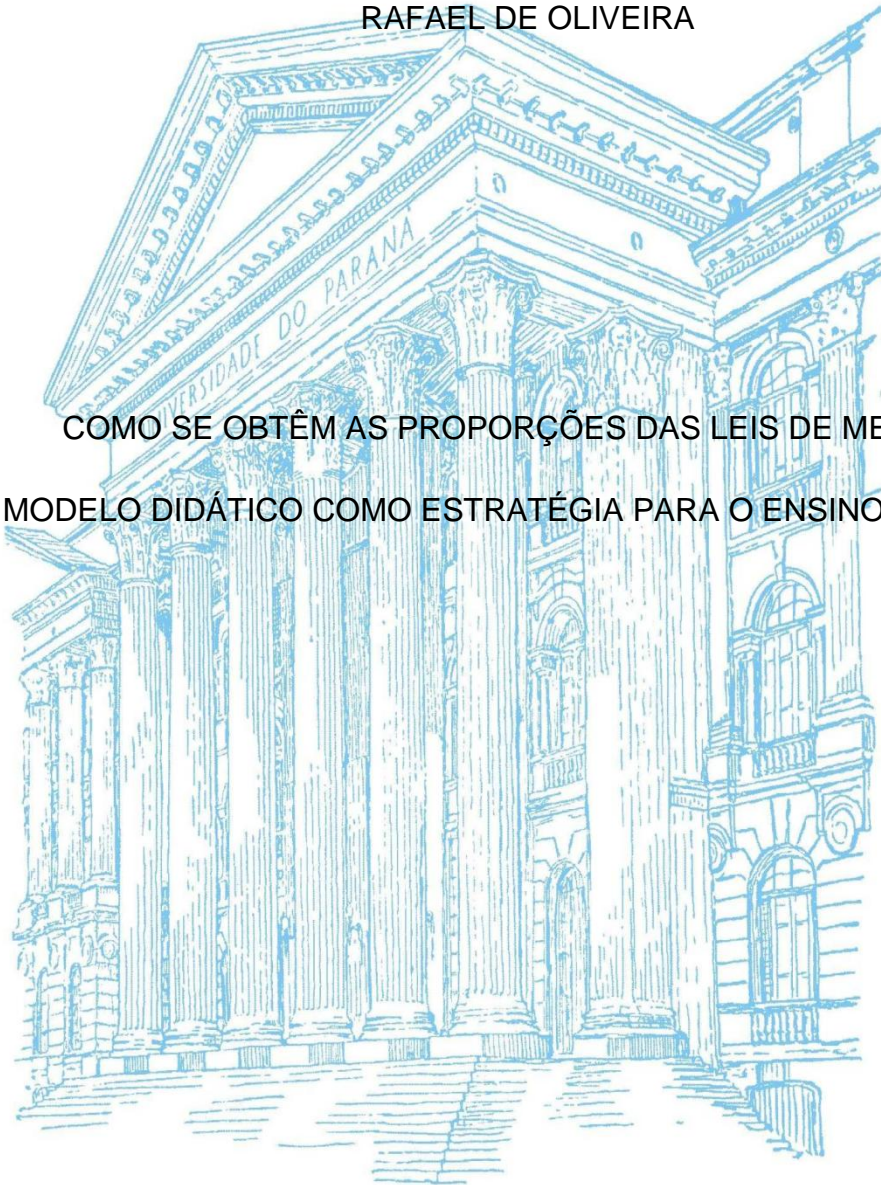


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LUCAS TREVISAN FRANÇA DE LIMA

RAFAEL DE OLIVEIRA

COMO SE OBTÊM AS PROPORÇÕES DAS LEIS DE MENDEL?  
UM MODELO DIDÁTICO COMO ESTRATÉGIA PARA O ENSINO DE GENÉTICA



CURITIBA

2018

LUCAS TREVISAN FRANÇA DE LIMA

RAFAEL DE OLIVEIRA

COMO SE OBTÊM AS PROPORÇÕES DAS LEIS DE MENDEL?

UM MODELO DIDÁTICO COMO ESTRATÉGIA PARA O ENSINO DE GENÉTICA

Trabalho de conclusão de curso apresentado à disciplina EM202 TCC II, como requisito parcial à obtenção do grau de licenciado em Ciências Biológicas, Departamento de Genética, Setor de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Dr. Valéria Maria M. Sperandio Roxo

Co-orientadora: Dr. Patrícia Barbosa Pereira

CURITIBA

2018

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos à Professora Valéria, pela oportunidade e confiança em orientar este trabalho.

À professora Patrícia por toda ajuda para o desenvolvimento do trabalho.

Às professoras Luciane e Nina por aceitarem avaliar nosso trabalho.

A todos os nossos professores do curso.

A todos os nosso amigos e colegas de graduação.

As nossa famílias.

E a todos que direta ou indiretamente contribuíram para o desenvolvimento do trabalho.

## RESUMO

O ensino das Ciências têm sido um desafio para educadores na atualidade. O desenvolvimento de metodologias e estratégias é fundamental para a consolidação do processo ensino-aprendizagem, uma vez que a temática é tratada de forma fragmentada e descontextualizada com a realidade dos estudantes. A ciência tradicional é ensinada de maneira técnica com aspectos de racionalidade lógica e seguindo o rigor proposto pelo método científico, tendo pouca flexibilidade no momento de aprendizagem. Consequentemente há somente uma transmissão e memorização dos conteúdos sem um significado para o educando. Uma das possíveis formas de superar este problema é pelo uso de modelos didáticos como estratégias de ensino. Modelos auxiliam na sistematização e simplificação de realidades complexas, permitindo que os estudantes consigam elucidar processos que requerem alta capacidade de abstração. Sendo assim, o presente estudo descreve a confecção de um modelo didático sobre as leis de Mendel, o qual é composto por ratos de Biscuit com características fenotípicas visualmente perceptíveis e seus cromossomos, os quais são utilizados para simular o processo de segregação e recombinação durante a meiose. O modelo didático elaborado permitiu testar empiricamente quais os possíveis fenótipos herdados pelas gerações consequentes e a razão pela qual as leis de Mendel apresentam proporções genotípicas e fenotípicas teoricamente estabelecidas. Como forma de validar e verificar a eficiência do uso do modelo desenvolvido, foi realizada uma pesquisa de caráter etnográfico aplicado à educação, com turmas de ensino superior da instituição, na qual o estudo foi desenvolvido.

**Palavras-chave:** Ensino de genética; Modelização; Leis de Mendel, Segregação dos Genes, Recombinação.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Representação esquemática da primeira Lei de Mendel .....	17
FIGURA 2 – Representação do modelo didático proposto aplicado para a Primeira Lei de Mendel.....	18
FIGURA 3 – Representação esquemática da Segunda Lei de Mendel.....	19
FIGURA 4 – Representação do modelo proposto aplicado à segunda lei de Mendel. ....	20
FIGURA 5 – Modelo didático proposto com todos os elementos .....	24
FIGURA 6 – Compartimento para inserção dos alelos dentro dos ratos .....	25
FIGURA 7 – Par de cromossomos homólogos confeccionados no presente estudo. ....	26
FIGURA 8 – Resultado do cruzamento da Primeira Lei de Mendel .....	29
FIGURA 9 – Possíveis genótipos e fenótipos obtidos na F2 para a Segunda Lei de Mendel .....	31
FIGURA 10 – Aplicação do modelo, com discussão em lousa.....	33

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Resultados obtidos no cruzamento F1 x F1 para a primeira Lei de Mendel, onde G1, G2 e G3 correspondem aos grupos; PF – Proporção fenotípica; PG – Proporção genotípica. ....	29
TABELA 2 - Resultados obtidos em uma das turmas, de acordo com o número de sorteios. Onde G1, G2 e G3 correspondem aos grupos 1, 2 e 3; TG - Total dos genótipos; PG - Proporção genotípica; TF - Total dos fenótipos e PF - Proporção Fenotípica.....	31
TABELA 3 - Comparação das proporções genotípicas esperadas e observadas para a F2 na Lei da Segregação Independente dos Fatores. ....	32

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	8
1.1 O ENSINO DE CIÊNCIAS E BIOLOGIA.....	8
1.2 MODELIZAÇÃO NO ENSINO DE CIÊNCIAS E BIOLOGIA.....	10
1.3 MODELOS APLICADOS À GENÉTICA .....	12
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	15
2.1 OBJETIVO GERAL .....	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
<b>3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b> .....	16
3.1 CONSTRUÇÃO DO MODELO DIDÁTICO E RELAÇÃO COM AS LEIS DE MENDEL .....	16
3.2 APLICAÇÃO DO MODELO DIDÁTICO .....	21
<b>4 RESULTADOS E ANÁLISE</b> .....	24
4.1 O PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DO MODELO DIDÁTICO .....	24
4.2 APLICAÇÃO DO MODELO: POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES .....	27
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	37
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	39
<b>ANEXOS</b> .....	41

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 O ENSINO DE CIÊNCIAS E BIOLOGIA

O ensino de Ciências e Biologia, como disciplinas, sempre esteve voltado ao modelo da racionalidade técnica, tendo como objetivo principal a aplicação de técnicas científicas rigorosas para a resolução de problemas. Este modelo, também chamado de modelo tradicional de ensino, prioriza a transmissão do conhecimento em detrimento da reflexão e da interação entre professores e estudantes para a construção do conhecimento. (JUNIOR & PRINCIVAL, 2014).

Filha, Silva e Freitas (2016) destacam que o modelo tradicional de ensino não é eficiente no que se refere à aprendizagem dos alunos. Tal método é predominantemente baseado em aulas expositivas monológicas, com conteúdos expressos tais como apresentados nos livros didáticos, sendo as interações entre professor e alunos e, destes entre si, pouco exploradas no processo de ensino e aprendizagem. Portanto, é possível que a adoção de aulas tradicionais como principal estratégia de ensino possa explicar, em parte, os baixos índices de rendimento escolar nas avaliações nacionais da educação básica (FILHA, SILVA & FREITAS, 2016). Além disso, para que a aprendizagem seja significativa o estudante deve ter disposição em aprender, caso contrário, o conhecimento será adquirido apenas de forma repetitiva. Para que a aprendizagem seja consolidada há duas etapas: lógica e psicológica. A primeira é apenas relacionada à própria natureza do conteúdo e a segunda tem relação com a experiência individual (AUSUBEL, 2003).

