

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
DAFNE HELEN OLIVEIRA DE SOUSA REIS

**A CULPA É DAS MUTAÇÕES: O DESENVOLVIMENTO DE UM  
MODELO DIDÁTICO TEMÁTICO PARA O ENSINO DE EVOLUÇÃO  
BIOLÓGICA**

**RIO DE JANEIRO**

**2022**



UFRJ

Mestrado Profissional em **MP**  
Educação, Gestão e Difusão **EGeD**  
em Biociências

**Dafne Helen Oliveira de Sousa Reis**

**A Culpa É Das Mutações: O Desenvolvimento de um Modelo Didático  
Temático Para o Ensino de Evolução Biológica**

Volume único

Trabalho de Conclusão de Mestrado apresentado ao Programa de Mestrado Profissional em Educação, Gestão e Difusão em Biociências (MP-EGeD) do Instituto de Bioquímica Médica Leopoldo de Meis da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Educação, Gestão e Difusão em Biociências.

Orientadora:

Profa. Dra. Andréa Carla de Souza Góes (Professora colaboradora do MP-EGeD/IBqM/UFRJ)

Rio de Janeiro

2022

R375c Reis, Dafne Helen Oliveira de Sousa  
A Culpa É Das Mutações: O Desenvolvimento De Um  
Modelo Didático Temático Para o Ensino De Evolução  
Biológica / Dafne Helen Oliveira de Sousa Reis. --  
Rio de Janeiro, 2022.  
60 f.

Orientadora: Andréa Carla de Souza Góes.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do  
Rio de Janeiro, Instituto de Bioquímica Médica  
Leopoldo de Meis, Programa de Mestrado Profissional  
em Educação, Gestão e Difusão em Biociências, 2022.

1. Ensino de Evolução. 2. Ensino de Genética. 3.  
Modelo Didático. 4. Ensino de Biologia. 5. Educação  
em Biociências. I. Góes, Andréa Carla de Souza,  
orient. II. Título.

**FOLHA DE APROVAÇÃO**  
**Dafne Helen Oliveira de Sousa Reis**

**A Culpa É Das Mutações: O Desenvolvimento De Um Modelo Didático  
Temático Para o Ensino De Evolução Biológica**

Trabalho de Conclusão de Mestrado apresentado ao Programa de Mestrado Profissional em Educação, Gestão e Difusão em Biociências (MP-EGeD) do Instituto de Bioquímica Médica Leopoldo de Meis da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Educação, Gestão e Difusão em Biociências.

Aprovada em 13 de janeiro de 2022 pela seguinte Comissão Examinadora

---

Prof. Dra. Orientadora Andréa Carla de Souza Góes professora colaboradora do MP-EGeD/IBqM, UFRJ – orientadora.

---

Prof. Dr. Marcelo Borges Rocha – MP-EGeD/IBqM/UFRJ – membro titular interno.

---

Prof. Dra. Flavia Venancio Silva, Faculdade de Formação de Professores – Departamento de Ciências, Universidade do Estado do Rio de Janeiro – membro titular externo.

---

Prof. Dr. Danilo Ribeiro de Oliveira – MP-EGeD/IBqM/UFRJ – membro titular interno.

---

Prof. Dr. Hatisaburo Masuda – MP-EGeD/IBqM/UFRJ – membro suplente interno e revisor.

---

Prof. Dra. Débora Lage – Departamento de Ciências da Natureza, Instituto de Aplicação Fernando Rodrigues da Silveira (CAp-UERJ)– membro suplente externo.

*Dedico esta dissertação a todos os educadores que contribuíram com minha formação,  
me inspirando a seguir o belo e intenso caminho da docência.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, Criador e Senhor de todas as coisas, razão e origem de toda minha vontade de entender e explicar a natureza. Sem o auxílio e a direção dEle, certamente eu não estaria concluindo o mestrado. Soli Deo Gloria.

Agradeço ao meu marido, maior fonte de inspiração e melhor amigo Gabriel Reis de Oliveira por todo apoio, encorajamento e por sempre acreditar que eu conseguiria, mesmo quando eu não acreditava. Você é, para sempre, minha estrela.

Aos meus pais, Clauver e Claudia, que sempre valorizaram minha educação e lutaram para que, apesar das muitas adversidades, eu pudesse me dedicar inteiramente aos estudos e realizar meu sonho de ser professora. Obrigada por, através de seus exemplos, me ensinarem a nunca desistir de nada e por permanecerem sempre ao meu lado. Tudo valeu a pena.

Aos meus colegas de profissão, melhores amigos e irmãos, David, Diana e Kharyna, com quem compartilho a vida e de quem sempre recebi suporte e motivação. Vocês são parte de mim.

Aos meus colegas da turma de 2019 do Mestrado Profissional em Educação, Gestão e Difusão em Biociências do Instituto de Bioquímica Médica Leopoldo de Meis/UFRJ por serem grande fonte de força e inspiração durante esses anos juntos.

Agradeço a todos os professores, à coordenação e à secretaria do Mestrado Profissional em Educação, Gestão e Difusão em Biociências do Instituto de Bioquímica Médica Leopoldo de Meis/UFRJ por todas as lições, pelo carinho, humanidade e presteza em ajudar. Não há palavras para agradecer o tanto que contribuíram em minha formação e crescimento, não apenas acadêmico e profissional, mas principalmente pessoal.

Agradeço também ao revisor e aos membros da banca examinadora por disporem de seu precioso tempo para avaliar e contribuir com esse projeto.

Por fim, agradeço a minha orientadora, doutora Andréa Carla de Souza Góes por toda paciência, disponibilidade, colaboração e aprendizado.

*"God of Your promise  
You don't speak in vain  
No syllable empty or void  
For once You have spoken  
All nature and science  
Follow the sound of Your voice  
And as You speak  
A hundred billion creatures catch Your breath  
Evolving in pursuit of what You said  
If it all reveals Your nature, so will I." –  
Joel Houston / Michael Fatkin / Benjamin Hastings*

## RESUMO

REIS, Dafne Helen Oliveira de Sousa. **A Culpa É Das Mutações: O Desenvolvimento De Um Modelo Didático Temático Para o Ensino De Evolução Biológica.** (Mestrado Profissional em Educação, Gestão e Difusão em Biociências) – Instituto de Bioquímica Médica Leopoldo de Meis, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

A evolução biológica (EB) é um fato científico e também a teoria unificadora de todo o conhecimento biológico. Apesar disso, há sérias dificuldades no ensino-aprendizado desse tema. O objetivo desta pesquisa foi desenvolver um modelo didático para o ensino de EB que integre os conhecimentos da genética, viabilize a superação de obstáculos epistemológicos e a desmistificação do conceito de mutação e estimule a curiosidade pela utilização de conceitos científicos em produções culturais não científicas. O modelo didático “A Culpa é das Mutações” foi inspirado no romance da literatura e cinema “A Culpa é das Estrelas”, e inclui um espécime animal, trechos de seu DNA e o aparato para produção de proteínas. O espécime animal é composto de uma estrutura central que representa tronco e cabeça do animal. Nessa estrutura se encaixam apêndices determinados por genes específicos. *Hazel graciosa*, um mamífero terrestre, possui quatro caracteres de interesse associados a quatro genes. Ao acumular mutações nesses genes, mudanças fenotípicas desses caracteres culminam no processo de especiação e surgimento da espécie *Hazel aquae* (mamífero aquático). Os trechos do material genético possibilitam a visualização das mutações e dos processos de produção das proteínas que resultam na mudança de apêndices, permitindo a associação entre genótipo e fenótipo, evolução e genética. Além disso, o modelo tem o potencial de promover a superação de obstáculos epistemológicos ao aprendizado de conceitos fundamentais da EB que são comumente mal compreendidos, como a seleção natural, mutação, adaptação e o próprio termo “evolução”. A associação do modelo com um romance da literatura e cinema traz o potencial de aumentar o interesse, motivação, curiosidade e o envolvimento emocional dos estudantes com o conteúdo, fatores fundamentais para que se estabeleça o aprendizado. As potencialidades de contribuição do modelo não se limitam ao ensino de evolução, mas abrangem o ensino de diversas áreas da Biologia, como a ecologia e a diversidade de seres vivos, e a sua utilização em oficinas de divulgação científica.

**Palavras-chave:** Ensino de Evolução; Ensino de Genética; Modelo Didático; Ensino de Biologia; Educação em Biociências.



## ABSTRACT

DAFNE HELEN OLIVEIRA DE SOUSA, REIS. **The fault in our mutations: The developing Process of a thematic didactic model to Biological Evolution Teaching** (Master of Science, MSc – *Educação, Gestão e Difusão em Biociências*) – Institute of Medical Biochemistry Leopoldo de Meis, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

Biological Evolution (BE) is a scientific fact and also the unifying theory of all biological knowledge. Despite that, there are serious difficulties established on the teaching-learning process of this topic. This research aimed to develop a didactic model for BE teaching that integrates genetic knowledge, makes it possible to overcome epistemological obstacles, demystify the mutation concept, and stimulate curiosity to search scientific concepts in non-scientific cultural production. The didactic model "The fault in our mutations" was inspired by the romance from literature and cinema "The fault in our stars". It includes an animal specimen, stretches of its DNA and the apparatus to produce proteins. The animal specimen is composed of a central structure that represents the trunk and head of the animal. This central structure contains appendages determined by specific genes. *Hazel graciosa* is a terrestrial mammal and has four phenotypical traits of interest associated with four genes. The accumulation of genetic mutations within these genes generates changes in the phenotypical traits culminating in the speciation and emergence of *Hazel aquae*, an aquatic mammal species. The model of DNA stretches makes it possible to visualize the mutations and protein production processes that result in the change of appendages, allowing the association between genotype and phenotype, evolution, and genetics. Also, the model can promote the overcoming of epistemological obstacles to learn fundamental concepts of BE that are commonly misunderstood, such as natural selection, mutation, adaptation, and the term evolution itself. The association with a romance from literature and cinema can increase students' interest, motivation, curiosity, and emotional involvement with the content, fundamental factors for establishing the learning. The potential contribution of the model is not limited to evolution teaching but covers diverse areas of Biology teaching, such as ecology and diversity of life. The model can also be used in scientific dissemination workshops.

**Keywords:** Evolution teaching; Genetics teaching; Didactic Model; Biology teaching; Education in Bioscience.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1: Estrutura central do corpo de <i>Hazel graciosa</i> .....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 2: Estrutura completa do corpo de <i>Hazel graciosa</i>.....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 3: Aparato para realização de transcrição e tradução.....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 4: Tipos de pés - fenótipo selvagem e fenótipo mutado.....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 5: Presença de orelha externa - fenótipo selvagem.....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 6: Tipos de focinho - fenótipo selvagem e fenótipo mutado.....</b>	<b>30</b>
<b>Figura 7: Tipos de cauda - fenótipo selvagem e fenótipo mutado .....</b>	<b>31</b>
<b>Figura 8: Estrutura completa do corpo de <i>Hazel aquae</i>.....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 9: Comparação das espécies <i>Hazel graciosa</i> e <i>Hazel aquae</i> .....</b>	<b>32</b>

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1: Relação do código genético para realização da tradução .....</b>	<b>27</b>
<b>Quadro 2: Relação de genes, proteínas, mutações e fenótipos do modelo ....</b>	<b>28</b>

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>1.1 Apresentação</b> .....	<b>13</b>
<b>1.2 Nota Introdutória</b> .....	<b>13</b>
<b>1.3 Evolução Biológica: Importância e Dificuldades no Ensino-Aprendizado</b> .....	<b>14</b>
<b>1.3.1 Dissociação dos Conteúdos de Genética e Evolução</b> .....	<b>17</b>
<b>1.3.2 Preconcepções e o Ensino de Evolução</b> .....	<b>18</b>
<b>1.4 Alternativas Pedagógicas às Dificuldades no Ensino-Aprendizado</b> .....	<b>19</b>
<b>2 JUSTIFICATIVA DO ESTUDO</b> .....	<b>21</b>
<b>3 OBJETIVOS</b> .....	<b>22</b>
<b>3.1 Objetivo Geral</b> .....	<b>22</b>
<b>3.2 Objetivos Específicos</b> .....	<b>22</b>
<b>4 PERCURSO METODOLÓGICO</b> .....	<b>22</b>
<b>4.1 Escolha do romance “A Culpa é das Estrelas”</b> .....	<b>22</b>
<b>4.2 Desenvolvimento do Modelo Didático</b> .....	<b>23</b>
<b>4.3 A Culpa é da COVID-19 – O Mestrado e a Pandemia</b> .....	<b>23</b>
<b>5 RESULTADOS</b> .....	<b>24</b>
<b>5.1 O Modelo Didático</b> .....	<b>24</b>
<b>5.2 Uma Proposta de Aplicação</b> .....	<b>33</b>
<b>6 DISCUSSÃO</b> .....	<b>37</b>
<b>6.1 Potencialidades na Superação das Dificuldades de Ensino-Aprendizado</b> .....	<b>37</b>
<b>6.1.1 Sobre as Preconcepções dos Estudantes e os Obstáculos Epistemológicos de Bachelard</b> .....	<b>37</b>
<b>6.1.2 Sobre a Desconexão Entre os Conteúdos de Genética e Evolução</b> .....	<b>42</b>
<b>6.1.3 Sobre a Utilização de Produções Literárias, Cinematográficas e Mídias Diversas no Ensino de Ciências, Genética e Evolução</b> .....	<b>44</b>
<b>6.2 Possíveis Contribuições da Aplicação do Modelo e Outras Potencialidades</b> ....	<b>45</b>
<b>6.2.1 Possíveis Resultados da Aplicação</b> .....	<b>45</b>
<b>6.2.2 Outras Potencialidades</b> .....	<b>47</b>
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>47</b>

# **1 INTRODUÇÃO**

## **1.1 Apresentação**

Concluí a licenciatura em Ciências Biológicas pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) no final de 2016. Sempre foi meu desejo seguir a vocação de professora, compartilhar conhecimento e contribuir na formação de outras pessoas. A Biologia me conquistou pela sua complexidade e abrangência, mas também pela aplicabilidade dos conhecimentos tanto em nossa vida cotidiana quanto nas grandes decisões relacionadas aos impactos que causamos no planeta. Mesmo antes da graduação, a evolução biológica sempre me interessou muito, justamente por ser considerada um tema difícil e complexo que se propõe a conectar e explicar todos os demais temas dentro da Biologia. Durante a graduação, diversas experiências aprofundaram meu interesse por esse tema, mais especificamente, pelo ensino de evolução. Desde 2017, trabalho como professora de Biologia e Ciências em instituições privadas de ensino da Baixada Fluminense. Minha experiência docente, desde o primeiro ano, reforçou a noção de que evolução é um tema central para o ensino-aprendizado de Biologia, mas problemático para os estudantes. Essa realidade somada ao meu desejo continuar minha carreira acadêmica me motivou a procurar um programa de pós-graduação que eu conseguisse conciliar com a minha profissão. Em 2018, encontrei o Mestrado Profissional em Educação, Gestão e Difusão em Biociências do Instituto de Bioquímica Médica Leopoldo de Meis, na UFRJ. Em 2019, aprovada no processo seletivo, ingressei no mestrado profissional com o objetivo de contribuir no ensino de evolução.

## **1.2 Nota Introdutória**

Esta introdução descreve um panorama que contextualiza a pesquisa desenvolvida durante o período de curso do mestrado profissional, bem como explana as justificativas posteriormente citadas de forma mais profunda. Para a formulação dessa contextualização, foram selecionadas publicações que fornecem um referencial teórico e dão base aos objetivos geral e específicos e às argumentações feitas nessa pesquisa. A partir desse referencial, construí a seguinte linha de pensamento: A compreensão da evolução biológica (EB) é fundamental para a completa compreensão da Biologia, entretanto é reconhecido pela comunidade científica que há sérias dificuldades estabelecidas no que diz respeito ao ensino-aprendizado desse tema. Diversos fatores podem influenciar no estabelecimento dessas dificuldades. Dois desses fatores são apresentados: as concepções dos estudantes em relação à evolução e a dissociação da genética em relação à evolução nos

currículos escolares. Na tentativa de superação de dificuldades no processo de ensino-aprendizado deste tema, trabalharemos a utilização de modelos didáticos associados à literatura e ao cinema. Concluo a introdução explicitando que reúno três alternativas pedagógicas na produção de um modelo didático temático, a ser utilizado numa sequência didática. A elaboração desse modelo é o foco da pesquisa.

