf{F} = \Delta\mathbf{p}/\Delta t$). Entretanto, na maioria dos livros, ela é apresentada como sendo $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$, que é a estrutura elaborada por Euler quase um século depois de Newton.” (*idem*, 2001, p. 85).

Para CHEVALLARD, “o saber que produz a transposição será, portanto, um saber exilado de suas origens e separado de sua própria produção histórica na esfera do saber sábio, legitimando-se, enquanto saber ensinado, como algo que não é de nenhum tempo e lugar, ao invés de legitimar-se mediante o recurso à autoridade de um produto...” (CHEVALLARD, 1991, p. 18). Assim, para o mesmo autor, ao “saber ensinado supõe um processo de naturalização que lhe confere a evidência incontestável das coisas naturais; sobre esta natureza ‘dada’, a escola espera agora sua jurisdição, fundadora de valores que, de agora em diante, administra a ordem didática.” (*ibidem*).

Para um melhor entendimento do papel dos diversos atores no processo da transposição didática, PERRET-CLERMONT¹⁹ et alii, citados por ALVES FILHO et alii (2001, p. 90), elaboraram um quadro “que apresenta os três saberes e os atores principais responsáveis pela sua elaboração; as personagens das várias esferas e suas funções básicas no processo da Transposição Didática; as atividades cognitivas de cada grupo e as fontes de pressão a que estão sujeitos” e que reproduzimos a seguir, tal qual se encontra no texto:

¹⁸ PINHEIRO, T. de F. Aproximação entre a ciência do aluno na sala de aula da 1ª série do 2º grau e a ciência dos cientistas: uma discussão. Florianópolis, 1996. Dissertação (mestrado em Educação) – CED, UFSC.

¹⁹ PERRET-CLERMONT et al. (apud Astolfi, et al. p. 180, 1997).

QUADRO 1.1 PERSONAGENS DAS VÁRIAS ESFERAS E SUAS FUNÇÕES BÁSICAS NO PROCESSO DA TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA

	Saber sábio	Saber a ensinar	Saber ensinado
Atores principais	Pesquisadores	Autores de livros	Professores
Grupos sociais de referência	Colegas atuais e antigos, com suas: <ul style="list-style-type: none"> • 'escolas'; • correntes de pensamentos; • publicações. 	<ul style="list-style-type: none"> • Autores; • Especialistas da disciplina; • Professores; • Opinião pública. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alunos; • Estabelecimentos escolares e seu meio social; • Pais dos alunos; • Supervisores escolares.
Focos de suas atividades (a que se dedicam)	<ul style="list-style-type: none"> • Manter o debate científico em um dado ramo do saber; • Avanços de conhecimento da área do saber (disciplina). 	<ul style="list-style-type: none"> • Colocar à disposição elementos recentes do saber, de documentos originais etc; • Transformação do saber em proposições de atividades de aula, exercícios, problemas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Transmitir os conceitos básicos; • Reconhecer as dificuldades do 'trabalho de ensinar'; • Manter a comunicação didática; • Escolher e organizar a seqüência do saber.
Atividade cognitiva dos atores (produção científica)	<ul style="list-style-type: none"> • Trabalhar no aprofundamento de conhecimentos; • Resolver problemas e provar (demonstrar) as soluções a seus pares. 	<ul style="list-style-type: none"> • Integrar o conhecimento novo ao saber existente; • Simplificar o saber e procurar a melhor maneira de expô-lo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Selecionar para cada conteúdo os exercícios para fazer; • Decidir sobre a melhor forma de avaliar (não muito fácil, não muito difícil, interessante, mas séria).
Fonte de 'pressão' em suas atividades	<ul style="list-style-type: none"> • Competição científica e carreira; • Necessidade de publicar e fazer comunicações em congressos; • Justificar o horário (período) dedicado à pesquisa. 	<ul style="list-style-type: none"> • Competição e obrigações editoriais; • Currículos, conteúdos programáticos, programas escolares; • Controle mútuo entre os autores. 	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliações posteriores: de nível para nível escolar, vestibular etc; • Obrigações com o tempo didático; • Adequação às normas escolares estabelecidas (julgamento da direção, dos pais dos alunos, da supervisão.).

Fonte: A. N. Perret-Clermont et al., 1982, modificada.

1.4.2 Os sistemas e a noosfera

No processo da transposição didática o saber passa por transformações e adaptações em determinados momentos e isto ocorre em esferas distintas, como acabamos de ver. No entanto, Chevallard definiu regiões ou sistemas onde operam os atores partícipes do processo transpositivo, a saber: o sistema didático, o sistema de ensino e a noosfera.

Sistema didático

O sistema didático é constituído por três elementos: professor–saber–aluno e suas inter-relações. “São formações que ocorrem anualmente em torno do saber, formando-se um contrato didático que toma esse saber como objeto de um projeto compartilhado de ensino e aprendizagem e que unem em um mesmo lugar professores e alunos”. (CHEVALLARD, 1991, p. 27).

Sistema de ensino

“O entorno imediato de um sistema didático está constituído inicialmente pelo *sistema de ensino* que reúne o conjunto de sistema didático e tem ao seu lado um conjunto diversificado de dispositivos estruturais que permite o funcionamento didático e que intervém nele em diversos níveis.” (*ibidem*).

Noosfera

Para Chevallard, a noosfera é o espaço onde os representantes dos sistemas de ensino encontram-se, diretamente ou indiretamente, com os representantes da sociedade. É onde se opera a interação entre o sistema de ensino *stricto sensu* e o entorno. “A noosfera é o centro operacional do processo de transposição didática que traduzirá em fatos a resposta ao desequilíbrio criado e comprovado...” (*idem*, 1991, p. 34).

É, ainda de acordo com Chevallard, “uma instância essencial para o funcionamento didático”. É onde “se encontram todos aqueles que, no entanto, ocupam os postos principais do funcionamento didático, enfrentam-se com os problemas que surgem do encontro com a sociedade e suas exigências; ali se desenvolvem os conflitos, ali se levam a cabo as negociações, ali maduram as soluções.” (*idem*, 1991, p. 28 a 34).

Ainda sobre o papel da noosfera nas transformações sofridas pelo saber sábio, assim se expressam ALVES FILHO et alii:

“as transformações a que o *saber sábio* é submetido – ao se despir de seu contexto epistemológico e histórico particular, de sua linguagem original e sua validade compartilhada pela comunidade específica, para ressurgir em nova roupagem, organização a-histórica, novo nicho epistemológico e de validade dogmatizada universalmente – são determinadas pela comunidade dos componentes de parte da noosfera. Aliás, os componentes da noosfera não só determinam as transformações mas também determinam **o que do *saber sábio* deve ser alvo de transformações** [grifo do autor].” (ALVES FILHO et alii, 2001, p. 82, 83).

1.4.3 A Transposição Didática

“Um conteúdo do saber que tenha sido designado como saber a ensinar sofre, a partir de então, um conjunto de transformações que vão torná-lo apto para ocupar um lugar entre os *objetos de ensino*. O ‘trabalho’ que transforma um objeto do saber a ensinar em um objeto de ensino, é denominado de transposição didática.” (CHEVALLARD, 1991, p. 45).

Para GABRIEL (2001), o conceito de transposição didática surge para explicar o processo obrigatório da transformação do saber. Se de um lado, o termo ‘transposição’ não traduz bem a idéia de transformação, de outro, tem o mérito de pressupor, logo de saída, o reconhecimento de um distanciamento obrigatório entre os diferentes saberes, o que não deve, de forma alguma, ser minimizado.

Para LEITE (2004, p. 52), o resultado desse distanciamento não é a depreciação do saber escolar, mas o reconhecimento de sua especificidade epistemológica, ou seja, “o conjunto de questões às quais um determinado saber busca responder, isto é, sua problemática, é necessariamente diferenciado em contextos com demandas igualmente diferenciadas, como o são os contextos de produção dos saberes e os contextos das relações didáticas.”

O objetivo da transposição didática é transformar em objetos de ensino o saber científico designado para ser ensinado. Segundo CHEVALLARD (1991, p. 25),

“a transposição didática se faz necessária porque o funcionamento didático do saber é distinto do funcionamento acadêmico, porque há dois regimes do saber inter-relacionados, porém não superpostos.”

Para CHEVALLARD (1991, p. 29-31), o sistema de ensino é possível se houver uma compatibilidade com o seu entorno. Em relação ao saber existe uma dupla condição, ou seja, o saber ensinado não deve estar distante do saber sábio e nem próximo do saber dos ‘pais’ – um saber banalizado na sociedade. Neste sentido é importante registrar que uma distância inadequada poderá levar ao questionamento da legitimidade do ensino, e que uma distância adequada do saber ensinado aos saberes sábio e banalizado, com o passar do tempo, vai aos poucos se deteriorando. O saber ensinado se gasta e envelhece, tendo como resultado a incompatibilidade do sistema de ensino com o seu entorno. Para que a compatibilização seja restabelecida, instaura-se uma corrente de saber que se origina no saber sábio, sendo esta a origem do processo da transposição didática.

A transposição didática, de acordo com CHEVALLARD (1991, p. 36), ocorre em dois níveis: *externo* e *interno*. A transposição didática interna ocorre quando o professor se ‘apropria’ do saber a ensinar e o transforma em saber ensinado, e possibilita que o aluno dele se ‘aproprie’. Este domínio da transposição didática é fortemente determinado pelo professor. O saber a ser ensinado, através da ação da Escola e do professor pode ser selecionado segundo critérios determinado por esses atores.

Quando, por exemplo, o professor prepara o seu texto ou desenvolve uma lição, ele está trabalhando no domínio da transposição didática, mas não está realizando de fato a transposição didática, pois a mesma há tempos já foi iniciada. “Quando os programas são preparados, conformados e adquirem força de lei, começa outro trabalho: o da transposição didática *interna*. Alguns dos mais belos achados da *noosfera* não resistem a essa prova.” (*idem*, 1991, p. 44).

A transposição didática externa, por sua vez, ocorre fora do contexto escolar, na noosfera. Ela está relacionada ao saber sábio e ao saber a ensinar, quando transforma em objetos de ensino elementos do saber designado a ensinar.

Se questionarmos acerca do saber científico, ou seja, quem o produz e onde se produz, teremos como resposta os cientistas ou pesquisadores, sendo o local de produção os institutos de pesquisa, as universidades etc. Assim, o saber escolar e o saber dos cientistas possuem entre si diferenças de natureza epistemológica. São saberes produzidos em contextos diferentes, por atores e com objetivos distintos. Isto implica numa distância entre os dois saberes e mais ainda, dizem respeito à sua gênese, filiação e legitimidade.

Portanto, para uma análise desses saberes, de acordo com CHEVALLARD (1991, p. 16), “a transposição didática é uma ferramenta que permite re-capacitar, tomar distância, interrogar as evidências, colocar em questão as idéias simples, desprender-se da familiaridade enganosa de seu objeto de estudo. Em uma palavra, o que lhe permite exercer uma vigilância epistemológica.”. A transposição didática surge, assim, como um instrumento que permite analisar o processo da transformação do saber, quando o mesmo é criado pelos cientistas ou pesquisadores e depois, chega às salas de aulas por meio da prática pedagógica do professor.

É interessante registrar, entretanto, que o conceito de transposição didática, na opinião de MARTINAND²⁰ citado por ASTOLFI e DEVELAY (1995, p. 52), não é suficiente para explicar o processo de transmissão de conhecimento. Na opinião deste pensador, pode-se tecer uma crítica à transposição didática, considerando que esta se limita ao ‘texto do saber’, sem considerar o contexto mais amplo onde essas se desenvolvem, ou seja, nas suas palavras, as ‘práticas sociais de referência’ na qual esse saber se insere.

²⁰ Jean-Louis Martinand, *connaître et transformer la matière*, Berna, Peter Lang, 1986.

Nesse mesmo sentido, CAILLOT²¹, citado por MARANDINO (2004, p. 102), considera que a teoria da transposição didática apresenta problemas, pois “Chevallard parte do pressuposto que existe um saber que é único, não considerando que a produção de um programa novo é uma produção social de diferentes atores em jogo, que por sua vez vão compor a noosfera”. Ainda afirma CAILLOT²¹ que “a teoria da transposição didática, como foi formulada por Chevallard, teria então um domínio de validade limitado, que seria aquele das matemáticas. Outras referências além do saber sábio deverão ser levadas em conta na definição de conteúdos de ensino”. CAILLOT²¹ *apud* MARANDINO (2004, p. 102), defende ainda que o saber sábio não seria a única referência do saber ensinado, considerando assim a existência de saberes ligado à prática social de referência que não pertencem forçosamente ao saber acadêmico.

De acordo com MARANDINO (2004, p. 102), no posfácio do seu livro, CHEVALLARD (1991), responde a críticas feitas à transposição didática, sem, no entanto, mencionar seus autores. Uma das críticas que Chevallard rebate é exatamente a perspectiva apontada por Caillot, referente à participação das práticas sociais na constituição do saber escolar, ressaltando que, para ele, saberes e práticas sociais não podem ser confundidos, e para que as práticas se tornem saberes devem ser legitimadas epistemologicamente, e não só culturalmente.

1.5 A TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA EM ALGUNS TRABALHOS EM ENSINO DE CIÊNCIAS

Pesquisas que tenham como referencial teórico a transposição didática, seja como concepção deste conceito ou como um estudo da transformação do saber, não têm tido um aumento significativo como tema de investigação em dissertações e teses

²¹ CAILLOT, M., (1996). La théorie de la transposition didactique est-elle transposable? In: RAISKY, C., CAILLOT, M. Au-delà des didactiques, le didactique. Débats autour de concepts fédérateurs. Paris/Bruxelles : De Boeck e Larcier, p. 19-35.

nos meios acadêmicos brasileiros. No entanto, há pelo menos uma década, alguns pesquisadores desta área de investigação vêm produzindo resultados que contribuem para uma melhor compreensão dos fenômenos da didatização e transposição do saber escolar, como podemos verificar nas dissertações de DIAS (2004), ALVETTI (1999), BOLIGIAN (2003), LEITE (2004) e na tese de ANHORN (2003).

Dias, que pesquisou a metodologia das práticas experimentais realizadas nos laboratórios de Física do ensino superior, utilizando o conceito de transposição didática, pôde observar algumas transformações dos saberes, desde sua construção no âmbito da pesquisa científica até a sua aplicação nos laboratórios didáticos de Física e também observou a “descaracterização da atividade experimental de uma relação que incorpora o espírito científico para uma prática reprodutivista e comprobatória.” (DIAS, 2004, p. 5).

ALVETTI (1999), por sua vez, realizou uma investigação sobre conteúdos de Física Moderna e Contemporânea e a sua possível utilização no âmbito escolar. Na sua opinião, a tentativa de aproximação do conhecimento da esfera acadêmica para a escolar, é realizada por meio da transposição didática, ainda que ele não demonstre especificamente como fazê-la.

Num outro campo de conhecimento, BOLIGIAN (2003) abordou, em sua dissertação, relacionada ao ensino de geografia, como o conceito de território é transformado, desde a esfera do saber sábio até a do saber a ensinar e como essas idéias são apresentadas nas propostas contidas nos PCN²² e nos livros didáticos do Ensino Médio.

Já ANHORN (2003) analisa a especificidade do processo de didatização que possibilita à História, de objeto de investigação acadêmica, ser transformada em objeto de ensino de uma disciplina escolar, enquanto LEITE (2004), tendo como base Chevallard e Bernstein e uma pesquisa bibliográfica dos trabalhos que se

²² Parâmetros Curriculares Nacionais

fundamentam nestes autores, desenvolve uma reflexão sobre a constituição do conhecimento escolar.

Outros pesquisadores como LOPES (1997 e 1999), LIMA-TAVARES e EL-HANI (2001), MARANDINO (2004 e 2005), SOBARZO e MARIN (2004) e ROSA e ROSA (2005), também têm se preocupado com essas questões e publicado a respeito. Lima-Tavares e El-Hani fizeram uma problematização da cientificidade da teoria de Gaia, analisando a possibilidade da transposição deste saber para o saber escolar. Sobarzo e Marin investigaram a importância da transposição didática do tema resíduos sólidos no 2º ciclo do Ensino Fundamental.

Marandino, por sua vez, tem investigado o processo da transposição e recontextualização do conhecimento nos espaços de museus de ciências. No artigo ‘Transposição ou recontextualização? Sobre a produção de saberes na educação em museus de ciências’ (2004), a autora apresenta, de forma clara, as idéias de Chevallard no processo transpositivo, trazendo as principais críticas a esta teoria e, também, o conceito de recontextualização de Bernstein com base na análise do discurso pedagógico. Já no segundo artigo ‘A pesquisa educacional e a produção de saberes nos museus de ciência’ (2005), faz uma reflexão do processo de socialização do conhecimento científico, tomando como referência o conceito de transposição didática/museográfica e recontextualização.

O trabalho realizado por ROSA e ROSA (2005) proporciona “uma reflexão sobre os critérios adotados pelos professores no momento da seleção dos conteúdos que serão desenvolvidos no decorrer do ano letivo, na disciplina de Física, na escola de Ensino Médio.” Na análise desta ação pedagógica, os autores tomam como instrumento de análise a transposição didática realizada no âmbito da Escola e tendo como principais atores do processo os docentes de Física.

No campo da educação matemática a teoria da transposição didática, tomada como um importante referencial teórico foi empregada na transposição do saber sábio ao saber escolar dos números cardinais e ordinais por MENEGHETTI (1995) e da

derivada por FUSCO e ALMOULOU (1996). PAIS (2002), por sua vez, utiliza-se, dentre outros, do conceito de transposição didática desenvolvido por Chevallard para realizar uma análise da influência da ‘Didática Francesa’ no campo da educação matemática.

No Ensino de Física, o grande fluxo das investigações não está dirigido para a ação das práticas escolares. Porém, inúmeros trabalhos foram realizados e abriram espaços para que outros pesquisadores pudessem, a partir destes resultados, provocar questionamentos acerca da transposição do saber. Dentre estes, a obra ‘Ensino de Física’ conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora’, traz um importante trabalho realizado por Alves Filho et alii (2001), sobre ‘A eletrostática como exemplo de transposição didática’.

Corroborando essa idéia, diversos trabalhos apresentados nos eventos ligados ao ensino de Ciências e Física, tais como o Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC) e o Encontro de Pesquisadores de Ensino de Física (EPEF), realizados entre 1998 a 2005 no Brasil, tiveram também como referencial teórico a transposição didática. Destes, alguns deles são citados nos próximos parágrafos.

No trabalho de ALVES FILHO et alii (2001), os autores mostram a necessidade escolar da transposição didática, descrevendo de forma articulada os elementos presentes na teoria da transposição didática e apresentando importantes contribuições de outros autores ao tema, como: práticas sociais de referência, regras da transposição didática e um quadro “que apresenta os três saberes e os atores principais responsáveis pela sua elaboração; as personagens das várias esferas e suas funções básicas no processo da Transposição Didática; as atividades cognitivas de cada grupo e as fontes de pressão a que estão sujeitos.” Neste trabalho, no qual o temos como uma referência importante, destacamos uma interessante abordagem histórica da eletrostática e a análise deste conteúdo de ensino nas esferas do saber sábio, do saber ensinar e do saber ensinado. Observamos, também, nesta análise, algumas

conseqüências do processo transpositivo, como a descontextualização, a despersonalização e dessincretização do saber a ensinar. Outros aspectos conseqüentes deste processo, presentes são: a deformação e a distância entre o objeto do saber e o objeto de ensino.

Noutro trabalho, ALVES FILHO et alii (2000), denominado ‘Nova transposição didática gera novas atividades experimentais’ percebe-se, dentre as diferentes proposições para o laboratório didático de Física de diferentes autores, “o entendimento de que o ‘método experimental’, ferramenta de trabalho do cientista, se transforma após o processo de transposição didática, em ‘objeto a ensinar’.” Segundo os autores esta transformação ocorre na esfera do saber a ensinar e de forma equivocada, pois “é fruto da concepção de ciência adotada pelos personagens pertencentes à esfera do saber a ensinar” (*ibidem*) que numa visão empirista indutivista de ciência, afirmam que “qualquer proposta relativa ao laboratório, ocorre no sentido metodológico e nada mais do que isto, pois é necessário preservar a logicidade da transposição didática e de suas práticas de referências.” (*idem*, 2000, p. 2).

Segundo os autores, na tentativa de redirecionar a concepção de ensino para uma concepção construtivista, resta a alternativa de atuar no ponto do processo transpositivo que transforma o saber a ensinar em saber ensinado, proporcionando ao laboratório didático assumir como elemento mediador do processo ensino-aprendizagem.

As autoras LIMA e SALLES (2003) em ‘Categoria de análise para o estudo do processo de transposição didática do conceito de teia alimentar em livros de ciências’, mostraram a transposição didática do conceito de teia alimentar em alguns livros didáticos selecionados pelo PNLD (Programa Nacional do Livro Didático) e destacam três categorias de análise, a saber: dimensão ontológica do conceito de teia alimentar; atualização e correção em relação aos saberes específicos; perspectiva histórica e controvérsias científicas. Nesta investigação foi observado, especificamente, a transformação do saber científico em saber acadêmico e deste em

saber escolar. Para as pesquisadoras houve uma contribuição “para uma melhor percepção das etapas cumpridas pelo saber, desde a produção na esfera científica até a transformação em saberes escolares (expresso em conteúdos de livros didáticos).” (LIMA e SELLES, 2003, p. 3).

No trabalho ‘Análise de artigos sobre o ensino de relatividade restrita pela transposição didática’ de RODRIGUES e PIETROCOLA (2000), a transposição didática é tomada como um instrumento de análise na compreensão do processo de fabricação do objeto de ensino. Para isto, os autores investigaram como se dava o processo da inclusão e/ou exclusão e seleção de conteúdos de ensino de relatividade restrita no âmbito da noosfera para o curso universitário básico. Ainda, observaram que os atores que constituem os elementos da noosfera são, “desde pesquisadores (voltados para o ensino ou não) até autores de livros didáticos, passando por cargos públicos ligados à educação.” (RODRIGUES e PIETROCOLA, 2000, p. 6).

Já em ‘A abordagem da relatividade restrita em livros didáticos do Ensino Médio e a transposição didática’, RODRIGUES e PIETROCOLA (1999), analisam a forma com que alguns livros abordam a teoria da relatividade restrita no Ensino Médio e, para isto, tomam a transposição didática como um instrumento de análise. Segundo os autores, o resultado da transposição didática da teoria da relatividade restrita em livros de Física do Ensino Médio foi acompanhada de um estudo da forma de apresentação de tal conteúdo em alguns livros universitários básicos e em artigos de divulgação científica publicados na revista Super Interessante. Os autores tomaram, também, três categorias básicas que foram observadas nas fontes consultadas: a descontextualização, a despersonalização e a dessincretização.

Para estes autores “o conteúdo presente nos livros passou por um processo de transformação que não se restringe a uma mera redução ou simplificação do saber sábio; existe a produção de um contexto legitimado didática e pedagogicamente para que *o saber a ensinar* possa ser inserido no contexto educacional.” (*idem*, 1999, p. 3).

Em relação aos artigos de divulgação científica da Revista Super Interessante os autores constataram a transposição didática, mas não a escolar. Observaram uma recontextualização num artigo ‘A última carta de Einstein’ (SUPER, n. 12, ano 09) que aborda “a postura da rejeição de Einstein diante do rumo que a Física Quântica estava tomando, fazendo com que ele abandonasse este estudo e voltasse suas atenções exclusivamente para a formulação da Teoria da Relatividade”. (*idem*, 1999, p. 7). Outros aspectos inerentes ao processo da transposição didática foram observados pelos autores, como uma não linearidade da estrutura na apresentação dos conteúdos ou a despersonalização do saber.

FERRARI et alii (2003) em ‘Uma transposição didática interna ambígua: a tentativa de uma reorganização do curso de mecânica no Ensino Médio’, analisam a ação pedagógica de um professor que modificou a seqüência dos conteúdos do curso de Física da primeira série do Ensino Médio, de acordo com a teoria da transposição didática.

Na investigação, os autores observaram conflitos deflagrados na noosfera, tanto no âmbito escolar como acadêmico. Estes conflitos, para os autores, eram motivados pela modificação da seqüência dos conteúdos de Física, realizada pelo professor em questão, que procurava contemplar ao mesmo tempo os interesses do vestibular e de uma proposta inovadora, assim como, da mesma forma “que a Direção incentivava a discussão de novas metodologias, promovendo a vinda de palestrantes, a Coordenação manifestava receio no que tangia a alterações de conteúdos, preferindo manter o vínculo com um material didático consagrado.” (FERRARI et alii, 2003, p. 3). Ainda, para os autores, os pais de alunos cobravam da coordenação a utilização do livro didático adotado, acentuando o conflito na noosfera.

Quanto aos aspectos pertinentes às modificações do saber, os autores observaram que esta atitude do professor agravou mais ainda a despersonalização e dissincretização do saber. Porém, para a descontextualização houve uma tentativa de

um novo contexto, tendo como exemplos para isto a lista de ‘coisas’ do GREF (1990). (FERRARI et alii, 2003, p. 2).

‘Regras da transposição didática aplicada ao laboratório didático’ foi um trabalho realizado por ALVES FILHO (1999), onde o autor apresenta uma análise do laboratório didático de Física, tendo na transposição didática um instrumento de análise no processo ensino-aprendizagem.

Na sua análise ele destaca o papel atribuído ao laboratório didático, por meio da transposição didática do saber sábio no contexto ensino-aprendizagem do laboratório didático de Física. Segundo o autor, “o predomínio do empirismo é marcante no processo de transposição didática e se revela na forma como o saber sábio é reescrito e se manifesta explicitamente nos livros textos.” (ALVES FILHO, 1999, p. 8). Para isto, cita em Astolfi²³ o exemplo da exposição do efeito fotoelétrico nos livros franceses, onde “apresentam as leis experimentais antes da teoria, criando um cenário completamente falso e tendencioso acerca da produção do conhecimento. Sabe-se que Einstein propôs em 1905 a teoria do fóton e somente em 1916 Millikan propõe as leis experimentais”. (*ibidem*).

Para Alves Filho o trabalho da transposição didática promove o método experimental, pois é um procedimento necessário para a produção do saber sábio e por extensão, transforma-se em objeto do saber a ensinar. Para reforçar sua conclusão, o autor mostra que o método experimental pode ser analisado segundo as regras da transposição didática, elaboradas por CHEVALLARD e JOHSUA²⁴ e citadas por ALVES FILHO (1999, p. 8), e que norteiam as transformações do saber sábio para o saber a ensinar, a saber:

Regra 1 – Modernizar o saber escolar;

Regra 2 – atualizar o saber a ensinar;

²³ ASTOLFI, J.P. e Develay, M. A Didática das Ciências. Tradução de Magda S. Fonseca. 5. ed. São Paulo: Papirus, 1995, p.47-48.

²⁴ CHEVALLARD, Y. e JOHSUA, M-A. Un exemple d’analyse de la transposition didactique – La notion de distance. Recherches en Didactique des mathematiques. 3.2, 1982, 157-239.

Regra 3 – Articular saber ‘velho’ com ‘saber’[sic] novo;

Regra 4 – Transformar um saber em exercícios e problemas;

Regra 5 – Tornar um conceito mais compreensível.

Para Alves Filho, para que o laboratório didático de Física possa ser um elemento do processo ensino-aprendizagem, este “deve ser alvo de uma transposição didática diferente daquela que introduziu no processo de ensino com o objetivo de ensinar o método experimental;” e continuando, “se estabeleçam novas regras para a nova transposição didática que delineará atividades experimentais associadas diretamente com o processo de ensino-aprendizagem.” (*idem*, 1999, p. 11).

Por maior atenção que se tenha dado ao levantamento de trabalhos a respeito da transposição didática e de suas aplicações e conseqüências para as atividades didáticas, ele não consegue esgotar toda a produção acadêmica, mas procuramos mostrar a importância que a temática tem assumido nos estudos que se referem aos processos de ensino e aprendizagem.

CAPÍTULO 2 ESTUDO DA CONCEPÇÃO E CONSTRUÇÃO DO CONCEITO DE CAMPO ELÉTRICO

Aspectos históricos e culturais da construção do conceito de campo elétrico são elementos fundamentais na compreensão da sua gênese e do seu processo de transmissão. Apresentamos, neste capítulo, uma reconstrução histórica deste conceito, no âmbito da Ciência Física, onde ele foi historicamente construído desde tempos remotos, a partir da descoberta dos fenômenos de atração elétrica, registrada no século VI a.C. pelos gregos e, também, por meio da concepção dada à interação elétrica.

2.1 ORIGENS E CONCEPÇÕES PRIMÁRIAS DOS FENÔMENOS ELÉTRICOS E MAGNÉTICOS

Os fenômenos associados à eletricidade e ao magnetismo foram observados, ainda sem distinção, na Grécia Antiga, quando os filósofos pré-socráticos preocupavam-se com questões acerca da origem do mundo e das transformações na Natureza, no período que vai do final do século VII ao final do século V a.C. O filósofo, matemático e astrônomo grego, Tales de Mileto, no século VI a.C., parece ter sido o primeiro a observar fenômenos desta natureza, ao atritar uma ‘pedra’ denominada *elektron* com um pedaço de lã, e, ao fazê-lo, observou que esta ‘pedra’, também conhecida por *âmbar*, atraía pequenos corpos. Reza ainda uma lenda que na cidade de Tessália, uma província grega, um pastor de ovelhas chamado *Magnes*, ao pastorear suas ovelhas, observou que a ponta de seu cajado era atraída por uma pedra que encontrara ao longo do caminho quando conduzia as ovelhas. Esta região passou a ser chamada de Magnésia e a pedra descoberta de Magnetita. Seja uma lenda ou não, o fato da magnetita atrair pedaços de ferro foi mencionado pelos filósofos Tales de Mileto, Platão, Sócrates e Tito de Lucrécio. (BASSALO, 1992, p. 269). No entanto estes fenômenos, por um longo período na História, não foram objetos de estudos,

senão “uma sucessão de descobertas experimentais, não se integrando em uma construção teórica detalhada.” (BEN-DOV, 1995, p. 97).

O uso prático das propriedades da magnetita parece ter sido realizado pelos chineses, utilizando-a como *bússola* nas viagens terrestres ou marítimas. Segundo SEDGWICK²⁵ et alii, *apud* BASSALO (1992, p. 269), “a primeira referência clara sobre o uso da bússola data de 215 a.C., e Humboldt teria afirmado que os chineses, no século II de nossa era, teriam atravessado o oceano Índico com navios possuindo agulhas magnéticas.” Porém, foi um erudito francês chamado Petrus Peregrinus de Maricourt que, em 1269, realizou um importante estudo sobre o magnetismo. Na sua Epístola, *De Magnete*, Petrus

“mapeou as direções assumidas por pequenos pedaços retangulares de ferro colocados sobre um ímã natural esférico. Observou, então, que essas direções se cruzavam em pontos opostos, análogos aos pontos de cruzamento dos meridianos terrestres. Por esta razão, denominou esses pontos de *pólos* do magneto. Segundo nos informa John Losee (*Introdução Histórica à Filosofia da Ciência*, Itatiaia e EDUSP, 1979), PETRUS demonstrou, ainda, que seccionado uma agulha magnética ao meio, produzem-se dois novos ímãs, cada um deles com os seus respectivos pólos norte e sul.” (*ibidem*).

Segundo BASSALO (*ibidem*), Roger Bacon qualificou Petrus como o maior cientista experimental de sua época e Joseph Needham, como o maior conhecedor medieval da bússola.

No início do século XVII William Gilbert, um médico e profundo estudioso dos fenômenos elétricos e, principalmente, magnéticos, reuniu em sua majestosa obra *De Magnete Magneticisque Corporibus et de Magno Magnete Tellure (Sobre o Ímã, os Corpos Magnéticos e o Grande Ímã, a Terra)*, publicado em 1600, “todos os fatos conhecidos sobre o magnetismo, bem como acrescentou (...) outras observações originais, ...” (*idem*, p. 270). Nesta obra, Gilbert, expôs as propriedades dos ímãs e apresentou uma teoria em que diz que a Terra se comporta como um grande ímã assim como descreve experimentos de eletricidade estática.

²⁵ SEDGWICK, TYLER e BIGELOW . História da Ciência, Ed. Globo, 1950.

Antes das discussões sobre atração magnética, Gilbert procurou diferenciar os fenômenos associados à atração devido ao efeito do âmbar daquele causado pelos ímãs. Para Gilbert, tanto o ímã quanto os corpos eletrizados emitiam um *effluvium* – substância etérea e material – que influenciava e agia sobre os corpos vizinhos e os atraíam, porém, deveria haver um contato real com os eflúvios, pois segundo GILBERT²⁶, *apud* GARDELLI (2004, p.14), “como nenhuma ação pode ocorrer sobre a matéria, a não ser por contato, e estes corpos elétricos parecem não se tocarem, faz-se necessário que alguma coisa seja enviada de um corpo para outro, algo que possa tocar precisamente e provocar o início do estímulo.”

As primeiras observações sobre a *repulsão elétrica*, parecem ter sido realizadas por um italiano, o erudito jesuíta Nicolo Cabeo. Nos seus trabalhos, pesquisou possíveis falhas e descuidos nos trabalhos de Gilbert, ao qual adicionou novos materiais à lista dos ‘elétricos’ e conclui que as hipóteses de Gilbert acerca da origem do comportamento dos ‘elétricos’ estava errada. No entanto, uma importante contribuição foi a verificação de que após certos objetos tocarem em outros eletrizados, eles normalmente se afastavam como se fossem repelidos, o que contrariava a noção de *effluvium* proposta por Gilbert (ROCHA et alii, 2002, p. 191).