Até a metade do século XX, durante a consolidação destas disciplinas e de seus currículos, predominava no campo da educação uma visão tecnicista e conteudista. Isto fez com que se estabelecesse uma estrutura de ensino fragmentado, com pouca interdisciplinaridade e pouca valorização do estudante. Esta fragmentação ocorre também pela fixação de uma hierarquia de conteúdos baseada em complexidades, fazendo com que se perca a compreensão do todo. Por exemplo, os conceitos de célula e os diversos sistemas do corpo humano são ensinados de maneira dissociada, o que dificulta a compreensão pelos estudantes

de que os órgãos e células trabalham em conjunto para o funcionamento do organismo.

A educação no Brasil ao longo do século XX sofreu forte influência internacional devido à presença de muitos professores estrangeiros, principalmente europeus. Os livros didáticos, muitas vezes traduzidos e adaptados sem a devida avaliação, continham diversas inadequações e descontextualizações, abordando o conhecimento científico como “verdades absolutas” e ignorando seu processo de construção. Ainda neste período, ocorreu a consolidação da estrutura dos diversos recursos didáticos, que até hoje refletem a organização sequencial e fragmentada dos conteúdos (DUSO et al., 2013). Para Fracalanza (1993), a sequência de assuntos presente no livro didático pode ser percebida pelo docente como a única forma possível de estruturação do conteúdo e, ao longo do tempo, o objetivo da educação acaba por se tornar o cumprimento deste conteúdo, sem integração ou contextualização.

Outro fator estruturante de conteúdos de ensino no Brasil é a forte influência de vestibulares e exames de seleção para diversas universidades no cotidiano escolar. O alto volume conteudista atrelado ao pouco tempo destinado a cada disciplina torna dificultosa uma abordagem diferenciada e significativa durante as aulas do ensino regular. Em muitos casos, o professor transmite todo o conteúdo aos estudantes, sem relacionar com uma discussão ou problematização, para que haja tempo hábil para o cumprimento do currículo vigente e que os estudantes tenham todo o recurso direcionado aos exames de seleção (CANTIELLO & TRIVELLATO, 1999).

Nesse sentido, os pesquisadores da educação têm apresentado propostas de métodos de ensino, no qual se estimula tanto a interação quanto o desenvolvimento cognitivo dos alunos, a fim de superar a deficiência apresentada pelas aulas tradicionais. Dentre esses métodos podemos destacar a aprendizagem colaborativa, a abordagem CTS e a utilização de recursos didáticos (modelos pedagógicos, jogos didáticos, fragmentos filmicos, experimentação problematizadora, música, entre outros) (JUSTINA & FERLA, 2006).

## 1.2 MODELIZAÇÃO NO ENSINO DE CIÊNCIAS E BIOLOGIA

O ser humano utiliza de modelos mentais como forma de representar e explicar o mundo a sua volta. Estes modelos permitem a organização e sistematização do conhecimento, facilitando a relação entre conceitos e ideias. A modelagem, portanto, é um recurso que permite recriar artificialmente a realidade, destacando um subconjunto de variáveis de maior importância para a compreensão do fenômeno estudado (QUINTO & FERRACIOLI, 2008).

Para Kapras et al. (1997) os modelos podem ser conceituados como processos que representam determinado evento, podendo existir por meio de analogias e imagens que facilitem a compreensão e visualização de algum conteúdo ou por meio da modelagem como a construção de modelos. Para os autores três classes de modelos são relevantes: (1) mentais que são construídos pelo indivíduo e determinam a subjetividade em relação a um fenômeno; (2) consensuais ou científicos que expressam um consenso entre a comunidade acadêmica acerca do fenômeno e (3) didáticos ou pedagógicos, cuja finalidade é facilitar a compreensão do fenômeno.

No que diz respeito ao potencial caráter pedagógico dos modelos, Kapras (1997) ressalta que um modelo pedagógico visa promover meios específicos de compreensão dos meios consensuais pelos estudantes, portanto, permitindo a construção de modelos mentais aceitáveis baseados nos modelos científicos vigentes.

A modelização está presente na história da ciência e da Biologia desde os primórdios. Um exemplo foi a elucidação da estrutura da dupla-hélice do DNA por James Watson, Maurice Wilkins, Rosalind Franklin e Francis Crick, em 1953. A construção de um modelo tridimensional foi determinante para a aceitação da proposta pela comunidade científica da época (JUSTINA & FERLA, 2006).

Ferreira e Justi (2008) destacam que os modelos são, ao mesmo tempo, uma ferramenta e um produto da ciência. Como ferramentas, os modelos permitem uma visualização de um evento, fenômeno ou ideia baseada em observações e percepções pessoais. Segundo os autores, a modelização é um fenômeno inerente ao ser humano e ao processo de aquisição do conhecimento, permitindo a elaboração e investigação de hipóteses. Ao mesmo tempo, esta análise crítica leva à

construção de modelos ainda mais complexos que trazem novos questionamentos, de maneira análoga ao processo de construção do conhecimento científico em si (FERREIRA & JUSTI, 2008).

A utilização de modelos para o ensino de ciências, entretanto, ganhou força apenas no início da década de 90, partindo do movimento de questionamento do modelo tradicional de ensino. Segundo Mendonça e Santos (2011), uma das grandes dificuldades enfrentadas por professores de Biologia é o planejamento e organização dos conteúdos de forma a integrar teoria e prática de maneira satisfatória. Estes autores destacam ainda que esta dificuldade vem da formação dos professores e professoras, altamente deficientes em atividades práticas, o que resulta na insegurança em utilizar metodologias alternativas às tradicionais (MENDONÇA & SANTOS, 2011).

Krasilchick (2011) ressalta que o ensino atual de Ciências e Biologia é muito baseado na memorização de fatos e informações, muitas vezes de forma desconexa. Este autor acrescenta ainda que oferecer qualidade à educação não está relacionado com o domínio de um grande número de conteúdos pelos professores e alunos, através da memorização, mas sim com algo muito mais complexo, sendo necessária uma mudança. Nesse sentido, o papel da educação deve ser desenvolver nos estudantes a capacidade de realizar conexões entre diferentes conhecimentos. Ao professor, cabe trazer os conteúdos de uma maneira contextualizada, criando com relações com o cotidiano do aluno para uma aprendizagem significativa. Desta forma, é possível o desenvolvimento de estudantes com uma postura crítica e com embasamento suficiente para uma tomada de decisões consciente acerca de assuntos diversos.

Contudo, para que ocorra um ensino de ciências que promova relações com as visões de mundo dos estudantes, é essencial que o professor tome consciência de suas próprias concepções sobre o ensino das ciências, bem como de suas concepções sobre os processos de aprendizagem. No caso específico do ensino de biologia, na atualidade, essa consciência pode surgir tanto na formação inicial quanto continuada (SETÚVAL & BEJARANO, 2000).

Neste contexto, os modelos didáticos têm sido considerados promissores para o ensino e aprendizagem de ciências porque propiciam o debate, reflexão e a participação ativa dos estudantes no processo de construção do conhecimento

(DUSO et al., 2013). Diversos estudos apontam a forma como o processo de modelagem pode contribuir na construção do conhecimento e preconizam que o desenvolvimento de estudantes em atividades com modelos didáticos ajuda a promover uma apropriação que vai além da memorização e favorece o desenvolvimento de habilidades e um conhecimento crítico, aplicável em diversas situações e problemas (CLEMENT, 2000).

Enquanto os modelos científicos tendem a maior complexidade, no campo educacional a simplificação não é entendida como um problema. Para Pietrocola (1999), esta simplificação é uma necessidade para que a modelização cumpra sua função de mediação entre o empírico e o teórico. Bunge (1974) dedicou-se a estudar a epistemologia da ciência e a utilização de modelos na educação. Para Bunge, os modelos são a essência do trabalho científico:

*“Da mesma forma acreditamos que eles devam também o ser para o ensino de ciências, pois ao construirmos modelos exercita-se a capacidade criativa com objetivos que transcendem o próprio universo escolar. A busca de construir não apenas modelos, mas modelos que incrementem nossas formas de construir a realidade acrescenta uma mudança de “qualidade” ao conhecimento científico escolar” (Pietrocola, 1999).*

Bunge ressalta que quatro pontos são determinantes para que os modelos sejam utilizados como meio de transformação dos conteúdos na escola: (1) que se modelize partindo do mundo real; (2) que o modelo represente um incremento à compreensão da realidade; (3) que a construção do modelo resulte de um processo criativo mediado pela razão; e (4) que permitam que a sala de aula passe de um real imediato (pautado no senso comum) a um real idealizado pela ciência (PIETROCOLA, 1999).

### 1.3 MODELOS APLICADOS À GENÉTICA

São diversas as dificuldades que caracterizam os conteúdos escolares da Biologia, tanto para os educadores quanto para os estudantes. Estar em sintonia com a produção científica contemporânea e com os resultados das pesquisas do ensino em Biologia é imprescindível para uma atuação docente consistente, seja ela

por parte de professores de Biologia ou de seus formadores. Os avanços científicos, principalmente aqueles impulsionados pelo desenvolvimento da Biologia Molecular, provocaram um dinamismo na ciência que requer dos professores constante atualização dos conceitos e processos biológicos. Ao mesmo tempo, essa atualização deve acontecer também no âmbito pedagógico, no qual os avanços nas pesquisas educacionais apresentam metodologias e estratégias alternativas e inovadoras de ensino (JUSTINA & FERLA, 2006).

Para Fernandez (2015), o desafio do professor está na articulação do conhecimento pedagógico do conteúdo, o que distingue o educador de qualquer outro especialista na matéria. O professor, apropriando-se do conteúdo, deve buscar formas pedagogicamente poderosas de torná-lo compreensível (demonstrações, problematização, experimentação, analogias, entre outros), adaptando-o à realidade dos estudantes e considerando as bagagens e experiências dos mesmos (FERNANDEZ, 2015).

Para os estudantes, a dificuldade no estudo da Biologia encontra-se principalmente no nível de profundidade dos conteúdos e o nível de abstração exigido para cada tema. A forma questionável como os conteúdos estão distribuídos ao longo dos livros didáticos gera ainda uma dificuldade na esfera motivacional, frequentemente exemplificada quando os estudantes questionam a necessidade de se estudar determinado conteúdo (BRAGA, FERREIRA & GASTAL, 2010).

Dentre os conteúdos da Biologia, a Genética representa um desafio e já foi identificada por diversos autores como o conteúdo mais difícil na percepção dos educandos (MASCARENHAS et al., 2016). Conceitos como ácido desoxirribonucleico (DNA), genes ou cromossomos possuem uma natureza abstrata e ultrapassam a percepção sensorial imediata dos estudantes, transmitindo a falsa impressão de estarem dissociados de seu cotidiano. O mesmo acontece em outras áreas da Biologia, como a Biologia Celular, e alguns processos, como a divisão celular e a síntese proteica.