### **1.3 Evolução Biológica: Importância e Dificuldades no Ensino-Aprendizado**

“Nada na Biologia faz sentido exceto à luz da evolução.” A célebre frase do geneticista e biólogo evolutivo Theodosius Dobzhansky (1973) reflete a atual compreensão da evolução biológica. A evolução é reconhecida como eixo unificador e integrador de todo conhecimento na área das Ciências Biológicas, aquilo que dá sentido e interliga tudo o que a Biologia se propõe a estudar.

Ao longo da história, diversas explicações foram propostas para o surgimento da grande diversidade de seres vivos existente em nosso planeta. Como Mayr (1982) aponta, ideias sobre transformações graduais de organismos estão em discussão desde a Antiguidade na Grécia. No entanto, a atual noção de que todos os seres descendem de um único ancestral que sofreu transformações ao longo do tempo se estabeleceu no meio científico a partir do século XIX, com a publicação do livro *A Origem das Espécies* (DARWIN, 1859). Desde então, foram somadas às proposições de Darwin sobre ancestralidade comum e o processo de seleção natural, importantes descobertas no campo da genética, sistemática e paleontologia (KUTCHERA & NIKLAS, 2004). Compreende-se a EB por “descendência com modificações ou alteração da forma, da fisiologia e do comportamento de organismos ao longo de muitas gerações de tempo” (RIDLEY, 2006 p. 43). A teoria sintética da evolução, ou neodarwinismo, é a compilação das proposições de Darwin sobre ancestralidade comum e seleção natural e dos achados de Mendel sobre hereditariedade, aos conhecimentos da genética, sistemática, paleontologia, morfologia comparativa clássica e embriologia (RIDLEY, 2006). A evolução biológica está estabelecida como um ‘fato científico’ bem documentado, sobre o qual alcançamos maior compreensão conforme avança a ciência (KUTCHERA & NIKLAS, 2004).

Tendo sido reconhecida sua importância e seu caráter integrador, conclui-se como fundamental a correta compreensão da EB para um completo entendimento da Biologia. A literatura científica vai além, defendendo a importância do aprendizado de EB desde a educação básica não apenas por uma questão acadêmica, de compreensão de conteúdos biológicos, mas como um ponto a ser considerado na tomada de decisões sociocientíficas

de maneira esclarecida (SADLER, 2005; MEYER & EL-HANI, 2005). Por exemplo, a EB deve ser considerada nas discussões e decisões relacionadas à agricultura, engenharia genética, conservação ambiental, questões de saúde como doenças, epidemias e resistência à antibióticos (NESSE & WILLIAMS, 1996; SADLER, 2005; MEYER & EL-HANI, 2005; BIZZO & EL-HANI, 2009). Além disso, considerar a evolução é essencial na discussão das consequências éticas da posição de valor do ser humano enquanto espécie em relação às outras espécies (BIZZO & EL-HANI, 2009).

Apesar dessa importância, muitas pesquisas evidenciam que a evolução ainda é um dos temas mais incompreendidos da Biologia. Sérias dificuldades são observadas no ensino, aprendizagem e até mesmo a aceitação da EB (EHRLE, 1960; JOHNSTONE & MAHMOUD, 1980; DODICK & ORION, 2003; MEAD, HEJMADI & HURST, 2017). Essas dificuldades são percebidas em todos os níveis educacionais, desde os estudantes de educação básica, graduação, pós-graduação e até mesmo entre os professores e pesquisadores da área, e em escala global (DONNELLY, KAZEMPOUR & AMIRSHOKO-OHI, 2009; GREGORY & ELLIS, 2009; VALENÇA & FALCÃO, 2012; MEDEIROS & MAIA, 2013; PAIVA, 2015). A cada pesquisa realizada, possíveis fatores causais dessas dificuldades são levantados e discutidos, conforme seus contextos.

No contexto brasileiro, a nível de educação básica, o reconhecimento da importância da EB no ensino-aprendizado da Biologia é evidenciado nos documentos oficiais que orientam a elaboração dos currículos escolares. Os Parâmetros Curriculares Nacionais – PCN (BRASIL, 2002), por exemplo, indicam a importância de que os conhecimentos das ciências biológicas sejam interligados de forma transversal por um eixo ecológico-evolutivo, e que os aspectos evolutivos sejam contemplados desde o ensino fundamental. Nas Orientações Curriculares para o Ensino Médio – OCEM (BRASIL, 1998), afirma-se que “conceitos relativos a este assunto são tão importantes que devem compor não apenas um bloco de conteúdos tratados em algumas aulas, mas constituir uma linha orientadora das discussões de todos os outros temas” (BRASIL, 2006). Na Base Nacional Comum Curricular – BNCC (BRASIL, 2017), dentro da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, os conhecimentos biológicos estão reunidos em uma unidade temática nomeada “Vida e Evolução” desde o ensino fundamental, destacando a importância do processo para a compreensão da vida em sua complexidade. Na etapa do Ensino Médio (BRASIL, 2018), a BNCC propõe um aprofundamento nos conteúdos já trabalhados no ensino fundamental nessa área, visto que nessa etapa do ensino, os estudantes já se apropriam das explicações científicas envolvendo a temática.

Reforçando a importância dos conhecimentos da evolução para além de fins acadêmicos de compreensão da Biologia, uma das competências relacionadas ao tema é “construir e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar decisões éticas e responsáveis” (BRASIL, 2018).

Apesar disso, a evolução ainda está longe de desempenhar esse papel integrador nas escolas brasileiras. Na maioria dos casos, a EB é apresentada como apenas um conteúdo dentro da Biologia, geralmente no último ano do ensino médio, com pouco tempo para ser trabalhado (TIDON & LEWONTIN, 2004; OLEQUES et al., 2011). Nesse cenário, estabelecem-se sérias dificuldades no que diz respeito ao ensino e a aprendizagem da EB, mesmo em seus conceitos e mecanismos mais básicos, como o próprio conceito de evolução, de seleção natural e adaptação (VALENÇA & FALCÃO, 2012).

Diversos fatores relacionados à realidade da educação básica no Brasil são apontados como possíveis explicações para essas dificuldades. Dentre eles, são mencionados na literatura científica: características próprias do contexto escolar (limitações de tempo, planejamento padronizado, terceirizado e conteudista) (CICLINI, 1997), a defasagem no material didático e a ausência de material de divulgação científica (PIOLI & DIAS, 2004), a falta de preparo por defasagem na formação inicial ou ausência de formação continuada dos professores (TIDON & LEWONTIN, 2004; CASTRO & AUGUSTO, 2007), crenças religiosas dos professores (COIMBRA & SILVA, 2007), o próprio tratamento da evolução biológica como apenas um conteúdo tanto pelos professores quanto pelos livros didáticos (OLEQUES et al., 2011; ZAMBERLAN & SILVA, 2012), as controvérsias e polêmicas construídas ao redor do tema (MEDEIROS & MAIA, 2013), concepções errôneas dos próprios professores (OLEQUES, BARTHOLOMEI-SANTOS & BOER, 2011), a falta de associação entre os conteúdos de genética e evolução (VALENÇA & FALCÃO, 2012) e a existência de preconceções sobre o tema por parte dos estudantes (PAIVA, 2015).

Considerando todos esses fatores, a visão da EB como eixo integrador de todo conhecimento biológico se perde. Dessa forma, a evolução é encarada apenas como mais um tema difícil e complexo dentro da Biologia. A Biologia, por sua vez, é apresentada de maneira fragmentada e conteudista. Os importantes conceitos evolutivos são mal compreendidos e tidos apenas como objeto de memorização rápida e passageira pelos estudantes. Os benefícios do aprendizado da EB não são alcançados.



### 1.3.1 Dissociação dos Conteúdos de Genética e Evolução

A esse respeito, Valença e Falcão (2012 p. 480) afirmam que o “papel da genética não tem sido suficientemente contemplado no ensino da teoria da evolução no ensino médio”. Os conteúdos de genética são, geralmente, ensinados na 2ª série ou no começo da 3ª série do ensino médio (VALENÇA & FALCÃO, 2012). Já o tema EB, como anteriormente citado, é geralmente ensinado no fim da 3ª série do ensino médio. Para essas autoras, há uma relação direta entre a forma desconexa de apresentação da teoria evolutiva em relação aos conhecimentos da genética e a dificuldade dos alunos de compreensão de conceitos como evolução, seleção natural e adaptação.

As contribuições da genética, bem como da ecologia, geologia e paleontologia na compilação do Neodarwinismo e na ampliação da compreensão da EB são indiscutíveis. Os conceitos de evolução, seleção natural e adaptação são considerados complexos justamente por estarem interligados ou dependerem de outros conhecimentos, como os da genética. Por exemplo, para compreender a atuação da seleção natural sobre a variedade de características existentes entre organismos de determinada espécie, é relevante perceber que essa variedade é reflexo da variabilidade genética existente entre os indivíduos. Para alcançar os conceitos de evolução e adaptação, é necessário perceber a conexão existente entre esses conceitos e o conceito genético de *mutação*. *Mutações* ocorrem a nível do DNA, gerando novas variações (*alelos* diferentes) de determinados *genes*, gerando *genótipos* diferentes e, por conseguinte, *fenótipos* diferentes (variabilidade de características). O conceito de evolução tem base nessas mudanças, e o de adaptação, na relação das características fixadas nas espécies com a seleção natural (RIDLEY, 2006).

Vale ressaltar que, no ensino de genética, o conceito de mutação também é muitas vezes mal compreendido. Com frequência, os estudantes associam o termo *mutação* ou *mutante* com seres humanos com dons especiais ou super-heróis, humanos com características animais ou monstros, mudanças tecnológicas ou robóticas que possam ser feitas no corpo dos seres humanos (NASCIMENTO, 2013; NASCIMENTO et al, 2015). Isso porque, como apontam Santos, Fagundes e Schuler-Faccini (2020), os termos citados vem sendo amplamente explorados na cultura geral, tornando-se quase um elemento da cultura pop. Os autores citam, dentre outros exemplos dessa apropriação dos termos pela cultura geral, a banda “Os Mutantes” e o universo “*X-Men*”. Além disso, causas e tipos de mutação são raramente conhecidos pelos estudantes e parece ser comum uma concepção negativa sobre a mutação, como um fenômeno que sempre causa doenças (SHAW et al., 2008).

Tendo em vista que é um conceito central tanto na genética como para a compreensão da EB (portanto, da Biologia como um todo), também se faz necessário pensar na superação dessa dificuldade.

Algumas pesquisas sugerem que realmente existe uma relação positiva entre a compreensão da genética e a compreensão e aceitação da evolução (MILLER, SCOTT & OKAMOTO, 2006; MEAD, HEJMADI & HURST, 2017). Com base nessa relação íntima entre os conceitos genéticos e os evolutivos, Mead, Hejmadi & Hurst (2017, p.3) argumentam que devido ao fato de que a “microevolução se configura como um ramo da genética, é um salto conceitual pequeno partir da compreensão dos conceitos de mutação e alelos (genética) para o de frequência alélica (evolução)”. Valença e Falcão (2012) propõem que resgatar os conceitos da genética nas aulas de evolução pode ser relevante na compreensão dos estudantes.

Num experimento com estudantes do ensino médio no Reino Unido, Mead, Hejmadi & Hurst (2017) chegaram à conclusão de que a compreensão dos conteúdos de evolução é aumentada quando os conteúdos de genética são apresentados aos estudantes previamente. Em suas conclusões, Valença e Falcão (2012, p. 481) defendem que “a inclusão da genética de forma articulada ao ensino da teoria da evolução no ensino médio pode, portanto, ser um caminho” na eliminação de lacunas teóricas que possam dificultar a compreensão da EB.

### **1.3.2 Preconcepções e o Ensino de Evolução**

Um dos fatores que mais contribuem para a não compreensão ou não aceitação do tema, segundo Koga e Souza (2014) são as preconcepções dos estudantes. Paiva (2015) afirma que essas concepções são construídas a partir do contexto sociocultural dos estudantes, que pode ser distante do conhecimento científico, dificultando a compreensão do mesmo. Podemos compreender essas preconcepções como obstáculos epistemológicos e pedagógicos no processo de ensino-aprendizado de EB.

Seguindo a visão bachelardiana, “um fato pouco compreendido ou mal interpretado constitui um obstáculo” (FONSECA, 2008 p. 364) e “o primeiro obstáculo é a experiência primeira, ou seja, aquela colocada acima e antes da crítica” (FIRMINO, 2014 p.68). Para o autor, “o ato de conhecer dá-se contra um conhecimento anterior, destruindo conhecimentos mal estabelecidos (...)” (BACHELARD, 1996, p. 17), isto é, a aprendizagem acontece a partir da desconstrução de um conhecimento ou concepção prévia. Seria papel do professor o esforço de reconhecer e levar os estudantes a “derrubar os obstáculos

já acumulados pela vida cotidiana, de propiciar rupturas com o senso comum, com um saber que se institui da opinião e com a tradição empiricista das impressões primeiras” (BACHELARD, 2000 p. 168).

Silva, Lavagnini e Oliveira (2009 p.1), buscando conhecer as concepções prévias de estudantes do ensino médio no que diz respeito à EB, notaram que essas preconcepções estão, muitas vezes, relacionadas a uma visão de evolução como “progresso e melhora, à visão antropocêntrica sobre os processos evolutivos e à presença da concepção criacionista que nega os preceitos científicos e aceita o mito da Criação”. Além do próprio conceito de evolução, os conceitos de adaptação e mutação também aparecem ligados a preconcepções errôneas, significando respectivamente a geração de melhorias ou aberrações nos indivíduos (TIDON & LEWOTIN, 2004; MELLO, 2008).

Conhecer as concepções prévias dos estudantes é fundamental na superação desses obstáculos. Andrade (2017) defende que o olhar para os obstáculos não pode ser negativo, pois os estudantes podem superar o obstáculo da experiência primeira ao refletir sobre suas próprias ideias. A autora defende que os obstáculos podem ser o ponto de partida na criação de uma situação de aprendizagem. Além disso, afirma também que esses obstáculos podem ser transformados, resultando no aprendizado.

#### **1.4 Alternativas Pedagógicas às Dificuldades no Ensino-Aprendizado**

Considerando o cenário apresentado, alternativas pedagógicas que visam a superação de dificuldades no ensino-aprendizado de evolução são objeto de estudo de diversos pesquisadores. É notório, no campo da Educação, que a utilização de recursos educativos diferenciados, como jogos e modelos didáticos, tem sido cada vez mais investigada.

Os modelos didáticos, modelos representacionais, ou ainda modelos de ensino, segundo Gilbert (2004), são aqueles que auxiliam no processo de ensino-aprendizagem, sendo produzidos unicamente para esse fim. Ainda segundo o autor, eles podem ser representados de várias formas (concreta/material, verbal, simbólica, visual e gestual). Modelos didáticos materiais são, talvez, os recursos didáticos mais utilizados nas ciências biológicas (KRASILCHIK, 2004), e se apresentam como “estruturas tridimensionais ou semiplanas (alto relevo) e coloridas (...) utilizadas como facilitadoras do aprendizado” (ORLANDO et al., 2009 p.2).

A utilização de modelos didáticos se apresenta como uma alternativa que fortalece e facilita a explicação de um determinado conteúdo (PAZ et al., 2006), além de estabelecer vínculos entre a abordagem teórica e prática (SANTOS et al., 2008; ORLANDO et

al., 2009), e auxiliar o entendimento e assimilação de conteúdos abstratos ou de nível microscópico (NASCIMENTO et al., 2012).

Setúval e Bejarano (2009 p.4) apresentam os modelos didáticos como “instrumentos sugestivos e que podem ser eficazes na prática docente diante da abordagem de conteúdos que, muitas vezes, são de difícil compreensão pelos estudantes”. De caráter lúdico, concreto e interativo, que permite a visualização e facilita a compreensão de conceitos e processos abstratos, o modelo didático se apresenta, por suas características intrínsecas, como possível alternativa de recurso a ser utilizado por professores no ensino de evolução.