Em relação à atração magnética provocada pelos materiais como o ferro, GILBERT²⁶, de acordo com GARDELLI (2004, p.15) propunha que este eflúvio magnético não poderia ser material como imaginava que fosse na transmissão da atração elétrica. Assim, “aquilo que emana do ímã, ou entra no ferro, ou que sai novamente do ferro despertado, não é corpóreo...”.

No artigo *Por que razão dois ímãs se aproximam um do outro e qual a esfera de sua atuação*, Descartes tenta explicar a atração magnética, cuja questão se constitui num dos maiores dilemas da filosofia natural, a de entender como as ações

²⁶ Gilbert, William. On the Loadstone and Magnetic Bodies and on the Great Magnet the Earth. In: HUTCHINS, Robert Maynard (ed.). Great Books of the Western World 28. Chicago: Encyclopaedia Britannica, 1995. p. 1-121. Título original: De Magnete Magneticisque Corporibus et de Magno Magnete Tellure. Physiologia Nova. Tradução de P. Fleury Mottelary.

físicas entre corpos que não se encontram em contato mútuo são transmitidas. Assim, neste artigo²⁷, DESCARTES²⁸ *apud* GARDELLI (2004, p. 21), explica:

“Dois ímãs próximos um do outro voltam-se até o pólo austral de um estar voltado para o pólo boreal do outro, aproximando-se e voltando-se; ou então, se nada impedir o seu movimento, voltam-se até se tocarem. Há que observar que as partículas caneladas passam muito mais depressa pelos canais do ímã do que pelo ar, no qual o seu curso fica travado pelo segundo e terceiro elementos, ao passo que nestes canais só se misturam com a matéria mais sutil do primeiro elemento, que aumenta de velocidade. É por isso que uma vez saídas do ímã, continuam um pouco mais em linha reta antes de a resistência do ar as poder desviar. E se no espaço por onde seguem em linha reta, os canais de outro ímã estão dispostos a recebê-los, entram neste ímã em vez de se desviarem e expulsam o ar existente entre estes dois ímãs, fazendo então com que aproximem um do outro.”

Em seguida DESCARTES²⁹ explica, conforme GARDELLI (*ibidem*), como esta força se comunica ao ferro pelo ímã:

“E se um fragmento de ferro ou de aço for aproximado de uma pedra de ímã, não há que estranhar que adquira imediatamente a sua força. Com efeito, e de acordo com o que se disse, possui já poros adequados para a recepção das partículas caneladas, tal como o ímã, e até em maior número. É por isso que não lhe falta nada para terem a mesma força, a não ser que as pequenas extremidades que seguem pelas dobras dos seus poros se voltem desordenadamente de maneiras diferentes, quando aquelas dos poros vindas do Norte deveriam encontrar-se do mesmo lado e as outras do lado oposto. Mas quando um ímã se aproxima dele, as partículas caneladas que saem deste ímã entram com tal impetuosidade nos seus poros que têm força suficiente para dispor estas pequenas extremidades da forma mais conveniente. É assim que proporcionam ao ferro o que lhe faltava para ter a força do ímã.”

2.2 A PROBLEMÁTICA DA AÇÃO À DISTÂNCIA

Para WHITTAKER³⁰, citado por GARDELLI (2004, p. 23), Descartes é um dos fundadores da *Filosofia Mecânica* para quem, considerando propósitos científicos, o mundo externo inanimado pode ser considerado como um mecanismo automático,

²⁷ Para uma melhor compreensão das concepções de Descartes sobre sua explicação sobre os fenômenos magnéticos, consultar o trabalho de Gardelli (2004).

²⁸ Descartes, *Princípios da Filosofia*, 4ª parte, § 153.

²⁹ Descartes, *Princípios da Filosofia*, 4ª parte, § 158.

³⁰ WHITTAKER, Edmund T. *A History of the Theories of Aether and Electricity*. Vol. 1: The Classical Theories. Vol. 2: The Modern Theories. New York: Tomash Publishers, American Institute of Physics, 1951.

cujos modelo mecânico de todo fenômeno físico é possível e desejável imaginar. Também a obra máxima de Newton, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (*Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*) de 1687 lança os fundamentos de uma Física que predominou durante mais de duzentos anos e que, ainda hoje, exerce uma forte influência nos programas de ensino da disciplina de Física. No livro III do *Principia*, Newton apresenta a sua lei de gravitação agindo à distância entre os corpos materiais, unificando a Física terrestre com a Física celeste. Embora pareça que Newton considerasse a ação à distância – concepção que pressupõe a interação entre dois corpos materiais de forma direta e instantânea – como a forma pela qual os corpos interagem entre si pela lei do inverso do quadrado da distância, esta não era de fato a sua posição formal. Newton ensaiou algumas tentativas para explicar a mecânica da gravidade, mas não tendo êxito, procurou deixar claro que a sua obra não dava conta desta questão ‘angular’ no cenário científico da atualidade. E isto, podemos ver no livro II do *Óptica*, onde NEWTON³¹, *apud* GARDELLI (*idem*, p. 29), afirma:

“Pois sabe-se que os corpos agem uns sobre os outros pelas ações da gravidade, do magnetismo e da eletricidade; e esses exemplos mostram o teor e o curso da natureza, e não tornam improvável que possa haver mais poderes atrativos além desses. Porque a natureza é muito consonante e conforme a si mesma. Não examino aqui o modo como essas atrações podem ser efetuadas. O que chamo de atração pode-se dar por impulso ou por algum outro meio que desconheço. Uso esta palavra aqui apenas para expressar qualquer força pela qual os corpos tendem um para o outro, seja qual for a causa.”

Nas cartas enviadas a Richard Bentley em 17 de janeiro e 25 de fevereiro de 1693, NEWTON³² *apud* GARDELLI (*idem*, p. 29), mostra a sua convicção da impossibilidade da ação à distância:

“... O Sr. algumas vezes fala da gravidade como sendo essencial e inerente à matéria. Peça-lhe não atribuir esta noção a mim, pois a causa da gravidade é o que eu não pretendo saber, e portanto levaria mais tempo para considerá-la. (Newton, carta a Bentley, 17 de

³¹ NEWTON, Isaac. *Mathematical Principles of Natural Philosophy*. In: HUTCHINS, Robert Maynard (ed). *Great Books of the Western World* 34. Chicago: Encyclopaedia Britannica, 1952, p. 1-372. Título original: *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*. Tradução de Andrews Motte. Revisão de Florian Cajori.

³² THAYER, H. S. (ed.). *Newton's Philosophy of Nature – selections from his Writings*. New York: Hafner, 1953.

janeiro de 1663: *in* Thayer, 1953, p. 53).”

“... é inconcebível que a matéria bruta, inanimada, opere sem a mediação de alguma outra coisa, não-material, sobre outra matéria e a afete sem contato mútuo, como deve ocorrer se a gravitação, no sentido de Epicuro, for essencial e inerente a ela. E é por essa razão que desejei que você não atribuisse a gravidade inata a mim. Que a gravidade deve ser inata, inerente e essencial à matéria, de modo que um corpo pudesse atuar sobre outro a distância, através de um vácuo, sem a mediação de qualquer outra coisa, por cujo intermédio sua ação e força pudesse ser transmitida de um corpo a outro, é para mim um absurdo tão grande que eu acredito que nenhum homem dotado de uma faculdade de pensamento competente em questões filosóficas jamais possa cair nele. A gravidade deve ser causada por um agente que atua constantemente de acordo com certas leis; mas se esse agente é material ou imaterial é uma consideração que deixo para os meus leitores. (Newton, carta a Bentley, 25 de fevereiro de 1663: *in* Thayer, 1953, p. 54).”

Ainda do Escólio Geral da segunda edição do *Principia* de 1713, encontramos a seguinte passagem, citado por GARDELLI (*idem*, p. 30), onde NEWTON³³ esclarece:

“Até aqui explicamos os fenômenos dos céus e do nosso mar pelo poder da gravidade, mas ainda não designamos a causa desse poder. É certo que ele deve provir de uma causa que penetra nos centros exatos do Sol e planetas, sem sofrer a menor diminuição de sua força que opera não de acordo com a quantidade das superfícies das partículas sobre as quais ela age (como as causas mecânicas costumam fazer), mas de acordo com a quantidade da matéria sólida que elas contêm, e propaga sua virtude em todos os lados a imensa distância. (...) Mas até aqui não fui capaz de descobrir a causa dessas propriedades da gravidade a partir dos fenômenos, e não invento nenhuma hipótese; pois tudo que não é deduzido dos fenômenos deve ser chamado uma hipótese; e as hipóteses, quer metafísicas ou físicas, quer de qualidades ocultas ou mecânicas, não têm lugar na filosofia experimental. Nessa filosofia, as proposições particulares são inferidas dos fenômenos, e depois tornadas gerais pela indução. (...) E para nós é suficiente que a gravidade realmente exista e atue de acordo com as leis que explicamos e que são suficiente para dar conta de todos os movimentos dos corpos celestes e de nosso mar.”

Portanto, apesar da obra newtoniana mostrar que corpos materiais interagem à distância e ela mesma não dar explicações de como isso ocorre e os seguidores desta filosofia admitirem a ação à distância nas interações dos corpos, o próprio Newton achava isso um absurdo. Assim, quase todos os ‘newtonianos’ no século XVIII afirmavam que a força gravitacional era uma ação direta à distância e, a partir da formulação da lei de Coulomb, que tinha como um dos principais pressupostos a ação

³³ Newton, *Mathematical Principles of Natural Philosophy*, General Scholium, pp. 371-2.

à distância, as leis Físicas que pudessem representar outros fenômenos ainda não conhecidos, esperava-se ter uma simetria análoga às leis já então formuladas. Além disso, Coulomb estabeleceu ao final do século XVIII que as forças eletrostáticas e magnéticas (entre os pólos dos ímãs) obedeciam à lei do inverso do quadrado da distância (MARTINS, 2005, p. 12).

2.3 A QUEBRA DE SIMETRIA E O CONCEITO DE CAMPO

No final do século XIX, um novo fenômeno físico associado a uma corrente elétrica que gerava um campo magnético ao redor do fio foi descoberto por Hans Christian Orsted³⁴, dando-se início ao eletromagnetismo. O dinamarquês Orsted acreditava na existência de uma relação entre a eletricidade e o magnetismo, ao contrário de outros cientistas como Coulomb. Orsted descobriu o eletromagnetismo no início de 1820 na Universidade de Copenhague, onde era docente. No entanto, a versão dada a esta descoberta é, ainda hoje, duvidosa. Segundo DIAS (2004, p. 17), Hansteen, aluno de Orsted, endereçara uma carta para Faraday em 30 de dezembro de 1857 e relata que estava presente à aula ministrada por Orsted em meados de abril de 1820, quando ocorreu a descoberta, declarando nesta carta, acreditar que a descoberta tenha ocorrido por acaso.

As evidências contrárias, entretanto, são muitas, inclusive um artigo publicado em 1827 na Enciclopédia de Edinburgh. Neste artigo Orsted, citado por MARTINS (1986, p. 95), descreve a concepção que o orientou: “O eletromagnetismo foi descoberto no ano de 1820 pelo professor Hans Christian Orsted, da Universidade de Copenhagen. Durante toda a sua carreira acadêmica, ele [Orsted] aderiu à opinião que os efeitos magnéticos são produzidos pelos mesmos efeitos que os elétricos”.

³⁴ Em dinamarquês, o nome de Orsted é Hans Christian Orsted. No entanto, em latim, o seu nome foi apresentado como *Johannis Christianus Ørsted* (ou *OErsted*, ou *Oersted*). Usaremos, neste trabalho, o seu nome na forma original (MARTINS, 1986, p. 115).

MARTINS (*idem*, p. 99) faz um relato da descrição da aula onde o efeito eletromagnético foi observado:

“No inverno de 1819-1820, ele [Orsted] apresentou um curso de conferências sobre eletricidade, galvanismo e magnetismo, diante de uma audiência previamente familiarizada com os princípios da filosofia natural. Ao preparar a conferência na qual versaria sobre a analogia entre magnetismo e eletricidade, conjecturou que, se fosse possível produzir algum efeito magnético pela eletricidade, isso não poderia ocorrer na direção da corrente, pois tal havia sido freqüentemente tentado em vão; mas que deveria ser produzido por uma ação lateral ...

Assim como os efeitos luminosos e caloríficos da corrente elétrica saem de um condutor em todas as direções, quando este transmite uma grande quantidade de eletricidade; assim, imaginou ser possível que o efeito magnético se irradiasse de forma semelhante. As observações registradas acima, dos efeitos magnéticos produzidos por raios em agulhas que não foram diretamente atingidas, confirmaram-no em sua opinião. Ele estava longe de esperar um grande efeito magnético da pilha galvânica; supôs que poderia ser exigido um poder suficiente para tornar incandescente o fio condutor.

O plano da primeira experiência consistia em fazer a corrente de um pequeno aparelho galvânico de frascos, comumente usado em suas conferências, passar através de um fio de platina muito fino, colocado sobre a bússola coberta com vidro. A experiência foi preparada, mas como acidentalmente ele foi impedido de ensiná-la antes da aula, planejou adiá-la para outra oportunidade; no entanto, durante a conferência, pareceu-lhe mais forte a probabilidade de seu sucesso, e assim realizou a primeira experiência na presença da audiência. A agulha magnética, embora fechada em uma caixa, foi perturbada; mas, como o efeito era muito fraco, e deveria parecer muito irregular, antes da descoberta de sua lei, a experiência não impressionou fortemente o público ...

No mês de julho de 1820, ele novamente retornou à experiência, utilizando um aparelho galvânico muito mais poderoso. O sucesso foi agora evidente, embora os efeitos fossem ainda fracos nas primeiras repetições do experimento, pois empregou apenas fios muito finos, supondo que o efeito magnético não ocorreria quando a corrente galvânica não produzisse calor e luz; mas logo descobriu, por experiências continuadas durante alguns dias, a lei fundamental do eletromagnetismo, a saber, que o efeito magnético da corrente elétrica tem um movimento circular em torno dela.”

Após sentir-se suficientemente seguro de seus resultados, Orsted escreveu um artigo em latim em 21 de julho de 1820 e o envia para o maior jornal científico da Europa, cujo título era: *O experientia circa effectum conflictus electrici in acum magneticam (Experiências sobre o efeito do conflito elétrico sobre a agulha magnética)*. Houve grande resistência em compreender o efeito magnético provocado

pela corrente elétrica, sob o ponto de vista da simetria do fenômeno. Orsted³⁵ citado MARTINS (*idem*, p. 105), refere-se a essa oposição da seguinte forma:

“A idéia de rotações magnéticas em torno do fio de conexão gerou muita oposição ao ser publicada pela primeira vez. O professor Schweigger objetou a ela que, se tais rotações existissem, seria possível fazer um ímã girar em torno do fio de conexão. O Dr. Wollaston tirou a mesma conclusão, mas com atitude oposta: considerando provável esse resultado, ele inventou um instrumento para demonstrá-lo. A experiência foi interrompida por acidente, e o Sr. Faraday a retomou, realizando uma extensa série de experiências sobre o assunto.”

Citado por MARTINS (*idem*, p. 121,122), Orsted³⁶ fala dos resultados de suas experiências:

“O conflito elétrico³⁷ apenas atua sobre as partículas magnéticas da matéria. Todos os corpos não-magnéticos parecem ser permeáveis ao conflito elétrico; mas os [corpos] magnéticos, ou suas partículas magnéticas, resistem à passagem desse conflito magnético [?], o que faz com que possam ser movidas pelo ímpeto das forças em luta.

As observações expostas mostram que o conflito elétrico não está confinado ao fio condutor, mas está amplamente disperso no espaço circunjacente a ele.

Também se pode concluir das observações que esse conflito age por rotações [*gyros*], pois parece que essa é a condição sem a qual não se pode compreender que a mesma parte do fio de conexão, colocado abaixo do pólo magnético o leve para leste, e colocado acima dele o mova para oeste; pois tal é a natureza da rotação, que movimentos em partes opostas possuam direções opostas.

... Todos os efeitos aqui expostos, relativamente ao pólo norte, são facilmente compreendidos, supondo-se que a força ou matéria elétrica negativa percorre uma linha espiral dobrada para a direita, e empurra o pólo norte, mas não age sobre o [pólo] sul. Pode-se explicar de forma semelhante os efeitos sobre o pólo sul, se atribuirmos à força ou matéria elétrica positiva um movimento contrário, e o poder de agir sobre o pólo sul, mas não sobre o pólo norte.”

Este resultado mostrava outro, também muito importante, ou seja, a direção da força entre a agulha imantada e um fragmento de corrente, não mantinha a simetria

³⁵ ORSTED, H. C. Enciclopédia de Edinburg, 1827.

³⁶ ORSTED, H. C. Experiências sobre o efeito do conflito elétrico sobre a agulha magnética. Trad. R. A. Martins. Cadernos de História e Filosofia da Ciência (10): 115-122, 1986.

³⁷ Concepção desenvolvida por Orsted que considerava que no interior dos condutores portadores dos fluidos elétricos ocorria o encontro das duas eletricidades – a eletricidade positiva e a negativa. Estas se aniquilavam e depois se separavam; logo a diante, novamente, aniquilavam-se e separavam-se e assim, sucessivamente. Portanto, a corrente seria dois fluxos contrários, lutando-se entre si e movendo-se por impulsos sucessivos (MARTINS, p. 116, 1986).

das leis do inverso do quadrado da distância já verificados para a gravidade, a interação eletrostática e a força magnética entre os pólos de ímãs.

“Ao contrário do que o modelo de força newtoniano sugeria, a agulha se orientava não paralelamente, mas perpendicularmente ao fio condutor. Além disso, quando era colocada acima do fio, a agulha tomava uma direção inversa àquela observada quando estava sob o fio. Como essa experiência sugeria que a linha de ação da força magnética é um círculo em torno do fio, havia necessidade de uma nova teoria para explicar essa força evidentemente estranha ao esquema newtoniano das linhas de ação retilíneas.” (BEN-DOV, 1996, p. 99).

e isso constituiu num ponto de partida para as investigações para André Marie Ampère (em eletrodinâmica) e para Michael Faraday (no conceito de campo e indução eletromagnética), pois a partir da descoberta de Orsted, a idéia de forças diretas à distância tornou-se mais problemática. Para Ampère, o efeito magnético produzido por uma corrente elétrica devia ser substituído por uma abordagem eletrodinâmica de forças à distância entre correntes elétricas. No entanto, Faraday propôs uma visão para os fenômenos eletromagnéticos que supunha a existência real de *linhas de força* mesmo num espaço vazio da matéria. Esta concepção reforçou a idéia de um éter eletromagnético durante o século XIX, dando origem ao *conceito de campo* como estrutura física desse éter. (SILVA, 2002, p. 4).

Assim, durante as suas investigações, Ampère encontrou dois resultados importantes associados ao eletromagnetismo. Descobriu que dois fios retilíneos e paralelos atraíam-se quando por eles passava uma corrente elétrica de mesmo sentido e repeliam-se, caso as correntes nos fios fossem de sentidos contrários. Este resultado restabeleceu, em parte, a ordem newtoniana para todos os fenômenos eletromagnéticos de que as forças agiam de acordo com a lei do inverso do quadrado da distância, cuja idéia central era a ação à distância entre os corpos. Citado por GARDELLI (2004, p. 64), Ampère³⁸ diz: que “guiado pela filosofia newtoniana, eu reduzi o fenômeno observado pelo Sr. Orsted, da forma como tem sido feito para todos os fenômenos

³⁸ AMPÈRE, André-Marie. On the mathematical theory of electrodynamic phenomena, experimentally deduced. IN: Tricker, R. A. Early electrodynamicism – The First Law of Circulation. Oxford: Pergamon Press, 1965. pp. 155-200.

naturais semelhantes às forças agindo ao longo da linha reta que une as duas partículas entre as quais a ação é exercida” e isto resultou numa aceitação de suas idéias, que foram posteriormente desenvolvidas por Wilhelm Eduard Weber no desenvolvimento de sua teoria eletromagnética. Uma outra contribuição de Ampère foi o experimento que consistia num fio enrolado num tubo de vidro, denominado por ele de *solenóide* que, ao ser percorrido por uma corrente, produzia o mesmo efeito que um ímã permanente.

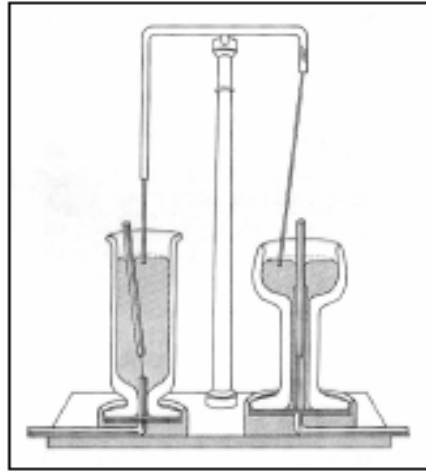
Nesse período em que a questão da ação à distância ainda ecoava firmemente nas academias de Ciências por todo o mundo científico, começa a tomar corpo a contribuição de Faraday, que já tinha uma boa formação experimental no Royal Institution em Londres.

Faraday, após tomar ciência do eletromagnetismo ao presenciar em 1820 experimentos feitos por Humphry Davy e William Hyde Wollaston, fez um estudo, no ano seguinte, de tudo que se conhecia até aquele momento sobre a conexão existente entre eletricidade e magnetismo. Não se contentando com a explicação dada por Orsted

“sobre uma espécie de ‘conflito elétrico’ existente ao redor do fio e imaginara que este conflito estabelecia-se em círculos, mas a descrição imprecisa não foi suficiente para convencer Faraday. Usando uma pequena agulha magnética para mapear a força magnética, ele inicialmente interpretou o fenômeno como devido a atrações e repulsões. Depois, confirmou o efeito circular ao redor do fio e logo imaginou que um único pólo magnético de um ímã deveria girar em torno enquanto a corrente fluísse e, inversamente, que um fio livre para movimentar-se, deveria girar em torno de um dos pólos de um ímã.” GARDELLI (*idem*, p. 65).

Este instrumento, representado pela figura, parece ser o primeiro protótipo do motor elétrico.

FIGURA 1.1 DISPOSITIVO DE FARADAY PARA ILUSTRAR A ROTAÇÃO ELETROMAGNÉTICA

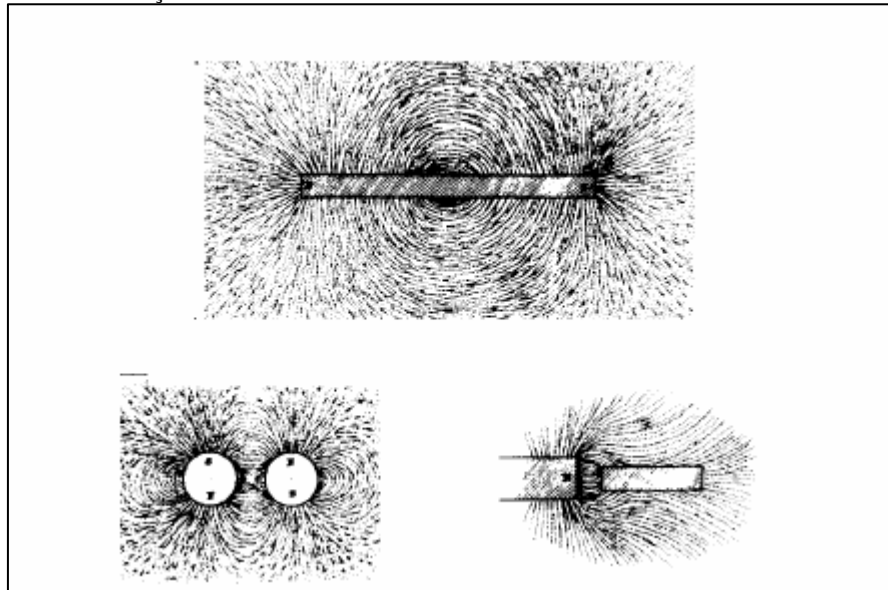


Fonte: Daniel Gardelli, 2004.

O método científico da época consistia na aplicação das idéias da matemática e da astronomia. Faraday, portanto, não teve oportunidade de adquirir conhecimento dessa natureza, ficando impossibilitado de seguir a linha de pensamento que tinha levado às descobertas dos filósofos franceses, levando a seguir um outro caminho – o uso de simbolismo para explicar o que podia entender. (TORT et alii, 2004, p. 279).

Faraday propôs, então, uma abordagem totalmente diferente da concepção de ação à distância, que se funda no conceito de campo. Ele imaginou uma imagem, inspirado no fenômeno da limalha de ferro quando espalhada em torno de um ímã e observou as curvas descritas pelos fragmentos da limalha que ligavam os dois pólos do ímã. De forma análoga, Faraday propôs então um modelo de linha de forças que se estendia em torno do ímã, emergindo de seu pólo norte para convergir para o pólo sul. (BEN-DOV, 1996, p. 101).

FIGURA 1.2 REPRESENTAÇÃO DOS FENÔMENOS ELÉTRICO E MAGNÉTICO POR LINHAS DE CAMPO



Fonte: Cibelle Celestino Silva, 2002.

Contrário ao conceito de ação à distância, Faraday propôs no seu modelo que esta ação se dava através de certo meio que era preenchido pelas linhas de força. A este espaço, Faraday denominou de *campo de forças* (ROCHA et alii, 2002, p. 259).

Segundo as suas próprias palavras, FARADAY³⁹, citado por TORT et alii (2004, p. 279), relatou:

“Seria um abandono desnecessário e caprichoso da ajuda mais valiosa se um experimentalista, que escolhe representar a intensidade magnética por meio de linhas de força, negasse a si mesmo o uso de limalha de ferro. Por meio de sua utilização ele pode tomar muitas condições de intensidade, mesmo em casos complicados, imediatamente visíveis aos olhos, pode acompanhar em que direção esta intensidade está crescendo ou diminuindo, e em sistemas complexos pode determinar os pontos neutros, lugares nos quais não há nem polaridade nem intensidade, mesmo que eles estejam localizados no meio de ímãs muito poderosos. Por meio de seu emprego, resultados prováveis podem ser vistos imediatamente, e muitas sugestões valiosas para conduzir futuros experimentos podem ser obtidas.”

De acordo com BEN-DOV (1996, p.101)

“a atração e a repulsão entre pólos de ímãs diferentes se explicavam por uma afinidade entre a convergência ou a divergência das linhas de força e um antagonismo das convergências ou das divergências. Faraday batizou de ‘**campo magnético**’ [grifo nosso] esse conjunto de linhas de forças e interpretou também a atração e a repulsão entre cargas

³⁹ FARADAY, Michael. Experimental Researches in Electricity (Encyclopaedia Britannica, Great Books of the Western, Chicago, 1952), v. 45, p. 257-866.

elétricas pela ação de um ‘campo elétrico’ [grifo nosso] composto de linhas de forças que levavam de uma carga elétrica positiva a uma carga elétrica negativa.”

Ainda, de acordo com o autor,

“a abordagem de Faraday se distinguia das leis do inverso do quadrado da distância pelo fato de evitar o problema da ação à distância. De fato, consideremos dois pólos magnéticos opostos, pertencentes a dois ímãs diferentes. Afirmado-se que cada um desses pólos gera em sua vizinhança um campo magnético que, mediando as ações magnéticas, exerce uma força sobre o outro pólo, deixa de ser necessário postular uma ação à distância entre os pólos.” BEN-DOV (*ibidem*).

2.4 A ‘LINGUAGEM DE FARADAY’

Sobre as idéias concebidas por Faraday, Maxwell⁴⁰, conforme ROCHA et alii (2002, p. 260), escreveu:

“... Ele [Faraday] concebe todo o espaço como um campo de força, as linhas de força sendo, em geral, curvas, e aquelas devido a qualquer corpo estendendo-se dele para todos os lados, suas direções sendo modificadas pela presença de outros corpos. Ele mesmo fala das linhas de forças pertencentes a um corpo como partindo dele, tal que em sua ação sobre corpos distantes ele não pode ter pensado atuando onde ele não está. Isto, entretanto, não é uma idéia dominante em Faraday. Eu penso que ele teria dito que o campo do espaço está cheio de linhas de força, cujo arranjo depende daqueles corpos no campo, e que as ações mecânica e elétrica sobre cada corpo são determinadas pelas linhas que o atravessam.”

Num texto escrito em 1873 sobre ação à distância, Maxwell comenta que Faraday “deu à sua concepção de linhas de força uma clareza e uma precisão bem maior do que aquela que os matemáticos de então poderiam extrair de suas próprias fórmulas” (TORT et alii, 2004, p. 280). Continuando, Maxwell prossegue na sua palestra na Royal Institution em Londres, local onde Faraday trabalhou e dirigiu por muitos anos:

“Aqui, neste lugar [*i.e.*: nesta instituição], elas não devem ser esquecidas nunca. Por meio deste novo simbolismo, Faraday definiu com precisão matemática toda a teoria do eletromagnetismo em uma linguagem livre de tecnicismos matemáticos e aplicável aos casos mais complicados bem como aos mais simples. Mas Faraday não parou aqui. Ele prosseguiu da concepção geométrica de linhas de força para a concepção física. Ele observou que o movimento que a força elétrica ou a magnética tendem a gerar é

⁴⁰ Maxwell, J. C. A Treatise on Electricity and Magnetism.

invariavelmente tal como para encurtar as linhas de força ao mesmo tempo em que permite que se afastem lateralmente uma das outras. Assim, ele percebeu no meio um estado de tensão que consiste em uma tração como a que existe em uma corda esticada, na direção das linhas de força, combinada com uma pressão em todas as direções mas formando um ângulo reto com essas linhas.” (*ibidem*).

Comparando o método de trabalho de Faraday com o de Ampère, Maxwell⁴¹ *apud* ROCHA et alii (2002, p. 257-258), escreveu:

“O método que Faraday empregou em suas pesquisas consistiu em um apelo constante ao experimento como um meio a verdade de suas idéias, e um constante cultivo das idéias sob a influência direta do experimento. Em suas pesquisas publicadas, nós achamos essas idéias expressas em linguagem que é a mais adequada para uma ciência nascente, porque é de alguma forma alheia ao estilo dos físicos que estão acostumados a estabelecer formas matemáticas de pensamento.

A investigação experimental pela qual Ampère estabeleceu as leis da ação mecânica entre correntes elétricas é uma das mais brilhantes conquistas em ciência.

O todo, teoria e experimento, parece como se tivesse surgido de repente, já plenamente formado, do cérebro do ‘Newton da eletricidade’ [Ampère]. É perfeito na forma e inatacável em precisão e é expresso numa fórmula da qual todos os fenômenos podem ser reduzidos e que deve sempre permanecer como a fórmula cardinal da eletrodinâmica.

O método de Ampère, no entanto, pensado em uma forma indutiva, não nos permite traçar a formação das idéias que o guiaram. Dificilmente podemos acreditar que Ampère realmente descobriu a lei da ação à distância por meio dos experimentos que descreve. Somos levados a suspeitar que, na verdade, ele nos diz que descobriu a lei por algum processo que ele não nos mostrou, e que, quando construiu uma demonstração perfeita, ele removeu todos os traços do processo pelo qual obteve a lei.

Faraday, de outra forma, mostra-nos seus insucessos assim como seus experimentos bem sucedidos, e suas idéias cruas, assim como aquelas desenvolvidas, e o leitor, inferior a ele em poder indutivo, sente simpatia mais do que admiração, e é tentado a acreditar que, se tivesse tido mesma oportunidade, teria também feito a descoberta. Todo estudante, portanto, deve ler a pesquisa de Ampère como um esplêndido exemplo de estilo científico na afirmação de uma descoberta, mas também deveria estudar Faraday para cultivar o espírito científico, por meio da ação e reação que ocorre entre os novos fatos descobertos como introduzidos a ele por Faraday, e as idéias nascentes em sua própria mente.

Foi talvez vantajoso para a ciência que Faraday, embora plenamente consciente das formas fundamentais de espaço, tempo e força, não tenha sido um matemático profissional. Ele não tentou entrar em muitas pesquisas interessantes de matemática pura que suas descobertas teriam sugerido se ele tivesse colocado sob a forma matemática, e ele não se preocupou em colocar seus resultados em uma forma aceitável à matemática ou para expressá-los em uma forma passível de abordagem matemática. Ele foi conduzido pelo prazer de seu próprio trabalho, coordenando suas idéias com os fatos e expressando-as em linguagem natural, não técnica.”

⁴¹ Maxwell, J. C. A Treatise on Electricity and Magnetism.

Da mesma forma, *apud* ROCHA et alii (*idem*, p. 262-263), Maxwell escreveu sobre a diferença entre o modo de Faraday e o modo dos matemáticos compreenderem os fenômenos eletromagnéticos:

“... antes de iniciar o estudo de eletricidade, eu resolvi não ler a matemática sobre o tema sem primeiro ler as ‘Pesquisas Experimentais em Eletricidade’, de Faraday. Eu estava atento para a suposta existência de uma diferença entre a maneira de Faraday conceber os fenômenos e a maneira dos matemáticos, tal que nem ele e nem eles ficaram satisfeitos com a linguagem um do outro. Eu também tinha a convicção que essa discrepância não tinha origem em nenhum erro. Fui primeiro convencido disso por Sir William Thompson, cuja orientação e assistência, bem como suas publicações, propiciaram o que eu tenho aprendido sobre o assunto.