O ensino da Genética nas escolas deve propiciar aos alunos o desenvolvimento do pensamento crítico e a capacidade de se posicionar e opinar sobre temas polêmicos. Por exemplo, conhecimentos básicos de genética são importantes para a compreensão de doenças hereditárias, para um posicionamento coerente sobre o consumo de produtos transgênicos e para a compreensão dos

impactos científicos e sociais dos avanços da clonagem. Neste contexto, Justina e Ferla (2006) destacam que o conhecimento em ciências e sua aplicação no cotidiano estão ligados a uma forma de poder (JUSTINA & FERLA, 2006).

A expectativa é a de que esses conceitos básicos, tais como os processos de divisão celular, a organização do DNA nos seres vivos e a transmissão dos caracteres hereditários, sejam adquiridos em sala de aula durante a Educação Básica, em um ambiente que priorize a investigação e alfabetização científica (LORENZETTI, 2001).

A preocupação com o ensino de Genética é crescente, e pode ser observada pelo número de artigos, materiais e sites especializados que visam tornar o aprendizado de Genética mais fluído e consistente, principalmente através de diversas atividades lúdicas. Goldbach e Macedo (2007) realizaram uma pesquisa nacional sobre a produção acadêmica sobre o ensino de genética e, nos eventos da área de Ensino de Ciências e Biologia no ano de 2006 foram apresentados 117 trabalhos. Destes, 50 foram de propostas de atividades práticas e 67 de cunho acadêmico. Entretanto, apesar do crescimento nesta área de pesquisa em educação, poucos avanços são observados no cotidiano escolar em relação ao ensino de Genética.

Diante disso, o uso de metodologias alternativas deve ser estimulado para o ensino, promovendo a integração entre o conteúdo e as atividades práticas, fazendo com que o aluno seja ativo no processo ensino-aprendizagem, estimulando o trabalho em equipe e a criatividade (MATOS, OLIVEIRA & SANTOS, 2009). Para a Genética, estes materiais permitem ainda diminuir o nível de abstração, tornando os conceitos mais palpáveis e facilitando a compreensão dos mecanismos e das estruturas genéticas de maneira integrada.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo do presente estudo foi desenvolver um material didático sobre a segregação cromossômica e as Leis de Mendel que propicie um processo de ensino e aprendizagem mais eficiente e prazeroso.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Promover uma reflexão acerca do ensino atual de Genética e a utilização de modelos didáticos;
- Viabilizar por meio do modelo didático uma abordagem do tema de forma prática e procedimental, auxiliando na diminuição da abstração do conteúdo;
- Viabilizar por meio do modelo didático a simulação dos experimentos de Mendel, formulando hipóteses e analisando os resultados;
- Verificar as potencialidades e limitações do modelo didático para o processo de ensino-aprendizagem através de uma abordagem etnográfica.

### 3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O presente estudo se consolidou em duas etapas: (1) planejamento do modelo didático e (2) estudo etnográfico com estudantes de nível superior.

#### 3.1 CONSTRUÇÃO DO MODELO DIDÁTICO E RELAÇÃO COM AS LEIS DE MENDEL

Na primeira etapa, buscou-se o desenvolvimento de um modelo didático para as leis Mendelianas. A motivação partiu da percepção de que os conteúdos de Genética são abordados de uma forma fragmentada, dificultando a compreensão da hereditariedade como um grande processo. Os processos de meiose, formação dos gametas e recombinação são a base para a compreensão de como os genes são herdados de indivíduo para indivíduo. Entretanto, ao abordar as Leis de Mendel, os professores tendem a valorizar a memorização de proporções fenotípicas e genotípicas, sem que os estudantes compreendam os mecanismos responsáveis por essas proporções. Diante disso, o modelo pedagógico construído buscou integrar diversos conceitos, como cromossomos, alelos, dominância, recessividade, fenótipos e genótipos.

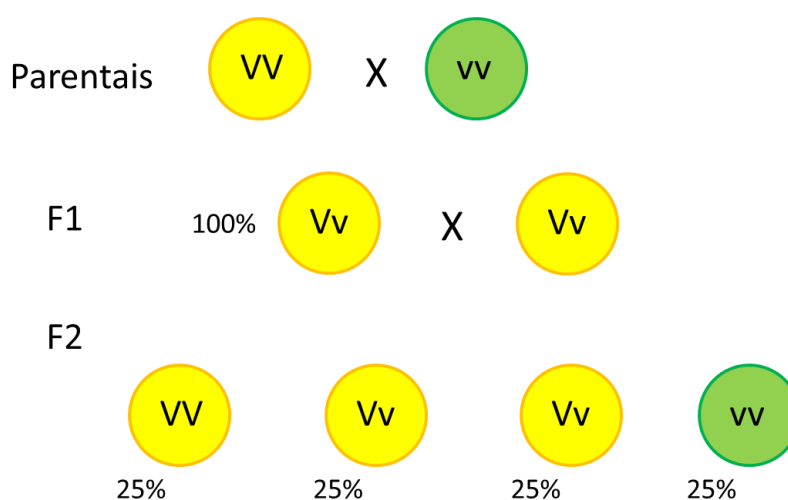
O modelo foi construído utilizando os seguintes materiais:

- 2 kg de massa de Biscuit nas cores branca, roxo escura, azul e vermelha;
- Tinta acrílica branca, azul, vermelha e roxa;
- Pasta de Plástico Polipropileno (PP)
- Cola
- Caneta de tinta permanente
- Sacos plásticos

Foram moldados ratos, contendo características fenotípicas diferentes, e seus cromossomos, contendo os alelos responsáveis pelas características. As características escolhidas foram: coloração do pelo (claro ou escuro) e comprimento da cauda (curta ou longa). Essas características são meramente ilustrativas com objetivo de facilitar a identificação dos fenótipos pelo usuário do modelo e, portanto, não refletem características reais. Os ratos foram construídos com uma cavidade

inferior, fechada com um pedaço de plástico polipropileno, de maneira a acomodar seus cromossomos no interior.

A Lei da Segregação dos Fatores (ou Primeira Lei de Mendel) determina que uma característica é determinada por um par de fatores, cada um herdado de um dos parentais, chamados alelos. Estes fatores são separados durante a meiose para a formação dos gametas. Mendel estudou a hereditariedade através do cruzamento de ervilhas e observação dos descendentes (FIGURA 1). Por fatores entendemos genes.



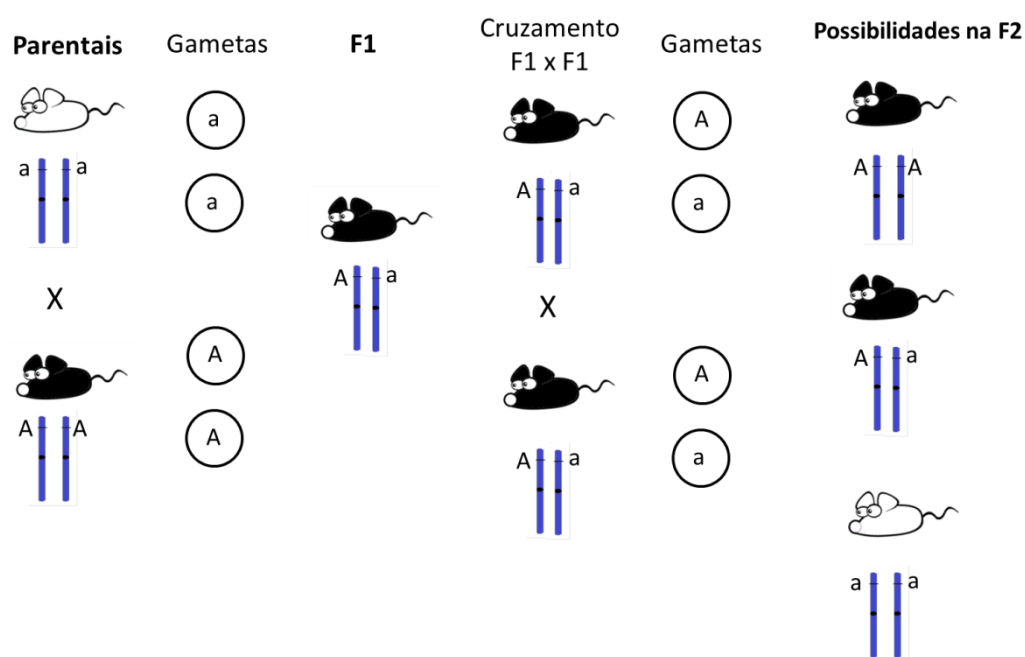
**FIGURA 1** – Representação esquemática da primeira Lei de Mendel. Fonte: os autores (2018).

Gregor Mendel realizou o cruzamento entre linhagens de ervilhas “puras” (ou seja, homozigotas) com características contrastantes, como por exemplo, ervilhas com sementes verdes e amarelas. Ao analisar os descendentes (F1), observou que todos apresentavam sementes de cor amarela. Em seguida, realizou a autofecundação entre os indivíduos da F1 e observou os descendentes na segunda geração (F2). Na F2, ele observou uma proporção de 75% de sementes amarelas para 25% de sementes verdes. A partir destas observações, Mendel deduziu que a coloração da semente é determinada por um par de fatores, onde o fator que determina a coloração amarela (V) é dominante em relação ao fator que determina a cor verde (v). Isto explica o fato da F1 ser inteiramente amarela, uma vez que todos os indivíduos são heterozigotos (Vv) e o fator “V” é dominante sobre “v” e determina o fenótipo amarelo mesmo em dose simples (AMABIS E MARTHO, 2010).

Hoje denominamos estes “fatores” de alelos. Vale ressaltar que na época dos experimentos de Mendel os termos genes e alelos não eram utilizados, portanto elementos e fatores correspondiam ao que hoje entendemos por genes e alelos.