Além de modelos didáticos, o uso de outros recursos em sala de aula (audiovisuais e tecnológicos, jogos, textos literários e produções de cinema) também são muito trabalhados como alternativas de práticas pedagógicas que auxiliam no processo de ensino-aprendizado. Promover a interação entre o ensino de evolução e temas de interesse dos estudantes através desses recursos pode se apresentar como uma alternativa pedagógica na superação das dificuldades no ensino de evolução.

Apesar dessas dificuldades no campo da educação formal, temas relacionados à EB e seus mecanismos têm sido cada vez mais abordados em produções culturais, como literatura e cinema, principalmente para o público adolescente. A utilização desses produtos na abordagem dos conteúdos pode contribuir positivamente na compreensão deles. Guerra e Menezes (2009 p.9) afirmam que “seja (...) para despertar a imaginação, seja (...) para contextualizar histórica e filosoficamente o ensino de conceitos científicos, a Literatura é um caminho para se trabalhar ciência na escola.” Já Santos (2016 p.47) defende que o uso de produções cinematográficas em sala de aula “facilita a aprendizagem, que se caracteriza pelo fato de a pessoa colocar em funcionamento novos procedimentos de raciocínio, ao contrário de simplesmente repetir modelos e fórmulas.”

O uso da literatura na contextualização do ensino de ciências, por exemplo, “abre a possibilidade para o leitor de participar da trama (...) despertando sentimentos de empatia” (GUERRA & MENEZES, 2009 p.9), o que pode naturalmente aproximar os estudantes do tema proposto. Além disso, o estabelecimento de interdisciplinaridade é uma das possibilidades apontada por Ramos, Aires e Góes (2018). Os autores propõem, em seu trabalho, a utilização da literatura numa prática pedagógica de Biologia. O tema do romance “Dom Casmurro” (1899), de Machado de Assis, é utilizado na explicação dos conteúdos de genética e biotecnologia envolvidos nos testes de paternidade, permitindo uma interação entre professores de Biologia e Língua Portuguesa/Literatura. Da mesma

forma, o heredograma da família Buendía, da obra de Gabriel Garcia Márquez “Cem Anos de Solidão” (1967), é utilizado para a abordagem de conteúdos de genética, como a simbologia de heredogramas e doenças mendelianas (AIRES et al, 2019).

A utilização de produções cinematográficas na superação dessas dificuldades de aprendizado também pode ser considerada, uma vez que “facilita(m) a contextualização dos temas existentes nos espaços de vivência dos alunos” (SANTOS, 2016 p.55). Diversos trabalhos também corroboram a ideia de que o uso de filmes como recurso pedagógico no ensino de ciências pode melhorar a qualidade do mesmo (ARROIO, 2007; ARROIO, 2010), além de evidenciar como a ciência influencia a escrita criativa, o desenho, a filosofia, a história e outras disciplinas (BIXLER, 2007) presentes na vida cotidiana em sociedade. Por aproximar os conteúdos científicos de difícil compreensão aos alunos através de um meio lúdico e envolvente, os filmes também se constituem como possível alternativa na abordagem de conceitos da EB.

Posto isso, minha pesquisa se desenvolveu a partir da seguinte questão norteadora: Como desenvolver um modelo didático que ilustra conceitos evolutivos de forma integrada aos conhecimentos de genética, envolvendo os estudantes em um tema de interesse (o romance da literatura/cinema “A Culpa é das Estrelas”), e que possa contribuir no processo de ensino-aprendizagem de evolução biológica? O produto gerado a partir deste mestrado profissional é o modelo didático nomeado “A Culpa é das Mutações”. Nos capítulos a seguir, apresentarei as etapas de idealização, elaboração e produção do modelo didático, além de discorrer sobre as possíveis utilizações do mesmo em sala de aula.

## **2 JUSTIFICATIVA DO ESTUDO**

A consciência da importância da evolução biológica na compreensão de toda a Biologia somada à percepção do fato de que os estudantes, em sua maioria, não se apropriam desse conhecimento gera uma demanda de busca tanto por possíveis explicações como por alternativas de soluções. Muito embora a produção científica dentro desse tema possa ser considerada numerosa, o cenário ainda é de grande necessidade de recursos pedagógicos que auxiliem os professores de Biologia a tentar superar essas dificuldades em sala de aula de maneira prática e acessível.

Tendo em vista que a dificuldade no ensino de evolução tem se mostrado real a cada ano em minha própria prática docente, cresceu em mim o interesse em investigar e contribuir na produção científica sobre o tema. A elaboração de um modelo didático que possa ser inserido no contexto das aulas, que relacione os conhecimentos de genética e

evolução e seja atraente aos alunos a ponto de envolvê-los no tema se justifica na própria demanda existente.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo Geral**

A presente pesquisa teve como objetivo geral produzir um modelo didático que contribua no processo de ensino-aprendizado da evolução biológica.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

Como objetivos específicos, esse trabalho se propõe a (1) identificar, na literatura científica, os principais obstáculos epistemológicos relacionados ao ensino de evolução; (2) possibilitar, através do modelo, uma associação direta entre os conhecimentos de evolução e genética trabalhados principalmente no ensino médio; e (3) produzir uma sequência didática, levando em conta os obstáculos epistemológicos mais comuns e a associação da genética ao conteúdo de evolução, como uma proposta de aplicação do modelo didático em sala de aula.

### **4 PERCURSO METODOLÓGICO**

Tendo em vista os seus objetivos, essa pesquisa se desenvolveu sob uma abordagem qualitativa, de caráter descritivo que, segundo Bogdan e Biklen (2003 p. 11) consiste em “uma metodologia de investigação que enfatiza a descrição, a indução, a teoria fundamentada e o estudo das percepções pessoais.”

#### **4.1 Escolha do romance “A Culpa é das Estrelas”**

O modelo didático “A Culpa é das Mutações” é inspirado no tema de “A Culpa é das Estrelas”, romance escrito por John Green, publicado em 2012 e lançado como filme em 2014. A trama narra a história de Hazel Grace, uma adolescente que luta contra um câncer na tireoide desde a pré-adolescência. No decorrer do romance, Hazel conhece e se apaixona por Augustus Waters, adolescente que enfrentou um osteosarcoma, mas após o tratamento e a amputação de uma das pernas, estava em remissão. A intensa história de amor do jovem casal se desenvolve em meio ao drama do contexto da doença e é marcada por frases e citações que são repetidas continuamente e são cheias de significados para ambos.

O título foi escolhido por estar no contexto de interesse da faixa etária com a qual se pretende trabalhar, visando a identificação dos estudantes pelo tema proposto, e por evocar conceitos oriundos da EB (evolução e mutação) de interesse no decorrer da trama.

#### **4.2 Desenvolvimento do Modelo Didático**

O modelo representa uma espécie animal (*Hazel graciosa*) criada pela pesquisadora para ilustrar a ocorrência de determinados processos genéticos e evolutivos. Ele foi planejado, desenvolvido e custeado pela própria pesquisadora, utilizando material de baixo custo. Na produção do corpo de *Hazel graciosa* foram utilizadas duas garrafas PET de 250 ml, folhas de papel reutilizado, EVA em duas cores diferentes, cola branca, cola quente, tintas de artesanato em três cores diferentes, e doze tampinhas de garrafa pet, massa de biscoito e doze palitos de madeira.

Além da espécie animal, o modelo inclui um material impresso, a saber: segmentos de DNA, RNAm, RNAt, ribossomos e uma tabela do código genético com a classificação dos aminoácidos. Os itens que representam os trechos do material genético e o aparato para a produção de proteínas foram adaptados do material cedido pela professora Marly Cruz Veiga da Silva (Departamento de Ensino de Ciências e Biologia, Instituto de Biologia, UERJ). Eles foram digitalmente produzidos utilizando o Microsoft Office PowerPoint e impressos em papel imantado. A tabela do código genético também foi produzida digitalmente utilizando o Microsoft PowerPoint e impressa em papel comum.

A proposta de utilização do modelo foi pensada dentro de uma perspectiva construtivista, que propõe a participação ativa do estudante no processo de ensino-aprendizado mediante a experimentação, pesquisa em grupo, o estímulo à dúvida e o desenvolvimento do raciocínio entre outros procedimentos (POZO, 1994). Nessa perspectiva, professor e estudante estão numa relação horizontal, e o estudante tem o poder de discutir com criticidade o assunto trabalhado (FREIRE, 1996). O papel do professor seria o de trazer para a sala de aula situações capazes de desenvolver essas discussões, mediando-as, e o conhecimento seria construído pelo próprio estudante em interação com o professor e os demais estudantes (FERNANDES et al, 2018).

#### **4.3 A Culpa é da COVID-19 – O Mestrado e a Pandemia**

Originalmente, o projeto desse mestrado profissional tinha como objetivo verificar as contribuições do modelo didático “A Culpa é das Mutações” com uma etapa experimental, a aplicação do modelo em sala de aula com turmas da 3ª série do ensino médio.

Apresento a proposta de aplicação formulada para a pesquisa no tópico resultados. O projeto original passou por análise pela Comissão de Ética em Pesquisa da UFRJ (CEP/HUCFF), sendo aprovado com o CAEE 20540519.9.0000.5257.

A princípio, a aplicação do modelo seria realizada em setembro de 2019, mas foi adiada diversas vezes devido ao tempo de análise do CEP, problemas de acesso à plataforma Brasil, diversas pendências apontadas após a análise, a dificuldade de encontrar as pessoas responsáveis por assinar o projeto e o tempo de análise das pendências. Perdemos o ano letivo de 2019. O projeto foi redesenhado, considerando as alterações do cronograma e reenviado para análise. Quando finalmente foi aceito, a realização das intervenções em sala de aula estava programada para a terceira semana de abril de 2020. Na segunda semana de março de 2020, entretanto, a suspensão das aulas foi decretada e o cronograma foi comprometido novamente. Hoje, no fim de 2021, as aulas presenciais ainda não foram retomadas completamente e a interação social continua limitada, impedindo a aplicação do material como projetado de forma segura.

Com as alterações de cenário provocadas pela pandemia de COVID-19, decidi, em acordo com minha orientadora, que a parte do projeto que envolvia a aplicação do modelo em sala de aula com os estudantes fosse suprimida, adiada para um momento mais propício. Nesse novo cenário, nos dedicamos a não menos importante contribuição de construção de um modelo didático, o real produto do mestrado, associado a uma proposta de utilização, passo a passo, dentro de uma sequência didática.

## **5 RESULTADOS**

### **5.1 O Modelo Didático**

Como projetado, o modelo é formado por uma estrutura central (Figura 1), que compõe a cabeça e o tronco do animal. Nessa estrutura central, se encaixam outras peças – o focinho, as orelhas, a cauda e os pés.





Figura 1: *Hazel graciosa* – estrutura central do corpo. Fonte: autora.

*Hazel graciosa* foi planejada como um mamífero terrestre de pequeno porte, nativo de florestas tropicais, que tem como habitat as margens de rios e lagos. De hábito alimentar carnívoro, a espécie consome pequenos animais que encontra à beira d'água – moluscos, anelídeos, artrópodes e anfíbios.

Quatro características morfológicas de *Hazel graciosa* formam um conjunto de caracteres de interesse, constituindo o fenótipo padrão da espécie. São as características: (1) pés do tipo exploratórios – adaptados ao ambiente terrestre; (2) grandes orelhas projetadas para fora do corpo – boa captação sonora – importante principalmente na exploração do ambiente terrestre; (3) focinho curto com grandes narinas e boca pequena – olfato bem desenvolvido e adaptação ao consumo de pequenos animais; (4) cauda fina e comprida – auxilia no equilíbrio ao caminhar (Figura 2). As características e adaptações da espécie animal foram determinadas pela pesquisadora sem referência a características reais de quaisquer animais.



Figura 2: *Hazel graciosa* – estrutura central e apêndices encaixados. Fonte: autora.

O modelo será utilizado para ilustrar os processos de mudança no fenótipo desta espécie a partir de mudanças no genótipo (mutações no DNA). Para tanto, será utilizado um material que permite a visualização dos processos de transcrição e tradução, bem como o processo de mutação que resulta em alterações fenotípicas. Esse material consiste em representações de trechos de genes do DNA do animal, os trechos de RNAm correspondentes, os anticódons de RNAt correspondentes e ribossomos (Figura 3). Além disso, para utilização do material, foram impressas em papel comum cópias da tabela do código genético (Quadro 1), para que os estudantes possam associar os códons do RNAm e os anticódons com seus respectivos aminoácidos durante o processo de tradução.

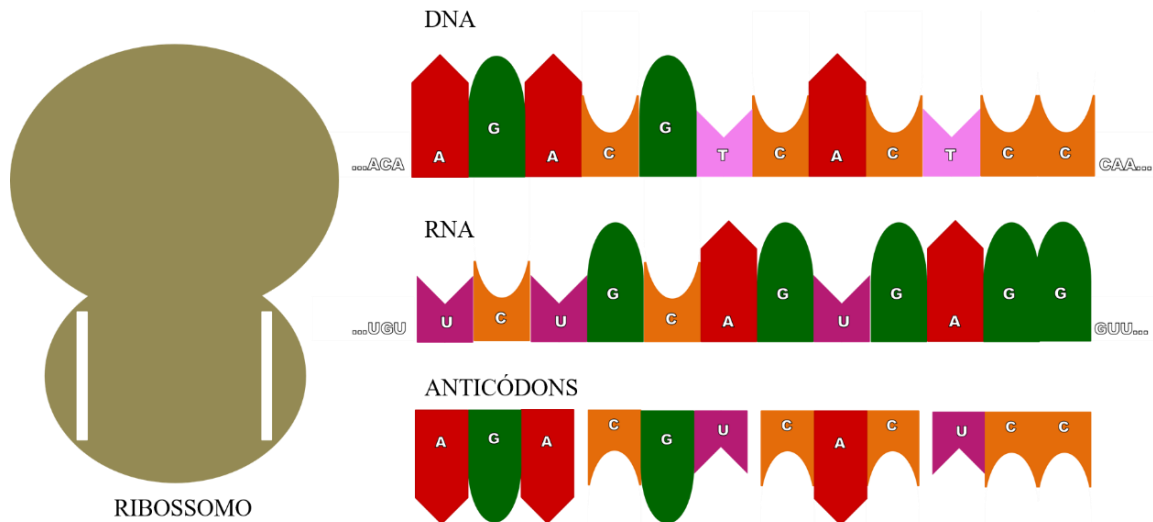


Figura 3: Exemplo das representações do modelo de transcrição e tradução. Fonte: autora.

		Segunda base do códon					
		U	C	A	G		
Primeira base do códon	U	UUU } Phe	UCU } Ser	UAU } Tyr	UGU } Cys	Terceira base do códon	U
		UUC } Leu	UCC } Ser	UAC } Tyr	UGC } Cys		C
		UUA } Leu	UCA } Ser	UAA stop	UGA stop		A
		UUG } Leu	UCG } Ser	UAG stop	UGG Trp		G
C	CUU } Leu	CCU } Pro	CAU } His	CGU } Arg	U		
	CUC } Leu	CCC } Pro	CAC } His	CGC } Arg	C		
	CUA } Leu	CCA } Pro	CAA } Gln	CGA } Arg	A		
	CUG } Leu	CCG } Pro	CAG } Gln	CGG } Arg	G		
A	AUU } Ile	ACU } Thr	AAU } Asn	AGU } Ser	U		
	AUC } Ile	ACC } Thr	AAC } Asn	AGC } Ser	C		
	AUA } Ile	ACA } Thr	AAA } Lys	AGA } Arg	A		
	AUG Met	ACG } Thr	AAG } Lys	AGG } Arg	G		
G	GUU } Val	GCU } Ala	GAU } Asp	GGU } Gly	U		
	GUC } Val	GCC } Ala	GAC } Asp	GGC } Gly	C		
	GUA } Val	GCA } Ala	GAA } Glu	GGA } Gly	A		
	GUG } Val	GCG } Ala	GAG } Glu	GGG } Gly	G		

BÁSICOS	ÁCIDOS
Arg – arginina	Asp – ácido aspártico
Lys – lisina	Glu – ácido glutâmico
His – histidina	

POLARES	APOLARES
Ser – serina	Gly – glicina
Thr – treonina	Leu – leucina
Cys – cisteína	Trp – triptofano
Asn – asparagina	Ala – alanina
Gln – glutamina	Ile – isoleucina
Tyr – tirosina	Met – metionina (início)
	Val – valina
	Phe – fenilalanina
	Pro – prolina

STOP – parada – fim da tradução
---------------------------------

Quadro 1: Tabela do código genético e classificação dos aminoácidos. Fonte: autora.