Quando eu prossegui com os estudos de Faraday, percebi que seu método de conceber os fenômenos foi também matemático, apesar de não exibido na forma convencional de símbolos matemáticos. Eu também achei que seus métodos foram capazes de ser expressos nas formas matemáticas ordinárias, e então comparados com aqueles dos matemáticos.

Por exemplo, Faraday visualizava linhas de forças atravessando todo o espaço onde os matemáticos viam centros de forças atraindo-se à distância. Faraday visualizava um meio onde eles nada viam, [ou seja,] somente distância. Faraday procurava a base dos fenômenos em ações que se processavam num meio, eles se satisfaziam ao tê-las achado num poder de ação à distância exercido sobre os fluidos elétricos.

Quando eu traduzi de uma forma matemática o que considerei serem as idéias de Faraday, achei que em geral os resultados dos dois métodos coincidem, tal que os mesmos fenômenos foram explicados, e as mesmas leis de ação deduzidas de ambos os métodos, porém, que os métodos de Faraday assemelhavam-se àqueles nos quais começamos com o todo e chegamos às partes por análises, enquanto os métodos matemáticos ordinários baseavam-se sobre o princípio de iniciar com as partes e construir o todo por síntese.”

2.5 O CONCEITO ATUAL DE CAMPO ELÉTRICO

O conceito atual de campo elétrico passa, obrigatoriamente, por estudos mais aprofundados em diversos campos de investigação da Física. Há entretanto, um conjunto de conceitos aceitos e didaticamente apresentados em livros de ensino superior, que serão brevemente apresentados.

Em relação ao conceito de campo, SILVA (2002, p. 13) diz que “no contexto do século XIX, um campo de força era pensado como um espaço no qual a força é definida em cada ponto, e uma teoria de campo é qualquer teoria que permite calcular os valores dessas forças.” Porém, segundo a autora, a ação entre dois objetos é mediada por um campo existente no espaço entre eles e “o termo ‘campo’ é usado em

um sentido amplo, significando a introdução de entidades físicas ou matemáticas no espaço existente entre fontes elétricas e magnéticas. Ainda de acordo com a autora, as linhas de campo de Faraday representam o primeiro conceito preciso da idéia de campo.” SILVA (*ibidem*).

Atribui-se a Maxwell, que trabalhou nesse sentido durante o período de 1864 a 1873, a organização do que havia sido pensado e expresso matematicamente a respeito do conceito de campo. Este trabalho resultou numa teoria eletromagnética sinteticamente representada por quatro equações diferenciais⁴² envolvendo os campos elétricos e magnéticos, com suas respectivas fontes, densidades de cargas e corrente elétricas.

Em notação vetorial as quatro equações são assim expressas:

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0, \nabla \cdot \vec{D} = \rho, \nabla \times \vec{E} + \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = \vec{0}, \nabla \times \vec{H} - \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} = \vec{J} \quad (2.1)$$

De acordo com BASSALO (1992, p. 288) as intensidades dos campos eletromagnéticos foram interpretadas por Maxwell, analogamente ao campo gravitacional newtoniano. Ou seja:

“em analogia com a intensidade da gravidade \vec{g} que mede a força gravitacional sobre uma massa unitária colocada no local onde se quer medir aquela intensidade, Maxwell definiu as *intensidades elétrica e magnética*, para medir, respectivamente, a força elétrica e a força magnética, sobre cargas elétricas e ‘cargas’ magnéticas unitárias e positivas, colocadas no local onde se deseja aquelas intensidades, desde que, tais cargas não mexessem com a distribuição da eletricidade e do magnetismo”.

Nessa interpretação, o campo elétrico é um vetor obtido através da solução das equações de Maxwell ou das soluções diretas. Para uma partícula carregada, este campo corresponde ao vetor dado por:

$$\vec{E} = k \frac{q}{r^3} \vec{r} \quad (2.2) \text{ de módulo } k \frac{q}{r^2}$$

⁴² Para escrever as quatro equações do eletromagnetismo, Maxwell utilizou a teoria dos quatérnios desenvolvida por William Rowan Hamilton. A notação vetorial, cujas equações de Maxwell são comumente apresentadas, se deve a Análise Vetorial de Oliver Heaviside.

De acordo com REITZ et alii (1982, p. 39), o campo elétrico num ponto é definido como o limite da razão da força sobre uma carga teste, colocada no ponto, pela carga teste, quando esta tende a zero. Assim:

$$\vec{E} = \lim_{q \rightarrow 0} \frac{\vec{F}_q}{q} \quad (2.3)$$

considerando uma distribuição de N cargas puntuais q_1, q_2, \dots, q_N , localizadas nos pontos $\vec{r}_1, \vec{r}_2, \dots, \vec{r}_N$, respectivamente, uma distribuição volumétrica de cargas dada por $\rho(\vec{r}')$ no volume V e uma distribuição superficial caracterizada por $\sigma(\vec{r}')$ sobre a superfície S, onde $\rho(\vec{r}')$ e $\sigma(\vec{r}')$ são as densidades de cargas volumétrica e superficial, respectivamente.

Nessa consideração, o campo elétrico no ponto \vec{r} é dado por:

$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left\{ \sum_{i=1}^N q_i \frac{\vec{r} - \vec{r}_i}{|\vec{r} - \vec{r}_i|^3} + \int_V \frac{\vec{r} - \vec{r}'}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3} \rho(\vec{r}') dv' + \int_S \frac{\vec{r} - \vec{r}'}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3} \sigma(\vec{r}') da' \right\} \quad (2.4)$$

Com esta equação, segundo REITZ et alii (*idem*, p. 41), o campo elétrico em \vec{r} pode ser calculado, considerando as distribuições de cargas supracitadas.

Outra forma de calcular o campo elétrico é através da lei de Gauss, cuja forma integral é dada por

$$\oint_S \vec{E} \cdot \vec{n} da = \frac{1}{\epsilon_0} \int_V \rho dv \quad (2.5)$$

e a diferencial correspondente, por:

$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{1}{\epsilon_0} \rho \quad (2.6)$$

A aplicação da equação (2.5) é mais adequada para “situações suficientemente simétricas. Em outras palavras, em certas situações altamente simétricas, de considerável interesse físico, o campo elétrico pode ser calculado através do uso da lei de Gauss...” (REITZ, et alii 1982, p. 47). No entanto, para a equação (2.6) e considerando um campo apenas eletrostático, temos $\vec{E} = -\nabla\phi$ (2.7) que, e assim podemos escrever a equação (2.6) como: $\nabla^2\phi = -\rho/\epsilon_0$ (2.8) denominada equação de Poisson.

Se for considerada certa classe de problemas eletrostáticos que envolvam apenas condutores, a densidade de carga volumétrica, ρ , é zero. Assim, a equação (2.8) será escrita, $\nabla^2\varphi=0$ (2.9) denominada equação de Laplace.

A solução da equação de Laplace será possível mediante as condições de contorno nos limites de V . Soluções analíticas podem ser formadas pela combinação linear de um conjunto de funções básicas, escolhidas em função da simetria do problema, a saber: os polinômios de Legendre para soluções conhecidas como *harmônicos zonais*; e os *harmônicos cilíndricos*.

De uma outra forma, podemos considerar um espaço vazio livre de qualquer influência elétrica. Ao transportarmos uma carga elétrica para uma região deste espaço, cada ponto deste adquirirá propriedades que não tinha anteriormente. Falamos, portanto, que a carga *perturbou* o espaço em sua volta e a estas propriedades associadas a cada ponto do espaço, denominamos de *campo elétrico*. (ROCHA et alii, 2002, p. 261).

2.6 ASPECTOS CULTURAIS NA CONSTRUÇÃO DO CONCEITO DE CAMPO ELÉTRICO

Além dos aspectos apresentados anteriormente, outros elementos associados à constituição do conceito de campo e de campo elétrico podem ser buscados no âmbito dos fenômenos físicos e dos saberes vinculados às questões presentes nas discussões da sua construção tendo como elemento principal a concepção de transmissão cultural.

2.6.1 Os fenômenos físicos como elementos da cultura

No âmbito da transmissão cultural, podemos considerar a cultura como um patrimônio de conhecimentos e de competências, herança coletiva constituída ao longo de gerações, que transcende as fronteiras étnicas (FORQUIN, 1993, p. 10). Nesse

sentido, é importante registrar que na construção do conhecimento científico, há fatos históricos e culturais que podem ser considerados como parte da sua gênese, razão pela qual destacaremos as experiências associadas à eletricidade estática e ao magnetismo como *elementos da cultura* presentes nos fenômenos descobertos.

Os fenômenos naturais associados à atração de pequenos corpos pelo *âmbar* e de pedaços de ferro pela *magnetita* eram fatos já conhecidos pelos filósofos pré-socráticos na Grécia arcaica (final do século VII ao final do século V a.C.), sem que a eles fosse associada uma preocupação de distinção dos fenômenos observados. Este conhecimento também já era praticado pelos chineses, que, ao usarem as propriedades de orientação da *magnetita*, criaram a bússola. No entanto, o conhecimento do fenômeno da *repulsa elétrica*, de acordo com ROCHA et alii (2002, p. 191), só foi percebido na Idade Moderna por Nicolo Cabeo.

No que diz respeito aos fenômenos associados à eletricidade e ao magnetismo, passaram-se mais 25 séculos para que o homem, novamente, se deparasse com outro fenômeno absolutamente alheio à ciência de sua época e que exigisse novas interpretações. Tal fato aconteceu quando da aproximação de uma bússola, em certas condições, de uma corrente elétrica, e da observação de que sua agulha se movimentava quando se encontrava orientada na mesma direção da corrente elétrica, fenômeno observado sistematicamente por Orsted (1820). Este fenômeno físico causou espanto e estranheza à comunidade científica da época, pois não havia nenhum conhecimento científico que o explicasse. Decorrente deste desafio, iniciou-se uma série de experimentos que reproduzissem o fenômeno observado e a partir de então, formulassem um conhecimento que o explicasse.

Pontualmente indicados e sumarizados, esses fatos registram de forma ilustrativa, como os conhecimentos associados à eletricidade e ao magnetismo e à construção desses conceitos constituem-se em elementos de uma cultura que até os dias de hoje preservamos, pois até hoje nos reportamos ao fato de que pedras, na Antiguidade possuíam a propriedade de atrair metais; que âmbar atritado conseguia

atrair pedacinhos de lã ou de sabugo; que uma bússola era afetada pela passagem de corrente elétrica em um fio, e levamos para nossas conversas e salas de aula essas observações.

2.6.2 Os saberes como elementos da cultura escolar

As descobertas da eletricidade e do magnetismo são fatos conhecidos por mais de vinte e cinco séculos, cujas experiências foram repetidas inúmeras vezes pelos curiosos ou estudiosos da ciência. Em relação ao magnetismo houve uma aplicação das suas propriedades, resultando na criação da bússola. Porém, até o século XI, estes conhecimentos não foram sistematicamente estudados ou pesquisados (BEN-DOV, 1995, p. 97) e produzidos por meio “de um processo contínuo de seleção” (FORQUIN, 1992, p. 41), ou seja, não se constituíram como um conhecimento mais elaborado e específico e conforme o saber sábio definido por CHEVALLARD (1991), caracterizando-se principalmente como um processo de transmissão de vivências e experiências elaborados a partir das suas descobertas por meio do processo de sua constituição e transmissão podendo assim, segundo FORQUIN (1993, p. 10-14) e (1992, p. 41), serem tomados como elementos da cultura.

Somente depois de aproximadamente, 2.000 anos tem-se registro do conhecimento como uma forma de saber associado aos fenômenos observados pelos, então, pré-socráticos. Como iniciativa desse processo, Petrus Peregrinus sistematizou, em sua Epístola *De Magnete* (1296), o conhecimento associado às propriedades do ímã natural, denominando os pólos do ímã como *pólo norte* e *pólo sul*. Também, demonstrou que uma agulha seccionada ao meio resultava em dois novos ímãs. No entanto, este conhecimento sistematizado diz respeito somente aos fenômenos magnéticos, cabendo a William Gilbert, quatro séculos após Petrus Peregrinus, diferenciar os fenômenos elétricos dos magnéticos na sua obra ‘*Sobre o Ímã, os Corpos Magnéticos e o Grande Ímã, a Terra*’ (1600), onde reuniu todos os fatos conhecidos sobre o magnetismo.

Em relação ao eletromagnetismo, o primeiro resultado que também foi sistematicamente elaborado na forma de um saber científico ou sábio, conforme o denomina a teoria da transposição didática, foi o artigo publicado em 21 de julho de 1820 por Orsted no maior jornal científico da Europa. Nele, Orsted explicava o movimento da agulha por meio do conflito elétrico que não se limitava ao fio condutor, mas o permeava no espaço circunjacente. Dessa forma o conflito elétrico, que age por rotações, empurrava os pólos do ímã para uma direção que dependia da direção da corrente.

Também considerando a constituição dos saberes (FORQUIN, 1992 e CHEVALLARD, 1991), após algumas investigações realizadas por Ampère e Faraday sobre o fenômeno eletromagnético, foram propostas duas concepções. A primeira delas diz respeito às explicações de Orsted sobre o efeito magnético produzido por uma corrente elétrica. Para Ampère, as explicações propostas por Orsted sobre este efeito deveriam ser substituídas por uma abordagem eletrodinâmica de forças à distância entre corrente elétricas. Ele também descobriu que dois fios paralelos podiam atrair-se ou repelir-se de acordo com os sentidos das correntes elétricas que conduzissem e segundo a lei do inverso do quadrado da distância. Esta proposição restabelecia, em parte, a ordem newtoniana. Já a segunda é sobre o modelo das linhas de força de Faraday que, observando o fenômeno da limalha de ferro, propôs um modelo, cujas linhas se estendiam em torno do ímã, emergindo do pólo norte para convergir no pólo sul, denominando de campo magnético este conjunto de linhas de forças. Assim, Faraday explicava a atração e repulsão entre os pólos de ímãs diferentes por meio da afinidade entre a convergência e a divergência das linhas de força e uma incompatibilidade das convergências ou das divergências. Da mesma forma, Faraday interpretou a atração e repulsão elétrica entre cargas pela ação de um campo elétrico composto de linhas de forças que saíam da carga elétrica positiva e chegavam às negativas.

Observando-se o processo histórico da constituição do conceito de campo elétrico e/ou magnético, vê-se, na medida em que os saberes vão sendo constituídos, uma cadeia de outros saberes interligados que foram gerados ou a eles associados, constituindo-se num fenômeno de sua hierarquização ou estratificação. Portanto, destacamos doravante um ponto importante no processo de constituição do conceito de campo elétrico, um saber associados a outros saberes. Assim, mostramos, ainda de acordo com FORQUIN (1992, p. 41) alguns momentos deste processo onde este ponto se evidencia:

- a) Na obra '*Sobre o Ímã, os Corpos Magnéticos e o Grande Ímã, a Terra*' (1600), William Gilbert reuniu todos os fatos conhecidos sobre o magnetismo, onde associa os fenômenos magnéticos e elétricos a uma espécie de substância etérea e imaterial, o *effluvium*;
- b) O fato mais intrigante do experimento de Orsted foi a quebra da simetria física, quando a força de interação entre a agulha imantada e a corrente elétrica no fio não correspondia ao modelo da lei do inverso do quadrado da distância. Ou seja, a agulha da bússola tomava uma direção perpendicular ao fio que conduzia a corrente elétrica e estava em desacordo com a concepção dos newtonianos, pois Coulomb havia estabelecido que as interações físicas de natureza gravitacional, elétrica ou magnética davam-se por meio de força direta de ação à distância;
- c) Faraday, após ter verificado o efeito circular ao redor do fio, imaginou que um único pólo magnético de um ímã deveria girar em torno do fio enquanto a corrente fluísse e vice versa;
- d) De forma análoga ao campo gravitacional, foram definidas por Maxwell as intensidades dos campos eletromagnéticos. Assim, a intensidade do campo elétrico é dada como a força elétrica que age sobre uma carga colocada no local onde se deseja medir a intensidade do campo. Da mesma forma se define o campo magnético, considerando uma 'carga'

magnética unitária e positiva, desde que não se altere a distribuição da eletricidade e do magnetismo. Esta definição, numa linguagem matemática para os dias atuais, utiliza-se do conceito de limite de uma função. Ainda, caso haja uma distribuição de cargas pontuais ou superficiais ou volumétricas, é dada uma expressão matemática vetorial, em função de outras grandezas vetoriais e escalares, para o cálculo do campo elétrico numa posição arbitrária, como também ferramentas do cálculo matemático avançado para este objetivo e com condições específicas, como por exemplo: a lei de Gauss, as equações de Poisson e Laplace.

Outro ponto importante no processo de construção do conceito de campo elétrico é quando estes saberes associados e/ou interligados constituem-se numa concepção teórica. Podemos observar, também, esta característica no processo citado, a saber:

- a) As idéias de Gilbert articulavam-se em torno da atração elétrica e magnética, onde as interações se davam por meio do eflúvio elétrico (corpóreo) e magnético (imaterial);
- b) As ações físicas, como as interações elétrica e magnética, transmitidas entre os corpos que não se encontram em contato mútuo se constituem numa questão ‘angular’ no cenário científico, a partir do século XVII. Um dos filósofos naturalistas que procurou explicar este fenômeno foi DESCARTES⁴³ que, segundo GARDELLI (2004, p. 21), atribuiu às ‘partículas caneladas’ o poder de transformar o ferro ou o aço em ímãs, como também, explicar as atrações entre os mesmos;
- c) Neste mesmo cenário, a discussão das interações físicas entre os corpos se dava também no âmbito da atração gravitacional, onde a ação à distância era a forma pelas quais os corpos interagiam entre si

⁴³ Descartes, Princípios da Filosofia, 4ª parte, § 158.

obedecendo a lei do inverso do quadrado da distância. Esta concepção estabeleceu um modelo matemático e uma simetria física associada aos fenômenos físicos que envolvesse atração ou repulsão entre os corpos, seja o fenômeno de natureza elétrica, magnética ou gravitacional. A partir de então, esperava-se que as leis Físicas de outros fenômenos, ainda não conhecidos, obedecessem à mesma simetria física;

- d) A partir do experimento que deu início ao eletromagnetismo, iniciaram-se várias investigações em função do resultado apresentado por Orsted. A questão das interações físicas de forças de ação à distância tornou-se mais problemática, pois neste experimento a força não obedecia à lei do inverso do quadrado e não mantinha a simetria física associada às forças de atração ou de repulsão entre os corpos;
- e) As leis do eletromagnetismo foram matematizadas por Maxwell, resultando numa teoria eletromagnética representada pelas quatro equações diferenciais, envolvendo os campos elétricos e magnéticos, com suas respectivas fontes: densidades de cargas e corrente elétrica.

A partir das primeiras descobertas dos fenômenos físicos associados à eletricidade, ao magnetismo e ao eletromagnetismo e os respectivos saberes a eles associados, ficam evidentes os aspectos culturais que o conhecimento, no âmbito da transmissão cultural, adquire ao longo de sua construção histórica, desde o instante em que foi descoberto e posteriormente estudado e pesquisado pelos cientistas, até o momento em que se constituí um saber científico ou sábio.

CAPÍTULO 3 ORGANIZANDO A INVESTIGAÇÃO: ELEMENTOS E INSTRUMENTOS

Esta pesquisa tomou como pressupostos teóricos a cultura escolar e a transposição didática. Apesar de não fazermos um estudo da cultura escolar e da transposição didática, realizamos uma análise de alguns aspectos do conceito de campo elétrico nas esferas dos saberes a ensinar e ensinado, tendo como elemento principal a concepção de transmissão cultural, segundo a abordagem dada por Forquin à cultura escolar e do conceito de transposição didática de Yves Chevallard.

A pesquisa de campo se realizou através da análise de alguns aspectos da cultura e, principalmente, da transposição didática do conteúdo de ensino presente em alguns livros didáticos universitários e da Educação Básica, assim como nos cadernos de anotações da disciplina de Física de alunos de algumas Escolas públicas de Curitiba.

3.1 ELEMENTOS DE PESQUISA

Em trabalho anterior, VILLATORRE (2004) desenvolveu uma investigação sobre a situação do Ensino de Física nas Escolas Estaduais de Curitiba, descrevendo um pouco as características das Escolas nas quais se desenvolveu a presente pesquisa.

Naquele trabalho, Villatorre registrou que “o professor de Física pode ser caracterizado como aquele que, tradicionalmente, atua entre as quatro paredes de uma sala, provido de seus conhecimentos, giz, apagador e um livro didático” e cujo recurso didático mais utilizado é o quadro negro, seguido pelo livro didático ou apostila (VILLATORRE, 2005, p. 61).

Para efeito de nossa pesquisa, entendemos, dessa informação, que o livro didático e o quadro negro, onde o professor escreve detalhes de sua aula e que serão anotados pelos alunos nos seus cadernos disciplinares, são os principais espaços onde pode estar registrados, respectivamente, o saber a ensinar e o saber ensinado.

Entendemos, ainda, que a constituição deste saber, dá-se de forma diversificada e que o mesmo pode ser considerado legitimamente representado pelos conteúdos anotados nos cadernos de Física. Ainda, este saber ensinado, ou seja, os conteúdos dos cadernos em questão são conceitual e teoricamente contemplados pela cultura escolar, segundo Forquin e pela teoria da transposição didática.

O número de Escolas, turmas e cadernos foram dimensionados de forma a conjugar a disponibilidade de tempo do investigador e em função do período em que o conteúdo disciplinar, campo elétrico, é usualmente proposto para ser ensinado no calendário escolar e pelo tempo disponível para análise do mesmo.

Como o conteúdo campo elétrico é tradicionalmente previsto para ser ministrado nas Escolas públicas no segundo bimestre do ano letivo, limitamos a análise do saber ensinado para dois professores da disciplina de Física de duas Escolas, correspondendo a duas turmas da terceira série do Ensino Médio, principalmente pelo fato de que haveria necessidade de conjugar disponibilidade e interesse dos professores e, principalmente, com o fato de que o docente deveria estar desenvolvendo em sala de aula o conteúdo previsto para ser investigado.

Como critério de participação estabeleceu-se que os docentes deveriam ter formação profissional em Licenciatura em Física e estar lecionando nas respectivas turmas desde o início do ano letivo de 2006. No caso da existência de mais possibilidades de escolha, os critérios para se chegar aos dois docentes foram: maior titulação e tempo de atuação no magistério para a disciplina de Física (em torno de 10 anos), respectivamente nesta ordem, fazendo com que a escolha das duas Escolas ficasse dependente da escolha dos docentes.

Considerando que a investigação previa contato com professores e análise de cadernos de alunos, foram criados mecanismos que possibilitaram a aproximação e o contato com ambos. Portanto, pensou-se em dois momentos: um com o professor da disciplina para formalizar a sua colaboração por meio da carta de apresentação e a

realização da entrevista; outro com a turma para apresentação da pesquisa, distribuição de um pequeno questionário e xérox do material de pesquisa.

Para o primeiro momento, os instrumentos utilizados foram: a carta de apresentação e o roteiro da entrevista. Em relação à carta de apresentação, esta traz informações sobre o pesquisador e a pesquisa, além de uma solicitação ao professor, mostrando que a sua colaboração é muito importante para essa pesquisa e, finalmente, agradecendo a sua contribuição. Já o roteiro da entrevista compreende itens que identificam o professor, sua formação, informações sobre o local de trabalho e as questões propriamente ditas da entrevista.

A entrevista abordou os seguintes itens:

- a) Disciplina(s) (teórica e experimental) e livro(s) didático(s) em que estudou o conceito de campo elétrico;
- b) Ensino e aprendizagem do conceito de campo elétrico no seu curso de graduação;
- c) A sua aula de Física e as bibliografias de apóio;
- d) O ensino do conceito de campo elétrico na aula de Física;
- e) As anotações dos alunos na aula de Física.

Para o segundo momento foram elaborados dois instrumentos: o primeiro traz algumas orientações para a conversa com a turma e o segundo traz um pequeno questionário para os alunos preencherem enquanto se faziam as cópias dos seus cadernos. Através deste questionário foram obtidas informações da relação do aluno com o caderno e com a disciplina.

Tomando como universo da pesquisa as Escolas públicas de Curitiba, e adotando os mesmos critérios de seleção utilizados por VILATORRE (2004) foram relacionados 77 professores de Física que atuam nas 25 Escolas e aplicando os nossos critérios, foram selecionados os professores P3, P20, P24, P35, P47, P49, P52, P58 e P64, de nove Escolas de Curitiba, cuja caracterização sumária é apresentada na tabela que segue.

TABELA 3.1 RELAÇÃO DOS PROFESSORES PRÉ-SELECIONADOS

Professor	Formação	Instituição	Ano conclusão	Pós-graduação	Tempo magistério
P3	Física	UEL	1986	Especialização em Física para o novo EM	10
P20	Ciências/ Biologia	F F C L de Jandaia do Sul	1995	Especialização em Magistério da Educação Básica/ Interdisciplinaridade na Escola	11
P24	Ciências/ Matemática	F F C L de Palmas	1989	Especialização em Supervisão Escolar	12
P35	Química	PUC-PR	1976	Especialização em Magistério de 1º e 2º graus/ Metodologia de Ensino	11
P47	Matemática	UEPG	1990	Especialização em Física	12
P49	Ciências Biológicas e Lic Física	UFPR	1987 e 1997	Especialização em Magistério Superior e Especialização em Anatomia Funcional Humana	14
P52	Ciências Biológicas	UFPR	1985	Especialização em Magistério de 1º e 2º graus/ Metodologia de Ensino	14
P58	Ciências/ Matemática	F E F C I de Paranaguá	1984	Especialização em Magistério de 1º e 2º graus/ Metodologia de Ensino	14
P64	Matemática	UEPG	1974	Especialização em Ensino de Física para o 1º e 2º graus	2,4

Destes, apenas o professor P3 atendeu de imediato todos os critérios de seleção. Assim, mantivemos contato com ele e marcamos um dia para conversarmos, explicar os procedimentos da pesquisa e se possível fazer uma entrevista e tirar cópias dos cadernos dos alunos.

Em relação à escolha do outro professor optamos por selecionar os professores de formação em Matemática e especialização em Ensino de Física que foram os professores P47 e P64. Dos dois docentes, o primeiro atendia o critério de tempo de magistério em Ensino de Física e o outro não. Assim, o professor P47 foi selecionado. Porém, ao entrar em contato com este professor, como o mesmo não tinha disponibilidade imediata para nos atender, contatamos o professor P64 que prontamente nos atendeu.

Entretanto, ao chegar à Escola e conversar com o professor P64, foi constatado que o conteúdo que nos interessava investigar seria ministrado apenas em meados de julho e isto inviabilizou trabalhar com este professor. Apesar disso, ele nos concedeu uma entrevista sobre o conteúdo de ensino pesquisado.

Diante deste novo quadro, dentre os professores restantes, fizemos uma nova opção de escolha que eram os cursos realizados em universidades, cujos professores P35, P49 e P52 tinham cursado. Destes, o professor P52 pertencia à mesma Escola que o professor P3 e o professor P49 atendeu melhor o critério de tempo de magistério que o P35, então escolhemos o professor P49⁴⁴, com quem após mantido o contato inicial, foi acertado o dia para entrevista e para copiar os cadernos dos alunos da turma selecionada.

A identificação dos livros didáticos nos quais seriam analisados os conteúdos de campo elétrico foi feita a partir das informações prestadas pelos professores participantes. De acordo com nossa proposta, analisamos tanto os livros didáticos usados pelos professores em sua formação universitária quanto os livros didáticos por eles usados para ensinar em suas aulas.

Os livros didáticos usados como livros textos na disciplina de Física Básica, pelo professor P3 (Universidade Estadual de Londrina) e pelo professor P49 (Universidade Federal do Paraná) enquanto alunos de graduação foram:

- a) HALLIDAY, D. e RESNICK, R. **Fundamentos de Física – Eletromagnetismo**. Trad. LUIZ, A. M. et alii; Coord. Trad. LUIZ, A. M. v. 3. Rio de Janeiro: LTC Editora, 1991;
- b) SEARS, F.; ZEMANSKY, M. W.; YOUNG, H. D. **Física – Eletricidade e Magnetismo**. Trad. WEID, J. P. V. der., v. 3. Rio de Janeiro: LTC Editora, 1984;
- c) TIPLER, P. A. **Física – Eletricidade e Magnetismo, Óptica**. Trad. MACEDO, H. e BIASI, R de., v. 2. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2000.

⁴⁴ Com relação a este professor, convém esclarecer que ele não foi escolhido de imediato porque as informações dele disponíveis indicavam que seu curso de graduação era, apenas, em Ciências Biológicas. Entretanto, no decorrer do processo, quando entramos em contato com ele ficou esclarecido que ele havia obtido a licenciatura em Física como complementação de curso superior, o que o teria colocado como um dos primeiros professores a serem contatados.

Em relação aos livros usados pelos professores em suas salas de aula de Educação Básica, a análise se restringiu ao livro didático usado como apoio na preparação das aulas de Física do professor, que para o professor P3 eram estes:

- a) MÁXIMO, Antonio e ALVARENGA, Beatriz. **Curso de Física**. 4^a ed. v. 3. São Paulo: Scipione, 1999;
- b) PENTEADO, PAULO C. M. **Física Conceitos e Aplicações**. São Paulo: Editora Moderna, 1998.

e para o professor P49:

- a) MÁXIMO, Antonio e ALVARENGA, Beatriz. **Curso de Física**. 4^a ed. v. 3. São Paulo: Scipione, 1999;
- b) Material próprio⁴⁵.

Para analisar como o aluno registrava as informações dadas pelos professores, tomou-se como referência os cadernos dos alunos. Foram então copiados conteúdos de nove cadernos de alunos dos professores participantes.

3.2 COLETAS DE DADOS

Parte do material a ser investigado corresponde ao conteúdo de campo elétrico registrado nos cadernos de Física dos alunos das turmas selecionadas. Estes foram recolhidos e copiados com concordância dos professores e dos alunos. No entanto, antes de recolher o material de pesquisa foi realizado um ensaio com um professor e sua turma para testar e dimensionar os instrumentos. Também, antes, foram contatados os professores que poderiam participar e agendado um horário na Escola para lhe esclarecer e solicitar a sua colaboração na pesquisa.

Em relação ao professor P3, fizemos o contato por telefone e lhe adiantamos algumas informações preliminares, onde já se prontificou em colaborar. Assim, foi marcado um horário para entrevista-lo. Antes da entrevista fiz, inicialmente, a minha

⁴⁵ NOTAS DE AULA de elaboração própria.

apresentação e da pesquisa, falei como ele foi selecionado e dos objetivos da entrevista. Após estas apresentações e de forma verbal, formalizei o compromisso da não divulgação da sua identidade e utilização das informações, somente para fins acadêmicos. Iniciada a entrevista, procurei resgatar o nome da disciplina, os livros textos utilizados e a forma como o conceito de campo elétrico foi abordado, destacando as evidências conceituais físicas e matemáticas, relativas aos momentos de ensino e aprendizagem durante o seu curso na disciplina de Física Básica. Em relação ao ensino do conceito de campo elétrico nas aulas de Física, procurei saber a forma como ministra a sua aula e como os alunos anotam o conteúdo ensinado e, também, quais são as referências bibliográficas utilizadas como apóio na preparação de suas aulas. Finalizamos a entrevista e marcamos para o próximo dia em que ministrava aulas nas suas turmas da terceira série do Ensino Médio para conversar rapidamente com a turma e xerocar material.

No horário e dia em que estava marcada a aula com a turma da terceira série, fui apresentado à turma, onde fiz a minha apresentação e a da pesquisa, e também, falei como a turma foi selecionada. Em seguida formalizei, verbalmente, um compromisso ético de não divulgar o nome dos alunos e de usar as anotações dos conteúdos dos cadernos, somente para fins científicos. E finalmente, deixei em aberto a possibilidade de uma conversa com alguns alunos em função da análise dos conteúdos dos cadernos. Dada a autorização para copiar o material, deixei um questionário com os que emprestaram o material para que respondessem algumas perguntas e, em seguida, levei os cadernos para copiá-los na própria Escola. Retornando antes do término da aula, devolvi os cadernos e recolhi os questionários, quando, também, agradei a todos e ao professor pela colaboração.

Em relação ao professor P49 fui à Escola onde lecionava, pois não conseguia contatá-lo por telefone. Verifiquei com a coordenação pedagógica os dias em que estava na Escola, onde na seqüência consegui falar com este professor. Durante este primeiro contato expliquei as minhas intenções, com as quais ele concordou em

colaborar prontamente. Marcamos o dia e horário para a entrevista e para a cópia do material. Devido às circunstâncias, foi recolhido primeiro o material e depois realizada a entrevista com este professor. Da mesma forma como foi realizada com a turma do professor P3, também o foi com a turma do professor P49. Depois foi realizada a entrevista com este professor e em seguida agradei pela sua colaboração.