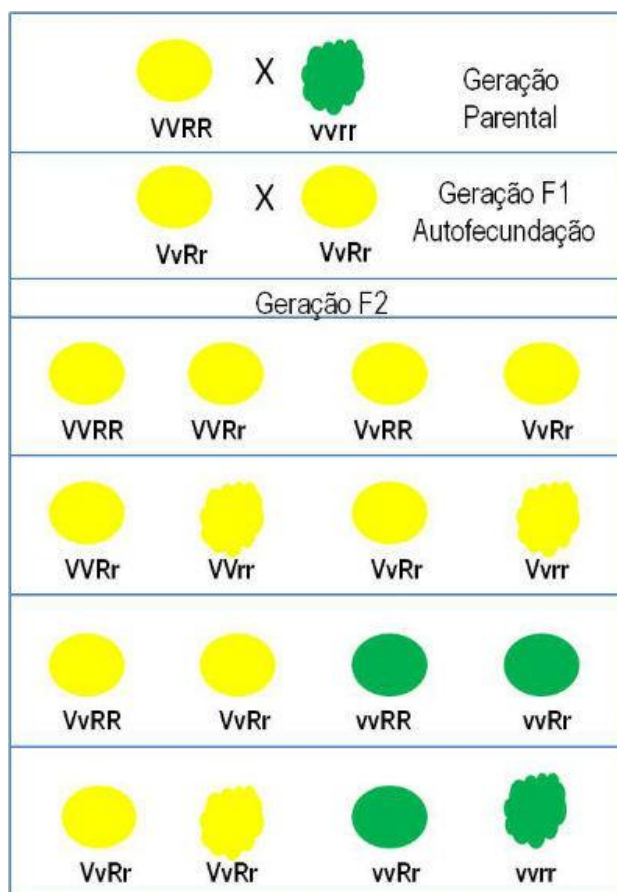
As descobertas de Mendel são amplamente trabalhadas durante as aulas de Genética, entretanto sempre voltadas para um caráter teórico e com enfoque nos resultados e não nos processos.

Procurando reproduzir os conceitos da Primeira Lei de Mendel no modelo, os ratos foram moldados nas cores branca e preta. Cada rato possui 2 cromossomos cada um contendo um alelo (A ou a). O alelo “A” determina um fenótipo escuro e é dominante sobre o alelo “a”, que determina a cor branca (FIGURA 2).



**FIGURA 2** – Representação do modelo didático proposto aplicado para a primeira lei de Mendel  
Fonte: os autores (2018).

Além de estudar a transmissão de uma característica nas ervilhas, Mendel também realizou novos estudos utilizando mais de uma característica ao mesmo tempo, a partir do mesmo tipo de cruzamento (FIGURA 3).

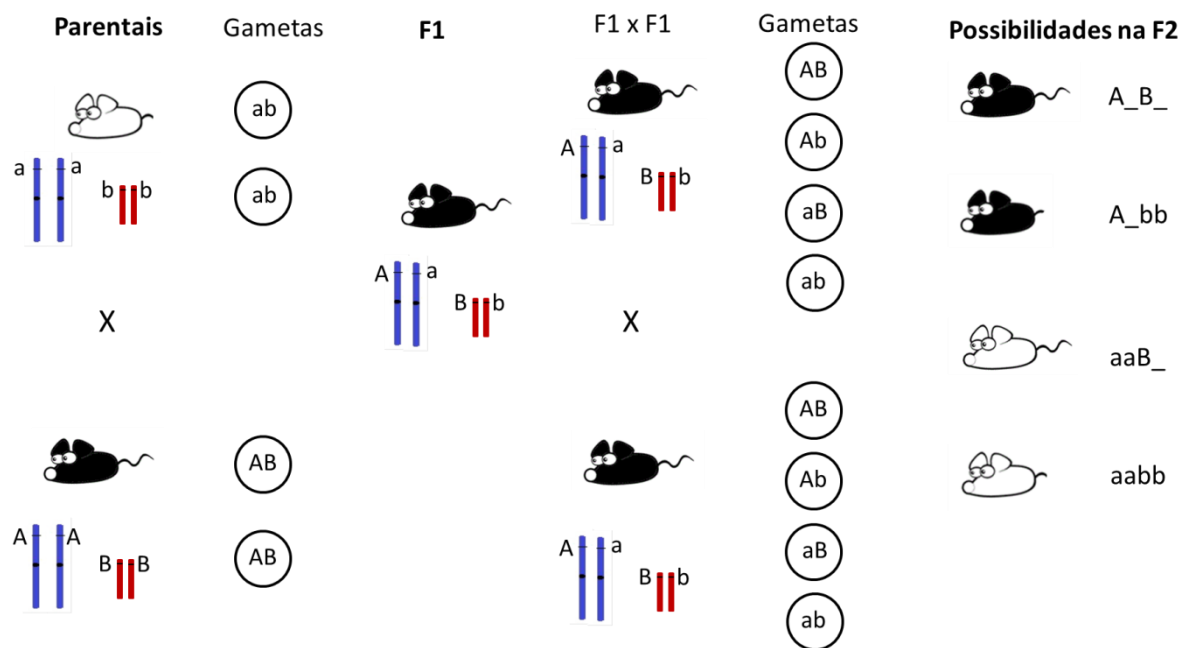


**FIGURA 3** – Representação esquemática da segunda lei de Mendel.

Os cruzamentos foram realizados entre sementes amarelas lisas e sementes verdes rugosas. Ao analisar a F1, Mendel observou que todos os descendentes apresentavam sementes lisas de cor amarela. Realizando o cruzamento entre indivíduos da F1, Mendel observou quatro fenótipos nas sementes: (1) amarelas e lisas; (2) verdes e lisas; (3) amarelas e rugosas; e (4) verdes e rugosas. Ele concluiu que as características rugosidade e coloração da semente segregavam de maneira independente durante a formação dos gametas. Esta teoria ficou conhecida como Lei da Segregação Independente dos Fatores (ou Segunda Lei de Mendel). Para a determinação da coloração, assim como na Primeira Lei, o alelo que determina a coloração amarela (“V”) é dominante sobre o que determina a cor verde (“v”), já para a rugosidade da semente o alelo que determina superfície lisa (“R”) é dominante e rugosa (“r”) é recessivo. Ao cruzar parentais homocigotos (VVRR e vvrr), obtém-se uma F1 diíbrida com genótipo VvRr e fenótipo amarelo e liso, como nos parentais. Estes indivíduos da F1 podem formar quatro tipos de gametas de acordo com o

pareamento dos cromossomos durante a meiose: “AB”, “Ab”, “aB” e “ab”. A combinação destes gametas, por sua vez, gera diversas possibilidades na F2, desde indivíduos com as duas características dominantes, indivíduos com apenas uma das características dominantes e indivíduos duplo recessivos. Em resumo, os fenótipo e genótipos encontrados por Mendel na F2 podem ser representados de maneira simplificada por: amarelos e lisos (V\_R\_); verdes e lisos (vvR\_); amarelos e rugosos (V\_rr); e verdes e rugosos (vvrr), com proporções fenotípicas de 9:3:3:1, respectivamente (AMABIS & MARTHO, 2010).

Para agregar a Segunda Lei ao modelo didático mais um par de cromossomos foi adicionado, dessa forma os cromossomos azuis contêm os alelos “A” e “a” e os vermelhos contêm os alelos “B” e “b” (FIGURA 4).



**FIGURA 4** – Representação do modelo proposto aplicado à segunda lei de Mendel. Fonte: os autores (2018).

Assim como no modelo anterior, o gene A (alelos A e a) determinam a coloração do pelo, sendo “A” responsável pela cor escura e dominante sobre “a”, que determina coloração branca. O gene B (alelos B e b), presente em outro par de cromossomos, determina o comprimento da cauda dos animais. O alelo “B” determina cauda longa e é dominante sobre “b”, que determina cauda curta. Assim

como as características coloração e rugosidade das ervilhas de Mendel, os alelos A e B segregam-se independentemente.

O modelo pedagógico proposto teve como objetivo permitir que os estudantes realizassem cruzamentos semelhantes aos realizados por Mendel, observando a relação entre os genótipos e fenótipos dos animais. A etapa subsequente, portanto, consistiu na aplicação deste modelo em salas de aula e nas reflexões geradas a partir desta prática.

### 3.2 APLICAÇÃO DO MODELO DIDÁTICO

A segunda etapa do trabalho consistiu na utilização do modelo didático em aulas de Genética. Para a aplicação do modelo e análise dos resultados, foi escolhida uma abordagem qualitativa de pesquisa. A utilização deste é demonstrada pelas seguintes etapas: 1) Separação dos Ratos entre os parentais, F1 e F2; 2) Relacionar os cromossomos com seus respectivos fenótipos; 3) Para a aleatorização coloca-se o conjunto cromossômico dentro de um saco plástico de um rato e para seu par reprodutor em outro saco e sorteia o lote haploide para cada um dos ratos simulando a gametogênese, e junta os cromossomos sorteados relacionando com o genoma do descendente.

Por muito tempo se pensou na abordagem qualitativa de pesquisa de forma genérica, abrangendo todos aqueles métodos de pesquisa que não envolve números. Este equívoco vem sendo abandonado na área da ciência à medida que são definidas metodologias que validam a pesquisa qualitativa como uma importante forma de compreender o mundo.

Denzin e Lincoln (2006) caracterizam a pesquisa qualitativa como uma atividade que posiciona o observador no mundo. O pesquisador, portanto, pode compreender fenômenos e situações dentro de um contexto, levando em conta a esfera simbólica, subjetiva e representacional que, geralmente, não tem espaço em uma abordagem quantitativa (DENZIN & LINCOLN, 2006).

O objetivo da pesquisa qualitativa se encontra menos em testar modelos e teoria já estabelecidos e mais na descoberta do novo e nas experiências empíricas. Portanto, enquanto a validação de pesquisas quantitativas está atrelada a um método científico rigoroso, a validade de pesquisas qualitativas se dá com referência

ao objeto de estudo, explorando-o de maneira teórica, subjetiva e reflexiva (FLICK, 2009).

Dentre os diferentes tipos de abordagens qualitativas destacados por André (2005), o presente estudo mais se aproxima ao campo da etnografia. A etnografia, uma área da Antropologia, tem por objetivo a descrição cultural de um grupo e é amplamente utilizado em pesquisas onde o autor se insere em uma comunidade e busca descrever e estudar detalhadamente os costumes e cotidiano daquele grupo. No campo da pesquisa em Educação, a etnografia ganhou um novo significado, apresenta um enfoque no processo ensino-aprendizagem e na dinâmica em que ocorre o andamento de uma aula (ANDRÉ, 2005).

A pesquisa etnográfica é estruturada a partir de dois elementos principais. O primeiro é o conjunto de técnicas que o pesquisador utiliza para obtenção dos dados e o relato da experiência em si. A observação, neste contexto, é um elemento essencial para este tipo de pesquisa, uma vez que esta é afetada de acordo com o tipo de interação entre pesquisador e participantes. A interação constitui a segunda característica, pois o pesquisador é o principal instrumento de coleta de dados e, portanto, apresenta uma resposta ao contexto do estudo. As impressões do observador/pesquisador e a subjetividade estão presentes nesta abordagem teórico-metodológica como fruto da interação e do envolvimento na pesquisa (FLICK, 2009).