O material engloba um conjunto de quatro genes, a saber, os genes responsáveis pelos caracteres de interesse da espécie *Hazel graciosa* anteriormente citados. Para cada gene, foi produzida uma versão selvagem (que resulta no fenótipo padrão da espécie) e duas versões mutadas (mutações nas células de linhagem germinativa). Uma das mutações representa uma mutação vantajosa, quando a mudança da proteína produzida resulta em um fenótipo vantajoso em termos de sobrevivência e reprodução da espécie. A outra versão mutada de cada gene representa uma mutação silenciosa (não altera o aminoácido), neutra (a alteração do aminoácido não provoca alteração na proteína) ou deletéria (desvantajosa). Essa inserção de diversos tipos de mutações pode contribuir para a compreensão do caráter aleatório das mutações e de seus possíveis resultados. O conteúdo dos genes (nucleotídeos) e os aminoácidos resultantes nas proteínas, bem como os tipos de

mutação e os fenótipos foram todos idealizados pela pesquisadora e não refletem ligação com genes, mutações, proteínas e fenótipos reais. O quadro a seguir (Quadro 2) mostra os genes e os fenótipos selvagens, as funções das proteínas produzidas, os tipos de mutações que ocorrem a nível de DNA, os genótipos mutados e os fenótipos mutados.

CARACTERE	GENE SELVAGEM	PROTEÍNA ASSOCIADA	FENÓTIPO SELVAGEM	MUTAÇÃO	GENE MUTADO	FENÓTIPO MUTADO
1	...ACGTAACCCGCTA TGGAT...	Sinalizadora - apoptose para as células da membrana interdigital	Ausência de membrana interdigital	Deleção de base	...ACGTA <b>C</b> CCGCT ATGGATA...	Presença de membrana interdigital
				Substituição de base	...AC <b>A</b> TAACCCGC TATGGAT...	Ausência de membrana interdigital
2	...ACCGGATGTTAC TCCGA...	Sinalizadora - divisões celulares que formarão a orelha externa	Presença de orelha externa	Substituição de base	...ACCGGATGTT <b>C</b> TCTCCGA...	Ausência de orelha externa
				Substituição de base	...ACCGGATGTT <b>G</b> ACTCCGA...	Presença de orelha externa
3	...CCGTTAGTCCAA CGAAT...	Reguladora - atividade de divisão celular no focinho	Focinho curto	Inserção de base	...CCGTTAGT <b>T</b> C CAACGAA...	Focinho longo
				Inserção de base	...CCGTTAGTCC <b>C</b> AACT <b>G</b> AA...	Interrupção do desenvolvimento embrionário
4	...ACAAGACGTCACT CCCAA...	Reguladora - atividade de divisão celular na cauda	Cauda longa e fina	Substituição de base	...ACAAGACGT <b>T</b> CTCCAA...	Cauda larga e musculosa
				Deleção de base	...AC <b>A</b> GACGTCACT TCCCAAT...	Não há formação de cauda

Quadro 2: Relação de genes, proteínas, mutações e fenótipos presentes no modelo. Fonte: autora.

O gene para o caractere 1 é responsável pela produção da proteína que sinaliza a apoptose (morte celular programada) para as células da membrana interdigital formada durante o desenvolvimento embrionário, eliminando essa membrana. Através da mutação por deleção de base, os aminoácidos inseridos na proteína serão distintos e ela não poderá desempenhar sua função de sinalização. Dessa forma, o fenótipo mutante se estabelece e o animal apresentará membrana interdigital (Figura 4). Já quando ocorre uma mutação por substituição nesse gene, o novo códon formado codifica o mesmo aminoácido que o selvagem, configurando uma mutação silenciosa. Como resultado, não há alteração da estrutura ou função da proteína, portanto não há alteração fenotípica.

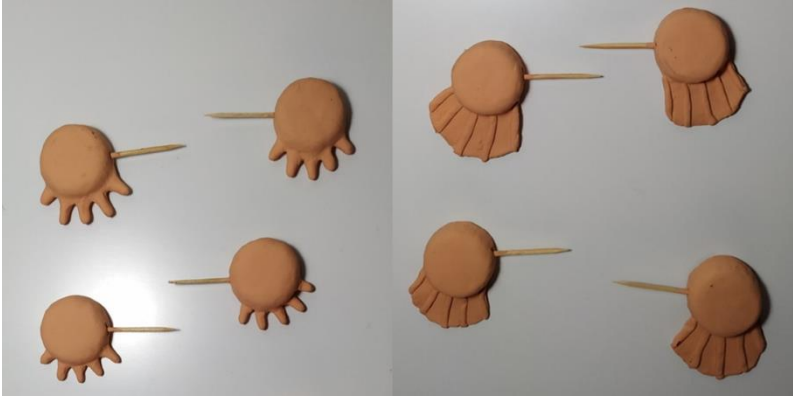


Figura 4: Dois pares de pés sem membrana interdigital – fenótipo selvagem (esquerda) e dois pares de pés com membrana interdigital – fenótipo mutado (direita). Fonte: autora.

O gene para o caractere 2 é responsável pela produção da proteína que sinaliza as divisões celulares que formarão a orelha externa. Através de uma mutação por substituição de base, o aminoácido inserido na proteína mutada (arginina– básico) é distinto em estrutura e características daquele presente na selvagem (serina – polar), impedindo a correta conformação estrutural da proteína. Como resultado da alteração da forma, essa nova proteína não desempenha função de sinalização e o fenótipo mutante se estabelece. Nesse caso, o animal não apresentará a estrutura orelha externa (Figura 5). Já no caso da outra mutação por substituição, o aminoácido inserido pelo novo códon (treonina - polar) é semelhante ao inserido na proteína selvagem. Dessa forma, a estrutura tridimensional da proteína não fica comprometida e não há alteração na sua função, logo também não há alteração do fenótipo.



Figura 5: Um par de orelhas externas – fenótipo selvagem. Fonte: autora.

O gene para o caractere 3 é responsável pela produção da proteína que regula a atividade de divisão celular no focinho, cessando as divisões quando o número de células apropriado ao seu tamanho é alcançado. Uma mutação por inserção de base altera o

código de leitura de alguns dos aminoácidos que são inseridos no peptídeo, alterando a formação da estrutura tridimensional padrão da proteína. Desta forma, ela não poderá desempenhar sua função de regulação da mesma maneira, alterando o fenótipo, gerando um focinho mais longo e largo (Figura 6). Outra mutação por adição de base resulta na inserção de um códon de parada antes do fim do RNAm. Nesse caso, a produção da proteína é interrompida sem que todos os aminoácidos necessários fossem adicionados, portanto a forma e a função da proteína ficam comprometidos. Na ausência da proteína de regulação do crescimento do focinho, o desenvolvimento do embrião é interrompido e ele morre.



Figura 6: Focinho curto – fenótipo selvagem (esquerda) e focinho comprido e largo – fenótipo mutado (direita). Fonte: autora.

O gene para o caractere 4 é responsável pela produção da proteína que regula a atividade de divisão celular na cauda durante a sua ontogenia, iniciando e cessando as divisões quando o número de células apropriado ao seu tamanho é alcançado. Através de uma mutação por substituição de base, o ácido glutâmico (ácido) é inserido no peptídeo em lugar da valina (apolar), comprometendo a função padrão de regulação. Dessa forma, o fenótipo mutante se estabelece e o animal apresentará uma cauda mais larga e musculosa (Figura 7). Outra mutação, por deleção de base, insere um códon de parada antes do fim do RNAm, interrompendo a formação do peptídeo. A proteína não se forma de maneira adequada, não podendo regular o início das divisões celulares da cauda. Como resultado, o fenótipo é alterado e o animal não apresenta cauda. Como a presença da cauda traz vantagens adaptativas no que diz respeito à sobrevivência e reprodução, essa característica tende a não ser fixada na população.



Figura 7: Cauda longa e fina – fenótipo selvagem (esquerda) e cauda larga e musculosa – fenótipo mutado (direita). Fonte: autora.

Na medida em que as mutações vantajosas ocorrem à nível de DNA e proteínas, o fenótipo do animal é mudado a partir da troca das peças no modelo. O acúmulo destas alterações fenotípicas (resultantes de mutação no DNA) no animal proporciona uma forma de ilustrar o processo de evolução, bem como do surgimento de novas espécies. A partir da espécie *Hazel graciosa*, surgirá uma nova espécie, cujas características a tornam mais adaptada a outro habitat e nicho ecológico – o ambiente aquático e a predação de peixes. A partir do modelo, podemos mostrar como o isolamento gerado pela transição de ambiente e nicho pode estabelecer um isolamento reprodutivo, interrompendo o fluxo gênico e gerando populações que agora evoluem separadamente.

O conjunto de caracteres após as mutações é: (1) pés natatórios – presença de membrana interdigital auxilia na natação; (2) ausência de orelha externa – corpo mais hidrodinâmico e veloz em mergulhos e nado submerso; (3) focinho mais comprido, narinas menores, abertura bucal maior – captura de peixes facilitada; e (4) cauda mais larga e musculosa – auxilia na natação.

Esses novo conjunto de caracteres compõe o padrão fenotípico e determina o nicho ecológico da nova espécie, *Hazel aquae* (Figura 8).



Figura 8: *Hazel aquae*. Fonte: autora.

*Hazel aquae* é um mamífero de pequeno porte aquático, que habita lagos e rios de águas tranquilas, nativo de florestas tropicais. De hábito alimentar carnívoro, a espécie consome pequenos animais que encontra em seu ambiente, principalmente peixes.

Os padrões fenotípicos das duas espécies podem ser observados na comparação entre o modelo montado com os caracteres originais e o modelo montado com os caracteres mutados (Figura 9).



Figura 9: *Hazel graciosa* – caracteres originais (esquerda) e *Hazel aquae* – caracteres mutados (direita).  
Fonte: autora.



Por fim, o modelo representa uma grande metáfora do romance “A Culpa é das Estrelas”. Inclusive, a frase “*É uma metáfora!*” (GREEN, 2012) é uma das primeiras e mais marcantes falas de Augustus Waters para Hazel Grace no romance. Da mesma forma que Hazel Grace sofre grandes transformações ao conhecer Augustus e experimentar o amor em meio ao sofrimento, *Hazel graciosa* acumula mudanças profundas (a nível de seu material genético) que dão origem à *Hazel aquae*. A partir de uma espécie terrestre, surge uma espécie com hábitos aquáticos. O sobrenome de Augustus significa “águas”, assim como o epíteto específico da nova espécie “*aquae*”. Dessa forma, se estabelece uma ligação entre as mudanças que *Hazel graciosa* acumula e as mudanças de Hazel Grace ao se apaixonar por Augustus “Waters”.

## 5.2 Uma Proposta de Aplicação

Como exposto anteriormente, os rumos dessa pesquisa foram alterados devido a atual pandemia de COVID-19. Neste tópico, apresento a minha proposta de aplicação como planejada anteriormente a esse cenário como sugestão de uso do modelo.

O universo de pesquisa seria composto por estudantes da 3ª série do ensino médio (entre 16 e 18 anos de idade) de uma instituição privada de ensino, sendo a pesquisa realizada nas dependências da instituição. Os critérios para escolha desse universo estão baseados na proposta das Orientações Curriculares para o Ensino Médio de trabalhar a EB como eixo integrador da Biologia, no conhecimento que temos de que os conteúdos de evolução são tratados nessa série e nos próprios objetivos da pesquisa. Na época, a escolha da instituição foi baseada na conveniência, sendo um de meus locais de trabalho como professora.

A turma de pesquisa seria montada a partir de um convite aberto aos alunos da turma da 3ª série do ensino médio, realizado pessoalmente durante o horário de aula, quatro semanas antes da pesquisa. Os estudantes interessados em participar receberiam o Termo de Assentimento Livre e Esclarecido e o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Apêndices A e B), sendo informados dos dias e horários de participação e quaisquer outros detalhes que precisassem.

Os instrumentos de coleta de dados seriam questionários mistos (AMARO, PÓVOA & MACEDO, 2005; CHAER, DINIZ & RIBEIRO, 2012) – (Apêndices C e D). Um questionário seria aplicado antes da apresentação do modelo em uma sequência didática, com o objetivo de perceber as concepções dos estudantes sobre EB e os conceitos de

interesse. Após a intervenção, outro questionário seria aplicado, acrescido de questões sobre as impressões pessoais e os efeitos individuais do recurso didático nos estudantes.

A pesquisa aconteceria em uma sequência didática dividida em três momentos, sendo três atividades distintas. As atividades devem ocorrer em sequência. A duração de cada atividade fica a critério do professor e de seu tempo disponível. Em minha proposta encaminhada ao CEP, as atividades foram distribuídas em três dias seguidos, com duração de 1 hora e 30 minutos cada. Segue a proposta da sequência:

a) No primeiro dia da sequência, a primeira atividade consistiria na apresentação do filme “A Culpa é das Estrelas”. Em seguida, seria feita a aplicação do questionário pré-intervenção e os questionários seriam recolhidos para posterior análise.

b) No segundo dia da sequência, num primeiro momento, os estudantes seriam encorajados a comentar livremente o filme durante algum tempo, até que a maioria tivesse a oportunidade de manifestar suas opiniões. Durante essa discussão, o professor deve estar atento para decidir o melhor momento de intervir e lançar uma pergunta de forma casual, de modo a guiar a discussão para um certo rumo. A pergunta seria: “Vocês acham que a culpa foi mesmo das estrelas?”

A partir dessa questão, dentro das diversas opiniões que seriam expostas como resposta, seria esperado que as mutações, a evolução ou o DNA fossem comentados (como são no próprio filme). Caso isso acontecesse, os próprios estudantes estariam encaminhando a conversa pelo rumo da discussão objetivada. No caso do filme, os materiais genéticos familiares herdados por Hazel Grace e Augustus Waters através de reprodução sexuada ou já continha uma mutação ou sofreram uma mutação, gerando o câncer e provocando os problemas. Essas mutações seriam as verdadeiras “culpadas”.

Caso os estudantes não levassem a discussão para esse rumo, o professor, ainda atento ao melhor momento para intervir, poderia lançar mais uma pergunta casual, como: “Vocês já ouviram a expressão ‘filho de peixe, peixinho é’?” Essa questão visaria fomentar entre os estudantes comentários sobre semelhança física ou comportamental de filhos em relação aos pais. Caso esses comentários viessem à tona, novamente os estudantes teriam rumado a discussão para o tema da hereditariedade e reprodução. Uma outra questão poderia ser feita, visando ampliar a discussão de hereditariedade e reprodução para outros grupos de seres vivos além dos animais, como: “é possível plantar uma semente de abóbora e ter como resultado um pé de melancia?” Novamente, seria esperado muitos comentários acerca de hereditariedade.

Tendo conseguido induzir o raciocínio dos estudantes por esse caminho, o professor poderia fomentar a discussão introduzindo a ideia de fluxo de informações, a transferência física de um material genético de uma geração para outra, com mais perguntas, como: “o que faz com que filhos sejam parecidos com pais?” “O que faz o filho do peixe ser um peixinho?” “O que tem na semente de abóbora que me garante que vai nascer um pé de abóbora e não de melancia?” A discussão finalmente seria direcionada ao DNA, sua localização nos corpos dos seres vivos e a transmissão de características entre as gerações através da reprodução.