3.3 ELEMENTOS DE ANÁLISE

Tendo delimitado o espaço e as condições da investigação, realizado um resgate da história da constituição do conceito de campo elétrico, fizemos, então, a análise das informações obtidas e para isto definimos alguns aspectos que tomamos como ‘categorias’ para a referida análise, a saber:

- a) A construção do conceito de campo elétrico, levando em consideração o conceito físico e a linguagem matemática⁴⁶:
 - Nos livros de Física Básica ou Geral dos cursos de Licenciatura em Física das Universidades cursadas pelos professores entrevistados;
 - Nos livros didáticos de apóio para preparação das aulas dos professores de Física entrevistados;
 - Nos cadernos de Física dos alunos das turmas selecionadas.
- b) Aspectos culturais⁴⁷ do conteúdo campo elétrico como elemento da cultura no âmbito da Ciência Física e da Física Escolar:
 - Os fenômenos físicos como elementos da cultura;
 - Os saberes como elementos da cultura escolar.
- c) A distância⁴⁸ entre o objeto do saber e o objeto de ensino;

⁴⁶ Este aspecto foi evidenciado no item 2.1 do segundo capítulo, quando abordamos a construção do conceito campo elétrico, desde a sua gênese até a sua conceituação atual.

⁴⁷ No âmbito da transmissão cultural, ressaltamos alguns aspectos culturais que poderão estar associados ao conteúdo campo elétrico. Dessa forma, destacamos os conhecimentos associados ao fenômeno físico que possuem um vínculo, a posteriori, com o conceito de campo elétrico. Portanto, consideramos este como patrimônio cultural adquirido ao longo de sua constituição e, também, como elementos da cultura. Outro aspecto que ressaltamos como elementos da cultura, são os saberes elaborados nessa trajetória, segundo as concepções fourquiniana e chevallardiana.

- d) A despersonalização e a descontextualização⁴⁹ do saber a ensinar;
- e) A prática social de referência⁵⁰ associada ao conceito na esfera do saber a ensinar.

As análises dos conteúdos de ensino contidos nos livros de Física universitários, do Ensino Médio e nos cadernos de anotações dos alunos das turmas selecionadas foram realizadas tendo como categorias fundamentais de análise a cultura escolar e a transposição didática. A análise perpassou os três meios em que está registrado o conteúdo de ensino investigado, ou seja, os livros didáticos de Física selecionados da Educação Básica e superior e os cadernos de Física dos alunos do Ensino Médio das turmas selecionadas.

Inicialmente foi analisado o conceito de campo elétrico nos materiais didáticos selecionados e mencionados acima. A primeira análise dos conteúdos de ensino acerca do conceito de campo elétrico tomou como parâmetro o conceito físico e a linguagem matemática utilizada neste conteúdo. Assim se analisou a forma como foi apresentado o conceito de campo elétrico. Em relação ao aspecto físico foi verificado o que diz ser fisicamente este conceito nos meios citados e em relação ao aspecto matemático foi verificada a ferramenta matemática que é utilizada na concepção desse conceito físico.

Em relação ao conteúdo de ensino campo elétrico como um elemento da cultura foi verificado no material didático investigado quais aspectos culturais estão associados a este conteúdo; primeiro, em relação ao conhecimento dos fenômenos físicos associados ao conceito de campo, depois, em relação à forma que este conhecimento toma quando se torna um saber.

⁴⁸ Este aspecto está intrinsecamente associado ao conceito de transposição didática, pois esta toma como pressuposto a distinção entre os saberes. Este aspecto será utilizado para mostrar o quão distante está (ou não) o saber acadêmico (ou científico) do saber escolar.

⁴⁹ O saber que produz a transposição didática é exilado de sua origem e separado de sua produção histórica na esfera do saber sábio, conforme a transposição didática. Portanto, este saber terá como conseqüências imediatas a sua descontextualização e despersonalização e, assim também, será observado.

⁵⁰ Pode ser evidenciada quando se observa certa proximidade dos conteúdos com a cultura e o cotidiano do aluno (Martinand).

Para a análise dos itens: distância entre o objeto do saber e o objeto de ensino, a despersonalização e a descontextualização, foi tomado como referência o texto ‘Abordagem Histórica na Construção do Conceito de Campo Elétrico’ desenvolvido no tópico 2.1 do segundo capítulo para a caracterização dos itens supracitados nos conteúdos de ensino investigados.

Em relação à distância entre os objetos do saber e de ensino, uma das razões que pode justificar este distanciamento são as implicações dos imperativos didáticos imposta ao saber que foi designado para ser ensinado. Outra que pode, também, corroborar para isso são as modificações que o próprio conceito ou saber pode sofrer ao longo do processo transpositivo. Portanto, para a análise dos conteúdos de ensino em questão, segundo este item, foi verificado o quão distante estão esses saberes, pela observação dos elementos citados no saber produzido pela transposição didática. O resultado desse distanciamento é uma outra natureza para o saber produzido pela transposição didática, pois os contextos de criação e das relações didáticas são necessariamente distintos. A questão que apontamos, portanto, para o item de formação do saber é: qual é o contexto estabelecido pelas relações didáticas para o conteúdo de ensino em questão?

A despersonalização e a descontextualização do saber talvez sejam as características mais presentes no processo da transposição didática. Na análise dos conteúdos de ensino em questão foram observados estes aspectos, como também, o fizemos para as práticas sócias de referência.

CAPÍTULO 4 ANÁLISE DE ALGUNS ASPECTOS DA TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA E DA CULTURA ASSOCIADOS AO CONCEITO DE CAMPO ELÉTRICO

Utilizamos como elementos de análise os propostos no capítulo anterior e para tanto, foi verificada a forma como o conceito de campo elétrico foi criado e apresentado nos textos analisados, levando em consideração aspectos físicos e matemáticos. No entanto, em relação aos aspectos culturais, verificou-se quais fenômenos físicos associados à eletricidade e ao magnetismo descobertos pelos gregos e, também, no século XVI estavam registrados nestes textos, como também a forma como o saber campo elétrico estava apresentado.

Em relação ao processo transpositivo foi realizada uma análise de alguns aspectos relacionados à transposição didática, como a distância entre o objeto do saber e o objeto de ensino, a descontextualização e despersonalização do saber e, também, exemplos de práticas sociais de referência associada ao conceito analisado.

4.1 O CAMPO ELÉTRICO, SEGUNDO O CONCEITO FÍSICO E A LINGUAGEM MATEMÁTICA

O conceito de campo elétrico foi analisado nas duas esferas do saber, ou seja, a esfera do saber a ensinar e do saber ensinado. Nestas esferas, verificou-se a forma como este conceito foi construído e apresentado, levando em consideração os aspectos físicos e matemáticos. Em relação aos aspectos físicos foi verificado se o conceito diz fisicamente o que é o campo elétrico, ou seja, qual a sua natureza e suas propriedades físicas. Por sua vez, em relação ao aspecto matemático foi verificado se este conceito é definido por meio de uma equação ou expressão matemática ou se está construído através de proposições matemáticas. Dessa forma, a análise foi realizada em alguns livros de Física Básica ou Geral universitários e de Física do Ensino Médio, como

também, nos Cadernos de Física das turmas selecionadas, tomando esses elementos como referência.

4.1.1 Nos livros didáticos de Física Básica ou Geral⁵¹

Neste item foram analisados os aspectos citados nos três livros universitários indicados pelos professores participantes, a saber:

Física – Eletricidade e Magnetismo. SEARS, ZEMANSKY e YOUNG⁵²

O conceito de campo elétrico é abordado no capítulo 25 da edição analisada e possui o título ‘O Campo Elétrico: A Lei de Gauss’. Este capítulo tem os seguintes itens:

- 25.1 O Campo Elétrico
- 25.2 Cálculo do Campo Elétrico
- 25.3 Linhas de Força
- 25.4 A Lei de Gauss
- 25.5 Aplicação da Lei de Gauss

Para construir o conceito físico de campo elétrico, no item 25.1, os autores fazem uma pequena introdução da importância deste conceito. Dizem que a interação elétrica entre partículas pode ser reformulada por meio do campo elétrico e que este não é apenas um método de cálculo, mas um conceito importante com significado teórico fundamental.

A apresentação se dá por meio de uma figura que mostra duas cargas positivas, A e B, próximas uma da outra, onde é afirmado que a força de interação é ‘de

⁵¹ Os livros analisados de Física Básica ou Geral serão referidos pelo sobrenome do autor ou do primeiro autor, mais o título do livro, ou seja: SEARS – Física: Eletricidade e Magnetismo; HALLIDAY – Fundamentos de Física: Eletromagnetismo e TIPLER – Física: Eletricidade, Magnetismo e Óptica.

⁵² SEARS, F.; ZEMANSKY, M. W.; YOUNG, H. D. Física – Eletricidade e Magnetismo. Trad. WEID, J. P. V. der., 2 ed., v. 3. Rio de Janeiro: LTC Editora, 1984.

ação à distância'. Depois, é pedido ao leitor que imagine “uma dessas cargas como se estivesse modificando o estado de coisas no espaço circundante, de modo que esse estado se torna diferente do que era na ausência desses corpos.” (SEARS et alii, 1984, p. 523). Em seguida, os autores pedem que seja removido (ou seja, imaginando que será removido) o corpo B e dizem que o corpo A, carregado, produz ou cria um campo elétrico no ponto onde se encontrava o corpo B – que chamou de ponto P – e, caso o corpo B seja colocado em P, a força de interação elétrica será exercida em B pelo campo e não diretamente pelo corpo A. Ainda, o campo elétrico exercido no ponto P é estendido em todo o espaço entorno de A.

Para os autores a verificação experimental da existência do campo elétrico se dá através de um corpo carregado, chamado de carga de prova e que se existir um campo elétrico num dado ponto e se for colocado uma carga de prova neste ponto, então sobre essa carga de prova atuará uma força de natureza elétrica. Assim, “define-se *campo elétrico* \mathbf{E} em um ponto como o quociente entre a força \mathbf{F} que atua sobre uma carga de prova positiva, q' , situada nesse ponto e sua carga.” (*idem*, p. 525), enquanto a definição matemática do campo elétrico é feita em função dessa carga de prova, quando também o define como uma grandeza vetorial da seguinte forma⁵³:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q'} \quad (4.1)$$

De acordo com os autores, a orientação do campo elétrico é a mesma da força.

Ainda segundo os autores, a força atuante sobre a carga de prova varia de ponto a ponto e, conseqüentemente, o campo elétrico também. “Assim, o campo \vec{E} não é, em geral, uma única grandeza vetorial, mas um conjunto infinito de grandezas vetoriais, uma associada a cada ponto do espaço.” (SEARS et alii, 1984, p. 524).

⁵³ As equações apresentadas neste trabalho serão numeradas para que possam ser identificadas por um número.

Para evitar que a carga de prova altere a distribuição de cargas, os autores lançam mão de conceito matemático de limite, fazendo a carga de prova tender à zero, ou seja:

$$\vec{E} = \lim_{q' \rightarrow 0} \frac{\vec{F}}{q'} \quad (4.2)$$

Os autores, no item 25.2, fornecem também uma forma matemática para o cálculo do campo elétrico por meio da Lei de Coulomb, enquanto a intensidade do campo elétrico num dado ponto, poderá ser calculada se for conhecida a distância à carga puntiforme q . A orientação do campo, segundo os autores, é dirigida de q para fora, se q for positivo e dirigida para q , se esta for negativa. Em notação vetorial a expressão é escrita da seguinte forma: $\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q\hat{r}}{r^2}$ (4.3)

onde r é a distância da carga ao ponto e \hat{r} é o versor que dá a orientação do vetor campo elétrico. Assim, aplicam esta equação no cálculo do campo elétrico para: cargas pontuais, um anel carregado, um fio longo carregado e uma camada plana e infinita de cargas, usando como ferramenta matemática o cálculo diferencial e integral.

No item 25.3, os autores introduzem o conceito de linhas de força, atribuindo a sua autoria a Michael Faraday, dizendo que este conceito foi introduzido para ajudar a visualização dos campos elétricos (e magnéticos). Depois, definem uma linha de força (em um campo elétrico) como “uma linha imaginária, traçada de tal maneira que sua direção e sentido em qualquer ponto (isto é, direção e o sentido de sua tangente) são os mesmos que os do campo nesse ponto.” (*idem*, p. 534). Também, sugerem chamar o termo ‘linha de força’ por ‘linha de campo’. Para os autores, a intensidade do campo elétrico pode ser conhecida por meio das linhas de campo, onde “o número de linhas, por unidade de área, que atravessam uma superfície normal à direção do campo é, em cada ponto, proporcional à intensidade do campo elétrico.” (*idem*, p. 536).

Nos itens 25.4 e 25.5 os autores desenvolvem uma construção que leva à formulação da Lei de Gauss, que utilizam como uma poderosa ferramenta matemática para o cálculo do campo elétrico em diversas situações de simetria geométrica.

Fundamentos de Física – Eletromagnetismo. HALLIDAY e RESNICK⁵⁴

O conceito de campo elétrico é abordado no capítulo 24 da edição analisada sob o título ‘O Campo Elétrico’, com os seguintes itens:

- 24.1 Cargas e Forças: uma visualização mais aprofundada
- 24.2 O Campo Elétrico
- 24.3 Linhas de Força
- 24.4 Cálculo do Campo: uma carga pontual
- 24.5 Cálculo do Campo: Um Dipolo Elétrico
- 24.6 Campo Produzido por um Anel Carregado
- 24.7 Campo produzido por um Disco
- 24.8 Carga Pontual em Campo Elétrico
- 24-9 Um Dipolo em Campo Elétrico

Os autores iniciam o item 24.1 com uma notícia sobre um vôo da sonda Voyager 2 em direção a Urano, lançada em 1986. Esta notícia informa que a duração do tempo da comunicação entre a sonda e a base foi de 5,5 horas. Sem explicar a razão deste fato, lançam uma discussão sobre o tempo de comunicação e questionam: como uma carga sente a presença da outra, quando uma se movimenta e a outra permanece fixa? Voltando ao exemplo da sonda Voyager 2, os autores sugerem que a carga que se movimenta encontra-se na antena da sonda e a segunda numa antena receptora na Terra e dizem que a chave para este tipo de comunicação é o conceito de campo eletromagnético. Afirmam, portanto, que uma carga ‘saberá’ através de uma perturbação do campo eletromagnético quando a outra se deslocou.

No item 24.2, antes de conceituar campo elétrico, os autores iniciam fazendo analogias com as idéias de campo de temperatura, de pressão (escalares) e, principalmente, gravitacional (vetorial). Para este, expressam uma equação matemática para representá-lo,

$$\vec{g} = \frac{\vec{F}}{m} \quad (4.4) \text{ - campo gravitacional}$$

⁵⁴ HALLIDAY, D. e RESNICK, R. Fundamentos de Física – Eletromagnetismo. Trad. LUIZ, A. M. et alii; Coord. Trad. LUIZ, A. M. 3 ed., v. 3. Rio de Janeiro: LTC Editora, 1991.

onde o vetor \vec{g} representa a aceleração de um corpo de prova, onde m é a massa e \vec{F} a força gravitacional.

Para definir matematicamente o conceito de campo elétrico os autores condicionam-o à existência de uma força elétrica, ou seja, “se colocarmos um corpo-de-prova, possuindo uma carga elétrica positiva q , próximo a uma barra carregada, uma força eletrostática \vec{F} atuará sobre ele, e, então, dizemos que existe um campo elétrico nessa região.” (HALLIDAY e RESNICK, 1991, p. 16). A expressão matemática, análoga ao campo gravitacional, que define o campo elétrico é dada por:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad (4.5) - \text{campo elétrico}$$

cuja direção de \vec{E} é a mesma de \vec{F} . Falam também que se as cargas que produzem o campo estiverem fixas, pode-se utilizar qualquer carga de prova, mas se ocorrer o contrário, a carga-teste deverá ser tão pequena quanto possível. Ainda, neste item, os autores lembram que inicialmente os físicos pensavam que a interação elétrica entre corpos carregados se dava de forma instantânea e direta. Mas, atualmente, interpreta-se o campo elétrico como um agente intermediário entre as cargas.

O modelo de linhas de força é apresentado no item 24.3, onde os autores dizem que foi Faraday quem introduziu o conceito de campo, imaginando o espaço em torno do corpo carregado sempre preenchido por linhas de força. Dizem, ainda, que a direção do campo é dada pela tangente a uma linha de força num dado ponto e que o número de linhas de força que atravessa a unidade de área de uma seção, cuja direção é normal à linha de força é proporcional ao módulo de \vec{E} .

Nos itens 24.4, 24.5 e 24.6 os autores desenvolvem o cálculo do campo elétrico a partir da Lei de Coulomb para corpos carregados com diferentes geometrias, utilizando como ferramenta matemática o teorema binomial e o cálculo diferencial e integral. Assim, desenvolvem as expressões matemáticas do campo elétrico para uma carga pontual, para um dipolo elétrico, para um anel e para um disco carregados.

Os autores destinam um capítulo específico para a Lei de Gauss, onde exploram de forma minuciosa o conceito e as implicações desta lei e para o cálculo do campo elétrico, como também as suas aplicações em diversas simetrias geométricas.

Física – Eletricidade e Magnetismo, Óptica. Paul A. Tipler⁵⁵

O conteúdo de campo elétrico é apresentado nos capítulos 22 e 23, cujas descrições são:

22 O Campo Elétrico I: Distribuições Discretas de Cargas

- 22.1 Carga Elétrica
- 22.2 Condutores e Isolantes
- 22.3 Lei de Coulomb
- 22.4 O Campo Elétrico
- 22.5 Linhas de Campo Elétrico
- 22.6 Movimentos de Cargas Puntiformes nos Campos Elétricos
- 22.7 Dipolos Elétricos em Campos Elétricos

23 O Campo Elétrico II: Distribuições Contínuas de Cargas

- 23.1 Cálculo de \vec{E} pela Lei de Coulomb
- 23.2 Lei de Gauss
- 23.3 Cálculo de \vec{E} pela Lei de Gauss
- 23.4 Descontinuidade de E_n
- 23.5 Cargas e Campos nas Superfícies Condutoras
- 23.6 Dedução da Lei de Gauss a Partir da Lei de Coulomb

Por não ter analisado os conteúdos anteriores ao de campo elétrico nos outros livros, neste iremos analisar os conteúdos a partir do item 22.4.

No item 22.4, o autor inicia exemplificando a força elétrica como uma força de ação à distância, semelhante à força gravitacional. Questiona o fato das interações

⁵⁵ TIPLER, P. A Física – Eletricidade e Magnetismo, Óptica. Trad. MACEDO, H. e BIASI, R de. 4 ed., v. 2. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2000, p. 2-52.

entre partículas através do espaço vazio, sugerindo a adoção do conceito de campo elétrico para contornar o problema e diz que uma carga provoca um campo elétrico em todo o espaço e a interação sobre a partícula carregada se dá através do campo que se propaga com a velocidade da luz. A partir da conclusão de que a força elétrica exercida pelo campo sobre uma carga de prova, q_0 , é proporcional à mesma, o autor define o campo elétrico \vec{E} como o quociente entre a força resultante e a carga elétrica

$$q_0. \quad \vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad (4.6) \quad [q_0 \text{ pequena}] \quad \text{Definição - Campo elétrico}$$

e também mostra que o campo elétrico de uma carga puntiforme pode ser obtido pela lei de Coulomb, cuja equação é dada por:

$$\vec{E} = \frac{kq_i}{r_{i,o}^2} \hat{r}_{i,o} \quad (4.7) \quad \text{Lei de Coulomb e campo } \vec{E} \text{ de carga puntiforme}$$

onde $\hat{r}_{i,o}$ é um vetor unitário.

No item 22.5 o autor diz que “podemos figurar o campo elétrico mediante curvas que indicam a respectiva direção” (TIPLER, 2000, p. 14) e que o vetor campo elétrico \vec{E} é tangente a uma dada curva. Afirma, ainda, que as linhas de campo são também chamadas de linhas de força, pois dão a direção da força em cada ponto sobre uma carga de prova positiva e, também que a densidade de linhas diminui com $1/r^2$, quando a distância à carga aumenta. Dessa forma, a intensidade do campo será proporcional à densidade das linhas.

No capítulo 23, o autor dedica-se ao cálculo do campo elétrico para distribuições contínuas de cargas. No item 23.1, mostra que o campo elétrico $d\vec{E}$ de um elemento de carga dq , num ponto P é dado pela Lei de Coulomb:

$$d\vec{E} = \frac{k dq}{r^2} \hat{r} \quad (4.8)$$

e calcula o campo elétrico \vec{E} sobre o eixo de segmento de reta finito carregado, sobre a mediatriz de segmento de reta carregado, de uma reta infinita carregada, sobre o eixo de um anel de cargas, sobre o eixo de um disco uniformemente carregado e de um plano infinito carregado.

Nos itens seguintes o autor enuncia a Lei de Gauss e a aplica para o cálculo do campo elétrico em diversas situações de simetria geométrica, discutindo algumas situações específicas do campo elétrico.

4.1.2 Nos livros didáticos da Física Escolar⁵⁶

Da mesma forma como fizemos com os textos de Física de Ensino Superior, analisamos como o conceito de campo elétrico é explanado nos livros didáticos de Física propostos para o Ensino Médio e mencionados pelos professores participantes da pesquisa e nas NOTAS DE AULA⁵⁷ do professor P49. A saber:

Curso de Física 3. ANTONIO MÁXIMO e BEATRIZ ALVARENGA⁵⁸

O conceito de campo elétrico é abordado no capítulo 19 com o título ‘Campo Elétrico’. Antes de iniciar o capítulo, os autores fazem algumas observações para o professor, onde consideram o conceito de campo elétrico como uma das idéias fundamentais da Física, sendo usada com frequência no estudo do eletromagnetismo. Recomendam evitar cálculos de campo elétricos de cargas pontuais com configurações geométricas complexas, como também um tratamento demorado ao conteúdo campo elétrico. Ainda alertam que para o cálculo do campo elétrico neste livro e numa esfera metálica eletrizada, este nunca será realizado em um ponto situado exatamente sobre a superfície da esfera.

No item 19.1 os autores introduzem o conceito de campo elétrico através de uma figura. A figura contém duas cargas elétricas próximas, sendo uma fixa e a outra

⁵⁶ Os dois livros da Física Escolar analisados serão referidos por BEATRIZ ALVARENGA – Curso de Física para o livro Curso de Física 3 e de PENTEADO – Física Conceitos e Aplicações para o livro Física Conceitos e Aplicações.

⁵⁷ O professor P49 tem como material de apoio para as suas aulas, além do livro didático, as NOTAS DE AULA também.

⁵⁸ MÁXIMO, Antonio e ALVARENGA, Beatriz. Curso de Física. 4ª edição. v. 3. São Paulo: Scipione, p. 911-984, 1999.

móvel. Em seguida, observa-se a existência de uma força elétrica atuando sobre a carga móvel, supondo-se que esta se desloca para outras posições em torno da carga fixa, onde se observa a existência, também, da força elétrica. Para descrever o fato, os autores dizem existir, em qualquer ponto do espaço em torno da carga fixa, um campo elétrico criado por esta carga. De um modo geral, afirmam que “sempre que em cada ponto de uma certa região corresponder o valor de uma dada grandeza, dizemos que, naquela região, existe um campo associado àquela grandeza.” (MÁXIMO e ALVARENGA, 1999, p. 958).

Os autores comentam o fato de que a existência do campo elétrico não depende da presença da carga de prova e que o campo elétrico é responsável pelo aparecimento da força elétrica sobre a carga de prova, ou seja, “consideramos que a força elétrica que atua sobre q é devida à ação do campo elétrico e não à ação direta de Q sobre q ” (*idem*, p. 957). Ainda dizem que em cada ponto do espaço o campo elétrico pode ser representado por um vetor, \vec{E} , de intensidade $E = F / q$ (4.9), cuja direção e sentido é a mesma da força que atua numa carga positiva colocada no ponto (*idem*, p. 958).

No item 19.2 os autores calculam o campo elétrico para uma carga puntual por meio da equação:

$$E = k_0 \frac{Q}{r^2} \quad (4.10)$$

onde k_0 é uma constante de proporcionalidade. Também comentam que a intensidade do campo é diretamente proporcional à carga que gera o campo e inversamente proporcional ao quadrado da distância e mostram graficamente estas relações. Ainda nesta seção, os autores calculam o campo elétrico resultante de várias cargas pontuais por meio da soma vetorial dos campos de cada carga e o campo elétrico de uma esfera condutora carregada.

No item 19.3 trazem uma pequena nota sobre Michael Faraday e dizem que as linhas de força foram introduzidas por Faraday com a finalidade de representar o campo elétrico através de diagramas. Em seguida, constroem este conceito a partir de uma figura que representa um dado campo elétrico de carga positiva, onde, nesta

figura, estão representados três vetores ascendentes na direção vertical, \vec{E}_1 , \vec{E}_2 e \vec{E}_3 e muitos outros não nomeados. Em relação aos três vetores, os autores traçam uma linha passando por eles com a mesma orientação. A esta linha traçada os autores denominam de linha de força do campo elétrico. Comentam, ainda, que as linhas de força podem ser traçadas de modo a fornecer informações sobre o módulo, a direção e o sentido do vetor campo elétrico, convencionando para isso traçar as linhas de força mais próximas umas das outras nas regiões onde a intensidade do campo elétrico é maior e mais afastadas onde for menor. Finalizando o item, os autores dizem que o campo elétrico é uniforme quando apresentar o mesmo módulo, a mesma direção e o mesmo sentido.

Física Conceitos e Aplicações. Volume 3. PAULO C. M. PENTEADO⁵⁹

O conceito de campo elétrico é abordado no segundo capítulo a partir do terceiro item. Neste item, inicialmente, o autor destaca dois tipos de forças que denomina de forças de contato e de campo. Segundo o autor, para que as forças de contato atuem é necessário que haja contato entre os corpos, porém para as forças de campo não é necessário que os corpos estejam em contato, a exemplo das forças gravitacional e eletrostática, estas atuam à distância.

Para ele a idéia de força de ação à distância trouxe grandes dificuldades para os pensadores. Cita Newton, como exemplo, com a lei da Gravitação Universal, que não se sentia confortável com essa concepção. Segundo o autor, essas dificuldades foram superadas com a introdução do conceito de campo por Michael Faraday para quem o campo eletrostático se estendia por todo o espaço que envolve uma carga elétrica.

Depois dessa introdução, o autor lança a seguinte questão: “mas, afinal, o que é o campo elétrico?” (PENTEADO, 1998, p. 32). Diante desta indagação ele

⁵⁹ PENTEADO, PAULO C. M. Física Conceitos e Aplicações, São Paulo: Editora Moderna, p. 2-40, 1998.

retoma a discussão dizendo “que a principal característica de uma carga elétrica é a sua capacidade de interagir com outras cargas elétricas” (*ibidem*) e que esta capacidade está relacionada à presença do campo elétrico que é uma propriedade da carga. Para o autor, o campo elétrico é uma parte real, porém não material de qualquer carga elétrica, podendo ser considerado como uma ‘aura’ que envolve toda e qualquer carga elétrica, sendo impossível desvincular uma carga elétrica de seu respectivo campo elétrico.

De acordo com autor, “o campo elétrico é uma região do espaço que envolve a carga elétrica” (*ibidem*) e que qualquer carga elétrica colocada em um ponto desse espaço, ficará sujeita a uma força elétrica. Esta também é a forma de se detectar a existência de um campo elétrico quando diz que “se em uma determinada região do espaço existir um campo elétrico, então, uma carga de prova colocada em repouso nessa região ficará sujeita a uma força elétrica.” (*ibidem*).

Para formular uma definição quantitativa da grandeza campo elétrico, ele propõe a seguinte construção: suponha um campo elétrico numa dada região do espaço e um ponto P dessa região. Coloca-se, então, nesse ponto uma carga de prova q_1 que ficará sujeita a uma força elétrica \vec{F}_1 . Depois, troca-se a carga de prova q_2 por q_1 , no mesmo ponto, obtendo-se uma força elétrica \vec{F}_2 e repete, sucessivamente, o processo para outras cargas de provas colocadas em P, constatando-se que, para cada carga de prova q_n , surge uma força elétrica \vec{F}_n . Segundo o autor, observa-se que todas as forças elétricas possuem a mesma direção e essas forças que atuam em cargas positivas têm um determinado sentido, enquanto as que atuam em cargas negativas possuem o sentido contrário, como também, uma verificação, tanto teórica quanto experimental, mostra que:

$$\frac{\vec{F}_1}{q_1} = \frac{\vec{F}_2}{q_2} = \frac{\vec{F}_3}{q_3} = \dots = \frac{\vec{F}_n}{q_n} \quad [\text{constante}] \quad (4.11)$$

Assim, a constante obtida da relação é denominada vetor campo elétrico \vec{E} associado ao ponto P. Concluindo, o autor afirma que “a cada ponto do espaço pode-se

associar um vetor campo elétrico \vec{E} dada pela relação entre a força elétrica \vec{F} e a respectiva carga de prova q ” (*idem*, p. 33), ou seja:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad \text{ou} \quad \vec{F} = q \cdot \vec{E} \quad (4.12)$$

Em uma de suas observações o autor diz que “apesar de termos trabalhado com a força elétrica antes de introduzirmos o conceito de campo elétrico, é importante ressaltar que o campo elétrico é a causa da existência da força elétrica” (*ibidem*) e, também, ressalta a similaridade entre a força elétrica ($F_{elétrica} = q \cdot \vec{E}$) (4.13) e a força gravitacional ($F_{gravitacional} = m \cdot \vec{g}$) (4.14), ambas consideradas como forças de campo.

No item 4 o autor define linhas de força como “uma linha imaginária que indica a direção e o sentido do vetor campo elétrico \vec{E} em cada ponto do espaço” (PENTEADO, 1998, p. 34), onde afirma que este conceito será um recurso para uma melhor visualização do campo elétrico.

No item 5, ele determina o vetor campo elétrico, no vácuo, num ponto P criado por uma carga puntiforme Q, tomando o ponto O como origem. Para isso faz a caracterização do mesmo por meio do cálculo do módulo do vetor através da equação:

$$E = k_0 \frac{|Q|}{d^2} \quad (4.15)$$

É mostrado o gráfico da intensidade do campo elétrico em função da distância, ressaltando sua semelhança com o gráfico da força elétrica em função da distância e, em relação ao vetor campo elétrico, diz que a direção deste vetor coincide com a direção da reta que passa pelos O e P, enquanto o sentido do vetor campo elétrico será de afastamento da carga, se a mesma for positiva; caso contrário será de aproximação. Ainda, para os dois casos, o autor mostra a representação gráfica das linhas de força. Já no item 6, o autor calcula o campo elétrico criado por um sistema de cargas puntiformes, onde diz que “o campo elétrico resultante será a soma vetorial dos campos elétricos gerados por cada uma das cargas elétricas do sistema” (*idem*, p. 39). E para isso, fornece a equação: $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots + \vec{E}_n$ (4.16). Em seguida, mostra a representação por meio de linhas de força do campo elétrico resultante de duas cargas

iguais, de duas cargas de mesmo módulo e sinais diferentes e por duas placas planas e paralelas carregadas com cargas de mesmo módulo e sinais diferentes.

NOTAS DE AULA - Campo Elétrico⁶⁰. Professor 49

Convém ressaltar que o professor P49 declarou que não usa livros didáticos com seus alunos, mas sim suas próprias NOTAS DE AULA. Em nossa pesquisa analisamos as NOTAS DE AULA – Campo Elétrico que apresentam o conteúdo campo elétrico através de cinco aulas numeradas por Aula 01, 02, 03, 04 e Aula 05. No item 01, o autor diz que o conceito de campo foi proposto na primeira metade do século XIX por Michael Faraday para explicar o fenômeno da ação à distância. Também afirma que o “campo é uma grandeza que pode ser associada à posição” e cita os campos escalares e vetoriais como exemplos.

No item 02, conceitua campo como uma mudança nas características do espaço provocada pela presença de partículas, dando como exemplos os campos gravitacional e elétrico. Depois, no item 03, define o campo elétrico como “a região do espaço em que partículas eletricamente carregadas sofrem a ação de forças ou adquirem energia devido à sua carga elétrica”, sugerindo, porém, uma outra forma de conceituar o campo elétrico, ou seja, “como sendo uma propriedade física estabelecida em todos os pontos do espaço que estão sob influência de uma carga elétrica (carga fonte), tal que uma outra carga (carga de prova ou de teste), ao ser colocada num desses pontos, fica sujeita a uma força de atração ou repulsão exercida pela carga fonte” e em seguida, mostra uma figura ilustrando isso.

A caracterização do campo elétrico, segundo o professor, é feita por meio do vetor campo elétrico, definido, no item 05, como uma “grandeza que permite determinar, em cada ponto do espaço, a intensidade da força elétrica que atua sobre a carga aí colocada.” Após fornecer a unidade de campo elétrico no SI (Sistema

⁶⁰ Nas cópias das NOTAS DE AULA – Campo Elétrico, não foi possível distinguir quando o símbolo do campo elétrico estava em negrito ou não, ou seja, E ou **E**.

Internacional de Unidades), ele faz a caracterização, no item 06, do vetor campo elétrico (\vec{E}), informando que “a intensidade do vetor campo elétrico fornece o valor da força elétrica atuante por unidade de carga de prova q colocada num certo ponto P do espaço”, onde fornece a equação a seguir para o cálculo da intensidade: $E = F_e/|q|$ (4.17) Em seguida diz que a direção é a mesma de F_e e que o sentido será o mesmo da força F_e , se q for positiva; contrário ao de F_e , se q for negativa. Também informa, no item 07, a orientação do vetor campo elétrico em relação à carga de prova ou de teste e em relação à carga geradora do campo.