Outra característica inerente a este tipo de abordagem é o direcionamento ao processo e não ao produto final. Ou seja, sempre é questionado o que está acontecendo no momento em que a pesquisa está sendo feita e os aspectos são analisados de forma espontânea (ANDRÉ, 2005).

O estudo foi realizado pelos autores deste trabalho, estudantes de Licenciatura em Ciências Biológicas, junto a turmas de graduação da Universidade Federal do Paraná na cidade de Curitiba, Paraná. Diante disso, foi elaborada uma atividade em que há se faz necessário o uso da lousa, do modelo didático proposto e de um roteiro impresso (ANEXO 1). Para cada passo do roteiro, foi necessário o manuseio dos modelos e interpretação dos resultados, além de uma discussão coletiva ao final de cada etapa.

As análises foram realizadas com caráter etnográfico, ou seja, não foi necessário aplicar quaisquer tipos de questionários ou entrevistas. Os dados foram

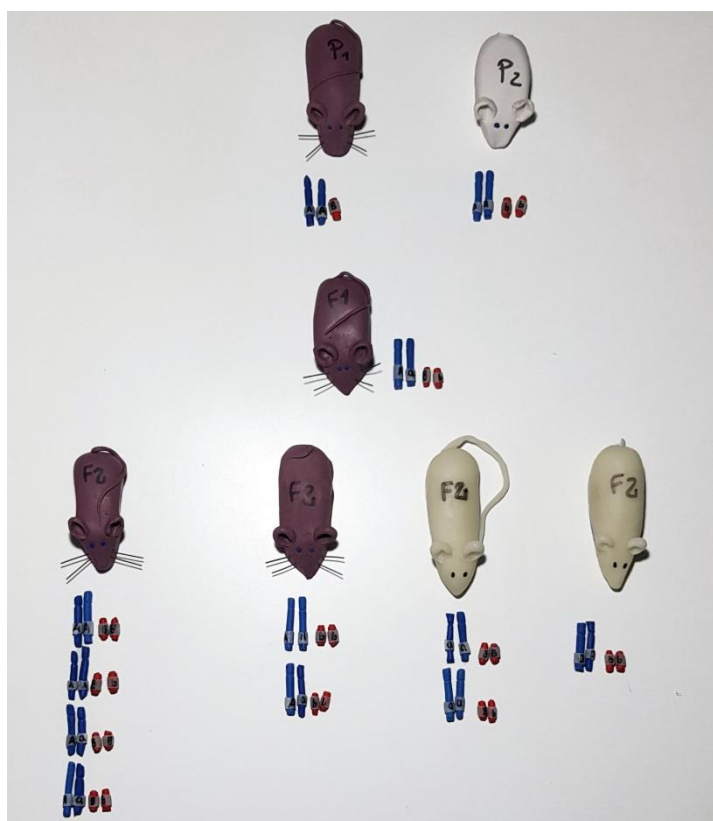
coletados na forma de observações dos estudantes durante a aplicação do modelo didático e anotações descritivas feitas pelos pesquisadores após cada aula.

## 4. RESULTADOS E ANÁLISE

### 4.1 O PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DO MODELO DIDÁTICO

A primeira etapa do trabalho consistiu na construção do modelo didático. A motivação para o estudo surgiu da constatação da dificuldade dos estudantes em compreender os conceitos básicos da Genética ao longo da Educação Básica, o que reflete na formação dos profissionais da área das Ciências Biológicas.

Foram confeccionados três conjuntos do modelo didático para segregação dos fatores (1ª Lei de Mendel) e segregação independente (2ª Lei de Mendel). Cada conjunto é composto por oito ratos, sendo dois ratos da geração parental (P1 e P2), dois da F1 e quatro da F2. Para cada rato, foi confeccionado um par de cromossomos azuis e um vermelho (FIGURA 5).

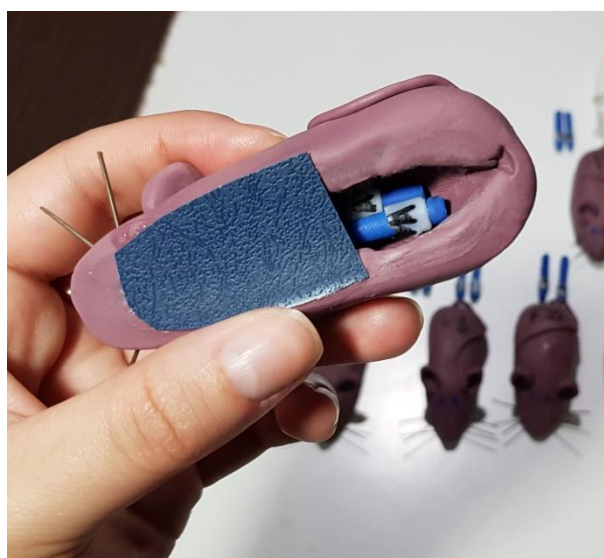


**FIGURA 5** – Modelo didático proposto com todos os elementos. Fonte: os autores (2018).

A escolha das características a serem observadas nos animais foi importante para que a atividade permitisse aos estudantes relacionarem genótipos a

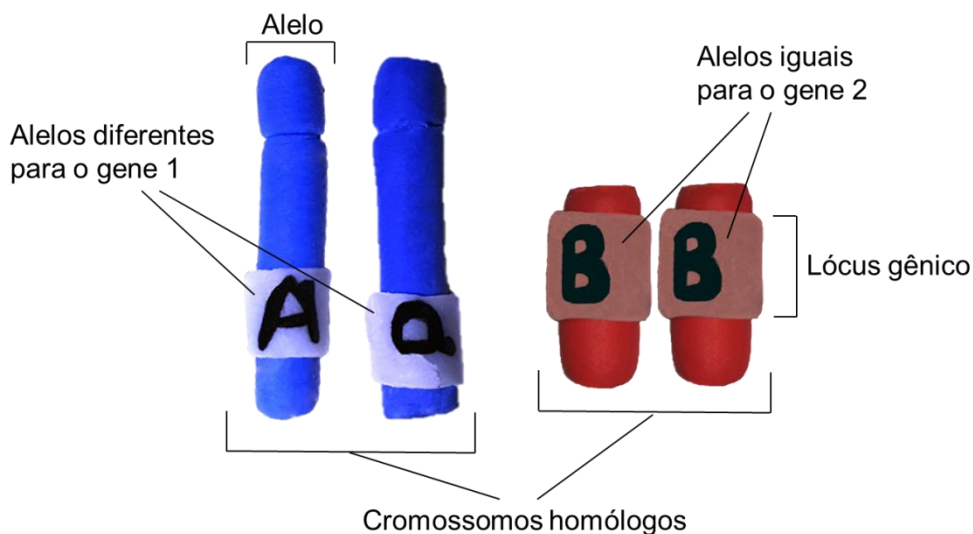
fenótipos. A partir das características coloração do pelo (branco/escuro) ou tamanho do rabo (curto/longo), o modelo permitiu abordar os conceitos de fenótipo, dominância e recessividade dos alelos e localização de genes nos cromossomos, uma vez que este último é importante para diferenciar a Primeira e Segunda Lei de Mendel.

Os cromossomos foram alocados dentro dos animais, propiciando uma melhor noção de que o genótipo, ou a composição alélica do indivíduo, é responsável pelo fenótipo observado no rato (FIGURA 6).



**FIGURA 6** – Compartimento para inserção dos alelos dentro dos ratos. Fonte: os autores (2018).

A utilização de cromossomos concretos, que podem ser manipulados pelos estudantes diminui a abstração deste conteúdo, fazendo com que se compreenda o cromossomo como uma estrutura física. Isto é importante para a compreensão da meiose e da formação dos gametas. A partir dos cromossomos, podem ser abordados os conceitos de cromossomos homólogos, alelos, genes e locus gênico (FIGURA 7).



**FIGURA 7** – Par de cromossomos homólogos confeccionados no presente estudo. Fonte: os autores (2018).

Uma grande dificuldade dos estudantes para a compreensão das Leis de Mendel ocorre porque eles não compreendem a localização dos alelos. Na Primeira Lei, o modelo apresenta os alelos “A” e “a”, que seriam variações do mesmo gene presentes em um par cromossômico, aqui representado em azul. Para a Segunda Lei, é imprescindível que o estudante compreenda que a segunda característica a ser analisada é determinada por um gene com alelos que segregam de forma independente. Para facilitar este processo, o segundo par de cromossomos (alelos “B” e “b”) foi construído utilizando a cor vermelha e um tamanho reduzido, evidenciando esta diferença.

Inicialmente cada cromossomo teria sua própria cor e seriam sorteados em pacotes escuros para representar a ideia de aleatorização. Entretanto, durante o procedimento de teste dos modelos foi percebido que, durante a simulação da formação de gametas para 2ª Lei, um cromossomo e seu homólogo poderiam ser sorteados juntos, o que biologicamente é impossível. Então para corrigir o erro, cada par de homólogos foi confeccionado com suas respectivas cores e os pacotes para sorteio transparentes, assim o estudante pode escolher um alelo de cada gene aleatoriamente.

A clareza nestes conceitos é importante, principalmente, para estudantes de graduação, onde a Terceira Lei de Mendel (ou Lei da Ligação) é trabalhada. Nesta Lei, também são analisadas mais de uma característica simultaneamente. Entretanto, neste caso, os alelos para estas características não apresentam

segregação independente, geralmente, por estarem localizadas no mesmo cromossomo e não serem muito distantes. Esses alelos, portanto, são chamados de ligados, tendo um comportamento diferente na divisão celular e gerando uma F2 com proporções diferentes das trabalhadas neste modelo pedagógico.

Outra questão que gerou dúvidas durante o planejamento e desenvolvimento do modelo foi como representar a aleatoriedade e casualidade dos processos genéticos, principalmente da meiose. Para isto, os alelos de cada indivíduo foram colocados em um saco plástico e seus gametas foram formados a partir de sorteios, simulando a segregação dos cromossomos homólogos durante a meiose I.

Durante a confecção do material, houve a preocupação em organizar o modelo de maneira a representar os conceitos de Genética corretamente, mas torná-lo interessante e divertido para os estudantes. A confecção do material consistiu também em um processo de constante avaliação e adaptação do modelo pelos autores.