Chegando nesse ponto, um segundo momento seria desenvolvido a partir de uma aula interativa sobre estrutura e expressão do DNA e de como essa molécula garante a transferência de informações de uma geração para outra durante a reprodução. Seriam utilizados os recursos disponíveis na instituição escolar, a saber: projetor, computador, quadro branco e pilotos. Durante essa aula, o professor exploraria a curiosidade estimulada pelas atividades prévias, desempenhando o papel de condutor e organizador das opiniões, ideias e vontades expressas pelos estudantes. Conseguindo que os estudantes tenham compreendido como e onde ocorrem os processos genéticos básicos responsáveis pela expressão e transferência de características, a saber, os processos de replicação, transcrição, tradução e reprodução, em especial a reprodução sexuada, incluindo o processo de gametogênese e a variabilidade genética que ele possibilita, é necessário estabelecer a conexão entre esses processos e a EB. Tendo em vista que essa sequência estaria proposta a estudantes de 3ª série do ensino médio e que esses temas são normalmente tratados nas duas primeiras séries, esses tópicos poderiam ser abordados como uma revisão, integrando todos esses temas previamente estudados por eles.

c) Para estabelecer essa conexão entre os processos e a EB, no terceiro dia da sequência didática, seria utilizado o modelo didático, manipulado pelos próprios estudantes. A espécie, com suas características e hábitos, seria introduzida através de uma apresentação de slides de apoio e do modelo animal propriamente dito. Durante a apresentação desses slides, o professor estimularia os estudantes a relembrem o que foi conversado no dia anterior, estabelecendo uma associação entre as características exibidas pela espécie exteriormente e seu material genético, lembrando que o corpo do animal é formado por células e que dentro delas, no núcleo, está o DNA responsável pelas suas características. Os estudantes seriam divididos em quatro grupos. Cada grupo receberia o material do modelo de um dos genes responsáveis pelas características apresentadas, cópias da tabela do código genético e um quadro magnético para fixarem os genes. Para cada grupo,

pediríamos que fizessem a tradução do trecho e anotassem os aminoácidos correspondentes. Em seguida, seria anunciado o fato de que certas mutações ocorreram nesses genes nas células da linhagem germinativa do animal. Os alunos receberiam o material do modelo dos genes mutados e seria solicitado que fizessem a tradução daqueles trechos, anotando os aminoácidos correspondentes após a mutação. Depois que todos os grupos tivessem completado suas tarefas, seriam estimulados a interpretar os resultados obtidos e apresentá-los aos demais grupos.

Esse seria o momento para o professor estimular uma discussão, guiando para os conceitos evolutivos de interesse, como a adaptação, seleção natural e o surgimento de novas espécies, apresentando as novas características fenotípicas do animal após as mutações. Dessa forma, os próprios estudantes poderiam chegar à conclusão de que algumas mutações poderiam ser vantajosas, resultando no aumento das variedades de características fenotípicas e outras não, resultando na morte do animal. Questões como: “Todas as mutações geraram mudanças?”, “Todas as mudanças foram negativas?”, “Essas mudanças vão aparecer no corpo do bichinho em quem aconteceram as mutações?”, “O tipo de célula que sofre mutação faz diferença?”, “Hazel e Augustus, no filme, teriam como passar suas mutações adiante como *Hazel graciosa* passou?”, “As mutações podem ocorrer naturalmente ao acaso, mas tem algo que possa provocar mutações?”, “Será que todas essas mutações aconteceram ao mesmo tempo?”, “Quanto tempo deve levar pra muitas mutações acumularem, de forma natural, numa espécie?”, “Esse focinho permite o mesmo tipo de alimentação que o outro?”, “Ter cauda ou não traz diferença para a locomoção do animal? E o tipo de cauda?”, “A ausência daquela orelha externa tão grande pode ser vantajosa de alguma forma?”, “A membrana interdigital pode trazer algum benefício para o animal em seu ambiente?” são exemplos de questões que poderiam nortear esse momento.

Lembrar os estudantes que o animal vivia nas margens de rios e se alimentava de pequenos animais também pode ser interessante para guiar a discussão em direção aos conceitos de adaptação e seleção natural. Perguntas como “O ambiente tem algum papel em definir se a característica é vantajosa ou não?”, “E se o animal fosse pra dentro do rio em algum momento, quais características facilitariam a vida dele por lá?”, “Se os rios secassem e o ambiente se tornasse um deserto, essas características seriam vantajosas no novo ambiente?” poderiam ajudar a direcionar a conversa.

Dirigindo a discussão para a sua conclusão, o professor evidenciaria o quanto o nicho ecológico da espécie variou mudança após mudança. Por fim, o professor pode

perguntar: “você acham que ao acumular essas mutações e passar de um ambiente para o outro, mudando vários aspectos do nicho ecológico, é possível que ele desse origem a uma nova espécie?” Com base nas respostas dos estudantes, o professor poderia introduzir os conceitos de espécie e isolamento reprodutivo na conversa, direcionando-a ao seu desfecho final. Nesse ponto, o professor concatenaria todas as respostas e opiniões expressas até então para formalizar a conceituação dos termos e organizar todo o conhecimento construído sobre como ocorre o processo de especiação na EB. Utilizando o modelo, ele pode mostrar como esse processo resultou no surgimento de uma nova espécie, *Hazel aquae*. Tendo encerrado o primeiro momento, aplicaríamos o questionário pós-intervenção.

Quanto a análise dos questionários, a presença dos estudantes seria marcada todos os dias da pesquisa de modo a perceber possíveis influências da falta ou presença durante o decorrer das aulas. As questões abertas seriam analisadas qualitativamente por análise do conteúdo (BARDIN, 1977), visando compreender as ideias dos estudantes a respeito da evolução. Essa análise “conduzindo a descrições sistemáticas, qualitativas ou quantitativas, ajuda a reinterpretar as mensagens e a atingir uma compreensão de seus significados num nível que vai além de uma leitura comum” (MORAES, 1999). Questões fechadas seriam analisadas através de tratamento estatístico simples (frequências e médias).

## **6 DISCUSSÃO**

### **6.1 Potencialidades na Superação das Dificuldades de Ensino-Aprendizado**

#### **6.1.1 Sobre as Preconcepções dos Estudantes e os Obstáculos Epistemológicos de Bachelard**

Como exposto previamente, Koga e Souza (2014) e Paiva (2015) propõem que uma das possíveis explicações para a dificuldade no aprendizado são as concepções prévias dos estudantes em relação ao tema proposto, construídas a partir de seu contexto sociocultural. Nesse ponto, para aprofundar a discussão, evoco novamente os conceitos de obstáculos epistemológicos e pedagógicos de Bachelard.

Em sua obra *A formação do espírito científico* (1996), Bachelard introduz os obstáculos epistemológicos como pontos de resistência ao conhecimento científico que podem ocasionar a lentidão ou mesmo o regresso deste último. Como explicam Araújo e Rosa (2015), esses obstáculos “resultam da própria atividade cognitiva na relação sujeito-

objeto, podendo dificultar a abstração e a construção dos objetos teóricos da Ciência”. Bachelard (1996) propõe que os obstáculos se dão não por algo externo como “a complexidade e a fugacidade dos fenômenos, nem (...) (pela) fragilidade dos sentidos e do espírito humano: é no âmago do próprio ato de conhecer que aparecem.” No campo educacional, o autor enfatiza a necessidade de os professores conhecerem as concepções de seus estudantes. Bachelard (1996 p. 23) defende que geralmente os professores não consideram o fato de que os estudantes “entra(m) na aula (...) com conhecimentos (...) já construídos”, portanto o aprendizado “não se trata (...) de adquirir uma cultura (...), mas de mudar uma cultura (...), de derrubar os obstáculos já sedimentados pela vida cotidiana.”, fundamentando a problemática do obstáculo pedagógico, que impede o professor de entender por que o aluno não compreende (LOPES, 1996; ANDRADE, ZYLBERSZTAJN&FERRARI, 2002).

A proposta apresentada neste TCM visa tanto superar este tipo de obstáculo através da utilização do modelo quanto ajudar o professor na aplicação desta estratégia educacional através de instruções passo a passo. A partir da proposta sugerida, o professor pode compreender as razões didáticas propostas em cada passo das atividades.

Sobre o papel do professor e a importância do reconhecimento desses obstáculos, Lopes (1996 p.21) defende que “o processo de mediação didática efetuado na escola é capaz de promover a (re)construção dos conceitos científicos, de forma a facilitar o processo de ensino-aprendizagem”, mas para que isso seja possível, os professores devem estar atentos à necessidade de superar esses obstáculos. As formas de obstáculos epistemológicos que refletem em obstáculos pedagógicos são inúmeras, mas independente da sua natureza, eles necessitam ser identificados e retificados. Apesar disso, não devem ser compreendidos como algo falho ou aspectos pontuais de estudantes com dificuldades, mas como inerentes ao processo de ensino aprendizagem e importantes para que a aprendizagem aconteça de forma satisfatória. Além de questionamentos e críticas, para que o aprendizado seja estabelecido, é necessária a ruptura entre o conhecimento comum e o científico (LOPES, 1993; GOMES & OLIVEIRA, 2007). Nesse ponto, diversos autores corroboram a ideia de que os obstáculos devem ser tratados como concepções que resistem às mudanças, mas não devem ser encarados como uma ausência de conhecimento ou como um fator puramente negativo, pois fazem parte do processo de conhecer (BULCÃO, 1981; GALLI e MEINARDI, 2011; LARENTIS et al., 2012; LABATI-TERRA et al., 2014; LUCA, 2020).

Partindo do fato de que desconhecer os obstáculos epistemológicos dos estudantes provoca um pedagógico aos professores (ANDRADE, ZYLBERSZTAJN & FERRARI, 2002), identificar esses obstáculos de forma assertiva é fundamental para a sua completa superação. Ainda em “A Formação do Espírito Científico”, Bachelard (1996) distingue diversos tipos de obstáculos epistemológicos, a saber: o obstáculo primeiro ou da experiência primeira, o conhecimento geral, o obstáculo verbal, o conhecimento unitário e pragmático, o substancialista, o realista e o animista.

O *obstáculo primeiro* é o gerado pelo senso comum de cada estudante, um conhecimento adquirido em toda a vivência, sem cunho científico, baseado na opinião e observação básica. Nesse obstáculo, a observação e descrição superficiais de um objeto são suficientes para conhecê-lo. Ele reside antes e acima de qualquer crítica. Quando este conhecimento se depara com as teorias científicas, causa estranhamento (ANDRADE, ZYLBERSZTAJN & FERRARI, 2002; PRÄSS, 2008; MELZER et al, 2008; MIRANDA & ARAÚJO, 2012; LABATI-TERRA et al, 2014; TRINDADE, NAGASHIMA & ANDRADE, 2019). No *conhecimento geral*, “o singular é, de diferentes formas, absorvido, excluído ou desconsiderado pelo geral” (NEUBERN, 2001 p. 246). Esse obstáculo fornece as mesmas respostas (vagas, fixas, seguras e gerais) para todas as perguntas, gerando certezas que imobilizam a razão e privam os indivíduos da motivação para se questionarem sobre as particularidades dos fenômenos (SANTOS, 1991; ANDRADE, ZYLBERSZTAJN & FERRARI, 2002; TRINDADE, NAGASHIMA & ANDRADE, 2019).

O *obstáculo verbal* configura-se pelo uso descuidado e fora de contexto da linguagem científica. Uma só palavra, como uma imagem, analogia ou metáfora, constitui uma falsa explicação definitiva, utilizando do senso comum para exemplificar conceitos que dependem de termos mais complexos. Essa palavra, que é concreta, afasta a necessidade da abstração. Essas palavras, aprendidas em contextos não científicos e com significados divergentes ou simbólicos para o indivíduo, constituem barreira ao ensino formal das ciências (SANTOS, 1991; MELZER et al 2008; AIRES; GUIMARÃES; LARA, 2009, p. 1; MIRANDA & ARAÚJO, 2012; TRINTIN, 2018; TRINDADE, NAGASHIMA & ANDRADE, 2019). No *conhecimento pragmático*, os fenômenos são explicados através do seu caráter utilitário. Entende-se a natureza, particularmente cada fenômeno, como tendo um objetivo, uma razão de existir, uma função a executar. Sua função serve de explicação de tal fenômeno (ANDRADE, ZYLBERSZTAJN & FERRARI, 2002; TRINTIN, 2018).

O *obstáculo animista* é aquele em que “os fenômenos são explicados através de analogias com comportamentos humanos” (BARROS, 2010, p. 1), isto é, tende a dar características de seres vivos a objetos inanimados (MIRANDA & ARAÚJO, 2012). No *obstáculo realista*, imagens concretas (...) são geradas pela mente do estudante na tentativa de explicar fenômenos abstratos, ou ainda na forma de analogias que podem empobrecer o desenvolvimento científico (DIAS, LEITE & SILVEIRA 2006; BARROS 2010, p.1:). Os *obstáculos substancialistas* são aqueles que demonstram mais as qualidades de uma determinada substância do que a propriedade da mesma (AIRES, GUIMARÃES & LARA, 2009).

Contextualizando os conceitos de Bachelard no tema do ensino-aprendizado da evolução biológica, podemos inferir que a experiência cotidiana e o senso comum formam esses conhecimentos prévios nos estudantes, construindo os obstáculos. Esses obstáculos têm início quando os estudantes têm o primeiro contato com o tema EB, seja num contexto acadêmico ou, mais comumente, fora dele. As atividades propostas neste trabalho se propõem a superar alguns destes obstáculos mediante a utilização do modelo. Na proposta de aplicação sugerida, é utilizada uma estratégia educacional na qual os alunos percorrem caminhos de raciocínio semelhantes àqueles utilizados pelos pesquisadores na época de suas descobertas.

No que diz respeito a produção científica no ensino de evolução, há convergências nos trabalhos sobre concepções, sendo consideradas comuns concepções teleológicas, marcadas por atribuição de finalidade e progresso ao processo evolutivo, bem como lamarckistas e neolamarckistas, com foco nos conceitos de adaptação, seleção natural e a variação populacional (BIZZO, 1991; JENSEN&FINLEY 1995; 1997; SINATRA; BREM & EVAN, 2008; GASTAL et al, 2009; RIBEIRO et al, 2010; OLEQUES, BARTHOLOMEI-SANTOS & BOER, 2011; BLANCKE et al, 2012; SEPULVEDA & EL-HANI, 2008, 2014; ARAÚJO & ROSA, 2015; ENRIONE, 2016). Outros autores defendem ainda que a forte influência do criacionismo sobre o senso comum representa um grande obstáculo para a compreensão do processo evolutivo (MEYER & EL-HANI, 2005; TIDON & VIEIRA, 2009).

Galli e Meinardi (2011) defendem que é natural do ser humano a construção de um pensamento teleológico (a crença de que tudo que existe tem uma finalidade ou um propósito), tornando desafiador para os docentes a abordagem do tema EB em sala de aula. Esse tipo de pensamento se enquadra no obstáculo pragmático, obstáculo ao ensino da seleção natural, adaptação e compreensão da natureza do processo evolutivo. Nesse



caso, os estudantes permanecem estagnados na concepção errônea de que as características de cada ser vivo têm funções específicas e são explicadas por essas funções. Como consequência, esses estudantes percebem a evolução como um processo direcionado ao progresso das características, no qual os organismos aspirariam determinadas mudanças, desenvolvimento e melhorias. Essa percepção pode parecer suficiente aos alunos, que não desenvolvem os questionamentos e reflexões necessários para alcançar a completa e correta compreensão dos conceitos de adaptação, seleção natural e variação populacional.

Além dessa concepção teleológica, o ensino de evolução também pode ser dificultado pelos conhecimentos do senso comum que constituem obstáculos de experiência primeira. Seja pelo caráter polissêmico das palavras evolução, adaptação, mutação e suas múltiplas formas de utilização no cotidiano (SEPULVEDA; MORTIMER & EL-HANI, 2014), seja pela popularização de noções como “a evolução diz que o homem veio do macaco”, o senso comum sobre EB não é compatível com sua compreensão científica. Somado a isso, a crença de que a diversidade da vida é resultado, tal como é, de criação divina e a visão da EB como ameaça a esses valores tradicionais religiosos podem contribuir para uma resistência ao desenvolvimento do conhecimento dos estudantes no tema (FUTUYMA, 2002). Nesse ponto, uma das principais dificuldades parece ser a noção de que cada característica foi perfeitamente desenhada e projetada para ser tal como é, uma visão conhecida como design inteligente (AMARAL & SILVA, 2013). Esses estudantes entendem o ser humano como “algo tão perfeito” e acreditam que “na vida sempre estamos nos aperfeiçoando e melhorando” e “tem que ter alguém que criou isto tudo” (SANTOS & BIZZO, 2000). Essa noção afasta os estudantes do fato de que as mudanças dependem das mutações, que são de caráter aleatório. Espera-se que as atividades propostas apresentadas contribuam para a compreensão de que a suposta perfeição observada nos seres vivos é fruto de mutações aleatórias associadas a eventos também aleatórios, como as variações que ocorrem no meio ambiente.