No item 08, o autor calcula o campo elétrico para uma partícula eletrizada por meio da equação $E = k|Q|/d^2$ (4.18), onde o define como “a região do espaço que circunda a partícula eletrizada, porém, no ponto onde foi colocada, o vetor campo elétrico, devido à própria, é nulo” e mostra uma representação gráfica da equação 4.18. Na seqüência calcula, também, o campo elétrico para várias cargas puntiformes, onde diz que “o vetor campo elétrico resultante E_R , em P , é dado pela soma vetorial dos vetores campo elétrico E_1, E_2 e E_3, E_n criados, respectivamente, pelas cargas elétricas Q_1, Q_2 e Q_3, Q_n .” Apresenta, ainda, uma equação para este cálculo: $E = E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n$ (4.19) e no caso de duas cargas puntiformes fornece a seguinte expressão: $E_R = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 \cos \alpha}$ (4.20) Lei dos cossenos. Mostra, também, uma figura que representa a regra do paralelogramo.

No item 10, o autor diz que o conceito de linha de campo foi introduzido por Michael Faraday para obter “uma visualização gráfica da variação do campo elétrico em sua região de existência, ou seja, um mapeamento do campo elétrico”. Define linha de campo ou de força, como “uma linha imaginária tangente ao vetor campo elétrico em cada um dos seus pontos, e que está orientada no mesmo sentido do vetor E .” Em seguida, mostra figuras de linhas de campo para cargas iguais, para cargas de mesmo módulo e sinais diferentes e para cargas diferentes, como também, define densidade de linhas de forças e sua relação com o campo elétrico.

No item 11, o autor calcula o campo elétrico para uma esfera condutora carregada com carga Q para diversas situações, a saber:

a) Para pontos externos à esfera ($d > R$): $E = \frac{k|Q|}{d^2}$ (4.21)

b) Para pontos muito próximos da superfície da esfera ($d \cong R$): $E = \frac{k|Q|}{R^2}$ (4.22)

c) Para pontos na superfície da esfera ($d = R$): $E = \frac{k|Q|}{2R^2}$ (4.23)

d) Para pontos no interior da esfera ($d < R$): $E = 0$ (4.24)

Mostra, também, a representação gráfica destes campos para os diversos casos.

Nos itens seguintes, 12 e 13, o professor define densidade de carga superficial e diz que esta densidade de carga é maior em regiões pontiagudas, denominando este comportamento por ‘poder das pontas’. Na última seção o autor define campo elétrico uniforme e mostra a sua configuração através de uma figura.

4.1.3 Nos cadernos de Física

Conforme nossa proposta de trabalho, além da análise dos livros didáticos universitários – onde os professores tomaram conhecimento do conceito de campo elétrico, dos livros didáticos pelos quais eles ensinam aos seus alunos, fomos verificar como os alunos registram esses mesmos conceitos em seus cadernos de aula. O processo de acesso e obtenção das informações nos cadernos já foi descrito e passamos agora a comentar o que observamos nos mesmos.

Cadernos da turma P3

Foram copiados nove cadernos de Física da turma P3 com o conteúdo de campo elétrico. Eles trazem as anotações que mostram a seqüência da construção do conceito de campo elétrico. Delimitamos o início desta construção a partir do título ‘Campo Elétrico’ até ‘Campo Elétrico Uniforme’, que compreende o período de aulas

ministradas entre os dias 12/04/2006 a 23/05/2006. A seqüência apresentada é aproximadamente a mesma em todos os cadernos:

Campo Elétrico:

- Figuras
- Equações
- Unidade de campo elétrico no SI
- Exemplo de aplicações das equações
- Exercícios de aplicações de equações
- Linhas de campo elétrico em cargas puntiforme
- Direção e sentido do vetor campo elétrico
- Campo Elétrico Uniforme (CEU)
- Exercícios de aplicações do CEU

As anotações se iniciam com uma figura ilustrativa. A figura possui duas cargas de tamanhos diferentes, sendo uma delas chamada de carga de prova, onde ao lado está escrito q_1 , q_2 , q_3 e F_1 , F_2 , F_3 ; a outra representada por Q , com várias linhas radiais (cf. figura em anexo). Em seguida é apresentada a seqüência de equações:

$$E = \frac{F_1}{q_1} = \frac{F_2}{q_2} = \frac{F_3}{q_3} = \frac{F}{q} \quad (4.25)$$

$$E = \frac{F}{q} \quad (4.26)$$

e depois deduz-se a equação $E = \frac{k \cdot Q}{d^2}$ (4.27), a partir da lei de Coulomb.

Na seqüência, as anotações dos cadernos trazem a unidade de campo elétrico no Sistema Internacional de Unidades (SI) e, depois, é mostrado um exemplo e vários exercícios de aplicações de equações. Após 11 exercícios, apresenta-se o tópico ‘Linhas de campo elétrico (linhas de força) em cargas puntiformes’, com quatro ilustrações que representam as configurações de campo para cargas pontuais (cf. figura em anexo).

As anotações apresentam na seqüência o tópico ‘Direção e sentido do vetor campo elétrico’ e comenta que até então foi utilizada a forma algébrica para o cálculo do módulo do campo elétrico, porém, afirmam as anotações, que este é uma grandeza

vetorial e sua direção é dada pela reta que tangencia a linha de campo num dado ponto e o seu sentido é estabelecido pelo sentido da linha de campo.

Em seguida, as anotações trazem o tópico ‘Campo Elétrico Uniforme (CEU)’ com uma figura ilustrativa e uma frase em destaque: “Num CEU o valor de E não se altera $E = \text{constante}$ ”. Depois, apresenta dois exercícios com aplicação de equações.

Cadernos da turma P49

Na turma P49 foram copiados nove cadernos do conteúdo campo elétrico, sendo que três deles desde o início da matéria deste ano letivo. Estes cadernos trazem as anotações que mostram a seqüência da construção do conceito de campo elétrico. Delimitamos o início desta construção a partir do título ‘Campo Elétrico’ até ‘Densidade de Linhas de Força’, que compreende o período de aulas ministradas entre os dias 16/05/2006 a 30/05/2006. Assim, a seqüência apresentada é a seguinte:

Campo Elétrico:

- Conceito
- Definição do vetor campo elétrico (\vec{E})
- Características do vetor campo elétrico
- Campo elétrico de uma carga puntiforme
- Campo elétrico devido a várias cargas
- Linhas de campo ou de força
- Propriedade de linhas de força
- Campo de uma esfera
- Densidade de linhas de força.

Nestas anotações, o campo elétrico é definido como “a região de perturbação eletrostática criada ao redor de uma carga elétrica puntiforme e fixa.”. Em seguida é apresentada uma figura com uma carga que origina o campo e três cargas de prova ou de teste em torno da mesma que servem, segundo as anotações, para constatar a existência do campo elétrico. Depois, é apresentado o vetor campo elétrico (\vec{E}) como

sendo “uma grandeza vetorial definida pelo quociente da força elétrica pela carga de prova:” $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{|q|}$ (4.28)

tendo como características, a intensidade, direção e sentido. Informa, também, a unidade de campo elétrico no SI.

Em seguida, o texto apresenta o cálculo do campo elétrico de uma carga puntiforme, em um ponto e em relação a uma origem, por meio da equação:

$$E = \frac{k|Q|}{d^2} \quad (4.29)$$

que representa a intensidade do campo e cuja direção é dada pela reta que une a carga ao ponto ou a mesma direção da força elétrica e sentido de afastamento, se a carga geradora do campo for positiva e aproximação, se esta for negativa. Algumas observações são feitas em relação à dependência do campo com as cargas, com a distância e com o meio. Depois, calcula-se o campo elétrico devido a várias cargas pelas expressões:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n \quad (4.30) \quad \text{e} \quad \vec{E}_R = \sqrt{\vec{E}_1^2 + \vec{E}_2^2 + 2\vec{E}_1\vec{E}_2 \cos \alpha} \quad (4.31)$$

Segundo as anotações, o conceito de linhas de campo ou de força foi introduzido pelo físico inglês Michael Faraday, onde obteve “a visualização gráfica da variação do campo elétrico em sua região de existência, ou seja, um mapeamento do campo elétrico”. Diz, também, que essas linhas, quando observadas, permitem afirmar a intensidade, a direção e o sentido do vetor campo elétrico em cada ponto da região. Ainda, por definição, são linhas imaginárias e tangenciam o vetor campo elétrico em cada um de seus pontos, sendo orientada no mesmo sentido do vetor.

As linhas de força, segundo as anotações, têm as seguintes propriedades: nunca se cruzam e são sempre linhas abertas. Em seguida, as anotações apresentam a representação gráfica de linhas de força para cargas pontuais e a observação de que a intensidade do campo elétrico será tanto mais intenso quanto maior for o número de linhas de força por unidade de área perpendicular à direção do campo.

O cálculo do campo elétrico para uma esfera de carga Q e raio R aparece nas anotações nas seguintes situações:

a) em pontos a uma distância d do centro da esfera ($d > R$): $\vec{E} = \frac{k|Q|}{d^2}$ (4.32)

b) em pontos próximos à superfície da esfera ($d \cong R$): $\vec{E} = \frac{k|Q|}{R^2}$ (4.33)

c) em pontos sobre a superfície da esfera ($d = R$): $\vec{E} = \frac{k|Q|}{2R^2}$ (4.34)

d) e no interior da esfera ($d < R$): $\vec{E} = 0$ (4.35)

Finalizando, as anotações apresentam uma figura que compara o campo elétrico em pontos distintos por meio de linhas de força, fazendo uma relação entre o campo e densidade de linhas.

4.2 ELEMENTOS DA CULTURA ASSOCIADOS AO CONCEITO DE CAMPO ELÉTRICO

Na constituição do conceito de campo elétrico, considerando este um processo que ocorre numa determinada sociedade e num determinado contexto, diversos aspectos culturais podem ser evidenciados. Retomaremos, neste item alguns daqueles associados à eletricidade estática e ao magnetismo, tomando como elemento principal para esta análise a concepção de transmissão cultural.

4.2.1 Os fenômenos físicos como elementos da cultura

Nossa análise foi centrada nos fenômenos físicos associados às descobertas realizadas pelos gregos no tocante à eletricidade estática e ao magnetismo, assim como àqueles relacionados ao eletromagnetismo descobertos depois do século XVI, considerando a sua importância no âmbito escolar.

Nos livros didáticos de Física Básica ou Geral universitários

No livro SEARS – Física: Eletricidade e Magnetismo alguns aspectos culturais vinculados à descoberta dos fenômenos associados à eletricidade e ao magnetismo são mencionados. É citado, por exemplo, a descoberta de que o âmbar

atrai pequenos corpos quando atritado com a lã. Os autores também mostram alguns exemplos de eletrização, como: automóveis eletrizados em virtude de seu movimento em relação ao ar; a carga elétrica adquirida por uma folha de papel quando passa através de uma prensa topográfica e um pente que se eletriza ao pentear o cabelo seco.

No livro HALLIDAY – Fundamentos de Física: Eletromagnetismo os autores citam a descoberta dos gregos em relação ao âmbar e a magnetita, como também, a descoberta do eletromagnetismo por Hans Christian Orsted por meio da observação da deflexão da agulha de uma bússola, quando a mesma é aproximada de uma corrente elétrica fluindo num fio, em certas condições.

No livro TIPLER – Física: Eletricidade, Magnetismo e Óptica o autor se reporta aos gregos em relação ao âmbar e fala dos fenômenos de eletrização com objetos, como: bastões de vidro e de plástico, pelicas e seda, que, depois de atritados entre si, repelem-se e/ou se atraem.

Nos livros didáticos da Física Escolar para o Ensino Médio

No livro BEATRIZ ALVARENGA – Curso de Física os autores citam os gregos como os primeiros a observar a propriedade que o âmbar apresenta em atrair pequenos corpos e referem-se a Thales de Mileto como um dos filósofos gregos que conheciam esse fato. Segundo os autores, somente com os trabalhos de W. Gilbert se pôde observar que outros corpos, quando atritados comportavam-se como o âmbar, no entanto, o fenômeno da repulsão elétrica foi observado pela primeira vez pelo jesuíta italiano Nicolo Cabeo. Ainda, os autores afirmam que fenômenos semelhantes podem ser observados quando se atrita uma régua de plástico com uma seda ou um pente com o cabelo ou uma roupa de náilon, quando é atritada com o nosso corpo.

No livro PENTEADO – Física Conceitos e Aplicações o autor fala da origem da palavra eletricidade, quando cita os gregos como conhecedores do fenômeno associado ao âmbar, ou seja, quando este é atritado com um pedaço de tecido, passa a atrair pequenos pedaços de folhas ou mesmo partículas de poeira. Ainda, que no

século XVI o físico e médico inglês William Gilbert demonstrou que outras substâncias também apresentavam propriedades elétricas, manifestando dois tipos de efeito elétrico: a ‘resinosa’, quando a substância era atritada com o âmbar; e a ‘vítrea’, quando a substância era atritada com o vidro. Segundo o autor, “William Gilbert observou que **eletricidades de mesmo tipo se repelem e eletricidades de tipos opostos se atraem** [grifo do autor]” (PENTEADO, 1998, p. 3).

Nas cinco NOTAS DE AULA do professor P49 sobre campo elétrico não há nenhuma referência aos primeiros fenômenos físicos associados à eletricidade e ao magnetismo observados pelos gregos, nem aos fenômenos que foram descobertos a partir do século XVI.

Nos cadernos de Física

Nos cadernos da turma P3 que compreendem as aulas ministradas entre os dias 12/04/2006 à 23/05/2006 não há registros das primeiras observações associadas aos fenômenos físicos realizadas pelos gregos, nem a partir do século XVI, conforme o segundo capítulo e item 2.1 dessa pesquisa.

Nos cadernos da turma P49⁶¹ que compreendem as aulas ministradas entre os dias 16/05/2006 à 30/05/2006 também não existem os registros citados no parágrafo anterior, porém nas aulas anteriores a este período aparecem alguns registros. As anotações citam que em 600 a.C. o grego Thales de Mileto descobriu que o âmbar atritado com a pele de animal atrai pequenos corpos e em 1600 o médico inglês William Gilbert estudou o magnetismo e as propriedades de atração do âmbar que apareciam em outras substâncias, porém, segundo as anotações, foi Nicolo Cabeo que constatou a existência da repulsão elétrica. Também, estas citam que em 1820 o físico dinamarquês Hans Christian Orsted verificou a deflexão de uma agulha de bússola, quando colocada próxima de um fio conduzindo eletricidade. Ainda, afirma que

⁶¹ Nos cadernos da turma P49, antes do período analisado existem algumas anotações a este respeito que são citadas na seqüência.

“através dos teoremas de Gauss, Laplace e Poisson são introduzidos os conceitos de campo elétrico, potencial elétrico e capacitância.”

4.2.2 O saber campo elétrico como elemento da cultura escolar

O saber campo elétrico nos textos dos livros analisados apresenta-se através de diversas formas, que podem indicar elementos de uma cultura que privilegia, em alguns momentos, a expressão matemática, em outros o texto explicativo ou ainda os gráficos e desenhos. Como uma forma presente em todos eles, destacam-se as expressões matemáticas associadas a ilustrações ou textos, encaminhando, quase sempre, para uma definição ou uma problematização ou um questionamento. Além das expressões matemáticas, outra forma presente nos textos são as linhas de força, que fazem a representação gráfica deste saber e que foram construídas culturalmente como um saber escolar.

Nos livros didáticos de Física Básica ou Geral

No livro SEARS – Física: Eletricidade e Magnetismo o saber campo elétrico é apresentado por meio de uma ilustração em que se supõe uma situação real de interação entre dois corpos carregados e, partindo da afirmação de que a interação entre os corpos é ‘de ação á distância’, atribuem um ‘estado de coisas’ ao espaço em torno da carga, associam este espaço à presença da carga e chamam-no de campo elétrico.

A comprovação da existência do campo elétrico se dá de forma experimental, ou seja, ao se colocar uma carga de prova num dado ponto onde existe um campo elétrico, esta ficará sujeita uma força F , cuja força tem uma dependência direta com a carga de prova. Os autores usam uma equação matemática para a definição do saber campo elétrico e aplicam a matemática também como uma

ferramenta para o cálculo do campo elétrico para várias situações e geometrias, onde usam a Lei de Gauss para este fim.

Outra apresentação do saber campo elétrico é feita por meio das linhas de força ou de campo, onde se visualiza graficamente o campo produzido por partículas eletricamente carregadas. Da mesma forma que o vetor campo elétrico, as linhas de força proporcionam informações que dizem respeito à intensidade, à direção e ao sentido do vetor campo elétrico.

No livro HALLIDAY – Fundamentos de Física: Eletromagnetismo os autores, antes de apresentarem este saber, problematizam a questão da interação entre cargas elétricas e por meio de analogias com os campos de temperatura e pressão e, principalmente, o campo gravitacional apresentam matematicamente este saber através da equação 4.5.

A matematização confunde-se com a própria definição do saber campo elétrico, mas os autores utilizam outras ferramentas matemáticas do cálculo diferencial e integral e a lei de Gauss para o cálculo do campo elétrico. Em relação à representação gráfica desse saber, utilizam as linhas de força para representar graficamente o vetor campo elétrico, como também, sua intensidade, direção e sentido.

No livro TIPLER – Física: Eletricidade, Magnetismo e Óptica, para a apresentação do saber campo elétrico, o autor parte do pressuposto de que a força elétrica é uma força de ação à distância como a força gravitacional e, após questionar a interação entre cargas elétricas, sugere a introdução do saber campo elétrico e o define, matematicamente, por meio da equação 4.6. Utiliza outras equações matemáticas e a lei de Gauss para o cálculo do campo elétrico, como também, usam as linhas de força para a sua representação. Estas, também, informam a sua intensidade, direção e sentido.

Nos livros didáticos do Ensino Médio

No livro BEATRIZ ALVARENGA – Curso de Física o saber campo elétrico é apresentado a partir de uma situação em que se constata a existência da força elétrica entre duas cargas puntiformes, mesmo quando a carga móvel muda de posição em relação à carga fixa. A partir dessa constatação, afirma-se a existência de campo elétrico em torno da carga fixa, cujo campo foi criado, e generalizam o conceito de campo, associando-o a uma região do espaço. Associando ao saber campo elétrico um vetor, denominado vetor campo elétrico cuja intensidade é calculada pela equação 4.9, calculam o campo elétrico para uma carga puntual através da equação 4.10.

Os autores usam as linhas de força para uma visualização gráfica do campo elétrico, onde desenvolvem este conceito a partir da representação de vários vetores do campo elétrico.

No livro PENTEADO – Física Conceitos e Aplicações o saber campo elétrico é apresentado a partir da idéia de força de campo. Quando faz uma rápida discussão sobre a questão da ação à distância, o autor indaga o que seria de fato o campo elétrico e define o campo elétrico como uma região do espaço. A formulação matemática desse saber é construída a partir de um campo elétrico dado, quando numa dada região do espaço é colocada uma carga. Depois de alguns procedimentos sucessivos, o autor obtém uma relação matemática que denomina de vetor campo elétrico, representado pela equação 4.12. Para a visualização gráfica desse saber o autor utiliza as linhas de força.

Nas NOTAS DE AULA do professor P49, o saber campo elétrico é apresentado a partir de uma idéia que associa este saber a uma mudança nas características do espaço de uma região, onde define o campo elétrico como sendo esta região. A formulação matemática para o cálculo do campo elétrico é dada por meio da equação 4.18 e usa as linhas de força para a visualização do campo elétrico.

Nos cadernos de Física

Nos cadernos da turma P3 o saber campo elétrico é apresentado por meio de uma figura, seguido de equações sem enunciar textualmente o conceito de campo elétrico. Em seguida, são usadas as linhas de força para representar o campo elétrico e diz-se que o campo elétrico é uma grandeza vetorial.

Nas anotações dos cadernos da turma P49, o saber campo elétrico é apresentado por meio de uma definição e uma figura. Apresenta-se, também, a definição de vetor campo elétrico e suas características. Usam-se equações matemáticas para o cálculo do campo elétrico de cargas pontuais e esferas carregadas e, as linhas de força, para a visualização do campo elétrico.

4.3 DISTÂNCIA ENTRE O OBJETO DO SABER E O OBJETO DE ENSINO

No processo transpositivo, o objeto campo elétrico sofre várias modificações na sua natureza quando é transposto da esfera do saber sábio para a esfera do saber a ensinar. A modificação que ocorrem na sua natureza é devido às implicações didáticas sofridas pelo saber ou a uma possível mudança do seu conceito.

Assim, em relação ao saber sábio será verificado por meio desta análise como é apresentado o objeto de ensino campo elétrico nos textos de Física dos livros universitários e escolares selecionados, como também, nas NOTAS DE AULA do professor P49.

4.3.1 Objeto do saber

Faraday, observando as curvas descritas pelos fragmentos da limalha de ferro quando espalhada em torno de um ímã, de forma análoga a este fenômeno, propôs um modelo de linha de forças que se estendia em torno do ímã, emergindo de seu pólo norte para convergir para o pólo sul. Faraday propôs por meio de seu modelo que a

ação entre os corpos se dava através do meio apinhado pelas linhas de força, chamando este meio de campo de forças.

Esta concepção foi estendida por Faraday, tanto para os fenômenos magnéticos, denominando de campo magnético, quanto para os elétricos, chamando de campo elétrico. No entanto, foi Maxwell quem matematizou o modelo de linhas de força, proporcionando o cálculo da intensidade por meio das equações que levam seu nome. A expressão matemática para o cálculo do campo elétrico corresponde a uma das quatro equações de Maxwell, ou seja, a equação, $\nabla \cdot \vec{D} = \rho$ (4.36) cuja solução depende de condições de contorno, do meio e da densidade de carga. Ainda, analogamente ao campo gravitacional, Maxwell definiu a intensidade elétrica ou intensidade do campo elétrico para medir a força elétrica sobre uma carga elétrica, quando colocada no local onde se deseja medir o campo, desde que esta carga não altere a distribuição da eletricidade.

4.3.2 Objeto de ensino

Nos livros didáticos de Física Básica ou Geral

No livro SEARS – Física: Eletricidade e Magnetismo o objeto de ensino campo elétrico aparece através de uma ilustração que simula situações reais de interações entre cargas elétricas, levando o leitor a desenvolver um raciocínio, que o leva a imaginar que ao redor da carga há um ‘estado de coisas’, denominando esse estado ao redor da carga de campo elétrico. Depois, os autores definem o campo elétrico através da equação 4.1.

O conceito de linhas de força aparece como uma ferramenta para a visualização do campo elétrico e, principalmente, para determinar a direção e o sentido do vetor campo elétrico.

No livro HALLIDAY – Fundamentos de Física: Eletromagnetismo o objeto de ensino campo elétrico aparece como uma analogia com outros campos ou modelos, principalmente, o campo gravitacional. Antes de defini-lo, os autores condicionam a existência do campo elétrico e depois, utilizam a expressão matemática do campo gravitacional para definir o campo elétrico.

O conceito de linhas de força aparece para a visualização do campo elétrico e para determinar a direção e o sentido do vetor campo elétrico.

No livro TIPLER – Física: Eletricidade, Magnetismo e Óptica o objeto de ensino campo elétrico aparece, inicialmente, através de uma afirmação, quando diz que uma carga provoca um campo elétrico em todo o espaço e que a interação entre as partículas carregadas se dá através do campo. Depois, define que o campo é quociente entre a força resultante e a carga elétrica teste.

As linhas de força são usadas para a visualização e para determinar a direção e o sentido do vetor campo elétrico.

Nos livros didáticos da Física Escolar

No livro BEATRIZ ALVARENGA - Curso de Física o objeto de ensino campo elétrico aparece a partir de uma figura que mostra as forças elétricas agindo sobre as cargas. A partir dessa situação, os autores afirmam existir um campo elétrico em torno da carga fixa e criado por ela e, ainda, em cada ponto do espaço o campo elétrico pode ser representado por um vetor, cuja intensidade é dada por $E = F / q$ (4.37) e possui a mesma direção e sentido da força que atua numa carga positiva colocada no ponto.

Constrói-se o conceito de linhas de força a partir da representação do campo elétrico em alguns pontos dados, onde informa que as mesmas podem fornecer informação sobre o módulo, a direção e sentido do vetor campo elétrico.

No livro PENTEADO – Física Conceitos e Aplicações o objeto de ensino campo elétrico é apresentado a partir do modelo de forças de campo que, segundo o

autor, atua à distância. Depois, o objeto de ensino é definido como uma região do espaço que envolve a carga elétrica e constrói uma expressão matemática a partir de um campo elétrico dado.

As linhas de força são definidas e afirma que este conceito será um recurso para uma melhor visualização do campo elétrico.

Nas NOTAS DE AULA do P49 o objeto de ensino campo elétrico aparece como uma região do espaço, porém o professor propõe, também, ser este objeto uma propriedade física estabelecida no espaço sob influência de uma carga elétrica. A caracterização desse objeto é feita por meio do vetor que é caracterizado por uma intensidade, direção e sentido. Utiliza as linhas de força para comparação da intensidade e visualização do campo elétrico.

4.4 DESPERSONALIZAÇÃO E DESCONTEXTUALIZAÇÃO DO SABER A ENSINAR

O conceito de campo elétrico foi concebido por Michael Faraday, quando propôs um modelo de linhas de força para explicar as interações elétricas e magnéticas que ocorrem entre as cargas elétricas e entre os ímãs, como também, para explicar o efeito magnético produzido por uma corrente elétrica numa agulha imantada. Segundo esse modelo, as interações físicas ocorrem através do meio, denominado campo de forças, preenchido pelas linhas de força.

A questão central da discussão das interações físicas é bem anterior ao século XIX. Foi a partir do modelo newtoniano proposto por meio da lei de gravitação no Principia de Newton que se estabeleceu a concepção da ação à distância, principalmente, a simetria contida na direção da ação das forças e na lei do inverso do quadrado da distância que eram estendidas à interação elétrica através da lei de Coulomb. Este modelo foi amplamente aceito pela comunidade científica, apesar do próprio Newton se posicionar contrariamente a esta concepção.

No entanto, com a descoberta do eletromagnetismo por Hans Christian Orsted no início de 1820, a questão da ação à distância se tornou mais problemática com a quebra de simetria ocorrida no efeito magnético provocado pela corrente elétrica numa agulha imantada. As explicações dadas por Orsted no seu artigo de 21 de julho de 1820 não foram bem aceitas sob o ponto de vista da simetria do fenômeno, levando alguns cientistas como Ampère e Faraday a se dedicarem na busca de uma teoria que explicasse o fenômeno observado.

O francês Ampère encontrou uma explicação eletrodinâmica para o fato, reduzindo o fenômeno, segundo ele, ao modelo newtoniano de forças de ação à distância. As suas idéias foram bem aceitas pela comunidade científica. No entanto, Faraday propôs o modelo de campo de forças, que somente com a teoria eletromagnética de Maxwell foi devidamente reconhecido.

Tendo em vista este contexto histórico que situa a gênese, a filiação, como também, toda problemática que envolve a criação do conceito de campo elétrico é verificado nos textos analisados, se estes aspectos estão presentes.

4.4.1 Nos livros didáticos de Física Básica ou Geral

No livro SEARS – Física: Eletricidade e Magnetismo, os autores destacam a importância do conceito campo elétrico, apresentam e definem o conceito, fornecem equações e calculam o campo elétrico, mas não dizem quem criou, quando foi criado, por que foi criado, em que problemática estava inserido e quem estava envolvido, como também quem desenvolveu matematicamente o conceito de campo elétrico. No entanto, em relação às linhas de força afirmam que a sua introdução foi feita por Michael Faraday para auxiliar na visualização do campo elétrico.

No livro HALLIDAY – Fundamentos de Física: Eletromagnetismo os autores propõem o ensino de campo elétrico por meio de uma problematização e analogias, onde definem o campo elétrico. No entanto, dizem que foi Michael Faraday quem introduziu o conceito de campo elétrico, quando imaginava o espaço em torno

da carga sempre preenchido por linhas de força, mas não dizem quando e por que foi criado o conceito de campo elétrico, em que problema estava inserido, quem estava envolvido na questão e quem desenvolveu matematicamente este conceito.

No livro TIPLER – Física: Eletricidade, Magnetismo e Óptica o autor introduz o ensino do campo elétrico por meio de uma questão que envolve um problema físico, definem e calculam o campo, mas não informa quem formulou e nem quem desenvolveu matematicamente este conceito. Como também, quando e por que o conceito de campo elétrico foi criado, em que problemática estava inserido e quem estava envolvido. Em relação ao conceito de linhas de força, não informa quem introduziu este conceito, mas diz que serve para a visualização do campo elétrico.

4.4.2 Nos livros didáticos da Física Escolar

No livro BEATRIZ ALVARENGA - Curso de Física os autores definem o campo elétrico, calculam através de equações, mas não informam quem introduziu e formulou o conceito de campo elétrico, apesar de trazer uma nota sobre Michael Faraday. No entanto dizem que foi Faraday quem introduziu as linhas de forças com a finalidade de representar o campo elétrico.

Também, quanto ao contexto da criação e desenvolvimento matemático do conceito campo elétrico, não faz nenhuma uma abordagem contextual, como também, não citam a grande problemática das interações entre os corpos que é a ação de forças à distância. Assim, o saber campo elétrico está totalmente deslocado do seu contexto quanto à sua criação e formulação.

No livro PENTEADO – Física Conceitos e Aplicações o autor propõe o ensino do conceito campo elétrico por meio do modelo de forças de campo. Reconhece que foi Faraday quem introduziu o conceito de campo elétrico, mas não diz quando e por que foi criado, nem em que problemática estava inserido e quem estava envolvido. Em relação à formulação matemática do conceito o autor desenvolve um percurso que

leva a uma equação que resulta numa expressão, cuja constante é denominada de vetor campo elétrico.

As linhas de força são definidas pelo autor, que não informa a sua filiação. Afirma, apenas, que este conceito será um recurso na visualização do campo elétrico.

Nas NOTAS DE AULA do professor P49, ele diz que o conceito de campo elétrico foi introduzido na primeira metade do século XIX por Faraday para explicar o fenômeno da ação à distância. Em relação à problemática que envolve este conceito, cita apenas o foco da questão, mas não cita outros fatos e pessoas envolvidos no contexto histórico. Não informa quem desenvolveu matematicamente o conceito de campo elétrico, porém diz que foi Faraday quem introduziu o conceito de linhas de força para a visualização do campo elétrico.

4.5 PRÁTICAS SOCIAIS DE REFERÊNCIA NO SABER A ENSINAR

Por práticas sociais de referência Martinand, segundo ROSA e ROSA (2005, p. 8), “entende a proximidade dos conteúdos com a cultura e o cotidiano do aluno, de maneira a buscar um significado ao objeto de estudo, não correndo o risco de ter um ensino vazio de significado.”

As práticas sociais de referência, segundo Alves Filho et alii, teriam como possibilidade diminuir o processo do dogmatismo e do formalismo imposto pela transposição didática do saber sábio ao saber a ensinar. Segundo os autores as práticas sociais de referência estão muito próximas do professor, o que lhe permite realizar uma transposição didática do saber a ensinar para o saber ensinado mais apropriada, possibilitando resgatar a contextualização histórica da produção do saber sábio, como também, diminuindo o excesso do artificialismo e da neutralidade do saber a ensinar. (ALVES FILHO et alii, 2001, p. 88).

Nas análises realizadas nos livros didáticos em questão, procurou-se evidenciar como essas práticas estão presentes na constituição do conceito de campo elétrico, procurando ver como elas podem, também, produzir saber escolar.

4.5.1 Nos livros didáticos de Física Básica ou Geral

No livro SEARS – Física: Eletricidade e Magnetismo aparece alguns exemplos de eletrização, como por exemplo: os automóveis quando em movimento, devido ao atrito com o ar; a folha de papel, quando passa através de uma prensa topográfica e um pente que se eletriza ao pentear o cabelo seco. Já no livro HALLIDAY – Fundamentos de Física: Eletromagnetismo, no item 24.1, com uma situação física que pode ser comum ao contexto do curso, professores e alunos, onde os autores tratam do tempo de comunicação da sonda Voyager 2 com a Terra durante a sua viagem em direção a Urano, eles iniciam o capítulo aproximando o conteúdo para o cotidiano do aluno. Ainda na mesma seção, os autores dizem que “entre as conseqüências práticas da idéia do campo eletromagnético estão a invenção do rádio, o desenvolvimento do radar e da televisão e um conhecimento amplo de instrumentos eletromagnéticos, como motores, geradores e transformadores.” (HALLIDAY et alii, 1991, p.15) e no item 24.8, os autores mostram duas aplicações do campo elétrico: uma é a experiência da gota de óleo realizada entre 1910 e 1913 pelo cientista norte-americano Robert A. Millikan na determinação da quantização da carga elementar e , quando ganhou, em parte devido a este trabalho, o prêmio Nobel de Física em 1923; a outra é a impressora com jato de tinta, onde se mostra, por meio de um esquema, as fases essenciais da impressora a jato e a trajetória da gota de tinta.