#### 4.2 APLICAÇÃO DO MODELO: POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES

Em seguida, o modelo foi utilizado em aulas de Genética para duas turmas de graduação em Educação Física e duas turmas de graduação em Ciências Biológicas (uma de Bacharelado e outra de Licenciatura). Os resultados apresentados a seguir são fruto da observação no decorrer da atividade e da descrição pelos autores ao final de cada aula. Para aplicação do modelo, foi elaborado um roteiro (ANEXO 1) com o fim de direcionar os estudantes quanto ao passo-a-passo da atividade.

Para as turmas de Educação Física, o modelo foi aplicado na disciplina de “Genética e Evolução para Educação Física” sob a supervisão da Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Valéria Maria Munhoz Sperandio Roxo. Em conversa com a professora, coordenadora da disciplina e orientadora do presente trabalho, ela relatou que os estudantes de Educação Física, de maneira geral, possuem grandes dificuldades nos conteúdos de Genética. A disciplina em questão está inserida no sexto período do curso e é exclusiva para a modalidade bacharelado. Devido à densidade dos conteúdos (Citogenética, Genética Quantitativa, Estrutura de cromossomos e Genes, Teorias

Evolutivas), a disciplina possui principalmente aulas expositivas, o que pode causar o desinteresse dos estudantes.

Outro desafio ressaltado pela professora no ensino de Genética para Educação Física é que os estudantes não relacionam os conceitos genéticos à prática do profissional de Educação Física, questionando a utilidade da disciplina. Entretanto, atualmente se sabe que conhecer estes conceitos é importante para a compreensão de síndromes e condições humanas, na área de pesquisa em performance atlética e, sobretudo, para a compreensão de temas frequentemente abordados nas mídias, como clonagem, transgênicos, terapia gênica, e doping genético. Diante disso, ela considera que metodologias alternativas de ensino-aprendizagem podem ser eficientes em facilitar a compreensão da disciplina de Genética.

Para a atividade, os estudantes foram divididos em três grupos com 6 a 9 alunos por grupo. Cada grupo recebeu, inicialmente, um conjunto com 8 ratos (dois parentais, dois F1 e quatro F2) e os cromossomos azuis (alelos "A" e "a"). Foi realizada uma breve contextualização da pesquisa e foram retomados alguns conceitos já trabalhados pela professora ao longo do semestre, como cromossomos e formação dos gametas. De início, os estudantes se demonstraram apreensivos, possivelmente porque a disciplina não previa aulas práticas.

O par de cromossomos dentro dos ratos parentais foi usado para abordar os conceitos de alelos, dominância e recessividade, que foram rapidamente compreendidos pelos estudantes. A partir disso, alguns estudantes ficaram responsáveis pelo sorteio dos gametas, simulando a meiose. Por exemplo, para a formação dos gametas do parental branco (aa), os dois alelos "a" deste rato foram colocados em um saco plástico e um alelo foi retirado aleatoriamente. Da mesma forma, os alelos do rato parental escuro (AA) foram sorteados para a formação do seu gameta. A combinação dos gametas sorteados, "A" e "a" foi usada para a composição da prole (F1), todos heterozigotos (Aa).

Observando a F1, os estudantes perceberam que, diferente dos organismos parentais, naquele momento foi possível a formação de dois tipos de gametas e simulando o processo de fecundação era possível o aparecimento de 3 tipos genotípicos (FIGURA 8). Então foi solicitado que realizassem os cruzamentos 20

vezes e calculassem as proporções genóticas e fenóticas a partir dos resultados empíricos (TABELA 1).



**FIGURA 8**– Resultado do cruzamento da Primeira lei de Mendel. Fonte: os autores (2018).

**TABELA 1** -Resultados obtidos no cruzamento F1 x F1 para a primeira Lei de Mendel, onde **G1**, **G2** e **G3** correspondem aos grupos; **PF** – Proporção fenotípica; **PG** – Proporção genotípica.

FENÓTIPO	GENÓTIPO	G1	G2	G3	PF	PG
Escuro	AA	8	5	7	0,771	0,3030303
Escuro	Aa	10	9	12		0,46969697
Branco	aa	4	5	6	0,229	0,22727273

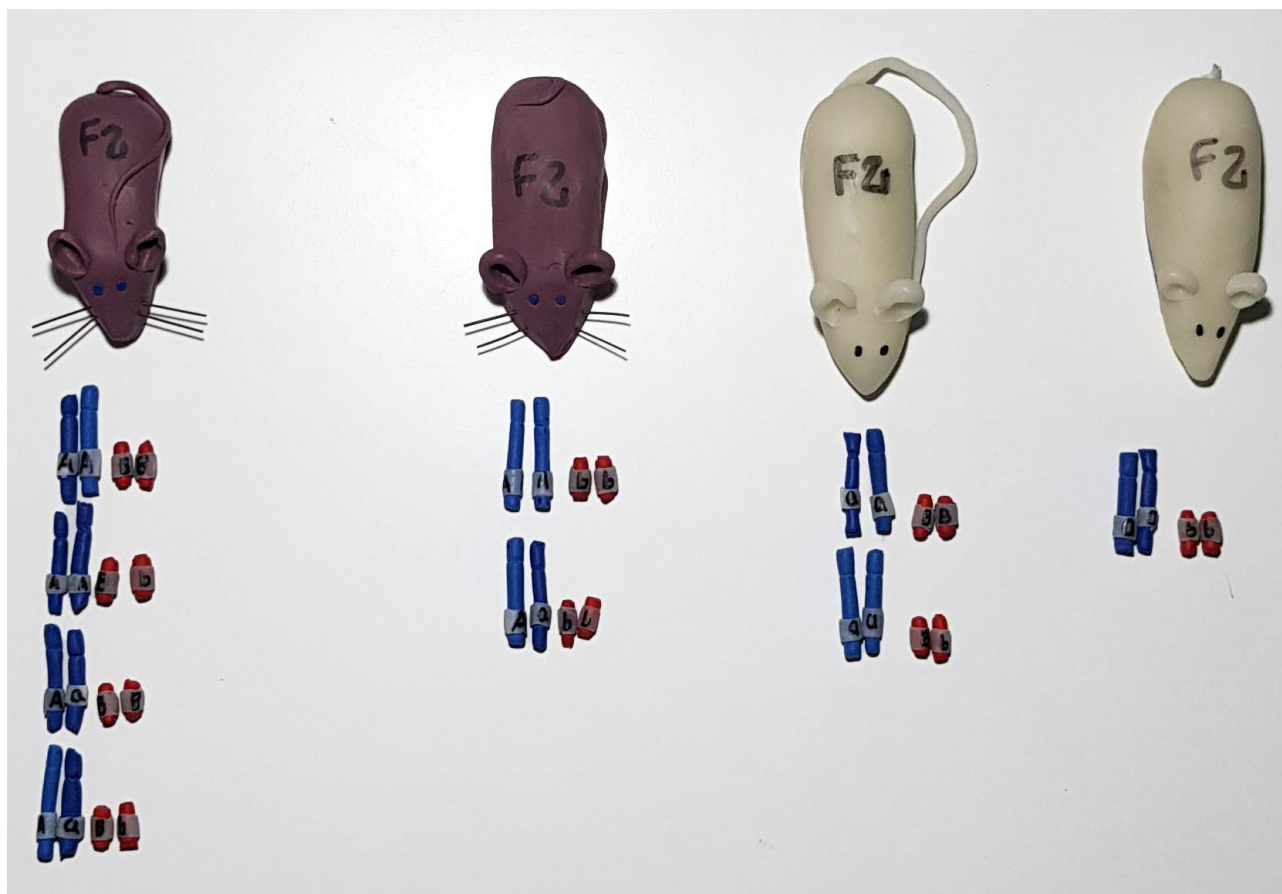
Os dados obtidos pelos estudantes foram semelhantes às proporções encontradas por Mendel em seus cruzamentos, sendo a proporção fenotípica de 3 escuros : 1 claro e a proporção genotípica de 1AA : 2Aa : 1aa. Foi possível concluir que aproximadamente 60 sorteios foram suficientes para se observarem resultados próximos aos esperados.

Após a socialização dos resultados de cada grupo e a organização da tabela com as proporções, os estudantes foram questionados pelos pesquisadores e, em conjunto, foram capazes de explicar satisfatoriamente os resultados obtidos. Ao realizar os cruzamentos, os estudantes foram capazes de compreender o processo pelo qual as proporções são obtidas, superando a maneira mecânica e baseada na memorização geralmente utilizada ao abordar este conteúdo no Ensino Médio.

Em seguida, receberam novamente o conjunto de ratos, desta vez contendo os cromossomos azuis e vermelhos. Nesta etapa da atividade, os grupos já se demonstravam bastante interessados e organizados, com uma “divisão de tarefas” dentro da equipe (realizar os sorteios, anotar e tabular os dados, somar e calcular as proporções).

Seguindo o roteiro, foram realizados novos cruzamentos entre os indivíduos para a obtenção da F1 e F2. Ao tratar da Segregação Independente dos Fatores, é importante que o professor saliente o papel da meiose para a variabilidade na formação dos gametas. Para isto, foi demonstrado na lousa como as diferentes configurações do pareamento dos cromossomos na meiose podem gerar gametas diferentes. O sorteio dos gametas de F1 para a formação de F2 foi a etapa na qual os estudantes apresentaram as maiores dificuldades. Ficou evidente uma dificuldade conceitual, pois os estudantes não eram capazes de perceber facilmente que os indivíduos “filhos” deveriam receber dois alelos de cada parental, sendo um deles vermelho e outro azul, resultando em descendentes com o mesmo número de cromossomos dos parentais.

Para que esta dúvida fosse superada, demonstramos como se formam os gametas individualmente em todos os grupos até que todos compreendessem a atividade. Como são possíveis 9 genótipos e 4 fenótipos diferentes na F2 (FIGURA 9), o número de sorteios por grupo foi de aproximadamente 50. Esperava-se que, com um grande número de sorteios, houvesse uma representatividade de todos os possíveis genótipos, como foi observado (TABELA 2).



**FIGURA 9** – Possíveis genótipos e fenótipos obtidos na F2 para a segunda Lei de Mendel. Fonte: os autores (2018).

**TABELA 2** - Resultados obtidos em uma das turmas, de acordo com o número de sorteios. Onde **G1**, **G2** e **G3** correspondem aos grupos 1, 2 e 3; **TG** - Total dos genótipos; **PG** - Proporção genotípica; **TF** - Total dos fenótipos e **PF** - Proporção Fenotípica.