A superação desses obstáculos depende, primeiramente, da sua identificação. Aprofundar o conhecimento sobre esses obstáculos, bem como considerá-los durante o processo de desenvolvimento e planejamento da utilização do modelo didático “A Culpa é das Mutações” foi fundamental para potencializar a sua utilização na superação deles. A oportunidade de apresentar de forma materializada o caráter aleatório das mutações e adaptativo da seleção e fixação de determinadas características pode contribuir significativamente no processo de ensino-aprendizado da EB. As principais preconcepções investigadas pela literatura científica podem ser expostas, exploradas e discutidas com

intencionalidade durante a apresentação do modelo, oportunizando ricas experiências de aprendizado e troca de conhecimentos.

### **6.1.2 Sobre a Desconexão Entre os Conteúdos de Genética e Evolução**

Como expresso por Mead, Hejmadi e Hurst (2017), apesar de a relação entre os conhecimentos de genética e evolução e os impactos dessa relação no processo de ensino-aprendizado não ser um tema tão amplamente estudado, parece intuitivo que a desconexão curricular dos conteúdos de genética e evolução seja um forte fator de influência nas dificuldades de ensino-aprendizado no tema EB. De acordo com as autoras e o autor, “o DNA é o material hereditário por meio do qual ocorre a variação necessária para que ocorra a evolução” (p. 3), não fazendo sentido apresentá-los de forma desconexa. Além disso, as autoras e o autor ainda defendem que genética básica é considerada um tema mais neutro e menos controverso do que a evolução, podendo facilitar o caminho para a introdução do tema EB com maiores chances de aceitação e interesse por parte dos estudantes. Outros autores corroboram a ideia de que a associação da genética ao tema EB possa trazer benefícios ao processo de ensino-aprendizado (VALENÇA & FALCÃO, 2012; MILLER, SCOTT & OKAMOTO, 2006; SMITH, BAUM & MOORE, 2009).

Smith, Baum e Moore (2009) afirmam que o ensino de evolução poderia ser mais relevante e atraente para os estudantes se exemplos interessantes e tangíveis da genética fossem integrados ao ensino de evolução. De acordo com os autores, se a melhor forma de entender a relação genótipo-fenótipo está no nível da proteína, então essa relação deveria ser ensinada a nível da proteína. Os autores apontam, como exemplo, as ervilhas de Mendel, tópico que poderia ser aproveitado para questionar, por exemplo, por que eram lisas ou enrugadas, introduzindo a mutação genética como fonte de variedade alélica e genotípica necessária para a ocorrência da evolução através da seleção natural e demais fatores evolutivos.

Nesse ponto, ainda existe o problema da compreensão do próprio conceito de mutação, que tem raízes na genética e exerce papel fundamental no processo evolutivo, reforçando a importante relação entre os temas. Como exposto anteriormente, as causas e tipos de mutação raramente são conhecidos pelos estudantes, que interpretam o termo a partir de suas experiências cotidianas. Essa compreensão superficial e não científica do termo pode, inclusive, construir obstáculos epistemológicos e pedagógicos ao processo de ensino-aprendizado. Como resultado, esses estudantes acabam relacionando a mutação a seres humanos com dons especiais ou super-heróis, humanos com características

animais ou monstros, mudanças tecnológicas ou robóticas que possam ser feitas no corpo dos seres humanos ou ainda um fenômeno negativo, que sempre causa doenças (SHAW et al., 2008; NASCIMENTO, 2013), se distanciando do conhecimento científico sobre o tema. Smith, Baum e Moore (2009) também apontam para o entendimento a nível molecular das mutações como chave para a compreensão da geração de variações alélicas e genotípicas ao longo do processo evolutivo da vida no nosso planeta.

Tendo em vista esse panorama, o modelo “A Culpa é das Mutações” tem o potencial de contribuir tanto na exploração da relação entre genética e evolução quanto na desmistificação do conceito de mutação. No primeiro caso porque, pela sua própria natureza de modelo didático, ele materializa e permite uma clara visualização da relação genótipo-fenótipo. Os fragmentos de genes nele representados estão relacionados a produção de determinadas proteínas, que resultam nas características visualizadas na espécie *Hazel graciosa*. Uma vez que as mutações genéticas ocorrem nesses fragmentos, as proteínas são alteradas, resultando em características diferentes no animal. A possibilidade de visualização desses processos permite ainda explorar os conceitos de seleção natural, adaptação e fixação das características, bem como o de especiação. As características de *Hazel graciosa* tornam a espécie bem adaptada ao nicho que ocupa em seu ecossistema. O acúmulo de novas e distintas características permite a exploração e o sucesso no estabelecimento do animal em outro nicho, diferente do anterior, onde agora está bem adaptado. Uma vez que surgem características que são vantajosas ao organismo em termos de sobrevivência e reprodução, essas características são mantidas e suas frequências dentro da população aumentadas em relação às características anteriores. Quando isso atinge o ponto de se formar um isolamento reprodutivo entre as duas variações, fica estabelecido o surgimento de uma nova espécie, *Hazel aquae*.

No que diz respeito a desmistificação do conceito de mutação, o modelo também tem o potencial de ilustrar, a nível molecular, a natureza aleatória do processo bem como as possíveis consequências dessas mutações. Justamente com esse objetivo, foram incluídas no modelo tanto mutações silenciosas (que não interferem no fenótipo) quanto aquelas que geram alterações nas proteínas produzidas e seus respectivos fenótipos. Dentro desse segundo grupo, foram incluídas tanto mutações que geram características vantajosas ao indivíduo quanto mutações deletérias, além de mutações neutras – que não interferem no valor adaptativo da espécie.

Em suma, podemos concluir que o modelo apresenta grandes potencialidades de contribuição tanto na integração dos conceitos de genética ao tema da EB quanto na desmistificação dos conceitos chave da evolução.

### **6.1.3 Sobre a Utilização de Produções Literárias, Cinematográficas e Mídias Diversas no Ensino de Ciências, Genética e Evolução**

Como argumentado anteriormente, elementos do cinema e literatura, quando utilizados em sala de aula, podem auxiliar o processo de ensino-aprendizado por facilitarem a contextualização dos temas científicos nos espaços de vivência do aluno, bem como por despertarem certos sentimentos nos estudantes (GUERRA & MENEZES, 2009; SANTOS, 2016). Com o crescente número de produtos como livros, filmes, séries e jogos que envolvem os temas de genética e EB não é difícil encontrar materiais da cultura geral que possam ser utilizados em sala de aula.

Despertar o interesse dos adolescentes para temas científicos através de produtos direcionados para sua diversão e lazer pode contribuir muito no processo de ensino-aprendizado. Interesse, emoção e motivação são apontados, no campo da neuroeducação, como essenciais nesse processo. Carvalho, Campos Junior e Souza (2019) afirmam que quanto maior a carga emocional durante o processo de aprendizado, maior será o nível de conteúdo armazenado, sendo importante que professores estimulem emoções positivas como entusiasmo, envolvimento, curiosidade e desafio aos seus estudantes. Fernandes e colaboradores (2015) afirmam que a aprendizagem está associada ao prazer, a liberação de serotonina, memória, atenção voluntária focada e significação do que se está aprendendo. Para além de modelos didáticos, jogos pedagógicos, e outros recursos que são produzidos especificamente com a finalidade de ser educativos, produtos da cultura geral voltados para diversão e lazer têm a vantagem de já fazer parte do cotidiano dos estudantes, tendo estimulado o seu interesse e atenção previamente à sua utilização como recurso didático.

Em relação ao ensino de evolução, estudos como o de Hillis (2007) propõem que o tema não tem sido apresentado de forma atraente e relevante aos estudantes. O autor expõe que ao invés de aproveitar o potencial do tema como um campo de estudo empolgante, com novas descobertas e aplicações sendo desenvolvidas todos os dias, temos apresentado a EB como uma ciência antiquada, com exemplos antigos e sem nenhuma relevância na vida cotidiana. Dentre as sugestões do autor para tornar o tema mais interessante para os estudantes está a utilização de exemplos de Biologia evolutiva da mídia

popular, como filmes e séries, além da exposição da relevância do tema em questões que afetam diretamente a vida humana, como agricultura e o desenvolvimento de doenças.

Como inspiração para o modelo didático “A Culpa é das Mutações”, foi escolhido não um livro/filme de ficção científica, mas um drama envolvendo um romance entre protagonistas adolescentes. Além da presença do tema de interesse no enredo, a obra tem um apelo emocional forte, gerando envolvimento e empatia pela história e pelos personagens. Como já vimos, o envolvimento emocional potencializa o aprendizado. Abrantes (2014) afirma que desde que exista emoção o suficiente em uma determinada experiência, somos capazes de registrá-la na memória e ativá-la posteriormente. Nos últimos anos, outros exemplos de dramas com a mesma temática (condições clínicas causadas por questões genéticas) foram lançados e cativaram a atenção do público adolescente, por exemplo: “Agora e Para Sempre” (*Now is Good* – 2012), “Eu, Você e a Garota Que Vai Morrer” (*Me and Earl and The Dying Girl* – 2015), “A Teoria de Tudo” (*The Theory of Everything* – 2015), “Tudo e Todas as Coisas” (*Everything, Everything* – 2017), “Sol da Meia-Noite” (*Midnight Sun* – 2018), “A Cinco Passos de Você” (*Five Feet Apart* – 2019) e *Clouds* (2020). Esse tipo de obra pode, como sugerido por Hills (2007), além de facilitar e abrir espaço para discutir os conteúdos de genética e evolução, evidenciar o impacto da EB na vida humana, reforçando para os estudantes a relevância de estudar e compreender o tema, potencializando o sucesso do processo de ensino-aprendizado.

## **6.2 Possíveis Contribuições da Aplicação do Modelo e Outras Potencialidades**

### **6.2.1 Possíveis Resultados da Aplicação**

Para pensar nos possíveis resultados e respostas obtidas a partir da apresentação do modelo nessa sequência didática, faço aqui uma análise comparativa com os resultados do trabalho de monografia intitulado “Um olhar bachelardiano sobre as dificuldades no ensino-aprendizagem de genética”, de Felipe Sarges de Luca (2020). Nesse trabalho, foi realizada uma sequência didática com etapas muito semelhantes àquelas propostas no tópico acima, incluindo a utilização de questionários antes e após a intervenção e um modelo didático. O objetivo era identificar os obstáculos epistemológicos associados ao ensino e genética no que diz respeito ao tema tipos sanguíneos e superá-los através da sequência didática, utilizando um modelo didático que permitisse tanto a visualização dos processos envolvidos na geração dos diferentes tipos sanguíneos quanto a diferença fenotípica real entre as hemácias de cada um dos tipos.

A partir da análise das respostas do questionário pré-intervenção do trabalho de Luca (2020), podemos perceber que quando questionados acerca da razão da existência de diferentes tipos sanguíneos, do total de 19 estudantes, 8 estudantes mencionaram a genética como a razão da existência de diferentes tipos sanguíneos, 5 estudantes afirmaram não saber a razão e um grupo de 6 estudantes demonstrou apresentar uma visão funcional, teleológica e pragmática sobre a existência dos tipos sanguíneos. Podemos perceber também que quando questionados se a genética tem relação com os tipos sanguíneos, 17 dos 19 estudantes afirmaram que sim. Apesar disso, dos 17 estudantes, 11 indicaram a genética entre outros fatores. Pôde-se perceber através dessas respostas que mesmo antes da aula teórica e exposição do modelo, a maioria dos estudantes reconhecia existir uma relação entre fenótipo e genética. Foi exposto também um obstáculo epistemológico de conhecimento pragmático em relação a razão da existência dos tipos sanguíneos. Desse resultados, podemos inferir que, na sequência didática de “A Culpa é das Mutações”, seria muito provável que o questionário pré-intervenção expusesse os conhecimentos prévios dos estudantes em relação a EB, sua relação com a genética e as mutações, bem como os obstáculos epistemológicos que se opõem ao correto entendimento da evolução.

Nos resultados do questionário pós-intervenção, Luca (2020) observou que nenhum estudante se utilizou de argumentos funcionalistas para definir o que determinava os tipos sanguíneos. Observou também que a maioria dos estudantes agora utilizava termos relacionados aos processos genéticos responsáveis pela geração dos distintos tipos sanguíneos para explicar sua origem, sugerindo a superação do obstáculo de conhecimento pragmático. Sabendo que o obstáculo de conhecimento pragmático é um dos principais obstáculos no ensino-aprendizado de EB, os resultados de Luca (2020) estabelecem uma perspectiva de superação do obstáculo através da apresentação do modelo “A Culpa é das Mutações”.

Ainda no questionário pós-intervenção do trabalho de Luca (2020), quando questionados acerca de sua opinião sobre a aula, críticas e sugestões, os estudantes expressaram a vontade de ter mais experiências pedagógicas nesse padrão, como a utilização de modelos didáticos em aulas de outros temas. Luca (2020) afirma ainda que os estudantes estavam empolgados e comentaram o sucesso da pesquisa por semanas, demonstrando o interesse, a motivação e o envolvimento emocional dos estudantes com a dinâmica.

Através desse paralelo com o trabalho de Luca (2020), podemos inferir que as contribuições do modelo “A Culpa é das Mutações” ao ensino de evolução podem incluir a identificação e superação dos principais obstáculos epistemológicos no tema EB, o

estabelecimento de uma melhor compreensão da conexão entre os eventos genéticos e os fatores evolutivos e o entendimento do conceito de mutação, bem como de sua natureza e características peculiares. Os resultados de Luca (2020) sugerem também que essa experiência pedagógica pode aumentar o interesse, a motivação e o envolvimento emocional dos estudantes com o conteúdo, fatores cruciais para um aprendizado significativo.

### **6.2.2 Outras Potencialidades**

Como exposto anteriormente, a evolução biológica é o pano de fundo que conecta todos os conhecimentos da Biologia, de forma que permeia todos os assuntos abordados nessa disciplina. A EB é o que permite desde o entendimento da estrutura de uma única célula até das condições que possibilitam o equilíbrio dos ecossistemas que compõem a biosfera. Como o modelo didático produzido nesse mestrado foi pensado para o ensino de Evolução, por conta da própria característica integradora da evolução, o modelo pode ser utilizado nas mais diversas aulas de Biologia.

Algumas possibilidades de utilização do modelo para além das aulas de EB incluem as aulas de Seres Vivos, como exemplificação de nomes específicos durante a exposição de regras de nomenclatura ou da hierarquia taxonômica do sistema de Reinos. Ou ainda a utilização do modelo nas aulas de Reino Animal, expondo a espécie como um mamífero, enfatizando as características peculiares do grupo, ou ainda propondo uma anatomia comparada entre as duas espécies. O modelo poderia também ser utilizado nas aulas de Ecologia, definindo as diferenças entre os nichos, os habitats e as relações ecológicas que estabelecem. Poderia ainda ser utilizado nas aulas de estrutura do DNA, transcrição e tradução, expondo os processos e criando um paralelo com o fenótipo do animal.

Além disso, para além das salas de aula, o modelo também pode ser apresentado em oficinas de divulgação científica, aproximando o público dos conhecimentos e despertando a curiosidade para temas relevantes como a evolução.

## **7 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O produto desse mestrado profissional consiste no modelo didático “A Culpa é das Mutações”. O modelo produzido tem a potencialidade não apenas de atender os objetivos geral e específicos propostos nesse trabalho, mas revela inúmeras potencialidades que, se bem exploradas, poderão contribuir significativamente no ensino de evolução e no ensino de Biologia, de forma geral. Além dos estudantes, o professor será também beneficiado por esse produto, tendo em vista que a proposta de aplicação pode funcionar como um roteiro passo a passo que facilitará o uso do modelo. Futuros trabalhos serão

propostos com a aplicação do modelo em sala de aula, o que permitirá uma exploração mais concreta dessas potencialidades.

Concluo esse mestrado com a certeza de que foi um fruto de resiliência e resistência em meio ao caos instalado em nossa sociedade em escala global. A ciência e o ensino da ciência nunca se provaram tão relevantes. Espero que minha contribuição possa fazer alguma diferença no que diz respeito a esses temas.