No livro TIPLER – Física: Eletricidade, Magnetismo e Óptica, no item 22.6, o autor mostra uma aplicação do campo elétrico para o desvio e orientação de cargas puntiformes em movimento. Esta aplicação é exemplificada com a experiência dos raios catódicos, onde diz que foi J. J. Thomson quem demonstrou a existência dos elétrons e mediu a razão entre a sua carga e massa através da experiência dos raios catódicos e que exemplos destes dispositivos aparecem nos osciloscópios, nos monitores de computadores e nos tubos de imagens de aparelhos TV. Também, no item 24.7, o autor mostra uma aplicação para os dipolos elétricos, quando submetidos a um campo elétrico oscilante. A situação prática é o cozimento de alimentos por meio

do forno de microondas, que provoca, através da oscilação dos dipolos das moléculas de água, o cozimento dos alimentos.

4.5.2 Nos livros didáticos da Física Escolar

No livro BEATRIZ ALVARENGA - Curso de Física, no item 19.4, os autores associam o conteúdo campo elétrico com a blindagem eletrostática. Para isto mostram três figuras: uma válvula usada no circuito de sintonia de um aparelho de TV, um carro e um motorista atingidos por uma forte descarga elétrica e um cabo co-axial onde mostram o efeito da blindagem eletrostática. Também no item 19.5, os autores associam a rigidez dielétrica – que significa “o maior valor do campo elétrico que se pode aplicar a um isolante sem que ele se torne um condutor” (BEATRIZ e MÁXIMO, 1999, p. 976) – com os fenômenos do relâmpago e do trovão e o ‘poder das pontas’ com o funcionamento dos pára-raios. No final do capítulo os autores relacionam duas experiências simples, onde são demonstrados que a distribuição das cargas elétricas se faz na superfície dos condutores e o fenômeno da blindagem eletrostática.

No livro PENTEADO – Física Conceitos e Aplicações é proposta uma atividade em que o estudante pode visualizar um campo elétrico tridimensional fazendo uma experiência com materiais de baixo custo.

Nas NOTAS DE AULA do professor P49 não há nenhuma situação em que se possa proporcionar uma prática social de referência.

CAPÍTULO 5 O CONCEITO DE CAMPO ELÉTRICO NO ÂMBITO DA CIÊNCIA FÍSICA E DA FÍSICA ESCOLAR

Foi possível perceber, pelas diversas análises, que nas esferas do saber a ensinar e do saber ensinado a constituição do saber campo elétrico é apresentada de forma distinta. Alguns aspectos presentes na esfera do saber a ensinar estão ausentes na esfera do saber ensinado, como também, outros presentes na esfera do saber sábio, estão ausentes na esfera do saber a ensinar. Estas características dizem respeito a alguns aspectos culturais e, outros, inerentes ao processo da transposição didática. Apresentamos a seguir, para as respectivas esferas, uma análise sintética desses aspectos.

5.1 O SABER A ENSINAR

Na análise descritiva do conteúdo de campo elétrico realizada nos três livros universitários, ou seja, SEARS – Física: Eletricidade e Magnetismo, HALLIDAY – Fundamentos de Física: Eletromagnetismo e TIPLER – Física: Eletricidade, Magnetismo e Óptica observamos que os autores, nos itens anteriores a este conteúdo, abordam alguns fatos associados às descobertas de alguns fenômenos físicos pelos gregos, principalmente, relacionado à eletricidade e ao magnetismo. Como também, exemplos atuais de eletrização semelhante a do âmbar e, em um dos livros (Halliday et alii), a descoberta do eletromagnetismo. Já nos textos dos livros BEATRIZ ALVARENGA - Curso de Física e PENTEADO – Física Conceitos e Aplicações, estes também trazem informações sobre os primeiros fenômenos observados pelos gregos e outros relacionados a W. Gilbert e a Nicolo Cabeo. No entanto, nas NOTAS DE AULA – Campo Elétrico que compreende as aulas de 01 até 05 sobre o conteúdo campo elétrico, não há nenhuma referência a estes fatos.

No livro BEATRIZ ALVARENGA - Curso de Física, os autores citam Thales de Mileto como um dos filósofos gregos que conheciam o fenômeno observado

com o âmbar e dizem que Gilbert estendeu este comportamento a outros tipos de matérias e que o fenômeno da repulsão elétrica ficou conhecido por Nicolo Cabeo. Em relação a fenômenos atuais e similares aos citados, os autores exemplificam a eletrização de uma régua de plástico, quando atritada com uma seda; a eletrização de um pente, quando atritado com o cabelo e uma roupa de náilon quando atritada com o nosso corpo. Porém, no livro PENTEADO – Física Conceitos e Aplicações, o autor mostra a origem grega da palavra eletricidade e fala dos efeitos elétricos quando a substância é atritada com o âmbar ou vidro e que Gilbert observou a repulsão e a atração entre corpos que estivessem sido eletrizados com o âmbar e/ou com o vidro.

Estes fatos constituem parte de um legado cultural de uma sociedade e são transmitidos às gerações futuras, conforme constatamos nestes manuais (vide tabela 5.1). Também, consideramos importante o relato ou a citação dos mesmos nos textos de ensino não só pela valorização e conservação deste legado cultural, mas por sua contribuição histórica na construção do conhecimento científico, principalmente, quando usamos estas informações nas propostas de ensino, porque dessa forma podemos, por exemplo, proporcionar um ensino com uma contextualização histórica bem mais ampla. No entanto, achamos que as citações realizadas pelos autores dos livros em questão estão voltadas mais para o ‘começo’ das descobertas dos fenômenos citados, não dando continuidade à evolução das idéias constituídas acerca dos fenômenos descobertos.

TABELA 5.1 FENÔMENOS FÍSICOS ASSOCIADOS AO CONCEITO CAMPO ELÉTRICO

Manuais	Fenômenos associados ao saber campo elétrico
SEARS – FÍSICA: ELETRICIDADE E MAGNETISMO	Descoberta que o âmbar, quando atritado com a lã, atrai pequenos corpos
HALLIDAY – FUNDAMENTOS DE FÍSICA: ELETROMAGNETISMO	Descoberta dos gregos em relação ao âmbar e à magnetita; a descoberta do eletromagnetismo por Orsted por meio da observação da deflexão da agulha de uma bússola.
TIPLER – FÍSICA: ELETRICIDADE, MAGNETISMO E ÓPTICA	Descoberta pelos gregos das propriedades do âmbar, quando atritado; fenômenos de eletrização com objetos, como: bastões de vidro e de plástico, pelicas e seda, onde depois de atritados entre si repelem-se e/ou atraem-se.

Manuais	Fenômenos associados ao saber campo elétrico
BEATRIZ ALVARENGA - CURSO DE FÍSICA	Os fenômenos eletrostáticos associados ao âmbar descobertos pelos gregos. As descobertas de Gilbert em relação a outras substâncias que se comportavam como o âmbar, quando atritados; fenômeno da repulsão elétrica observado por Nicolo Cabeo; fenômenos de eletrização quando se atrita uma régua de plástico com uma seda ou um pente com o cabelo ou uma roupa de náilon quando é atritada com o nosso corpo.
PENTEADO – FÍSICA CONCEITOS E APLICAÇÕES	A origem da palavra eletricidade, associada ao âmbar; a descoberta por Gilbert de outras substâncias que apresentam propriedades elétricas.
NOTAS DE AULA – CAMPO ELÉTRICO	Não há citações desta natureza.

Em relação ao conteúdo campo elétrico, nestes livros e na nota de aula, também observamos que a forma como o conteúdo foi introduzido é particular a cada um deles. Isso pode ser devido à preferência dos autores, mas ressaltamos a possibilidade que a abordagem pedagógica proporciona, destacando ainda esta possibilidade como uma consequência do próprio processo transpositivo. Na construção do conceito de campo elétrico os autores propõem situações ‘artificiais’ para elaborar este conceito e, assim, partindo destas situações, embora não esclareçam a natureza do campo, eles direcionam a formulação do conceito para a matematização deste, expressando o campo elétrico por meio de uma equação matemática, onde a justificativa da definição matemática se funda na constatação do campo de forma experimental.

O livro PENTEADO – Física Conceitos e Aplicações e as NOTAS DE AULA – Campo Elétrico não desenvolvem estas situações ‘artificiais’, porém admitem o campo elétrico como uma região do espaço, fato que ocorre também com o livro BEATRIZ ALVARENGA - Curso de Física.

No livro SEARS – Física: Eletricidade e Magnetismo e BEATRIZ ALVARENGA - Curso de Física o conceito de campo elétrico é introduzido por meio de uma ilustração, onde se diz existir um campo elétrico em torno de um corpo carregado sem dizer o que é de fato este campo, constatado por meio de uma carga de prova e depois, definido matematicamente. Já no livro HALLIDAY – Fundamentos de Física: Eletromagnetismo, o conceito é introduzido por meio de uma problematização

e analogias com outros campos, principalmente, o gravitacional onde tomam como modelo matemático. Por sua vez, nos livros TIPLER – Física: Eletricidade, Magnetismo e Óptica e PENTEADO – Física Conceitos e Aplicações a introdução do conceito de campo elétrico se faz por meio de um questionamento e uma afirmação sobre o campo, quando em seguida define-se matematicamente o campo elétrico. No entanto, as NOTAS DE AULA – Campo Elétrico, do professor P49 introduz o conceito de campo elétrico por meio de uma definição e uma equação matemática.

Nas quatro formas de construção do conceito de campo elétrico, conforme mostra a tabela 5.2, observamos os esforços dos autores em construir este conceito tomando, em alguns casos, como ponto de partida, uma situação física possível de ser verificada. Para estas construções os autores propõem algumas situações em que aparecem figuras de cargas elétricas e com argumentos físicos relacionados a estas situações, estabelecem o conceito de campo elétrico. No caso dos livros PENTEADO – Física Conceitos e Aplicações e TIPLER – Física: Eletricidade, Magnetismo e Óptica, acrescenta-se uma argumentação matemática, porém, em relação aos outros autores, apenas uma equação matemática.

TABELA 5.2 FORMAS DE INTRODUÇÃO DO CONCEITO DE CAMPO ELÉTRICO

Manuais	Formas de introdução do conceito de campo elétrico
SEARS – FÍSICA: ELETRICIDADE E MAGNETISMO BEATRIZ ALVARENGA – CURSO de FÍSICA	Ilustração + definição e/ou constatação+ expressão matemática (usada, também, como definição)
HALLIDAY – FUNDAMENTOS DE FÍSICA: ELETROMAGNETISMO	Problematização + analogias com outros campos (principalmente, o campo gravitacional) + expressão matemática (análoga ao do campo gravitacional)
TIPLER – FÍSICA: ELETRICIDADE, MAGNETISMO E ÓPTICA PENTEADO – FÍSICA CONCEITOS E APLICAÇÕES	Questionamento + definição e constatação + expressão matemática (construída a partir de uma sentença)
NOTAS DE AULA – CAMPO ELÉTRICO	Definição + figuras + expressão matemática (usada, também, como definição)

O que se observa nesta análise é que todos os autores possuem a sua proposta de ensino para o conceito de campo elétrico e que todas procuram chegar ao mesmo objetivo, ou seja, formular um conceito de campo elétrico que traduza de forma física e matemática esta grandeza. No entanto, não se diz fisicamente o que é o campo elétrico, apesar de mostrarem que o mesmo existe, embora a sua formulação

matemática seja apresentada. Em relação à natureza física do campo elétrico é compreensível que ela não tenha aparecido nas construções do conceito de campo elétrico nos livros analisados, até porque este não apareceu nos textos que revelaram a sua criação e nem foi em outro momento contada na história da Física. As propostas de elaboração do conceito de campo elétrico analisadas refletem a ausência e necessidade de um modelo físico que represente de forma adequada esta grandeza. Esta necessidade é mais explícita no âmbito do ensino deste conceito.

As formas como o conceito de campo elétrico foi introduzido e elaborado têm em comum o objeto campo elétrico, no entanto, os saberes formulados por cada livro tem em si suas particularidades e, portanto, suas diferenças. No entanto, para os livros, os autores comungam entre si a forma como desenvolvem as aplicações do cálculo matemático para a determinação do campo elétrico numa situação específica. E assim, o fazem para cargas pontuais e outros corpos com geometrias específicas, como anel, disco, barra, planos etc, usando uma ferramenta matemática como o cálculo diferencial e integral. Usam também a lei de Gauss para o cálculo do campo elétrico. Este aparato matemático, quando desenvolvido e aplicado, necessita de outros conhecimentos tão complexos ou mais difíceis do que o próprio conceito de campo elétrico. Isso contribui para que este conceito se torne mais abstrato ainda. Já os textos dos manuais da Educação Básica, calculam o campo elétrico para cargas pontuais e no caso do livro BEATRIZ ALVARENGA - Curso de Física e das NOTAS DE AULA – Campo Elétrico, também para uma esfera carregada. No entanto, somente os autores do livro BEATRIZ ALVARENGA - Curso de Física fazem uma observação em relação ao cálculo do campo elétrico na superfície de uma esfera carregada, onde dizem que este não será realizado porque exige cálculos matemáticos de nível superior e recomendam para que os professores evitem cálculos de campos elétricos com geometrias complicadas, pois estes não acrescentam novas idéias físicas importantes.

Por outro lado, as aplicações físicas ou situações do cotidiano, chamadas de práticas sociais de referência, associadas ao campo elétrico e relacionadas na tabela 5.3

podem aproximar este conceito da realidade do aluno, tornando o conceito menos abstrato. Algumas dessas situações são citadas pelos livros BEATRIZ ALVARENGA - Curso de Física, HALLIDAY – Fundamentos de Física: Eletromagnetismo e TIPLER – Física: Eletricidade, Magnetismo e Óptica e uma vez no livro PENTEADO – Física Conceitos e Aplicações, porém está ausente no livro SEARS – Física: Eletricidade e Magnetismo e nas NOTAS DE AULA – Campo Elétrico. Estas práticas, conforme apontou Martinand (1986), aproximam o conteúdo com a cultura e o cotidiano do aluno e proporcionam para o ensino uma oportunidade de uma re-contextualização para o conteúdo de ensino.

A exemplo das anteriores, a tabela a seguir sintetiza essas observações.

TABELA 5.3 PRÁTICAS SOCIAIS DE REFERÊNCIA

Manuais	Práticas sociais de referência do saber campo elétrico
SEARS – FÍSICA: ELETRICIDADE E MAGNETISMO	Eletrização do automóvel atritado com o ar; eletrização da folha de papel atritada na prensa topográfica; eletrização do pente atritado com o cabelo.
HALLIDAY – FUNDAMENTOS DE FÍSICA: ELETROMAGNETISMO	Uma problematização que envolve o tempo de comunicação da sonda Voyager 2 com a Terra durante a sua viagem em direção a Urano. Aplicações práticas da idéia do campo na invenção e desenvolvimento do rádio, do radar, da televisão, dos motores, geradores e transformadores.
TIPLER – FÍSICA: ELETRICIDADE, MAGNETISMO E ÓPTICA	Determinação da razão entre a carga e a massa do elétron por J. J. Thomson. Exemplos de raios catódicos nos osciloscópios, nos monitores de computadores e nos tubos de imagens de aparelhos TV.
BEATRIZ ALVARENGA - CURSO DE FÍSICA	Fenômenos associados à blindagem eletrostática (válvula de TV, descarga elétrica num carro), à rigidez dielétrica (trovão e raio) e ao poder das pontas (para-raios) e duas experiências associadas a estes fenômenos.
PENTEADO – FÍSICA CONCEITOS E APLICAÇÕES	Uma atividade em que o estudante visualiza um campo elétrico tridimensional.
NOTAS DE AULA – CAMPO ELÉTRICO	Não existem referências de exemplos desta natureza.

O objeto do saber campo elétrico, quando introduzido por Michael Faraday em meados do século XIX, consistia num modelo de linhas de forças que se distribuem simetricamente ao redor das cargas elétricas, preenchendo todo o espaço no entorno da carga. Através da teoria eletromagnética, Maxwell formulou este conceito proporcionando uma equação matemática para o seu cálculo por meio da equação 4.36. No entanto, de forma análoga ao campo gravitacional, Maxwell definiu a

intensidade elétrica, ou seja, a intensidade do campo elétrico para medir a força elétrica sobre uma carga.

Nos livros de Física em questão, o objeto de ensino aparece nas formas de saberes diferentes, principalmente, em relação ao objeto do saber conforme a tabela 5.4. Nestes livros o objeto de ensino campo elétrico está delimitado pela própria construção do conceito e aparecem, portanto, da forma como foi introduzido o conceito de campo elétrico. Porém, a natureza evidenciada pela forma como foi construída ou apresentada é diferente daquela presente no saber campo elétrico, quando foi criado. Esta diferença é devida, principalmente, às modificações sofridas pelo saber para torná-lo ensinável.

TABELA 5.4 CONCEITO DE CAMPO ELÉTRICO

Manuais	Definição do saber campo elétrico
SEARS – FÍSICA: ELETRICIDADE E MAGNETISMO	O quociente entre a força \mathbf{F} que atua sobre uma carga de prova positiva, q' , situada nesse ponto e essa carga, e $\vec{E} = \vec{F}/q$
HALLIDAY – FUNDAMENTOS DE FÍSICA: ELETROMAGNETISMO	Define por meio da expressão: $\vec{E} = \vec{F}/q$
TIPLER – FÍSICA: ELETRICIDADE, MAGNETISMO E ÓPTICA	É o quociente entre a força \vec{F} resultante e a carga elétrica q , e $\vec{E} = \vec{F}/q$.
BEATRIZ ALVARENGA - CURSO DE FÍSICA	Não se define o campo elétrico, porém afirma-se que ele existe, ou seja, o campo elétrico existe em um ponto, quando uma carga sofre a ação de uma força elétrica colocada neste ponto.
PENTEADO – FÍSICA CONCEITOS E APLICAÇÕES	É a região do espaço que envolve a carga elétrica, e $\vec{E} = \vec{F}/q$.
NOTAS DE AULA – CAMPO ELÉTRICO	É a região do espaço em que partículas eletricamente carregadas sofrem a ação de força ou adquirem energia devido à sua carga elétrica.

Em relação às linhas de força, apesar das informações que elas podem fornecer acerca do campo, para os livros em questão e as NOTAS DE AULA, o objetivo principal é proporcionar uma visualização do campo elétrico, passando a ter uma utilidade apenas como uma ferramenta. No entanto, no âmbito da criação do campo elétrico as linhas de força são a essência do modelo de Faraday e a concepção concreta da idéia de campo elétrico. Assim, os textos que não tomam as linhas de força como um modelo que fundamenta a idéia de campo elétrico, perdem a possibilidade de proporcionar à idéia de campo elétrico uma concepção não abstrata. No entanto, as

linhas de força cumprem outro papel nos textos analisados, ou seja, da visualização do campo elétrico. Assim, praticamente todos os textos dos manuais analisados dizem que as linhas de força foram introduzidas por Faraday para a visualização do campo elétrico.

As grandes ausências nos textos dos livros e nas NOTAS DE AULA em questão estão relacionadas com a contextualização e a personalização do saber. Apesar do fato da descontextualização e da despersonalização ser uma consequência da própria transposição didática, este deve ser minimizado, pois um saber que traz na sua elaboração informações acerca da sua gênese, filiação, dos problemas e questões envolvidos na sua criação, do tempo e circunstância em que foi criado proporciona um ensino com muito mais informação e riqueza de detalhes, além de demonstrar a ciência como uma construção humana e social. No entanto, em relação à introdução do conceito de campo elétrico, apenas o livro PENTEADO – Física Conceitos e Aplicações e as NOTAS DE AULA – Campo Elétrico mencionam que foi Faraday quem introduziu este conceito.

No caso do conceito de campo elétrico, a principal perda está no distanciamento da discussão que proporcionou a Faraday elaborar este conceito e que hoje se constitui num dos conceitos fundamentais para o Ensino de Física. Ainda, este distanciamento proporcionou, nos textos de ensino analisados, uma confusão na compreensão da idéia de força de campo e força de ação à distância ou a concepção de campo e a concepção de ação à distância. Esta discussão foi iniciada no século XVII, quando se estabeleceu a mecânica newtoniana e, principalmente, com a lei da Gravitação Universal e a lei de Coulomb, que tomavam como pressuposto que os corpos interagiam obedecendo a uma simetria física e a lei do inverso do quadrado da distância. Porém, o próprio Newton não concordava com a concepção da ação à distância e, com a descoberta do efeito magnético produzido por uma corrente elétrica, a simetria foi quebrada e discussão se acirrou mais ainda. Assim, observamos que esta problemática, conforme mostramos na tabela 5.5, está ausente nos textos em questão,

ou seja, não houve o resgate deste embate histórico que tinha na concepção de ação à distância uma forte identidade com a mecânica newtoniana, apesar do próprio Newton não concordar com esta concepção. No entanto, os livros SEARS – Física: Eletricidade e Magnetismo, TIPLER – Física: Eletricidade, Magnetismo e Óptica e PENTEADO – Física Conceitos e Aplicações, os autores afirmam que a força elétrica exercida sobre um corpo é de ação à distância e logo depois dizem que esta mesma força é exercida pelo campo gerado e não mais pela carga. Não fica claro no texto que deve se adotar apenas uma concepção. Na verdade são duas concepções distintas e o fato de pressupormos uma delas como verdadeira, a outra se torna uma negação e, dificilmente, adotando uma, chegaremos até a outra. Já nos livros SEARS – Física: Eletricidade e Magnetismo e BEATRIZ ALVARENGA - Curso de Física, os autores dizem que a força elétrica que atua sobre uma carga é devida à ação do campo elétrico e não mais de forma instantânea e direta, como pensavam os físicos antigamente. Porém, nas NOTAS DE AULA – Campo Elétrico o autor menciona, apenas, que o conceito de campo elétrico foi introduzido para explicar o fenômeno da ação à distância.

TABELA 5.5 CONCEPÇÕES DAS INTERAÇÕES ELÉTRICAS ENTRE OS CORPOS

	Forças de ação à distância	Forças de campo	A problemática das interações
SEARS – FÍSICA: ELETRICIDADE E MAGNETISMO	Força elétrica é uma força de ação à distância.	Diz que a força é exercida sobre o corpo pelo campo e não diretamente pelos corpos à distância.	Não há referência.
HALLIDAY – FUNDAMENTOS DE FÍSICA: ELETROMAGNETISMO	No início os físicos pensavam que a força elétrica fosse uma interação direta e instantânea entre os corpos.	Atualmente, nas interações elétricas os campos elétricos são como um agente intermediário entre as cargas.	Fazem uma problematização com o tempo de comunicação entre uma sonda e a Terra
TIPLER – FÍSICA: ELETRICIDADE, MAGNETISMO E ÓPTICA	Força elétrica é uma força de ação à distância.	A força elétrica passa a ser então exercida pelo campo	Um questionamento de como pode uma partícula exercer uma força sobre a outra através do espaço vazio.
BEATRIZ ALVARENGA - CURSO DE FÍSICA	A força elétrica que atua sobre uma carga não é devida à ação direta de uma carga sobre a outra.	A força elétrica que atua sobre uma carga é devida à ação do campo elétrico.	Não há referência.

	Forças de ação à distância	Forças de campo	A problemática das interações
PENTEADO – FÍSICA CONCEITOS E APLICAÇÕES	Força elétrica é uma força que atua à distância (e que esta idéia foi superada com o conceito de campo).	O campo elétrico é a causa da existência da força elétrica.	Não cita as dificuldades.
NOTAS DE AULA – CAMPO ELÉTRICO	Não há referência.	Não há referência.	O conceito de campo foi criado para explicar o fenômeno da ação à distância.

5.2 O SABER ENSINADO

Em relação aos cadernos de anotações no período analisado, não foram encontrados nenhuma referência relacionada aos fenômenos elétricos e magnéticos descobertos pelos gregos, nem fatos relacionados ao eletromagnetismo em períodos posteriores. No entanto, nos cadernos da turma P49, que corresponde às aulas registradas em períodos anteriores, há referências a Thales de Mileto como o descobridor do fenômeno relacionado ao âmbar e que Gilbert foi um estudioso do magnetismo e do fenômeno da atração eletrostática, porém foi Nicolo Cabeo quem constatou a repulsão elétrica entre os corpos carregados eletricamente. Cita, também, a descoberta do eletromagnetismo por Orsted e uma informação que atribui a autoria da introdução do conceito de campo elétrico a outro autor que não Faraday.

Em relação ao conteúdo de campo elétrico presente no caderno da turma P3, este é apresentado por meio de uma figura e duas equações. Já para a turma P49, este é apresentado por uma definição e uma figura, em seguida, define-se o vetor campo elétrico e ele é representado por meio de uma equação. Os textos usam as linhas de força para a uma visualização do campo elétrico.

Para o cálculo do campo elétrico, as anotações mostram duas equações matemáticas que são iguais, porém o texto dos cadernos a turma P49 apresenta uma equação a mais. Nos textos da turma P3, exercita-se a aplicação das equações do campo elétrico, no cálculo de alguma variável ou incógnita. Ainda em relação à

aplicação deste conceito ou alguma atividade relacionada ao mesmo, as anotações não fazem nenhuma referência.

As anotações nos cadernos das turmas P3 e P49 referentes ao período analisado apresentam o resultado, na forma materializada, da transposição didática do conceito de campo. O conceito de campo elétrico que elas apresentam carrega uma estrutura mínima formada por uma definição, uma figura e uma equação, sendo que a definição está ausente nos textos da turma P3. Apesar de constarmos informações de algumas descobertas de fenômenos relacionados à eletrostática e ao eletromagnetismo, estas se tornam poucos significativas na compreensão do processo de criação do conceito de campo elétrico. Observa-se, portanto, a ausência de outros elementos presentes em outras esferas do saber, referentes à gênese e filiação do conceito de campo elétrico, como também, a própria contextualização e problemática envolvendo a criação deste conceito.

O conceito de campo elétrico apresentado nos textos dos cadernos analisados é muito mais abstrato que na esfera do saber a ensinar, pois elementos e informações importantes sobre a constituição do conceito de campo elétrico ficaram de fora de sua formulação, considerando que estes aspectos aparecem muito pouco ainda na esfera do saber a ensinar.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O saber campo elétrico, conforme vimos, apresenta-se em formas distintas nas esferas acadêmica e escolar. Na esfera acadêmica, onde foi criado, observamos que este saber é um saber histórico que possuía razões fundamentais para ser estabelecido como um conhecimento físico. Este conhecimento teve idealizadores e grandes motivações por parte destes para se estabelecer a razoabilidade dos fenômenos físicos descobertos que não eram explicados pela ciência até então. Na criação do conceito de campo, cumpria-se um papel, explicar como ocorriam as interações elétricas e magnéticas entre os corpos, principalmente, em relação ao fenômeno relacionado ao eletromagnetismo. Para tanto, Faraday propôs um modelo físico que explicou como essas interações ocorrem e Maxwell matematizou este modelo e, por meio de sua teoria eletromagnética, estabeleceu equações matemáticas que possibilitaram a sua quantificação a partir das fontes elétricas ou magnéticas.

O saber campo elétrico quando designado como objeto de ensino sofreu transformações que resultou em um outro saber. Este saber já não 'habita' numa problemática em que sua existência proporcionava uma outra concepção, nem tem o seu nome associado aos seus idealizadores, como também, não tem como objetivo ser uma proposta que solucione um problema físico. Todavia, este saber possui um objetivo muito mais complexo, ou seja, ser inteligível o suficiente para que possa ser compreendido. E este é o desafio na esfera da Física Escolar, isto é, elaborar um saber que proporcione uma clara compreensão do que seja o campo elétrico. Isto, talvez, seja uma razão para a diversidade de proposta de ensino deste conceito.

Tanto nos textos acadêmicos quanto nos de ensino, a natureza do campo elétrico não foi esclarecida e isto talvez seja o grande complicador na compreensão física desse conceito. Em relação à esfera acadêmica, o campo elétrico é o próprio modelo proposto por Faraday, ou seja, o modelo de linhas de força foi a concepção inicial do conceito de campo elétrico; já na esfera escolar houve uma separação entre o

modelo de linhas de força e o conceito de campo elétrico, levando-se em consideração que este necessita ser ainda elaborado. Ou seja, constrói-se o conceito de campo elétrico a partir de outra referência, tendo como elemento decisivo na elaboração deste conceito a experiência física que ele proporciona, ou seja, a constatação da sua existência através de uma carga de prova.

Em relação à elaboração do conceito de campo elétrico, não podemos deixar de perceber a possibilidade e a necessidade de se construir uma proposta de ensino deste conceito a partir de um modelo físico que o represente adequadamente e que dê conta dos objetivos pedagógicos inerentes a este saber. No entanto, qual seria o possível modelo de campo elétrico? O de Faraday? Um outro modelo? Entendemos, porém, que o conceito de campo elétrico elaborado a partir de um modelo poderia contornar muitos problemas que apareceram nas propostas de ensino analisadas, principalmente relacionados à natureza abstrata desse conceito.

Em relação à transposição didática do saber campo elétrico, observa-se que este saber chegar à sala de aula como um saber ensinado constituído basicamente de uma definição, uma figura e duas expressões matemáticas que o quantifica. Em relação ao contexto e problemática em que foi pensado no século XVII; aos personagens responsáveis pela sua criação; à concepção que este conceito implica; à sua importância como um conceito fundamental na elaboração de outros conceitos da Física; aos avanços tecnológicos que em parte este conceito proporcionou, enfim, o que se observa nos textos analisados é que eles estão muito distantes do saber sábio, exigindo de todos aqueles que estão envolvidos no processo de criação e transmissão de conhecimentos, desenvolvimento de mais pesquisas para propiciar condições epistemológicas e materiais que possam fazer a aproximação ou que pelo menos o saber ensinado contemple mais elementos presentes no saber sábio.

É preciso frisar, no entanto, que tanto o saber a ensinar quanto o saber ensinado podem apresentar outros elementos ou informações nos seus textos de ensino, que extrapolam os que foram verificados nesta análise, ressaltando, nesse

particular, o fundamental papel dos professores em suas salas de aula, que, ao se prepararem para suas aulas, acrescentam novos ingredientes aos textos, podendo superar, através de sua docência, as eventuais lacunas presentes nos textos e contribuir para que a necessária e densa transposição didática deste saber seja alcançada.

REFERÊNCIAS

ALMOULOUD, S. A. ; FUSCO, C. A. S. . Um estudo da transposição didática da derivada. In: IV encontro paulista de Educação Matemática, 1996. **Anais do IV encontro paulista de Educação Matemática**. São Paulo : EPEM. v. 1. p. 316-3.

ALVES FILHO, J. de P.; PIETROCOLA, M. e PINHEIRO, T. de F. Nova Transposição Didática Gera Novas Atividades Experimentais. In: Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, VII, 2000, Florianópolis. **Atas do VII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**. Florianópolis: Local, Florianópolis – SC, 2000. 1 CD-ROM.

ALVES FILHO, J. de P.; PINHEIRO, T. de F. e PIETRICOLA, M. A Eletrostática como exemplo de Transposição Didática. In: PIETROCOLA, Maurício (Org.). **Ensino de Física – conteúdo, metodologia numa concepção integradora**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2001, p. 77-99.

ALVES FILHO, J. de P. Regras da transposição didática aplicadas ao laboratório didático. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, II, 1999, Valinhos. **Atas do II Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**. Valinhos: Hotel Fonte Santa Tereza, Valinhos – SP, 1999. 1 CD-ROM.

ALVETTI, M. A. S. **Ensino de Física Moderna e Contemporânea e a Revista Ciência Hoje**. Florianópolis, 1999. 169 f. Dissertação (Mestrado em Educação – Educação e Ciências) – Universidade Federal de Santa Catarina.

ANHORN, C. T.G. **Um Objeto de Ensino chamado História A disciplina de história nas tramas da didatização**. Rio de Janeiro, 2003. 403 f. Tese (Doutorado em Educação) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

ASTOLFI, J.P. e DEVELAY, M. **A Didática das Ciências**. Tradução de Magda S. Fonseca. 5. ed. São Paulo: Papirus, 1995, p.47-53.

BASSALO, J. M. F. A crônicas dos Fenômenos Elétricos e magnéticos Clássicos. In: _____. **Crônicas da Física, Tomo 3**. Belém, EDUFPA. Cap. 3, 1992.

BEN-DOV, Y. **Convite à Física**. Tradução: Maria Luiza X. de A. Borges; Revisão técnica: Henrique Lins de Barros. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., p. 97-101, 1996.

BOLIGIAN, Levon. **A transposição didática do conceito de território no ensino de geografia**. Rio Claro, 2003. 169 f. Dissertação (Mestrado em Geografia – Organização do Espaço) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, p. 12-25.

CHEVALLARD, Yves. **La Transposición Didáctica: del saber sabio al saber enseñado**. Trad. Claudia Gilman. Buenos Aires: Aique Grupo Editor, 1991.

DIAS, V. S. **Micheal Faraday: Subsídios para Metodologia de Trabalho Experimental**. São Paulo, 2004. 115 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências – Modalidade Física) – Instituto de Física, Universidade de São Paulo.

FARIA FILHO, L. M. et alii. A cultura escolar como categoria de análise e como campo de investigação na história da educação brasileira. **Educação e Pesquisa**, São Paulo, v. 30, n. 1, p. 139-159, jan./abr. 2004.

FERRARI, P. C. et alii. Uma Transposição Didática Interna Ambígua: a tentativa de uma reorganização do curso de mecânica no ensino médio. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, IV, 2003, Bauru. **Atas do IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**. Bauru: Hotel Obeid Plaza, Bauru – SP, 2003. 1 CD-ROM.