Fenótipos	Genótipos	G1	G2	G3	TG	PG	TF	PF
Cor escura e Rabo longo	AABB	3	1	5	9	5,6	91	56.5
	AABb	8	4	7	19	11,8		
	AaBB	12	10	10	32	19,9		
	AaBb	16	13	12	31	19,2		
Cor escura e Rabo curto	AAbb	1	2	4	7	4,3	27	16.8
	Aabb	8	5	7	20	12,4		
Cor clara e Rabo longo	aaBB	4	3	2	9	5,6	33	20.5
	aaBb	13	4	7	24	14,9		
Cor clara e Rabo curto	aabb	3	4	3	10	6,2	10	6.2
								n = 161

Após a socialização dos resultados, foram também calculadas as proporções esperadas pelos cruzamentos e os resultados foram comparados (TABELA 3). Foi possível observar que os dados obtidos empiricamente foram muito semelhantes às proporções esperadas para os cruzamentos. Para os estudantes, ficou muito nítido que os ratos contendo ambas as características determinadas pelos alelos dominantes apareceram em maior quantidade, enquanto aqueles contendo todos os alelos recessivos foram muito raros entre os grupos.

Os estudantes demonstraram-se muito animados com estes resultados, que possibilitaram uma boa integração teoria-prática e permitiram que uma aula mais descontraída e interessante. Nós percebemos também que, possivelmente pelo perfil do estudante de Educação Física, em certo ponto da atividade ela se tornou uma competição entre os grupos, o que fez com que a maior parte dos alunos e alunas se mobilizassem.

TABELA 3 -Comparação das proporções genotípicas esperadas e observadas para a F2 na Lei da Segregação Independente dos Fatores.

	Proporções genotípicas		Proporções fenotípicas	
	Observadas	Esperadas	Observadas	Esperadas
<b>AABB</b>	5,6	6,25		
<b>AABb</b>	11,8	12,5	56,5	56,25
<b>AaBB</b>	19,9	12,5		
<b>AaBb</b>	19,2	25		
<b>AAbb</b>	4,3	6,25	16,8	18,75
<b>Aabb</b>	12,4	12,5		
<b>aaBB</b>	5,6	6,25	20,5	18,75
<b>aaBb</b>	14,9	12,5		
<b>aabb</b>	6,2	6,25	6,2	6,25

Para testar a aplicação do modelo didático em diferentes cenários, ele foi utilizado na disciplina de “Genética Humana”, para uma turma de Bacharelado em Ciências Biológicas (FIGURA 10). Esta comparação entre os cursos é interessante porque o curso de Ciências Biológicas apresenta diversas disciplinas de Genética obrigatórias ao longo da grade, como Genética Geral I (Genética Mendeliana), Genética II (Citogenética e Genética Molecular), Genética de Populações e Evolução. Diante disso, era esperado que os graduandos possuíssem uma melhor compreensão dos conceitos básicos.



**FIGURA 10** – Aplicação do modelo, com discussão em lousa. Fonte:os autores (2018).

A aplicação do modelo nesta turma transcorreu da mesma maneira, com a turma dividida em 3 grupos de 6 estudantes. A disciplina na qual o modelo foi utilizado está inserida no oitavo período do curso, então houve um menor investimento na explicação dos conceitos básicos, tendo em vista que os estudantes compreendiam com clareza o processo da meiose, a formação de gametas e a dinâmica dos cruzamentos. Por ser uma turma muito heterogênea, grande parte dos estudantes já havia cursado ou estava cursando a Licenciatura em Ciências Biológicas, portanto, compreendiam as dificuldades no ensino da Genética e a importância do modelo. A recepção da atividade foi muito boa por parte dos alunos, que em todo momento forneciam sugestões para melhorias no modelo.

Novamente, a dinâmica do sorteio dos alelos em sacos plásticos transparentes foi a maior limitação do modelo, provocando dúvidas nos estudantes e demandando de mais demonstrações e explicações. Uma possível adaptação futura do modelo poderia ser a utilização de dois pacotes de cor escura (1 para cada par de homólogos) por animal, permitindo que o cromossomo vermelho seja colocado em um e o cromossomo azul em outro. Nesta turma, não houveram dúvidas sobre a quantidade de cromossomos nos descendentes nem sobre a forma como são segregados os alelos.

Por último, o modelo foi utilizado de maneira adaptada para a disciplina de “Práticas de Genética para o Ensino Fundamental e Médio”, a qual é focada em

metodologias e estratégias para o ensino do tema em questão. A aplicação do modelo foi coerente com o propósito de uma atividade solicitada para a disciplina, sendo cursada por um dos integrantes do presente estudo. A aplicação se deu de maneira diferente, uma vez que utilizamos apenas os cromossomos, com o propósito de ilustrar a segregação e recombinação. O roteiro de atividade foi adaptado de forma a incluir características humanas monogênicas e dialélicas, no caso o “bico de viúva” e “lóbulo da orelha”. O modelo foi recebido de forma satisfatória pelos participantes, que reforçaram a viabilidade de aplicação para o ensino médio. Assim como na disciplina de genética humana, nesta turma não foi necessário o direcionamento inicial da atividade para elucidar os conceitos básicos, visto que o objetivo foi apenas de demonstrar o modelo como estratégia metodológica. Os resultados obtidos pela aleatorização não foi satisfatório, uma vez que o n amostral foi pequeno.

Em todas as turmas aplicadas, pudemos observar que o número amostral obtido pelas aleatorizações foi de extrema importância, uma vez que o baixo número de sorteio está sujeito a um maior número de desvios. Como forma de corrigir esse problema, ao final da atividade colocamos em lousa o valor obtido de cada grupo e trabalhamos com os valores somados de todos os grupos (TABELA 2 e 3).

As interações constantes entre os pesquisadores e os participantes foram fundamentais para a construção desta análise. Apesar do foco não ser o resultado em si, todas as etapas da atividade foram guiadas de forma a apresentar uma tendência dos valores genotípicos e fenotípicos a se aproximarem da teoria. Para alguns grupos que realizaram a atividade com maior rapidez, solicitamos que fizessem mais aleatorizações até os outros grupos terminarem, assim aumentando o número de sorteios e evitando o viés de amostragem. Na turma da licenciatura de Ciências Biológicas, os resultados foram enviesados, mas houve uma discussão sobre o motivo da possibilidade de ocorrer esse desvio, ressaltando a importância do processo e não do produto final.

Concluída a aplicação do modelo pedagógico em todas as turmas, realizamos uma reflexão sobre possíveis potencialidades e limitações. Como potencialidade, destacamos principalmente a participação ativa dos estudantes ao longo do processo, sendo eles uma peça-chave para que a atividade tenha sucesso. A manipulação dos ratos e cromossomos pelos alunos permite a construção de

conceitos mais próximos à realidade ou, no caso de estudantes de graduação, a reavaliação e ressignificação dos conceitos pré-existentes. A etapa ao início da aula, uma breve revisão de conceitos, foi importante para a percepção dos conhecimentos prévios dos estudantes. Durante toda a atividade, o que chamou a atenção foi o entusiasmo e a atenção constante dos estudantes, tornando o processo recompensador e divertido.

Outra potencialidade do modelo foi a possibilidade de integração de diversos conceitos e conteúdos da Genética, como cromossomos, genes, alelos, divisão celular, variabilidade genética e as próprias Leis de Mendel, quebrando a fragmentação vigente em todos os níveis de ensino (Educação Básica e Ensino Superior).

A principal limitação, como já citada, foi a dinâmica de sorteios para a segregação dos cromossomos, que necessita de adaptações na utilização do modelo no futuro. Outro fator possivelmente limitante para os estudantes é que o modelo pedagógico é entregue pronto aos alunos. Segundo Olmo et al. (2014), a etapa de construção dos modelos didáticos podem ser tão importantes quanto a sua aplicação, devendo-se favorecer a participação do estudante no processo de elaboração. Segundo o autor, isto permite que o aluno compreenda profundamente o conceito para aplicá-lo de forma prática (OLMO et al., 2014).

Outra limitação encontrada no modelo é a simplificação, pois o modelo não abrange conceitos da terceira Lei de Mendel (Lei da Ligação) e nem outros tipos de interação alélica (ausência de dominância, co-dominância, herança ligada ao sexo, sobredominância) e interações não alélicas (epistasias). Esta simplificação, entretanto, é apontada por Gilbert e Boulter (1998) como algo inerente ao processo de modelização. Ao criar modelos representacionais, perde-se uma parcela do modelo científico no qual ele é baseado. Estes autores ressaltam, porém, que tanto a simplificação excessiva quanto a falta de objetividade podem atrapalhar o ensino-aprendizagem. O trabalho do docente consiste em delimitar e adequar os conteúdos tendo sempre em vista os objetivos pedagógicos da sua prática (GILBERT & BOULTER, 1998). Uma solução para este problema, assim como foi feito na última aula de aplicação do modelo, é a utilização dos mesmos cromossomos e ratos para a explicação de outros conteúdos, adequando o modelo às necessidades do professor. Utilizando apenas os cromossomos, é possível a escolha de quaisquer

características pelo professor, desde que sejam dialéticas e monogênicas. São fundamentais, por exemplo, a utilização de características que os alunos possam observar em si mesmos e nos colegas, assim possibilitando a identificação da presença da Genética no dia-a-dia.

Enfim, acreditamos que o modelo didático elaborado é uma ferramenta valiosa em sala de aula, podendo ser utilizada tanto no Ensino Médio quanto na graduação, para facilitar e dinamizar o processo de ensino-aprendizagem.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao construir o modelo didático, alguns fatores foram levados em consideração, entre eles o preço, a aplicabilidade e o objetivo pedagógico do modelo. Quanto ao preço, buscou-se a utilização de materiais baratos e encontrados facilmente. A massa de Biscuit, principal material utilizado, pode ainda ser preparada em casa de maneira artesanal, tornando este modelo acessível aos professores. Uma vez moldada, a massa se torna altamente rígida e resistente, então o modelo pode ser manipulado e utilizado por um longo tempo sem que sofra deterioração.

Quanto a sua aplicabilidade em sala de aula, nosso modelo didático excedeu as expectativas propostas inicialmente, uma vez que o objetivo era apenas criar um modelo que ilustrasse a segregação cromossômica. Contudo, vários outros aspectos didáticos foram sendo implementados durante a confecção do modelo, assim retificando a importância do processo de construção, que atrelado à aplicação direciona os participantes a uma ressignificação do conteúdo abordado. Com base nisso, é possível que os conceitos sejam construídos em sala de aula, de acordo com a “aproximação física” destes, ou pela consolidação, para os estudantes que em algum momento de sua vida escolar já tenham tido contato com o tema.