## REFERÊNCIAS:

ABRANTES, P. De como escrevemos a vida e a vida se inscreve em nós: um estudo da socialização através da análise de autobiografias. **Educ. Soc.** v. 35, n. 126, p. 111-127. Campinas, mar. 2014.

AIRES, R.A. RIBEIRO, J.S.V.; FIGUEIREDO, G.A.C.; VALLIM, M.A.; GÓES, A.C.S. Uma História de Heredograma em Cem Anos de Solidão. **Revista Genética na Escola.** v.14, n.2, p.126-131. 2019.

AIRES, A. J.; GUIMARÃES, O. M.; LARA, S. M. Obstáculos epistemológicos no ensino de Química: Uma análise do livro didático público do Paraná. **Congresso Paranaense de Educação de Química**, v.1. Londrina, 2009. **Anais.**

AMARAL, J.A.A.& SILVA, M. E. Fatores Que Dificultam Ou Facilitam O Ensino-Aprendizagem De Evolução Biológica Na Visão De Professores De Biologia Em Mossoró/RN. In: **Congresso De Iniciação Científica Do IFRN.** v.9. Currais Novos, 2013. **Anais.**

AMARO, A.; PÓVOA, A.; MACEDO, L. **A arte de fazer questionários.** Porto, Portugal: Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 2005.

ANDRADE, B.L.; ZYLBERSZTAJN, A.; FERRARI, N. As analogias e metáforas no ensino de ciências à luz da epistemologia de Gastón Bachelard. **Ensaio - Pesquisa em Educação em Ciências.** v.2, p. 1-11. 2002.

ANDRADE, E. S. **Dialogando sobre Origem da Vida e Evolução Biológica a partir de Obstáculos Epistemológicos: uma análise dos processos de ensino-aprendizagem no Ensino Fundamental.** 2017. 126fs. Dissertação de Mestrado em Educação em Ciências e Matemática – Instituto de Educação da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, RJ, 2017.

ARAÚJO, L. A. L.; ROSA, R. T. D. Obstáculos à compreensão do Pensamento Evolutivo: Análise em Livros Didáticos de Biologia Aprovados Pelo PNL D 2012. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências.** v.15, n.3, p.581-596. 2015.

ARROIO, A. The role of cinema into science education. **Problems of education in the 21st century**, v. 1, p. 25-30, 2007.

ARROIO, A. Context based learning: A role for cinema in science education. **Science Education International**, v. 21, n.3, p. 131-143, 2010.

BACHELARD, G. **A epistemologia.** Lisboa: Edições 70, 2000.

BACHELARD, G. **A formação do espírito científico.** Rio de Janeiro: Contraponto Editora, 1996.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo.** Lisboa: Edições 70, 1977.

BARROS, M. A. S. Obstáculos epistemológicos: O conceito de Quantização de energia nos livros didáticos de química do ensino médio. In: **Encontro Nacional do Ensino de Química.**v.15. Brasília. 2010.

BIXLER, A. Teaching Evolution with the Aid of Science Fiction. **The American Biology Teacher**, v. 69, n. 6, p. 337-340, ago. 2007.

BIZZO, N. M. V. **Ensino de evolução e história do darwinismo**. 1991. 494f. Tese de Doutorado – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

BIZZO, N.; EL-HANI, C. N. Darwin and Mendel: evolution and genetics. **Journal of Biological Education**, v. 43, n. 3, p. 108-114, 2009.

BLANCKE, S. DE SMEDT, J., DE CRUZ, H.; BOUDRY, M.; BRAECKMAN, J. The Implications of the Cognitive Sciences for the Relation Between Religion and Science Education: The Case of Evolutionary Theory. **Science & Education**. v. 21, p.1167-1184.2012.

BOGDAN, R. S.; BIKLEN, S. **Investigação qualitativa em educação: uma introdução à teoria e aos métodos**. 12.ed. Porto: Porto, 2003.

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC, 2017. Disponível em: <[http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC\\_EI\\_EF\\_110518\\_versaofinal\\_site.pdf](http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf)>. Acesso em: 10 de abril de 2020.

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular – Ensino Médio**. Brasília: MEC, 2018. Disponível em: <[http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com\\_doman&view=download&alias=85121-bncc-ensino-medio&category\\_slug=abril-2018-pdf&Itemid=30192](http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_doman&view=download&alias=85121-bncc-ensino-medio&category_slug=abril-2018-pdf&Itemid=30192)>. Acesso em: 10 de abril de 2020.

BRASIL, **Orientações Curriculares para o Ensino Médio – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília: MEC, 2006.

BRASIL, **Parâmetros Curriculares Nacionais – Ensino Médio**. Brasília: MEC, 1998.

BULCÃO, M. **O racionalismo da ciência contemporânea: uma análise da epistemologia de Gaston Bachelard**. Rio de Janeiro: Antares, 1981.

CARVALHO, C.G.; JUNIOR, D.J.C.; SOUZA, G. A. D. B. Neurociência: Uma Abordagem Sobre As Emoções E O Processo De Aprendizagem. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**. v. 17, n. 1. 2019.

CASTRO, N. B. L; AUGUSTO, T. G.S. Análise dos trabalhos do ensino de evolução biológica publicados nos anais do VI ENPEC. **VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Atas**. Florianópolis, 2009.

CHAER, G.; DINIZ, R. R. P.; RIBEIRO, E.A. A técnica do questionário na pesquisa educacional. **Revista Evidência**. v. 7, n. 7, p.251-266. 2012.

CICILLINI, G. A. **A produção do conhecimento biológico no contexto da cultura escolar do ensino médio: A teoria da evolução como exemplo**. 1997. 298fs. Tese de Doutorado em Metodologia de Ensino – Faculdade de Educação da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.

COIMBRA, R. L., SILVA, J. Ensino de Evolução Biológica e a necessidade de formação continuada. **Encontro Nacional De Pesquisa Em Educação Em Ciências**, Atas... Florianópolis. 2007.

DARWIN, C. R. **On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life**. London: John Murray. 1st edition, 1859.

DIAS, S.S.; LEITE, V.M.; SILVEIRA, H.E. Obstáculos epistemológicos em livros didáticos: um estudo das imagens de átomos. **Revista Virtual Candombá**, v. 3, n. 2, p. 1-8. Salvador. jul-dez, 2006.

DOBZHANSKY, T. Nothing in Biology Makes Sense Except in the Light of Evolution. **The American Biology Teacher**, v. 35, n. 3, p. 125-129, mar. 1973.

DODICK J, ORION N. Introducing Evolution to Non-Biology Majors via the Fossil Record: A Case Study from the Israeli High School System. **The American Biology Teacher**. v. 65, n.3, p.185-90. 2003.

DONNELLY, L.A.; KAZEMPOUR, M.; AMIRSHOKOOHI, A. High Scholl student's Perceptions of evolution instruction: Acceptance and evolution learning experiences. **Research Science Education**, v.39, n.5, p. 643-660. 2009.

EHRLE, E. B. Notes on the Teaching of Evolution. **The American Biology Teacher** v.22, n. 7, p.418-419, out. 1960.

ENRIONE, M. J. B. **Seleção de textos históricos para a abordagem de conceitos de evolução biológica para o ensino médio**. 2016. 79 f. Dissertação de Mestrado em Ensino em Biociências e Saúde – Fundação Oswaldo Cruz, Instituto Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2016.

FERNANDES, A. M.M.; MARINHO, G. O.; BATISTA, M. D.; OLIVEIRA, G. F. O Construtivismo na Educação. **Revista Multidisciplinar e de Psicologia**. vol.12, n.40, p.138-150. 2018.

FERNANDES, C. T.; MUNIZ, C.A; MOURÃO-CARVALHAL, M.I.; DANTAS, P. M. S. Possibilidades de aprendizagem: reflexões sobre neurociência do aprendizado, motricidade e dificuldades de aprendizagem em cálculo em escolares entre sete e 12 anos. **Ciênc. Educ.** v. 21, n. 2, p. 395-416. Bauru, jun. 2015.

FIRMINO, S. G. **Obstáculos epistemológicos no ensino e na aprendizagem da teoria da evolução na formação inicial de professores de Biologia: implicações do conhecimento religioso**.2014.130 f. Dissertação de Mestrado em Educação em Ciências e Matemática - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

FONSECA, D. M. A pedagogia científica de Bachelard: uma reflexão a favor da qualidade da prática e da pesquisa docente. **Educação e Pesquisa**, São Paulo, v. 34, n. 2, p. 361-370, ago, 2008.

FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa**. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

FUTUYMA, D. J. Evolução, Ciência e Sociedade. IN: **Anais do 48o Congresso Nacional de Genética**. São Paulo: 2002

GALLI, L. M. G.; MEINARDI, E. E. N. The Role of teleological thinking in learning the darwinian model of evolution. **Evolution: Education and Outreach**, n.4, p.145-152, 2011.

GASTAL, M. L. A.; GOEDERT, D.; CAIXETA, F. V.; SOARES, M. N. T. Progresso, adaptação e teleologia em evolução: o que aprendemos, o que entendemos e o que ensinamos? In: **VII Encontro Nacional de Pesquisadores em Educação em Ciências**. Anais. Florianópolis.2009.

GILBERT, J. K. Models and modelling: Routes to more authentic science education. **International Journal of Science and Mathematics Education**, v. 2, n. 2, p. 115-130, 2004.

GÓES, A. C. S.; AIRES, R. A. **Genética das ervilhas ao genoma humano: contribuições para uma revisão histórica e abordagens pedagógicas**. Sociedade Brasileira de Genética. Abril, 2018.

GOMES, H. J. P.; OLIVEIRA, O. B. Obstáculos epistemológicos no ensino de ciências: Um estudo sobre suas influências nas concepções de átomo. **Ciências & Cognição**. Rio de Janeiro, v. 12, n. 04, p. 96-109, nov.2007.

GREGORY T. R.; ELLIS, C. A. J. Conceptions of Evolution among Science Graduate Students. **BioScience**, v. 59, p.792-799, out. 2009.

GREEN, J. **A culpa é das estrelas**. Rio de Janeiro: Intrínseca. 2012.

GUERRA, A.; MENEZES, A. M. S. Literatura na Física: uma possível abordagem para o ensino de ciências? **Encontro Nacional De Pesquisa Em Educação Em Ciências, Atas...** Florianópolis, v.7, 8 nov. 2009.

HILLIS, D.M. Making evolution relevant and exciting to biology students. **Evolution**. v. 61, p.1261–1264. 2007.

JENSEN, M. S.; FINLEY, F. N. Teaching evolution using historical arguments in a conceptual change strategy. **Science Education**. n. 79 (2), p. 147–166, 1995.

JENSEN, M. S.; FINLEY, F. N. Teaching evolution using a historically rich curriculum & paired problem solving instructional strategy. **The American Biology Teacher**. p. 208–212, 1997.

JOHNSTONE, A. H.; MAHMOUD, N. A. Isolating topics of high perceived difficulty school biology. **Journal of Biological Education**. v.14, n. 2, p.163–166. 1980.

KOGA, L. V.; SOUZA, R., F. de. Ensinando evolução biológica: desafios e possíveis soluções. **Os desafios da escola pública paranaense na perspectiva do professor PDE – artigos**. v. 1. 2014.

KRASILCHIK, M. **Práticas do ensino de Biologia**. São Paulo: EDUSP, 2004.

- KUTSCHERA, U.; NIKLAS, K. J. The modern theory of biological evolution: an expanded synthesis, **Naturwissenschaften**, Berlin, v.91, p. 255-276, 2004.
- LABATTI-TERRA, L.; LARENTIS, A. L.; ATELLA, G. C.; CALDAS, L. A.; RIBEIRO, M. G. L.; HERBST, M. H.; ALMEIDA, R. V. Identificação de obstáculos epistemológicos em um artigo de divulgação científica - entraves na formação de professores de ciências? **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 13, n. 3, p. 318-333, 2014.
- LARENTIS, A. L.; RIBEIRO, M. G. L.; PAIVA, L. M. C.; CALDAS, L. A.; HERBST, M. H.; MOURA, M. V. H.; DOMONT, G. B.; ALMEIDA, R. V. Obstáculos epistemológicos entre pós-graduandos de bioquímica. **Ciências & Cognição**; v.17, n. 2, p. 76-97, 2012.
- LOPES, A. R. C. Contribuições de Gaston Bachelard ao ensino de ciências. **Enseñanza de las Ciencias**. v.11, n.3, p.324-330. 1993.
- LOPES, A. R. C. Bachelard: o filósofo da desilusão. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**.v.13, n.3, p.248-273.1996.
- LOPES, A. R. C. Potencial de Redução e eletronegatividade – Obstáculo Verbal. **Química Nova na Escola**. n. 4. nov. 1996.
- LUCA, F.S. **Um olhar bachelardiano sobre as dificuldades no ensino-aprendizagem de genética**.2020. 62f.Monografia de Especialização em Ensino de Ciências – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.
- MAYR, E. **The growth of biological thought: diversity, evolution and inheritance**. Harvard University Press, Cambridge, Mass. 1982.
- MEAD, R.; HEJMADI, M.; HURST, L. D. Teaching genetics prior to teaching evolution improves evolution understanding but not acceptance. **PLoS Biology**. v.15, n. 5. mai, 2017.
- MEDEIROS, T. de A.; MAIA, E. D. A teoria da evolução: as dificuldades encontradas na relação ensino-aprendizagem. **IX Encontro Nacional De Pesquisa Em Educação Em Ciências, Atas...**Águas de Lindóia, SP. nov 2013.
- MELLO, A.C. **Evolução Biológica: concepções de alunos e reflexões didáticas**. 2008. 166fs.Dissertação de Mestrado em Educação em Ciências e Matemática da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2008.
- MEYER, D.; EL-HANI, C. N. **Evolução: O Sentido da Biologia**. São Paulo, UNESP. 2005.
- MELZER, E. E. M.; CASTRO, L.; AIRES, J. A.; GUIMARÃES, O. M. Modelos Atômicos nos Livros Didáticos de Química: Obstáculos à Aprendizagem? **VII ENPEC**, 2008.
- MIELZYNSKA, J. A construção e a aplicação de questionários na pesquisa em Ciências Sociais. **Revista do Programa de estudos pós-graduados PUCSP**, São Paulo, v. 6, p.1-21.1998.

MILLER, J.D.; SCOTT, E.C.; OKAMOTO, S. Public Acceptance of Evolution. **Science**. v. 313, p. 765-766. 2006.

MIRANDA, F. A.; ARAÚJO, S. C. M. Identificação De Obstáculos Epistemológicos Presentes Em Alguns Livros Didáticos De Química Do Ensino Médio. **VI Encontro Nacional De Ensino De Química E X Encontro De Educação Química Da Bahia. Anais**. Salvador, 2012.

MORAES, R. Análise de conteúdo. **Revista Educação**, Porto Alegre, v. 22, n. 37, p. 7-32, 1999.

NASCIMENTO, A. M. B. T.; SIQUEIRA, A.K. L.; SILVA, M. M. F. M.; DIONÍZIO, S. C. Aplicação de Modelos Didáticos Sobre o Animal Invertebrado Tênia no Ensino de Biologia Integrado ao PIBID. **III Encontro Nacional De Ensino De Ciências Da Saúde E Do Ambiente**. Niterói (RJ), 2012. **Anais**.

NASCIMENTO, J. M. L. **Conceito de Mutação Biológica: Influências e Potencialidades no Ensino de Ciências**. 2013. 106f. Dissertação de Mestrado em Ensino em Bio-ciências e Saúde - Fundação Oswaldo Cruz, Instituto Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, RJ, 2013.

NASCIMENTO, J.M.L.; SIQUEIRA, A.E.; GÓES, A.C.S.; MEIRELLES, R.M.S. Concepções sobre tópicos em genética no Ensino Fundamental: o que diz a Teoria da Aprendizagem Significativa? **X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – X ENPEC**, Águas de Lindóia, 2015.

NESSE R. M.; WILLIAMS G. C. **Why We Get Sick: The New Science of Darwinian Medicine**. New York-NY, Vintage. 1996.

NEUBERN, M. S. Três Obstáculos Epistemológicos Para o Reconhecimento da Subjetividade na Psicologia Clínica. **Psicologia: Reflexão e Crítica**. v.14, n.1, p.241-252. 2001.