FORQUIN, Jean Claude. Saberes escolares, imperativos didáticos e dinâmicos sociais. In: **Teoria e Educação** n. 5, Porto Alegre, 1992, p 28-49.

_____. **Escola e cultura**: as bases sociais e epistemológicas do conhecimento escolar; tradução de Guacira Lopes Louro. Porto Alegre: Artes Médicas, 1993, p 167.

GABRIEL, Carmen Teresa. Usos e Abusos do conceito de transposição didática - considerações a partir do campo disciplinar de História. In: IV Seminário Perspectivas do Ensino de História, IV, 2001, Ouro Preto. **Anais do IV Seminário Perspectivas do Ensino de História**, 2001.

GARDELLI, DANIEL. **Concepções de Interação Física: subsídios para uma abordagem Histórica do Assunto no Ensino Médio**. São Paulo, 2004. 119 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências – Modalidade Física) – Instituto de Física, Universidade de São Paulo.

GIROUX, Henri; SIMON, Roger. Cultura popular e pedagogia crítica: a vida cotidiana como base para o conhecimento curricular. In: MOREIRA, Antonio Flávio; SILVA, Tomaz Tadeu da. **Currículo, cultura e sociedade**. São Paulo: Cortez, 1994, p. 95.

HALL, Stuart. **Da Diáspora: Identidades e Mediações Culturais**. Liv Sovik (Org.). Tradução: Adelaine La Guardiã Resende et al. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2003.

HALLIDAY, D. e RESNICK, R. **Fundamentos de Física – Eletromagnetismo**. Trad. LUIZ, A. M. et alii; Coord. Trad. LUIZ, A. M. 3 ed., v. 3. Rio de Janeiro: LTC Editora, 1991.

LEITE, M. S. **Contribuições de Basil Berstein e Yves Chevallard para a discussão do conhecimento escolar**. Rio de Janeiro, 2004. 131 f. Dissertação (Mestrado em Educação – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro).

LIMA, M. J. G. S. e SELLES, S. L. E. Categoria de análise para o estudo do processo de transposição didática do conceito de Teia Alimentar em livros didáticos de ciências. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, IV, 2003, Bauru. **Atas do IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**. Bauru: Hotel Obeid Plaza, Bauru – SP, 2003. 1 CD-ROM.

LIMA-TAVARES, M. de e EL-HANI, C. N. Um olhar epistemológico sobre a transposição didática da Teoria de Gaia. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 6, n. 3, dez. 2001. Disponível em: < http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol6/n3/v6_n3_a4.htm > Acesso em: 30 de jul. 2006.

LOPES, A. R. C. Conhecimento escolar em química – processo de mediação didática da ciência. **Química Nova**, v. 20, n. 5, p.563-568, 1997.

_____. **Conhecimento Escolar: Ciência e cotidiano**. Rio de Janeiro: EdUERJ, 1999.

MAFRA, Leila de Alvarenga. A Sociologia dos estabelecimentos escolares: passado e presente de um campo de pesquisa em reconstrução. In: ZAGO, N; CARVALHO, M. P.; VILELLA, R. A. T. (orgs.). **Itinerário de pesquisa**. Rio de Janeiro: DP&A, p. 109-136, 2003.

MARANDINO, Martha. A pesquisa educacional e a produção de saberes nos museus de ciências. **História, Ciências, Saúde**, Manguinhos, v. 12 (suplemento), p.161-81, 2005.

_____. Transposição ou recontextualização? Sobre a produção de saberes na educação em museus de ciências. **Revista Brasileira de Educação**, São Paulo, n. 26, p. 95-108, maio/jun./jul./ago. 2004.

MARTINS, R. de A. A dinâmica relativística antes de Eistein. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 27, n. 1, p. 11-26, 2005.

_____. Orsted e a descoberta do eletromagnetismo. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, n. 10, p. 89-114, 1986.

MÁXIMO, Antonio e ALVARENGA, Beatriz. **Curso de Física** . 4ª edição. v. 3. São Paulo: Scipione, p. 911-984, 1999.

MENEGHETTI, R. C. G. **Sobre a transposição didática dos cardinais e ordinais**. Rio Claro, 1995. Dissertação (Mestrado em Educação Matemática – Instituto de Geociências e Ciências Exatas) Univerisdade Estadual Paulista, Rio Claro de Janeiro.

ORSTED, H. C. **Experiências sobre o efeito do conflito elétrico sobre a agulha magnética**. Trad. por Roberto de andrade Martins. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, n.10, p. 89-114, 1986.

PAIS, L. C. Diadática da Matemática. **Uma análise da influência francesa**. 2 ed. Belo Horizonte: Autêntica, p. 9-28, 2002.

PENTEADO, PAULO C. M. **Física Conceitos e Aplicações v. 3**, São Paulo: Editora Moderna, p. 2-40, 1998.

PESSANHA, E. C.; DANIEL, M. E. B. e MENEGAZZO, M. A. Da história das disciplinas escolares à história da cultura escolar: uma trajetória de pesquisa. **Revista Brasileira de Educação**, n. 27, 2004.

PIETROCOLA et alii. As Ilhas de Racionalidade e o Saber Significativo: O Ensino de Ciências através de Projetos. **Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 2, n. 1, p. 99-122, 2000.

REITZ , J. R. et alii. **Fundamentos da Teoria Eletromagnética**. Tradução de: Renê Balduino Sander, Carlos Duarte. Rio de Janeiro: Editora campus, p. 39-41, 1991.

ROCHA et alii. *Origens e Evolução das Idéias Físicas*. 2002, cap. III.

RODRIGUES, C. D. O. e OLIVEIRA, M. P. de. A Abordagem da Relatividade Restrita em livros didáticos do ensino médio e a transposição didática. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, II, 1999, Valinhos. **Atas do II Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**. Valinhos: Hotel Fonte Santa Tereza, Valinhos – SP, 1999. 1 CD-ROM.

RODRIGUES, C. D. O. e OLIVEIRA, M. P. Análise de artigos sobre ensino de Relatividade Restrita pela transposição didática. In: Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, VII, 2000, Florianópolis. **Atas do VII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**. Florianópolis: Local, Florianópolis – SC, 2000. 1 CD-ROM.

ROSA, C. W. da; ROSA, A. B. da. Ensino de Física: objetivos e imposições no ensino médio. **Revista electrónica de enseñanza de las Ciencias**, v. 4, n. 1, 2005. Disponível em: <http://www.saum.uvigo.es/reec/volumenes/volumen4/ART2_Vol4_N1.pdf> Acesso em: 20 maio 2005.

SEARS, F.; ZEMANSKY, M. W.; YOUNG, H. D. **Física – Eletricidade e Magnetismo**. Trad. WEID, J. P. V. der., 2 ed., v. 3. Rio de Janeiro: LTC Editora, 1984.

SECRETARIA DE ESTADO DA EDUCAÇÃO DO PARANÁ. Portal Dia-a-Dia Educação. Ambiente Escola. **Consulta Escola**, 2005. Disponível em: <<http://www4.pr.gov.br/escolas/listaescolas.jsp>> Acesso em: 26 nov. 2005.

SILVA, C. C. **Da força ao tensor: evolução do conceito físico e da representação matemática do campo eletromagnético**. Campinas, 2002. 250 f. Tese (Doutorado em Ciências – Instituto de Física Gleb Wataghin – Universidade de Campinas, Campinas).

SOBARZO, L. C. D. e MARIN, F. A. D. G. **Resíduos sólidos: do conhecimento científico ao saber ensinado**. Disponível em: <http://www2.prudente.unesp.br/eventos/semana_geo/lizsobarzo.pdf> Acesso em: 30 jul. 2006.

TIPLER, P. **A Física – Eletricidade e Magnetismo, Óptica**. Trad. MACEDO, H. e BIASI, R de. 4 ed., v. 2. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2000, p. 2-52.

TORT, C. A. ; CUNHA, A. M. e ASSIS, A. K. T. Uma tradução comentada de um texto de Maxwell sobre a ação a distância. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 26, n. 3, p. 273-282, 2004.

VALDEMARIN, Vera Teresa. Lições de coisas: Concepção científica e projeto modernizador para a sociedade. **Cadernos Cedes**, ano XX, n. 52, novembro, 2000.

VILLATORRE. A. M. **O Ensino de Física em escolas estaduais da cidade de Curitiba - PR**. Salvador, 2004. 142 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade Federal da Bahia).

WILLIAMS, Raymond. **Cultura e Sociedades, 1780-1950**. Tradução de: Leônidas H. B. Hegenberg, Octanny Silveira da Mota e Anísio Teixeira. São Paulo: Editora Nacional, 1969.

WOU, Wagner. **A Física e os Livros uma análise do saber físico nos livros didáticos adotados para o ensino médio.** São Paulo: EDUC; FAPESP, 2000, p. 26.

ANEXOS

CARTA DE APRESENTAÇÃO

Curitiba, 23 de maio de 2006.

Prezado Professor

Venho por meio desta solicitar a sua preciosa colaboração no meu trabalho de pesquisa do Curso de Pós-graduação de Mestrado em Educação da Universidade Federal do Paraná.

A pesquisa trata de uma análise relacionada ao conceito de campo elétrico, desde o momento em que foi criado pelos cientistas até o seu ensino na sala de aula. A justificativa desta pesquisa se fundamenta, principalmente, na difícil compreensão por partes dos alunos e nos textos escassos de informação acerca da construção deste conceito físico tão importante.

Peço a vossa corroboração na concessão, sua e de seus alunos, das anotações realizadas nos cadernos durante as aulas de Física pelos alunos. Para tanto é preciso xerocar, sem nenhum ônus, as respectivas anotações.

É necessário obter o xérox das anotações de todos os cadernos que contenha as informações passadas durante as aulas sob a sua regência. Este conteúdo diz respeito, apenas, ao assunto disciplinar de campo elétrico, não havendo necessidade, via de regra, de xerocar os conteúdos anterior e posterior ao de campo elétrico.

Considerando a importância e o respeito de seu trabalho como Educador perante o seu alunado, comprometo-me a não identificar os alunos com os seus respectivos cadernos, como também o docente.

Certo de poder contar com vossa colaboração, desde já, agradeço-lhe pela sua compreensão e contribuição no meu trabalho de pesquisa. Também, disponho-me a esclarecer qualquer dúvida ou informação que queira fazer.

Atenciosamente,

Professor Otto Henrique Martins da Silva

Tel. 3340-8415 ou 9921-4358

E-mail: ottohmartins@seed.pr.gov.br

ROTEIRO PARA ENTREVISTA

1. Identificação do docente

Nome: _____

Endereço: _____

E-mail: _____ Telefone: _____

2. Formação profissional

Curso 1: _____

Instituição: _____ Ano de conclusão: _____

Curso 2: _____

Instituição: _____ Ano de conclusão: _____

3. Formação continuada

Especialização: _____

Instituição: _____ Ano de conclusão: _____

Mestrado: _____

Instituição: _____ Ano de conclusão: _____

Doutorado: _____

Instituição: _____ Ano de conclusão: _____

4. Informações sobre o local de trabalho

Escola: _____

Endereço: _____

Telefone: _____ E-mail: _____

Disciplina: _____ Turma: _____

Disciplina: _____ Turma: _____

Data de ingresso na Escola: _____ Tempo de magistério: _____

5. Roteiro da entrevista

Apresentação do pesquisador:

Nome: Otto H. M. da Silva - Função: Professor da SEED – PR

Local de trabalho: Portal Dia-a-dia Educação da SEED – PR

Formação: Bacharel e Licenciado em Física pela UFPR e Licenciado em Matemática pela PUC-PR. Também, especialista pela UFPR. Atualmente, desenvolve uma pesquisa no curso de Mestrado em Educação pela UFPR.

Apresentação da pesquisa:

A pesquisa consiste numa análise de alguns aspectos da transposição didática do conceito de campo elétrico. Nesta pesquisa, verifica-se historicamente como este conceito foi constituído e como ele se apresenta em alguns nos livros didáticos, como também, na sala de aula – momento em que foi ensinado.

A colaboração para a pesquisa:

De um universo de 77 professores pertencentes a 25 Escolas e segundo critérios de formação profissional e continuada, como também, o tempo de magistério na disciplina de Física, selecionei você para conhece melhor a forma como compreende e ensina o conceito de campo elétrico. Gostaria, portanto, de entrevistá-lo e analisar as suas NOTAS DE AULA (caso possua) e as referências bibliográficas que toma como

literatura de apoio, como também, xerocar o conteúdo de ensino anotado pelos alunos durante as aulas de Física.

Compromisso ético:

Formalizo, aqui, o compromisso da não divulgação da verdadeira identificação do entrevistado neste trabalho de pesquisa, como também, a utilização destas informações para fins, apenas, científicos. Assim, dirigirei ao docente em questão através de um código ou um cognome.

Por outro lado, tomo como pressuposto que todas as informações, dadas aqui, são verdadeiras e ocorreram apenas com o entrevistado.

Perguntas:

1. Perguntar sobre a(s) disciplina(s) (teórica e experimental) e livro(s) didático(s) em que estudo o conceito de campo elétrico:
 - a. Nome da(s) disciplina(s);
 - b. Nome do(s) autor(es) do(s) livro(s) didático(s) adotado(s) na(s) disciplina(s);
2. Perguntar sobre o ensino e a aprendizagem do conceito de campo elétrico no seu curso de graduação:
 - a. O ensino do conceito de campo elétrico associado a aspectos da autoria da criação, ao contexto da criação, aos problemas engendrados da criação. Também, aspectos da linguagem matemática utilizada no ensino e aplicação do campo elétrico.
 - b. A aprendizagem do conceito de campo elétrico, frente aos aspectos apontados no item “a”.
3. Perguntar sobre a aula de Física:
 - a. A preparação do texto ou notas da aula ou o uso direto do livro;
 - b. A bibliografia de apoio na construção do texto ou das notas (caso ocorra);
 - c. A apresentação do conteúdo de ensino durante a aula;
 - d. A forma de registro do conteúdo de ensino pelos alunos;
4. Perguntar sobre o ensino do conceito de campo elétrico na aula de Física:
 - a. Aspectos presentes no ensino do conceito de campo, como: filiação, gênese, histórico, contextualização e de linguagem matemática (equação);
 - b. Recursos didáticos utilizados neste ensino;
 - c. A forma de fixação do conceito por meio de fenômenos físicos (exemplos teóricos ou práticos) ou cálculos matemáticos.
5. Perguntar sobre as anotações dos alunos na aula de Física:
 - a. As anotações que os alunos fazem da aula em cadernos ou fichários ou folhas avulso;

- b. As anotações são creditadas (pontos ou notas) de acordo com critérios, como: organização, aparência, conteúdo, etc e são cobradas regularmente.

CONVERSANDO COM A TURMA.

Apresentação do pesquisador:

Nome: Otto H. M. da Silva

Função: Professor da SEED – PR

Local de trabalho: Portal Dia-a-dia Educação da SEED – PR

Formação: Bacharel e Licenciado em Física pela UFPR e Licenciado em Matemática pela PUC-PR. Também, especialista pela UFPR. Atualmente, desenvolve uma pesquisa no curso de Mestrado em Educação pela UFPR.

Apresentação da pesquisa:

A pesquisa consiste numa análise de alguns aspectos da transposição didática do conceito de campo elétrico. Nesta pesquisa, verifica-se historicamente como este conceito foi constituído e como ele se apresenta em alguns nos livros didáticos, como também, na sala de aula – momento em que foi ensinado.

A colaboração para a pesquisa:

De um universo de 25 Escolas e (tantas) turmas de terceira série do Ensino Médio, esta turma foi selecionada, por meio do professor, para participar de uma investigação sobre o conceito de campo elétrico. Parte desta pesquisa investiga a forma como se apresenta o conceito de campo elétrico nas anotações realizadas por vocês nas aulas de Física. Gostaria, portanto, de analisar estas anotações, xerocando o conteúdo de ensino anotado durante as aulas de Física.

Compromisso ético:

Formalizo, aqui, o compromisso da não divulgação da verdadeira identificação dos autores dos cadernos neste trabalho de pesquisa, como também, a utilização destas informações para fins, apenas, científicos. Assim, dirigirei ao caderno em questão através de um código ou um cognome.

Por outro lado, tomo como pressuposto que todas as informações contidas nos cadernos são verdadeiras e ocorreram apenas durante a aula de Física.

Conversa com alguns alunos:

Caso haja necessidade será realizada uma conversa com um ou mais alunos. A conversa está vinculada a um possível esclarecimento acerca das anotações do caderno, onde agendaremos um outro momento.

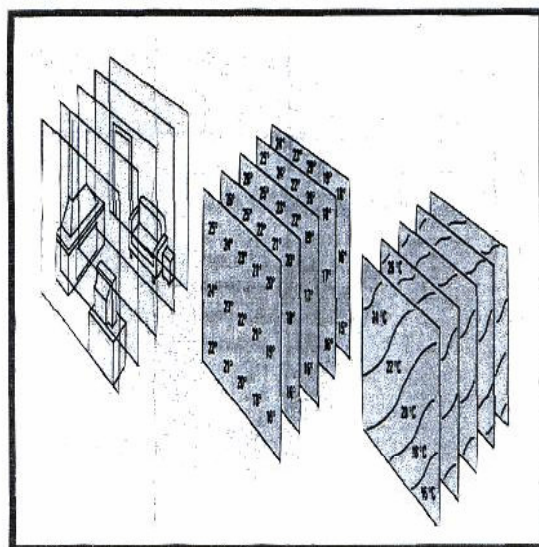
CÓPIAS DAS NOTAS DE AULA DO PROFESSOR P49

<p>ASSUNTO : CAMPO ELÉTRICO</p> <p>AULA Nº 01</p> <p>01 . INTRODUÇÃO</p> <p>O conceito de campo foi criado para explicar o fenômeno da ação a distância , ou seja , a interação entre corpos que não estão em contato direto , e foi proposto na primeira metade do século XIX por Michael Faraday .</p> <p>Um campo é uma grandeza que pode ser associada à posição .</p> <p>Por exemplo , a temperatura do ar em uma sala tem um valor específico , em cada ponto da mesma .</p> <p>Se T representa a temperatura , então existe uma função $T (x , y , z)$ que dá a temperatura em cada ponto (x , y , z) .</p> <p>Além disso , a temperatura pode variar com o tempo t ; nesse caso , é função também de t , ou seja , $T (x , y , z , t)$.</p> <p>Sendo a temperatura uma grandeza escalar , $T (x , y , z , t)$ é um exemplo de campo escalar .</p> <p>O campo de temperaturas pode ser descrito por valores numéricos correspondentes às temperaturas em cada ponto e mapeado por linhas que ligam esses valores numéricos .</p> <p>Além dos campos escalares , há também os campos vetoriais , ou seja , grandezas vetoriais definidas em cada ponto do espaço .</p> <p>O vento na atmosfera terrestre é um exemplo de campo vetorial .</p>
--

Em cada ponto da atmosfera , está definido um vetor v , velocidade do ar .

As três componentes desse campo vetorial são funções da posição e do tempo .

Utilizando coordenadas cartesianas, podemos escrever essas componentes como $v_x (x , y , z , t)$, $v_y (x , y , z , t)$ e $v_z (x , y , z , t)$.



02 . CONCEITO DE CAMPO

É uma modificação nas características do espaço , causada pela presença de partículas .

EXEMPLOS

Campo Gravitacional da Terra é uma perturbação no espaço , causada pela presença da Terra .

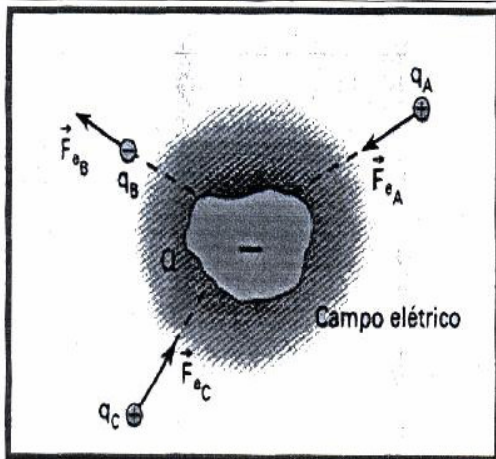
Campo Elétrico é uma perturbação no espaço causada pela presença de cargas elétricas .

03 . CONCEITO DE CAMPO ELÉTRICO

Denominamos de campo elétrico a região do espaço em que partículas eletricamente carregadas sofrem

a ação de força ou adquirem energia devido à sua carga elétrica .

Uma outra maneira de se conceituar campo elétrico seria como sendo uma propriedade física estabelecida em todos os pontos do espaço que estão sob a influência de uma carga elétrica (carga fonte) , tal que uma outra carga (carga de prova ou de teste) , ao ser colocada num desses pontos , fica sujeita a uma força de atração ou repulsão exercida pela carga fonte .



04 . DESCRIÇÃO OU CARACTERIZAÇÃO DO CAMPO ELÉTRICO

É feita através do vetor campo elétrico .

05 . DEFINIÇÃO DE VETOR CAMPO ELÉTRICO (E)

É a grandeza que permite determinar , em cada ponto do espaço , a intensidade da força elétrica que atua sobre a carga aí colocada .

A carga que “denuncia ” ou “ prova ” a existência de um campo elétrico , numa região do espaço , denomina - se carga de prova ou de teste e é representada por q .

$$E = \frac{F_e}{q}$$

05 . UNIDADE DE CAMPO ELÉTRICO NO SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES

Unidade de (E) = N / C

06 . CARACTERÍSTICAS DO VETOR CAMPO ELÉTRICO (E)

b . 1 . INTENSIDADE

$$E = F_e / |q|$$

OBSERVAÇÃO 1

1ª . A intensidade do vetor campo elétrico fornece o valor da força elétrica atuante por unidade de carga da carga de prova q colocada num certo ponto P do espaço .

Suponha , por exemplo , que a intensidade do campo elétrico numa determinada região do espaço seja $E = 100 \text{ N/C}$.

Isso significa que atuará uma força elétrica de 100 N em cada coulomb de uma carga de prova colocada nessa região .

NOTA

Como 1C é uma quantidade extremamente grande , é impossível encontrar essa quantidade armazenada em corpos de pequenas dimensões .

Contudo, por motivos didáticos, muitas vezes falamos até em partículas eletrizadas com carga de 1C ou mais.

2ª. A intensidade do vetor campo elétrico não depende da carga de prova ou de teste q .

b. 2. DIREÇÃO

A mesma da força F_e

b. 3. SENTIDO

O mesmo da força F_e , se q for positiva, $q > 0$

contrário ao da força F_e , se q for negativa, $q < 0$

AULA Nº 02

ASSUNTO : CAMPO ELÉTRICO

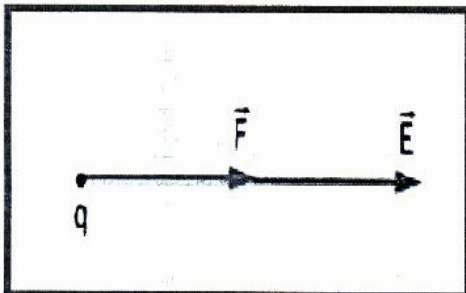
07. ORIENTAÇÃO DO VETOR CAMPO ELÉTRICO

a. EM RELAÇÃO A CARGA DE PROVA OU DE TESTE q

Se a carga de prova q for :

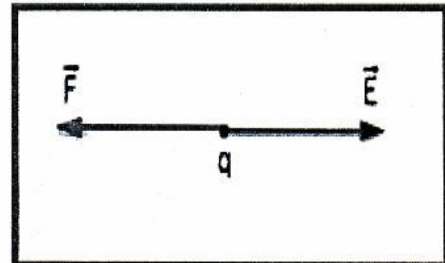
a. 1. POSITIVA

Os vetores F_e e E têm a mesma direção e o mesmo sentido



a. 2. NEGATIVA

Os vetores F_e e E têm mesma direção e sentidos opostos

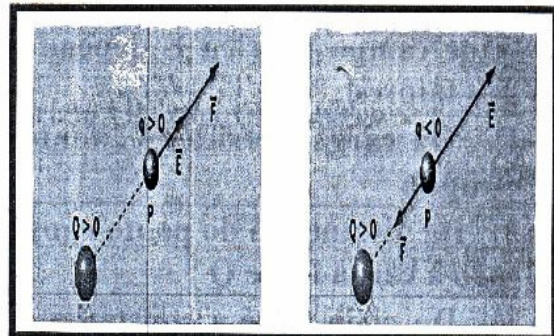


b. EM RELAÇÃO A CARGA GERADORA DO CAMPO

Se a carga geradora do campo for :

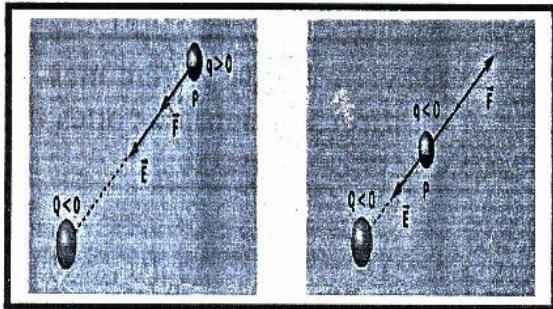
b. 1. POSITIVA

O vetor E num ponto P sempre tem sentido de afastamento em relação a ela, independente do sinal da carga de prova q



b. 2. NEGATIVA

O vetor E num ponto P sempre tem sentido de aproximação em relação a ela, independente do sinal da carga de prova q



08. CAMPO ELÉTRICO DE UMA PARTÍCULA ELETRIZADA

É a região do espaço que circunda a partícula eletrizada, porém, no ponto onde foi colocada, o vetor campo elétrico, devido à própria, é nulo.

O cálculo do campo elétrico gerado por uma partícula eletrizada pode ser obtido pela seguinte fórmula ou expressão:

$$E = k |Q| / d^2$$

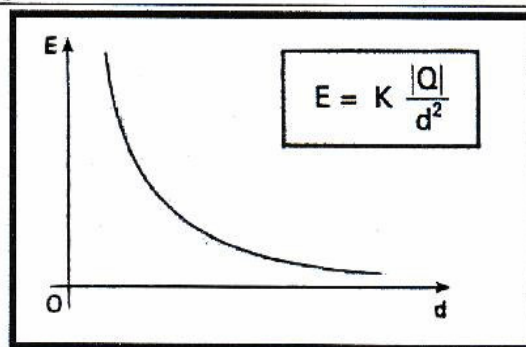
Nessa expressão, o módulo do vetor campo elétrico E depende de três fatores:

- 1º. Da carga elétrica Q, fonte do campo;
- 2º. Da distância d do ponto considerado à carga fonte Q;
- 3º. Do meio (k é a constante eletrostática do meio).

Observe mais uma vez que a intensidade do vetor E não depende da carga de prova q.

A representação gráfica da intensidade do vetor campo elétrico E, em função da distância entre o ponto considerado e a carga fonte Q

, é a curva mostrada na figura a seguir:



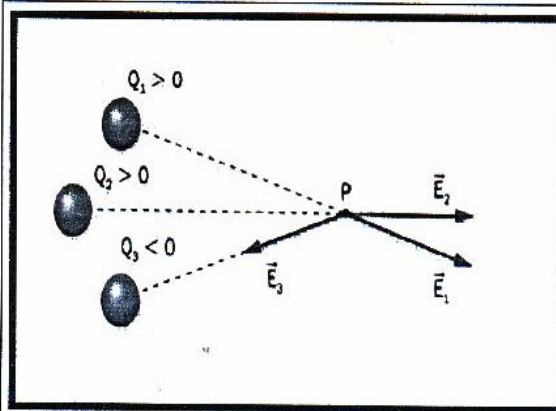
GUARDAR

Uma partícula eletrizada gera campo elétrico na região do espaço que a circunda, porém, no ponto onde foi colocada, o vetor campo elétrico, devido à própria partícula, é nulo.

Essa afirmativa nos permite concluir que uma carga de prova, ao ser colocada num ponto qualquer de um campo elétrico, num ponto, independe da carga de prova que possa existir ali.

09. CAMPO ELÉTRICO DE VÁRIAS CARGAS PUNTIFORMES FIXAS

Seja P um ponto de uma região onde se encontram várias cargas puntiformes fixas, Q_1 , Q_2 e Q_3 .



Cada carga cria um campo elétrico como se as outras não existissem.

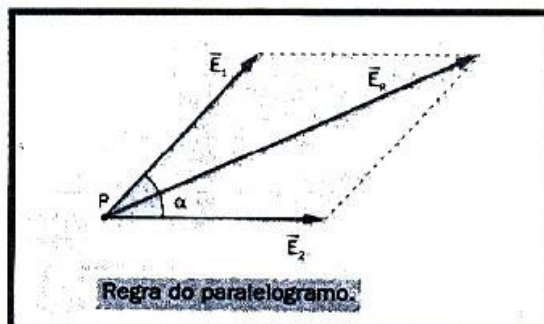
Portanto, em P existirá um vetor campo elétrico para cada carga.

O vetor campo elétrico resultante E_R , em P, é dado pela soma vetorial dos vetores campo elétrico E_1 , E_2 e E_3 , E_n criados, respectivamente, pelas cargas elétricas Q_1 , Q_2 e Q_3 , Q_n .

Assim:

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n$$

Particularmente, para duas cargas puntiformes fixas, a intensidade do campo elétrico resultante E_R em um ponto P é dada pela expressão:



$$E_R = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 \cos \alpha}$$

Lei dos cossenos.

AULA Nº 03

10 . LINHAS DE CAMPO OU DE FORÇA

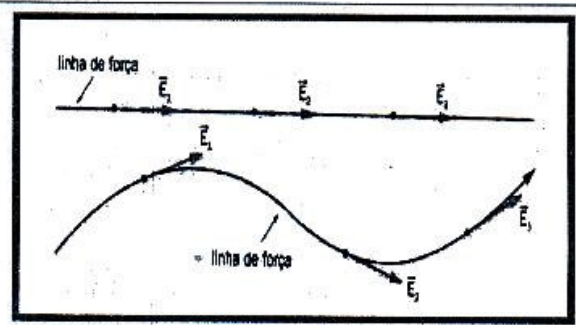
O conceito de linha de campo foi introduzido pelo físico inglês Michael Faraday, que obteve assim uma visualização gráfica da variação do campo elétrico em sua região de existência, ou seja, um mapeamento do campo elétrico.

A observação das linhas de campo nos permite afirmar a intensidade, direção e sentido do vetor campo elétrico em cada ponto da região.

Por definição, linha de campo ou de força é uma linha imaginária tangente ao vetor campo elétrico em cada um dos seus pontos, e que está orientada no mesmo sentido do vetor E.

As linhas de campo ou de força nascem ou se originam nas cargas positivas (fontes) ou no infinito e morrem ou terminam nas negativas ou no infinito (sorvedouros).

As linhas de campo ou de força são contínuas, exceto nas fontes e nos sorvedouros e estão orientadas no sentido de afastamento das fontes e de aproximação dos sorvedouros.

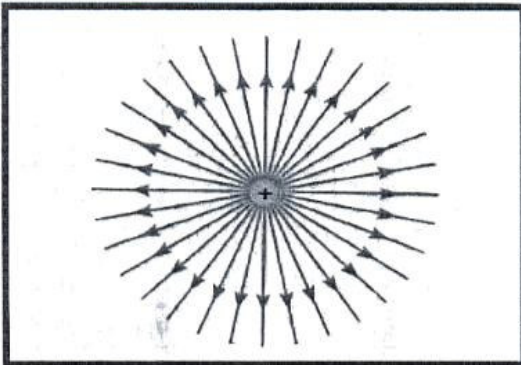


São propriedades das linhas de campo :

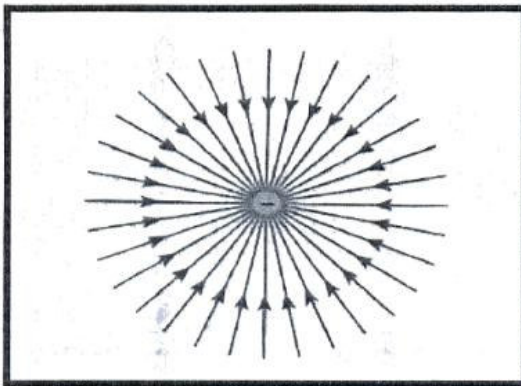
1ª . Duas linhas de campo nunca se interceptam (se cruzam) .

2ª . As linhas de campo elétrico são sempre linhas abertas .

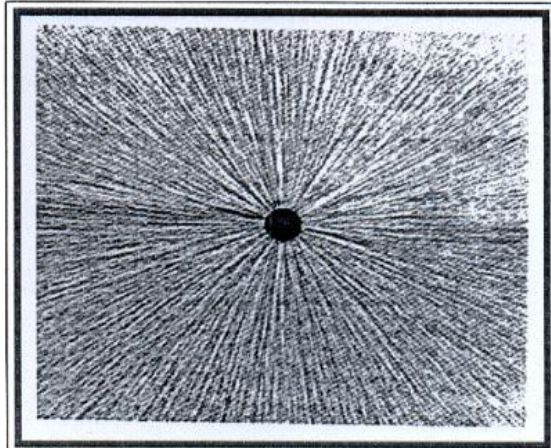
As figuras a seguir mostram alguns tipos de campo elétrico e seus espectros (representação gráfica de suas linhas de campo) .