Vale ressaltar que a modelização aplicada ao ensino de ciências, apesar de ter ganhado importância nos últimos anos, ainda é muito voltada aos modelos numéricos e teóricos. Greca e Santos (2005) ressaltam que a especificidade das áreas da ciência deve ser considerada ao se utilizar modelos, sendo os modelos teóricos mais aplicáveis no campo da Matemática e Física. Neste sentido, consideramos que os modelos didáticos representacionais, como o elaborado neste trabalho, destacam-se como a forma de modelização mais importante no ensino da Química e Biologia, possibilitando um ensino-aprendizagem efetivo e significativo.

A atividade de modelização permitiu superar a principal dificuldade dos estudantes quando este tema é trabalhado apenas de forma teórica e através de livros didáticos: a abstração. Para a atividade, os estudantes precisaram integrar conhecimentos obtidos de maneira fragmentada, relacionando a divisão celular à formação dos gametas e isto, por sua vez, às diferentes combinações alélicas possíveis. O modelo, portanto, permitiu uma aproximação teórico-prática que é extremamente necessária no ensino das ciências da natureza.

Apesar das limitações, é possível utilizar o modelo didático em várias sequências de aulas para ensino médio, visto a abrangência de conceitos que o modelo permite explorar. A flexibilização da utilização dos cromossomos com outras características também é um fator interessante, principalmente quando se trata de características humanas, fator que permite a identificação pessoal dos estudantes com o conteúdo.

Diante disso, acreditamos que o modelo didático elaborado no presente trabalho pode contribuir para a prática de professores em diferentes níveis de ensino e que o processo de modelização se apresenta como uma área promissora no campo da pesquisa em educação, principalmente em Ciências e Biologia.

## REFERÊNCIAS

- AMABIS, J. M.; MARTHO, G. R. **Fundamentos da Biologia moderna**. V. único. São Paulo: Moderna, 2008.
- ANDRÉ, M. E. D. A. **Etnografia da prática escolar**. 12. ed. Campinas: Papyrus, 2005.
- AUSUBEL, D. **Aquisição e retenção de conhecimentos: Uma perspectiva cognitiva**. Lisboa: Editora Plátano, 2003.
- DENZIN, N. K.; LINCOLN, Y. S. **O planejamento da pesquisa qualitativa: teorias e abordagens**. Porto Alegre: Bookman, Artmed, 2006.
- BRAGA, C. M. D. S.; FERREIRA, L. B. M.; GASTAL, M. L. A. O uso de modelos em uma sequência didática para o ensino dos processos de divisão celular. **Revista SBEnBIO**, v. 1, n. 3, p. 3789-3802, 2010.
- CLEMENT, J. Model based learning as a key research area for science education. **Journal of Science Education**, v. 22, p. 1041-1053, 2000.
- DUSO, L.; CLAMENT, L.; PEREIRA, P. B.; FILHO, J. P. A. Modelização: uma possibilidade didática no ensino de Biologia. **Revista Ensaio**, v. 15, n. 02, p. 29-44, 2013.
- FERNANDEZ, C. Revistando a base de conhecimentos e o conhecimento pedagógico do conteúdo (PCK) de professores de ciências. **Revista Ensaio**, v. 17, n. 2, p. 500-528, 2015.
- FERREIRA, P. F. M.; JUSTI, R. S. Modelagem e o “Fazer Ciência”. **Química Nova na Escola**, n. 28, 2008.
- FILHA, R. T. S.; SILVA, A. A.; FREITAS, S. R. S. Uma alternativa didática às aulas tradicionais de ciências: aprendizagem colaborativa e modelização aplicadas ao ensino do sistema urinário. **Cadernos de Educação**, v. 15, n. 31, p. 87-105, 2016.
- FRACALANZA, H. **O que sabemos sobre os livros didáticos para o ensino de ciências no Brasil**. 293 f. Tese (Doutorado em Metodologia de Ensino) – Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 1992.
- GILBERT, J. K.; BOULTER, C. J. **Developing Models in Science Education**. Rio de Janeiro: Ravel, 1998.
- GOLDBACH, T.; MACEDO, A. G. **Olhares e tendências na produção acadêmica nacional envolvendo o ensino de genética e de temáticas afins: Contribuições para uma nova “genética escolar”**. In: Anais do VI Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências, São Paulo, 2007.

GRECA, I. M.; SANTOS, F. M. T. Dificuldades da generalização das estratégias de modelação em ciências: o caso da física e da química. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.10. n.1, p. 31-46, 2005.

JÚNIOR, A. J. V.; PRINCIVAL, G. C. Modelos didáticos e mapas conceituais: biologia celular e as interfaces com a informática em cursos técnicos do IFMS. **Holos**, v. 2, p. 110-122, 2014.

JUSTINA, L. A. D.; FERLA, M. R. A utilização de modelos didáticos no ensino de Genética – exemplos de representações de compactação do DNA eucarioto. **Arq. Mudi**, v. 10, n. 2, p. 35-40, 2006.

KAPRAS, S. et al. Modelos: uma análise de sentidos na literatura de pesquisa em ensino de ciências. **Revista Investigação no Ensino de Ciências**, v. 2, n. 3, 1997.

KRASILCHICK, M. **Prática de ensino de biologia**. São Paulo: Edusp, 2011.

LORENZETTI, L. Alfabetização científica no contexto das séries iniciais. **Revista Ensaio**, v. 3, n.1, p. 45-61, 2001.

MASCARENHAS, M. J. O.; SILVA, V. C.; MARTINS, P. R. P.; FRAGA, E. C.; BARROS, M. C. Estratégias metodológicas para o ensino de Genética em escola pública. **Pesquisa em Foco**, v. 21, n. 2, p. 5-24, 2016.

MATOS, C. H. C.; OLIVEIRA, C. R. F.; SANTOS, M. P. F.; FERRAZ, C. S. Utilização de modelos didáticos no ensino de Entomologia. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 9, n. 1, 2009.

MENDONÇA, C. O.; SANTOS, M. W. O. Modelos didáticos para o ensino de ciências e Biologia: aparelho reprodutor feminino, fecundação e nidação. In: V COLÓQUIO INTERNACIONAL EDUCAÇÃO E CONTEMPORANEIDADE, 2011. Itabaiana: UFS – **Educação e Ensino de Ciências Exatas e Biológicas**, 2011.

OLMO, F. J. V.; MARINATO, C. S.; GADIOLI, A. O.; DA SILVA, R. S. Construção de modelo didático para o ensino de Biologia: meiose e variabilidade genética. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 18, p. 3569-3575, 2014.

PIETROCOLA, M. Construção e Realidade: o realismo científico de Mário Bunge e o ensino de ciências através de modelos. **Investigações em ensino de Ciências**. Vol. 4, n. 3, 1999.

QUINTO, T.; FERRACIOLI, L. Modelos e modelagem no contexto do ensino de ciências no Brasil: uma revisão de literatura de 1996-2006. **Revista Didática Sistemática**, v. 8, p. 80-100. 2008.

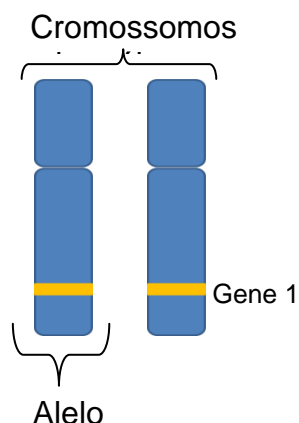
SETÚVAL, F. A. R.; BEJARANO, N. R. R. **Os modelos didáticos com conteúdos de Genética e sua importância na formação inicial de professores para o ensino de ciências e Biologia**. Trabalho apresentado no VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Bahia, 2000.

## ANEXOS

## ANEXO 1– ROTEIRO UTILIZADO NA APLICAÇÃO DO MODELO DIDÁTICO

## Primeira Lei de Mendel

A **Lei da Segregação dos Fatores** determina que uma característica é condicionada por dois fatores (alelos) que se separam durante a formação dos gametas.



O gene 1, relacionado com a coloração do pelo, está localizado no braço longo do cromossomo 1 de ratos. Para este *locus*, o alelo A, que determina a coloração escura, é dominante sobre o alelo a, que determina a coloração clara.

## 1º. PARENTAIS:

	P1	P2
Fenótipo		
Genótipo		

Quais os gametas formados?

P1: \_\_\_\_\_

P2: \_\_\_\_\_

## 2º F1

Genótipo:

Agora faça o cruzamento de dois ratos de para obter a F2:

Fenótipo:

Gametas: \_\_\_\_\_

## 3º F2

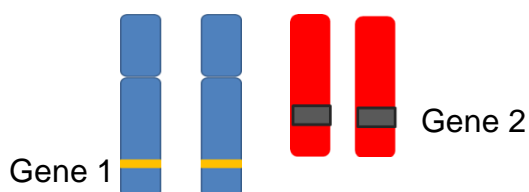
Genótipo	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º	10º	11º	12º	13º	14º	15º	16º	17º	18º	19º	20º	Total	

PROPORÇÕES GENOTÍPICAS:

ROPORÇÕES FENOTÍPICAS:

## Segunda Lei de Mendel

A Lei da **Segregação Independente dos Fatores** estuda dois genes presentes em **cromossomos diferentes**, como demonstrado pelos genes 1 e 2.



O Gene 2, localizado no cromossomo 2, possui os alelos B e b. O alelo B, dominante sobre b, determina a característica rabo longo. O alelo b, recessivo, determina rabo curto.

### 1º PARENTAIS

Como são formados os gametas?

	P1	P2
Fenótipo		
Genótipo		

---



---



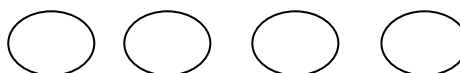
---

### 2º F1

Fenótipo: \_\_\_\_\_

Genótipo: \_\_\_\_\_

**GAMETAS de F1:**



### 3º F2

Faça o cruzamento aleatório da F1 48 vezes e preencha a tabela a seguir:

*Cada indivíduo de F2 deve conter 2 cromossomos vermelhos e dois azul, provenientes 1 de cada cada parental.*

PROPORÇÃO DE F2			
FENÓTIPO	GENÓTIPO	RESULTADOS	SOMA
	AABB		
	AABb		
	AaBB		
	AaBb		
	AAbb		
	Aabb		
	aaBB		
	aaBb		
	aabb		
			<b>Total = N =</b>

### PROPORÇÃO FENOTÍPICA

Calcule as proporções fenotípicas  
(FENÓTIPO ÷ N)

### PROPORÇÃO GENOTÍPICA

Calcule a proporção genotípica  
(GENÓTIPO ÷ N)