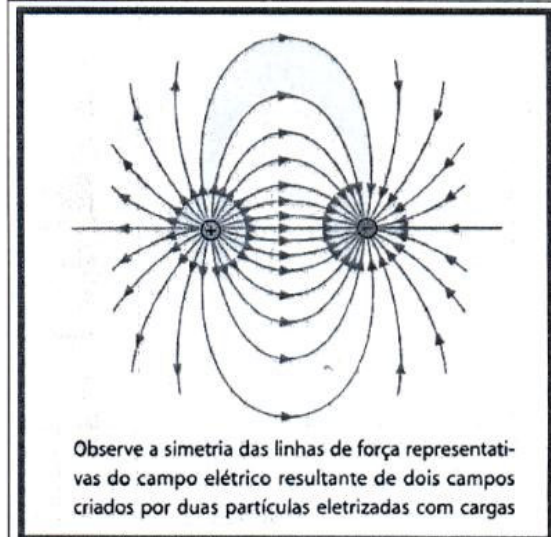
A ilustração mostra as linhas de força de afastamento representativas do campo elétrico criado por uma partícula eletrizada com carga positiva .



A ilustração mostra as linhas de força de aproximação representativas do campo elétrico criado por uma partícula eletrizada com carga negativa .



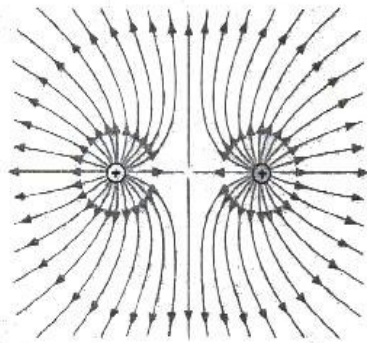
Pequenas fibras de tecido suspensas em óleo e submetidas ao campo elétrico criado por uma partícula eletrizada mostram a forma das linhas de força representativas desse campo .



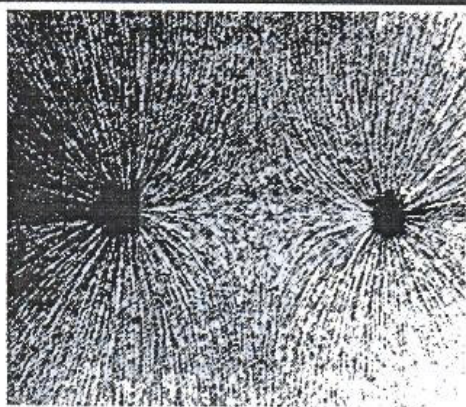
Observe a simetria das linhas de força representativas do campo elétrico resultante de dois campos criados por duas partículas eletrizadas com cargas



Pequenas fibras de tecido submetem-se ao campo elétrico resultante na região, criado por duas partículas eletrizadas com cargas de mesmo módulo, porém de sinais opostos. Podemos observar, ainda, a forma das linhas de força correspondentes.



Observe a simetria das linhas de força representativas do campo elétrico resultante de dois campos criados por duas partículas eletrizadas com cargas iguais. No exemplo, ambas são positivas. Caso fossem negativas, mudaria apenas o sentido da orientação das linhas de força, sendo conservados os demais aspectos.



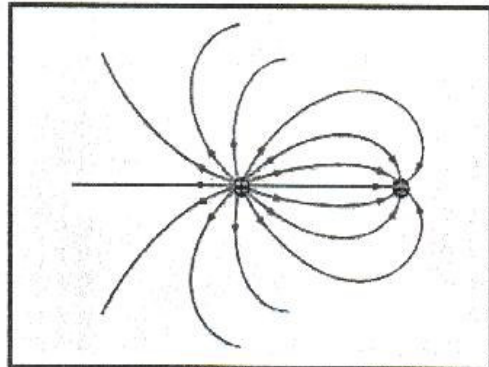
Pequenas fibras de tecido submetem-se ao campo elétrico resultante, criado por duas partículas eletrizadas com cargas iguais. É possível observar, também, a forma das linhas de força correspondentes.

Caso as cargas das partículas tenham módulos diferentes, não será mais observada a simetria das figuras anteriores.

Como exemplo, podemos considerar duas partículas eletrizadas com cargas de sinais opostos, tendo a carga positiva o dobro do módulo da negativa.

As linhas de força tomam a apa-

rência da figura seguinte.

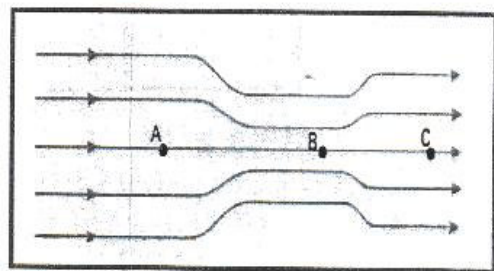


Observe que o número de linhas de força que saem da carga positiva é o dobro do número que chega à negativa. Isso ocorre porque o número de linhas de força em cada partícula deve ser proporcional à sua carga.

OBSERVAÇÃO

DENSIDADE DE LINHAS DE FORÇA

A figura a seguir representa, por meio de linhas de força, uma região onde existe um campo elétrico.



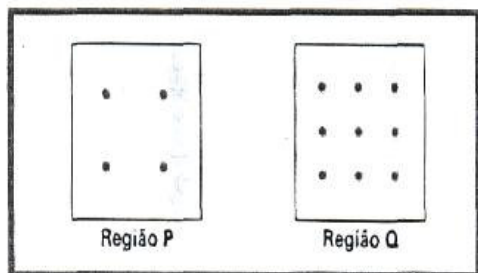
Esse exemplo nos leva a concluir que a intensidade do vetor campo elétrico é maior no ponto B e menor no ponto A:

$$E_B > E_C > E_A$$

A intensidade do campo elétrico

é maior na região de maior densidade de linhas de força e menor na região de menor densidade de linhas de força.

Entende-se por densidade de linhas de força com a quantidade dessas linhas que "perfuram" cada unidade de área de um plano perpendicular a elas, na região considerada.



Neste outro exemplo, considerando que os pontos indicados pertencem a linhas de força que perfuram o plano do papel, pode-se concluir que:

$$E_Q = E_P$$

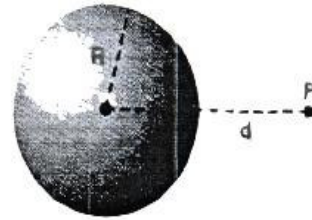
AULA Nº 04

II. CAMPO ELÉTRICO CRIADO POR UM CONDUTOR ESFÉRICO ELETRIZADO

A carga elétrica em uma esfera condutora, em equilíbrio e isolada de outras cargas, se distribui uniformemente pela sua **superfície**, devido à repulsão elétrica.



Sejam R o raio da esfera e d a distância do centro da esfera até o ponto onde se quer o campo elétrico.



- Para pontos externos à esfera ($d > R$), consideramos como se a carga fosse puntiforme e localizada no centro da esfera.

$$E = \frac{K|Q|}{d^2}$$

- Para pontos muito próximos da superfície da esfera ($d \approx R$):

$$E = \frac{K|Q|}{R^2}$$

- Para pontos na superfície ($d = R$):

$$E = \frac{K|Q|}{2 \cdot R^2}$$

- Para pontos no interior da esfera

$$E = 0$$

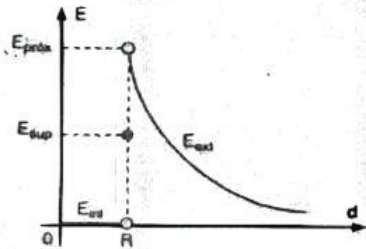
Obs.: O campo elétrico no interior de um condutor carregado e em equilíbrio será sempre nulo.

Gráfico E_{xd} para Uma Esfera Condutora

Dada uma esfera condutora, carregada e em equilíbrio eletrostático:



O campo elétrico ao seu redor se comporta em função da distância, de acordo com o gráfico abaixo:



$E_{próx}$ \Rightarrow campo elétrico próximo da superfície.

E_{sup} \Rightarrow campo elétrico na superfície da esfera

E_{int} \Rightarrow campo elétrico no interior da esfera.

E_{ext} \Rightarrow campo elétrico em pontos externos da esfera.

AULA Nº 05

12. DENSIDADE SUPERFICIAL MÉDIA DE CARGA (σ_m)

Define - se densidade superficial média de carga de um condutor como a grandeza escalar algébrica, dotada do mesmo sinal de Q , dada pelo quociente da carga elétrica Q pela área A :

$$\sigma_m = Q / A$$

Sua unidade no SI é : C / m^2

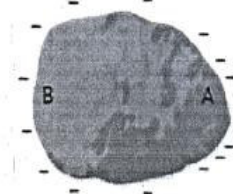
OBSERVAÇÃO

O termo média, na densidade superficial de cargas, é usado porque em geral as cargas elétricas não se distribuem de maneira uniforme sobre a superfície externa do condutor.

13. O PODER DAS PONTAS

Constata - se, experimentalmente, que o módulo da densidade su -

perficial de cargas num condutor eletrizado é maior nas regiões em que ele possui menor raio de curvatura (regiões de maior curvatura), como ilustra a figura abaixo.



Neste condutor eletrizado negativamente, a concentração de elétrons é maior na região A do que na região B.

Essa densidade tem módulo ainda maior em regiões pontiagudas, o que lhes confere um comportamento conhecido por poder das pontas.

Devido à maior concentração de cargas, o campo elétrico é mais intenso nas vizinhanças das regiões pontiagudas do que nas vizinhanças das outras regiões do condutor.

14. CAMPO ELÉTRICO UNIFORME (CEU)

É uma região do espaço onde o vetor representativo do campo E , tem, em todos os pontos, a mesma intensidade, a mesma direção e o mesmo sentido.

Num campo uniforme as linhas de força são retas paralelas.

É o caso, por exemplo, do campo elétrico entre duas placas metálicas paralelas, eletrizadas com cargas de sinais contrários.

O vetor E é constante, perpendicular às placas e orientado da placa

CÓPIAS DAS ANOTAÇÕES DAS AULAS DE FÍSICA

CÓPIAS DAS ANOTAÇÕES DE UM CADERNO DE FÍSICA DA TURMA P3

② CAPRICHIO

| 22. 04 06 |

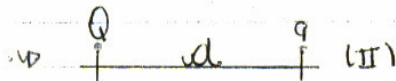
* Campo elétrico (E)



$$\text{Viz: } F_1 = F_2 = F_3 = F$$
$$q_1 \quad q_2 \quad q_3 \quad q$$

$$* E = \frac{F}{q}$$

$$F = q \cdot E \rightarrow \text{(I)}$$



$$* F_{el} = k \cdot Q \cdot q$$
$$d^2$$

* Associando as equações I e II temos:

$$q \cdot E = k \cdot Q \cdot q$$
$$d^2$$

$$E = k \cdot Q$$
$$d^2 //$$

© Editora Abril S.A.

→ Unidade de Campo elétrico no S. I. (sistema internacional) é Newton por Coulomb!

* N/C



12.04.06

CAPRICHIO

Exemple:

* Calcular o campo electrico num ponto P a 30 cm de uma carga electrica de 6 uC.

$$Q = 6 \mu C = 6 \cdot 10^{-6} C$$

$$\frac{d}{r} = \frac{30 \text{ cm}}{1} = 0,3 \text{ m}$$

$$E = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{6 \cdot 10^{-6}}{0,3^2}$$

$$E = 9 \cdot 10^9 \cdot 6 \cdot 10^{-6} \cdot 10,09$$

$$E = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 6 \cdot 10^{-6}}{9 \cdot 10^{-2}}$$

$$E = \frac{6 \cdot 10^5}{10^{-2}} = 6 \cdot 10^5 \text{ N/C}$$

2 - Bimestre

Exercicios.

1* Calcular o campo electrico no ponto P da figura:

$$Q = 8 \mu C$$

$$\frac{d}{r} = \frac{20 \text{ cm}}{1}$$

$$E = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 8 \cdot 10^{-6}}{(0,2)^2}$$

$$E = \frac{72 \cdot 10^3}{4 \cdot 10^{-2}}$$

$$E = 18 \cdot 10^5$$

$$E = 1,8 \cdot 10^6 \text{ N/C}$$

2* Se colocarmos sobre o ponto P do problema anterior uma carga de 6 uC, qual a força que nela atua?

$$q = 6 \mu C = 6 \cdot 10^{-6} C$$

$$F = k \cdot \frac{q \cdot Q}{r^2}$$

$$F = 10,8 \text{ N}$$

$$F = 1,08 \cdot 10^1 \text{ N}$$

$$F = q \cdot E$$

$$F = 6 \cdot 10^{-6} \cdot 1,8 \cdot 10^6$$



♡ CAPRICHIO

18.04.06

3º Em um dado ponto do espaço, uma carga de 7 nC, exerce uma força de $5 \cdot 10^{-2}$ N. Qual o valor do campo elétrico naquele ponto?

$5 \cdot 10^{-2} \cdot 7 \cdot 10^{-6} \text{ E}$

$3,5 \cdot 10^{-1}$

$3,5 \cdot 10^{-3} \text{ N/C}$



4º Qual o valor da carga elétrica puntiforme que gera um campo de $3,6 \cdot 10^6 \text{ N/C}$ a uma distância de 40 cm?

$E = ?$

$d = 40 \text{ cm}$

$d = 3,6 \cdot 10^{-6}$

$E = k \cdot \frac{Q}{d^2}$

$3,6 = 9 \cdot 10^9 \cdot Q$

$10,41^2$

$Q = 0,4 \cdot 10^{15} \text{ ou } 1,6$

$Q = 0,064 \cdot 10^{17}$

19.04.06

Exercícios

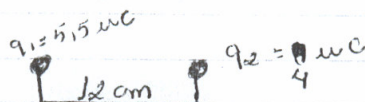
1º Quantos elétrons um corpo neutro deve perder para ter carga de 6 nC?

$6 = \text{um} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}$

$n = 6 \cdot 10^{-6} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}$

$n = 9,0 \cdot 10^{25}$

2º Qual a força entre os corpos abaixo no vácuo?



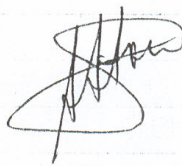
19.04.06

$$E = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 55 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot 10^{-6}}{(1,2)^2}$$

$$E = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 55 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot 10^{-6}}{1,44}$$

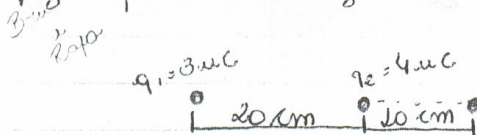
$$E = \frac{198 \cdot 10^{-3}}{1,44 \cdot 10^{-2}}$$

$$E = 1375 \cdot 10^{-1} \text{ N/C} //$$



25.04.06

1ª Calcule o campo elétrico total no ponto P, da configuração de cargas abaixo, no vácuo.



$$E_1 = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 3 \cdot 10^{-6}}{(0,3)^2}$$

$$E_2 = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 4 \cdot 10^{-6}}{(0,1)^2}$$

$$E_1 = 3 \cdot 10^5 \text{ N/C}$$

$$E_2 = 36 \cdot 10^5 \text{ N/C}$$

$$E_T = 3 \cdot 10^5 + 36 \cdot 10^5$$

$$E_T = 39 \cdot 10^5$$

$$E_T = 3,9 \cdot 10^6 \text{ N/C} //$$

2ª Qual o módulo da força que atuará sobre a uma carga $q_0 = 4 \mu\text{C}$ colocada sobre o ponto P do enunciado anterior?

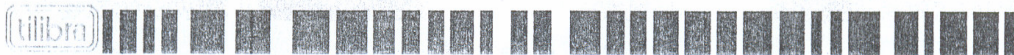
$$F = q_0 \cdot E$$

$$F = 4 \cdot 10^{-6} \cdot 3,9 \cdot 10^6$$

$$F = 15,6 \text{ N} //$$

$$F = 15,6 \text{ N}$$

$$F = 15,6 \text{ N} //$$



3º Calcule o valor da carga elétrica que provoca num ponto a 30 cm dela um campo elétrico de módulo $5 \cdot 10^6 \text{ N/C}$.

$$F = k \frac{Q}{d^2}$$

$$F = 5 \cdot 10^6 \quad Q = ?$$

$$5 \cdot 10^6 = 9 \cdot 10^9 \frac{Q}{0,3^2}$$

$$d = 93 \text{ m} \quad k = 9 \cdot 10^9$$

$$5 \cdot 10^6 \cdot 9 \cdot 10^{-2} = 9 \cdot 10^9 Q \quad Q = 5 \cdot 10^{-5} \text{ C}$$

$$\frac{45 \cdot 10^4}{9 \cdot 10^9} = Q$$

4º Calcule a distância de um ponto P à carga $Q = 9 \mu\text{C}$, sabendo que o campo elétrico nesse ponto tem módulo de $9 \cdot 10^5 \text{ N/C}$.

$$F = k \frac{Q}{d^2}$$

$$F = 9 \cdot 10^5 \quad Q = 9 \cdot 10^{-6} \quad d = ? \quad k = 9 \cdot 10^9$$

$$9 \cdot 10^5 = 9 \cdot 10^9 \frac{9 \cdot 10^{-6}}{d^2}$$

$$d = 3 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

$$d^2 = 81 \cdot 10^3$$

$$d^2 = 9 \cdot 10^5$$

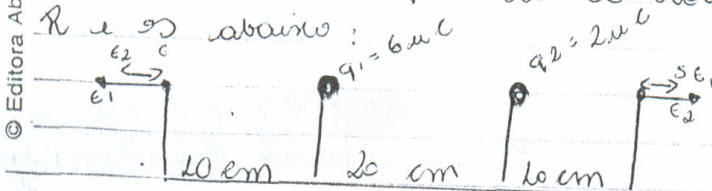
$$d^2 = 9 \cdot 10^{-2}$$

$$d = \sqrt{9 \cdot 10^{-2}}$$

© Editora Abril S.A.

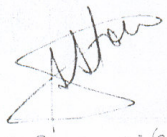
05.05.06

5º Calcule o campo elétrico total nos pontos R e S abaixo:



05.05.06

CAPRICO



$$E_1 = k \cdot \frac{Q_1}{d_1^2} \rightarrow E_1 = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 6 \cdot 10^{-6}}{(0,1)^2} \quad E_1 = 54 \cdot 10^3 = 5,4 \cdot 10^5 \text{ N/C} //$$

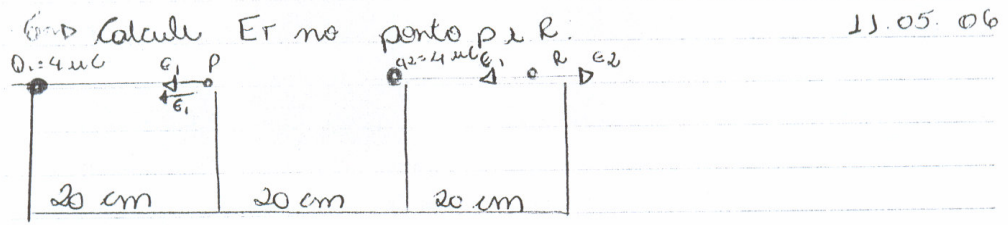
$$E_2 = k \cdot \frac{Q_2}{d_2^2} \rightarrow E_2 = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 10^{-6}}{(0,3)^2} \quad E_2 = \frac{18 \cdot 10^3}{9 \cdot 10} = 2 \cdot 10^5 \text{ N/C} //$$

$$E_1^R = E_1 + E_2^R \rightarrow E_1^R = 5,4 \cdot 10^5 + 2 \cdot 10^5 = 7,4 \cdot 10^5 \text{ N/C}$$

$$C_1^S = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{d^2} \rightarrow 9 \cdot 10^9 \cdot 6 \cdot 10^{-6} \cdot 6 \cdot 10^{-6} \text{ N/C}$$

$$E_2^S = k \cdot \frac{Q^2}{d^2} \rightarrow 9 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 10^{-6} = 38 \cdot 10^3 \text{ N/C}$$

$$E_1^S = 24 \cdot 10^3 = 2,4 \cdot 10^5 \text{ N/C}$$

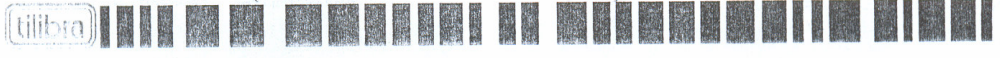


$$E_1 = k \cdot \frac{Q}{d^2} \quad E_2 = k \cdot \frac{Q}{d^2} \quad E_T^R = 36 \cdot 10^5 + 4 \cdot 10^5 = 40 \cdot 10^5 = 4,0 \cdot 10^6 \text{ N/C}$$

$$Q_1 = 9 \cdot 10^9 \cdot 4 \cdot 10^{-6} \quad E_2 = 9 \cdot 10^9 \cdot 4 \cdot 10^{-6} \quad E_T^S = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{d^2} = 9 \cdot 10^9 \cdot 4 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot 10^{-6} \text{ N/C}$$

$$E_1 = 36 \cdot 10^3 \quad E_2 = 36 \cdot 10^3 \quad E_2^S = k \cdot \frac{Q^2}{d^2} = 9 \cdot 10^9 \cdot 4 \cdot 10^{-6} = 36 \cdot 10^3 \text{ N/C}$$

$$E_1^S = 36 \cdot 10^3 \text{ N/C} \quad E_2^S = 36 \cdot 10^3 \text{ N/C} \quad E_T^S = 13 \cdot 10^5 = 1,3 \cdot 10^6 \text{ N/C}$$



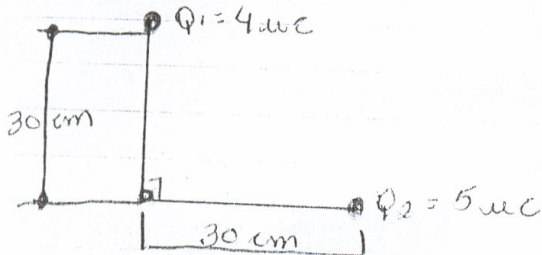
Edif. Aprill S.A.

CAPRICHIO

11.05.06

* Desafio *

Calcule ET no ponto P da configuração de cargas.



$$E_1 = 1 \cdot 10^9 \cdot 4 \cdot 10^{-6} / (0,3)^2$$

$$E_1 = 36 \cdot 10^3 / 9 \cdot 10^{-2}$$

$$E_1 = 4 \cdot 10^5 \text{ N/C}$$

$$E_2 = 9 \cdot 10^3 \cdot 5 \cdot 10^{-6} / (0,3)^2$$

$$E_2 = 45 \cdot 10^3 / 9 \cdot 10^{-2}$$

12.05.06

$$E_2 = 5 \cdot 10^5 \text{ N/C}$$

$$E_T^2 = E_1^2 + E_2^2$$

$$E_T^2 = (4 \cdot 10^5)^2 + (5 \cdot 10^5)^2$$

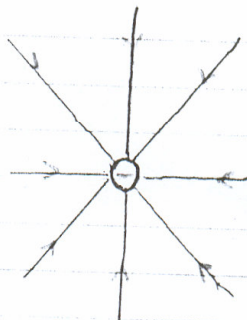
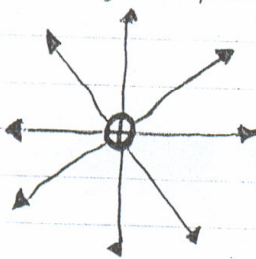
$$* E_T^2 = 16 \cdot 10^{10} + 25 \cdot 10^{10}$$

$$E_T^2 = 41 \cdot 10^{10}$$

$$E_T = 6,4 \cdot 10^5 \text{ N/C}$$

* Prova dia 18.05.06 *

* Linhas de campo elétrico
(linhas de força)
em cargas pontiformes *



A direção do vetor campo elétrico é sempre dada pela seta que tangencia a linha de campo em um dado ponto e o sentido é estabelecido pelo sentido da linha de campo, ou seja, sempre "indo" para o negativo.

Correção do Prova

1) $F = q_2 \cdot E$

$F = 4 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot 10^6$

$F = 16 \text{ N}_{//}$

$F = ?$

$q_3 = 4 \mu\text{C}$

$E = 4 \cdot 10^6 \text{ N/C}_{//}$

2)

CÓPIAS DAS ANOTAÇÕES DE UM CADERNO DE FÍSICA DA TURMA P49



$$30 = 0,3 \cdot 10^1 \quad \text{PROVA !!}$$

$$\textcircled{1} Q_1 = 5 \cdot 10^{-5}$$

$$Q_2 = 5 \cdot 10^{-7}$$

$$k_0 = \frac{9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$$

$$d = 5 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$F^D = ?$$

$$F = \frac{k_0 |Q_1| |Q_2|}{d^2}$$

$$F^D = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 5 \cdot 10^{-5} \cdot 5 \cdot 10^{-7}}{(5 \cdot 10^{-2})^2}$$

$$F^D = \frac{135 \cdot 10^{-3}}{25 \cdot 10^{-4}}$$

$$F^D = 54 \cdot 10^1 \text{ N}$$

$$F^D = 54 \text{ N}$$

$$\textcircled{2} Q_1 = 2 \mu\text{C}$$

$$Q_2 = -2 \mu\text{C}$$

$$Q_3 = 3 \mu\text{C}$$

$$k_0 = \frac{9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$$

$$d_{AC} = 30 \text{ cm} = 3 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

$$d_{BC} = 30 \text{ cm} = 3 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

$$F_R^D = \sqrt{F_{1,3}^D{}^2 + F_{2,3}^D{}^2}$$

$$F_{1,3}^D = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^{-6}}{(3 \cdot 10^{-1})^2}$$

$$F_{1,3}^D = \frac{6 \cdot 10^{-3}}{10^{-2}}$$

$$F_{1,3}^D = 6 \cdot 10^{-1} \text{ N}$$

$$F_{2,3}^D = 6 \cdot 10^{-1} \text{ N}$$

$$F_R^D = \sqrt{(6 \cdot 10^{-1})^2 + (6 \cdot 10^{-1})^2}$$

$$F_R^D = \sqrt{36 \cdot 10^{-2} + 36 \cdot 10^{-2}}$$

$$F_R^D = \sqrt{72 \cdot 10^{-2}}$$

$$F_R = \sqrt{72 \cdot 10^{-2}}$$

$$F_R = \sqrt{2^2 \cdot 2 \cdot 3^2 \cdot 10^{-2}}$$

$$F_R = 2 \cdot 3 \cdot 10^{-1} \sqrt{2}$$

$$F_R = 6 \cdot 10^{-1} \sqrt{2} \text{ N}$$

$$F_R = 0,6 \cdot 1,42$$

$$F_R = 0,852 \text{ N}$$

$$F_R = 8,52 \cdot 10^{-1} \text{ N}$$

$$\textcircled{3} F_1 = 8 \cdot 10^5 \text{ N}$$

$$F_2 = 8 \cdot 10^5 \text{ N}$$

$$F_R = 8 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 10^5$$

$$F_R = 6 \cdot 10^5 \text{ N}$$

16.05.06

Campo Eléctrico

01. Conceito

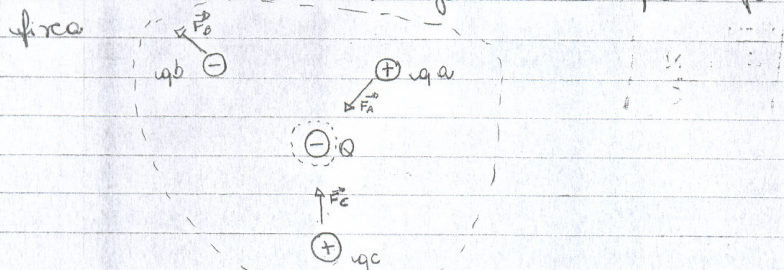
É a região de perturbação eletrostática criada



tiilbra



as redor de uma carga elétrica pontiforme de
força



$Q =$ carga que origina o campo.

$q =$ carga de prova ou de teste do campo

carga que serve p/ constatar a existência de campo elétrico.

02. DEFINIÇÃO DO VETOR: CAMPO ELÉTRICO (\vec{E})

é uma grandeza vetorial definida pelo cociente da força elétrica pela carga de prova

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{q}$$

03. CARACTERÍSTICAS DO VETOR CAMPO ELÉTRICO

a) Intensidade, ou módulo ou magnitude

* para achar a intensidade, usar a fórmula acima

b) Direção: é dada pela força elétrica (\vec{F}_e)

c) Sentido: $q > 0$ mesmo do \vec{F}_e

$q < 0$ contrário do \vec{F}_e





04. UNIDADE DE \vec{E} NO SI

$$\vec{E} = \frac{N}{C}$$

05. CAMPO ELÉTRICO DE UMA CARGA PONTIFORME FIXA

$$E = \frac{k|Q|}{d^2}$$

- INTENSIDADE

$$E = \frac{k|Q|}{d^2}$$

- DIREÇÃO

Do ponto que une a carga no ponto onde se quer o campo, portanto, a mesma direção da Força ELÉTRICA (F_e)

- SENTIDO

Se $Q > 0$, o campo elétrico é de afastamento da carga
 $Q > 0 = \vec{E}$ de afastamento

Se $Q < 0$, o campo elétrico é de aproximação
 $Q < 0 = \vec{E}$ de aproximação.

06. OBSERVAÇÕES

1º O campo elétrico não depende da carga de prova
e \vec{E} depende de Q .

2º O campo elétrico depende da carga que origina,
depende da distância d e do meio K .





3º A relação $\frac{F}{q}$ pode ser aplicada em qualquer região do \vec{E}



4º A relação só pode ser aplicada para carga puntiforme e fixa.



5º Para existir Força Elétrica é preciso de 2 Q elétricos.



6º Para existir \vec{E} é necessário 1 Q fixa

24/05/06

* Campo Elétrico devido A VARIAS CARGAS

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_n$$

$$E_R = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 \cos \alpha} = 2 \text{ cargas elétricas puntiformes}$$

8º Linhas de Campo

O conceito de linhas de campo ou de força foi introduzido pelo físico inglês Michael Faraday que deteve assim, a sua visualização gráfica da variação do campo elétrico em sua região

a) Há um \vec{E}^o em P_1 se uma força elétrica atua sobre e q carga elétrica colocada naquele ponto. Como, ao ser colocada em P_1 , a carga q é repelida por Q, se posso concluir que existe um \vec{E}^o em P_1 , porque a carga de prova é sempre positivo (repulsão)

b) Q

c) carga de prova ou de teste.



FIGURA II

CAMPO CRIADO POR UMA CARGA NEGATIVA

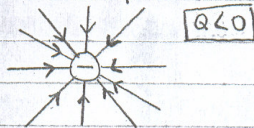
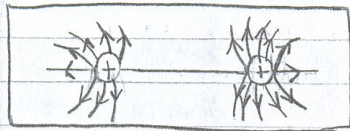


FIGURA III E IV

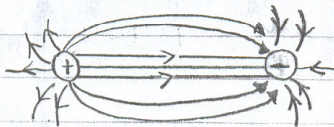
CAMPO ELÉTRICO RESULTANTE DA INTERAÇÃO DE DUAS CARGAS ELÉTRICAS PONTIFORMES



III - IGUAIS COM SINAIS IGUAIS



IV - IGUAIS COM SINAIS DIFERENTES



A densidade de linhas de campo, que se define como sendo o número delas que através de ~~uma~~ unidade de área perpendicularmente à direção do campo, é uma medida da intensidade do campo elétrico em cada ponto em que se considera a unidade de área.

Quanto maior for o número de linhas de campo, mais intenso será o campo elétrico

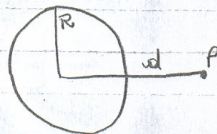
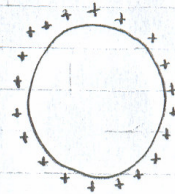
09. CAMPO DE UMA ESFERA

A carga elétrica em uma esfera condutora,



em equilíbrio e isolada de outras cargas, se distribuem uniformemente pela sua superfície, devido a sua repulsão elétrica.

Sejam R o raio da esfera e d a distância do centro da esfera e o ponto onde se quer o campo elétrico



Para pontos externos da esfera ($d > R$) consideramos como se a carga fosse puntiforme e localizada no centro da esfera.

$$\vec{E} = k \frac{|Q|}{d^2}$$

Para pontos muito próximos da superfície da esfera ($d \approx R$)

$$\vec{E} = k \frac{|Q|}{R^2}$$

Para pontos na superfície da esfera ($d = R$)

$$\vec{E} = \frac{k |Q|}{2R^2}$$

Pontos no interior da esfera

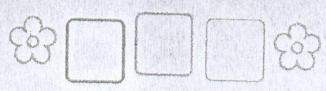
$$\vec{E} = 0$$

30.05.06

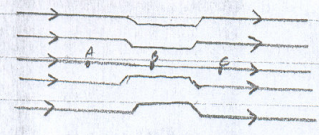
DENSIDADE DA LINHA DE FORÇA

A figura a seguir, represento por meio de linhas de força, uma região onde existe





um campo elétrico



$$E_B > E_C > E_A$$

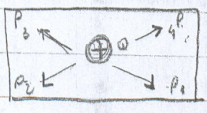


Este exemplo nos leva a concluir a intensidade do vetor campo elétrico é maior no ponto B e menor no ponto A



dim, o campo elétrico \vec{E} depende da carga de teste

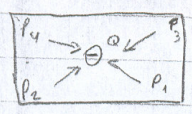
2)



1) Houve um \vec{E} em p_1 se uma \vec{F} ali

3)

\vec{E} não de aproximação



4)