OLEQUES L.C.; BARTHOLOMEI-SANTOS M.L.; BOER N. Evolução biológica: percepções de professores de Biologia. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 10, n. 2, p. 243-263. 2011.

OLEQUES, L. C.; BOER, N.; TEMP, D. S.; BARTHOLOMEI-SANTOS, M. L. Evolução Biológica Como Eixo Integrador No Ensino De Biologia: Concepções E Práticas De Professores Do Ensino Médio. **VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Atas...** p. 12, 2011.

ORLANDO, T. C.; LIMA, A. R.; SILVA, A.M.; FUZISSAKI, A. N.; RAMOS, C. L.; MACHADO, D.; FERNANDES, F. F.; LORENZI, J. C. C.; LIMA, M. A.; GARDIM, S.; BARBOSA, V. C.; TRÉZ, T. A. Planejamento, montagem e aplicação de Modelos Didáticos para abordagem de Biologia Celular e Molecular no Ensino Médio por 10 graduandos de Ciências Biológicas. **Revista Brasileira de Ensino de Bioquímica e Biologia Molecular**. v. 7, n. 1, p. 1-17, fev. 2009.

PAIVA, T. M. A. Concepções de estudantes concluintes do ensino médio acerca da evolução biológica. In: **Congresso Nacional de Educação**, n. 2, f. 13, Campina Grande, 2015.

PAZ, A. M.; ABEG, I.; FILHO, J. P. A.; OLIVEIRA, V. L. B. Modelos e modelizações no ensino: um estudo da cadeia alimentar. **Revista Ensaio**, v. 8, n. 2, 2006.

PIOLLI, A., DIAS, S. Escolas não dão destaque à evolução biológica. **Com Ciência, Campinas**, n. 56. 2004.

POZO, J.I. **Teorias cognitivas del aprendizaje**. Madrid: Morata, 1994.

PRÄSS, A. R. **Epistemologias do Século XX**. 2008. 80 f. Dissertação de Mestrado Acadêmico em Ensino de Física- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

RAMOS, V.D.; AIRES, R.M.; GÓES, A.C.S. O princípio elementar de Mendel aplicado a teste de paternidade: uma simulação a partir do triângulo amoroso em Dom Casmurro. **Genética na Escola**. v.13(1), p.70-81, 2018.

RIBEIRO, M.G.L; LARENTIS, A. L.; CALDAS, L. A.; KAERCHER, L. E.; HERBST, M. H.; ALMEIDA, R. V.; CABRAL, L. M. Teoria Darwinista da Evolução: identificação de concepções teleológicas entre estudantes do primeiro período de graduação em Ciências Biológicas. In: **III Encontro Nacional de Ensino de Biologia (III ENE-BIO) e V Congresso Iberoamericano de Educación en Ciencias Experimentales. Anais**. Fortaleza: UFCE, 2010.

RIDLEY, M. **Evolução**. 3ª ed. Porto Alegre, Artmed, 2006.

SADLER, T. D. Evolutionary theory as a guide to socioscientific decision-making. **Journal of Biological Education**. v. 39, p.68-72. 2005.

SANTOS, A.C.C.; FAGUNDES, N.J.R.; SCHULER-FACCINI, L. Planeta Mutante ou Análise Comparativa do Ser Mutante da Cultura Pop à Genética Clínica. **Genética na Escola**. v.15(1), p.2-9. 2020.

SANTOS, C.S., BIZZO, N.M.V. O ensino e a aprendizagem de Evolução Biológica no cotidiano da sala de aula. **VII EPEB**. USP. São Paulo. SP, 2000.

SANTOS, G. A. de S. S.O cinema como recurso didático no ensino da evolução das espécies e educação ambiental. **Ideias & Inovação**. Aracaju, v. 3, n.1, p. 45-56, fev., 2016.

SANTOS, M. E. V. M .**As concepções alternativas dos alunos à luz da epistemologia bachelardiana**. In: SANTOS, M. E. V. M .Mudança conceitual em sala de aula, um desafio pedagógico. Lisboa: Livros Horizonte, p.128-164. 1991.

SANTOS, V. P. A.; SILVA, K. S.; NOVAIS, R. M.; MARCONDES, M. E. R. Modelos didáticos revelados no discurso de professores em formação. **XIV Encontro Nacional de Ensino de Química**. Curitiba, 2008.

SEPULVEDA, C; EL-HANI, C. N. Adaptacionismo versus exaptacionismo: o que este debate tem a dizer ao ensino de evolução? **Ciência & Ambiente**. v.36, p.93-124. 2008

SEPULVEDA, C.; EL-HANI, C. N. Obstáculos epistemológicos e sementes conceituais para a aprendizagem sobre adaptação: uma interpretação epistemológica e sociocultural dos desafios no ensino de evolução. **Acta Scientiae**. v. 16, n. 2, p. 237-263. 2014.

SEPULVEDA, C.; MORTIMER, E. F.; EL-HANI, C. N. **Conceptual Profile of Adaptation: A Tool to Investigate Evolution Learning in Biology Classrooms**. In: MORTIMER, E.; EL-HANI, C. N. (Eds.). *Conceptual Profiles: A theory of teaching and learning Scientific Concepts*. Series: Contemporary Trends and Issues in Science Education. p.163-200. Dordrecht: Springer, 2014.

SETÚVAL, F.A.R.; BEJARANO, N.R.R. Os modelos didáticos com conteúdos de Genética e a sua importância na formação inicial de professores para o ensino de ciências e Biologia. **VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**. Florianópolis, 2009.

SHAW, K. R. M.; HORNE, K. V.; ZHANG, H.; BOUGHMAN, J. Essay Contest Reveals Misconceptions of High School Students in Genetics Content. **Genetics**. v. 178, n. 3, p. 1157-1168. mar, 2008.

SILVA, C. S. F. da; LAVAGNINI, T. C.; OLIVEIRA, R. R. de. Concepções dos alunos do 3º ano do Ensino Médio de uma Escola Pública de Jaboticabal – SP a respeito de evolução biológica. **VIII Encontro Nacional de Pesquisa, Atas...** – Florianópolis, 2009.

SINATRA, G. M; BREM, S. K; EVAN, M. Changing Minds? Implications of Conceptual Change for Teaching and Learning about Biological Evolution. **Evo Edu Outreach**. v.1, p.189-195, 2008.

SMITH, J.J.; BAUM D.A., MOORE, A. The Need for Molecular Genetic Perspectives in Evolutionary Education (and Vice-versa). **Trends Genet**. v.25 n.10, p.427–9. 2009.

TIDON, R.; LEWONTIN, R. C. Teaching evolutionary biology. **Genetics and Molecular Biology**. v.27, n.1, p.124-31, 2004.

TIDON, R.; VIEIRA, E..O ensino da evolução biológica: um desafio para o século XXI. **ComCiência** n.107. Campinas, 2009.

TRINDADE, D.J.; NAGASHIMA, L. A.; ANDRADE, C. C. Obstáculos Epistemológicos Sob a Perspectiva de Bachelard. **Brazilian Journal of Development**. v.5, n.10. 2019.

TRINTIN, R.S. **Análise do conceito de força nos livros didáticos de física do ensino médio sob à luz de Bachelard**. 2018. 143 f. Dissertação de mestrado em Educação para a Ciência e a Matemática - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2018.

VALENÇA, C. R.; FALCÃO, E. B. M. Teoria da evolução: Representações de professores-pesquisadores de Biologia e suas relações com o ensino médio. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 11, n. 2, p. 471-486, 2012.

ZAMBERLAN, E. S. J., e SILVA, M. R. O Ensino de Evolução Biológica e sua Abordagem em Livros Didáticos. **Educação & Realidade**, v. 37, n. 1, p. 187-212. 2012.



APÊNDICE A – TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO.

**TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO**

Você está sendo convidado (a) como voluntário (a) a participar da pesquisa **A CULPA É DAS MUTAÇÕES: AS CONTRIBUIÇÕES DE UM MODELO DIDÁTICO TEMÁTICO NO ENSINO-APRENDIZADO DE EVOLUÇÃO BIOLÓGICA**.

O objetivo dessa pesquisa é investigar as contribuições de um modelo didático no ensino e aprendizagem de Evolução Biológica. O modelo ilustra conceitos evolutivos e conhecimentos da genética, envolvendo os estudantes no tema do romance da literatura/cinema A Culpa é das Estrelas.

Para este estudo, a sua colaboração se fará de forma anônima, por meio de um questionário. A pesquisa acontecerá em três momentos, sendo três aulas com uma hora e trinta minutos de duração cada. As aulas acontecerão durante três dias seguidos. A primeira aula será no próprio tempo de aula da professora Dafne. As outras duas aulas acontecerão à tarde, também na própria escola.

O motivo deste convite é que você se enquadra nos seguintes critérios de inclusão: aluno do 3º ano do ensino médio (entre 16 e 18 anos).

Para participar deste estudo, o seu responsável deverá autorizar e assinar um termo de consentimento, onde mais informações sobre a pesquisa e os aspectos éticos são dadas. Você não terá nenhum custo para participar deste estudo, nem receberá qualquer vantagem financeira. Você será esclarecido (a) sobre o estudo em qualquer aspecto que desejar e estará livre para participar ou recusar-se a participar. O seu responsável poderá retirar o consentimento ou interromper a sua participação a qualquer momento.

A sua participação é voluntária e a recusa em participar não acarretará qualquer penalidade ou modificação na forma em que é atendido pelo pesquisador responsável. O pesquisador responsável irá tratar a sua identidade com sigilo e privacidade. Seu nome ou o material que indique sua participação não será liberado sem a permissão do seu responsável. Os resultados da pesquisa estarão à sua disposição quando finalizada.

Este termo de assentimento encontra-se impresso em duas vias, sendo que uma será arquivada pelo pesquisador responsável, na UFRJ e a outra será fornecida a você.

Caso haja danos decorrentes dos riscos desta pesquisa, o pesquisador assumirá a responsabilidade pelo ressarcimento e pela indenização.

Eu, \_\_\_\_\_, nascido (a) em \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_\_, podendo ser contatado (a) pelo número telefônico ( ) \_\_\_\_\_ e e-mail: \_\_\_\_\_, fui informado (a) dos objetivos do estudo **A CULPA É DAS MUTAÇÕES: AS CONTRIBUIÇÕES DE UM MODELO DIDÁTICO TEMÁTICO NO ENSINO-APRENDIZADO DE EVOLUÇÃO BIOLÓGICA** de maneira clara e detalhada e esclareci minhas dúvidas. Sei que a qualquer momento poderei solicitar novas informações e modificar minha decisão de participar se assim o desejar. Estou ciente de que, caso eu tenha dúvidas ou me sinta prejudicado, poderei contatar a pesquisadora responsável Andréa Carla de Souza Góes através do telefone 2334-0644 ou e-mail [acgoes@uerj.br](mailto:acgoes@uerj.br).

Tendo o termo de consentimento do meu responsável já sido assinado, declaro que concordo em participar desse estudo e que recebi uma via deste Termo de Assentimento Livre e Esclarecido.

Rio de Janeiro, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2020.

Assinatura do (a) participante: \_\_\_\_\_

Assinatura do (a) responsável: \_\_\_\_\_

Assinatura da pesquisadora: \_\_\_\_\_

## APÊNDICE B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

### TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Declaro, por meio deste termo, que concordei em meu filho(a) participar da pesquisa de campo referente ao projeto intitulado **A CULPA É DAS MUTAÇÕES: AS CONTRIBUIÇÕES DE UM MODELO DIDÁTICO TEMÁTICO NO ENSINO-APRENDIZADO DE EVOLUÇÃO BIOLÓGICA** desenvolvida pelo Programa de Mestrado Profissional em Educação, Gestão e Difusão de Biociências (MP - EGeD) do Instituto de Bioquímica Médica da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Fui informado(a), ainda, de que a pesquisa é orientada pela professora Dra. Andréa Carla de Souza Góes a quem poderei contatar a qualquer momento que julgar necessário através do telefone (21) 2334-0644 ou e-mail [acgoes@uerj.br](mailto:acgoes@uerj.br).

Afirmo que aceitei participar por minha própria vontade, sem receber qualquer incentivo financeiro e com a finalidade exclusiva de colaborar para o sucesso da pesquisa. Fui informado(a) dos objetivos estritamente acadêmicos do estudo, que, em linhas gerais é investigar as contribuições de um modelo didático temático que ilustra conceitos evolutivos de forma integrada aos conhecimentos de genética, envolvendo os estudantes no tema do romance da literatura/cinema *A Culpa é das Estrelas*, no processo de ensino-aprendizagem de Evolução Biológica.

Fui também esclarecido(a) de que os usos das informações por meu filho(a) oferecidas estão submetidos às normas éticas destinadas à pesquisa envolvendo seres humanos, da Comissão Nacional de Ética em Pesquisa (CONEP), de acordo com a Resolução 196/96 do Conselho Nacional de Saúde, do Ministério da Saúde. Estou ciente de que o Comitê de Ética em Pesquisa é um órgão que controla as questões éticas das pesquisas na instituição (UFRJ) e tem como uma das principais funções proteger os participantes da pesquisa de qualquer problema.

A colaboração de meu filho(a) se fará de forma anônima, por meio de um questionário a ser aplicado no contexto do desenho da pesquisa. Fui informado do processo de coleta como consta no projeto, detalhado a seguir:

A pesquisa acontecerá em três momentos, sendo três aulas com uma hora e trinta minutos de duração cada. As aulas acontecerão durante três dias seguidos, sendo a primeira delas no próprio tempo de aula da professora Dafne, e as outras duas no contraturno dos estudantes, à tarde, na própria escola.

- **AULA 1 – QUESTIONÁRIO PRÉ-INTERVENÇÃO.**

- A introdução da primeira aula será realizada a partir da apresentação do filme “A Culpa é das Estrelas”.

- Após a apresentação do filme, seguirá uma contextualização e aplicação do questionário pré-intervenção.

- **AULA 2 – Discussão e aula.**

- **AULA 3 – Intervenção com o Modelo Didático / QUESTIONÁRIO PÓS-INTERVENÇÃO.**

Fui informado de que o acesso e a análise dos dados coletados (as respostas aos questionários) se farão apenas pela pesquisadora e/ou seus colaboradores, podendo os dados da pesquisa ser divulgados ou publicados em benefício de toda a sociedade. Estou

também ciente dos riscos envolvidos na pesquisa, como constam no projeto, e as medidas tomadas para minimizá-los, detalhados a seguir:

Risco de desconforto, por parte dos alunos, ao tratar do tema Evolução Biológica. Para minimizar esse risco, foi realizado um convite aberto, que expôs o tema a ser trabalhado. Os alunos participantes serão voluntários cientes do tema das aulas e da pesquisa.

Risco relativo ao horário e na necessidade dos alunos de permanecer nas escolas no contraturno de suas aulas. Caso decidam almoçar fora das instituições, os alunos podem ser expostos a riscos externos. Para minimizar esse risco, aconselhamos aos alunos que levem seus almoços para a escola nesses dias, onde lhes foi concedido espaço nas geladeiras da escola e permissão para esquentar nos micro-ondas disponíveis.

Estou ciente de que, caso eu ou meu filho(a) tenhamos dúvidas ou nos sintamos prejudicados(as), poderei contatar a pesquisadora responsável Andréa Carla de Souza Góes através do telefone 2334-0644 ou e-mail [acgoes@uerj.br](mailto:acgoes@uerj.br).

A pesquisadora responsável pelo estudo me ofertou uma cópia assinada deste Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, conforme recomendações da Comissão Nacional de Ética em Pesquisa (CONEP).

Fui ainda informado(a) de que meu filho(a) pode se retirar desse estudo a qualquer momento, sem prejuízo ou sofrer quaisquer sanções ou constrangimentos. E se vier a sofrer qualquer tipo de dano previsto ou não neste termo de consentimento e resultante da participação na pesquisa, além do direito à assistência integral, tenho direito à indenização.

Caso tenha dificuldade em entrar em contato com o pesquisador responsável, comunique o fato à Comissão de Ética em Pesquisa da UFRJ, CEP/HUCFF: R. Prof. Roldolfo Paulo Rocco, nº255, Cidade Universitária/Ilha do Fundão - 7º andar, Ala E, e-mail [cep@hucff.ufrj.br](mailto:cep@hucff.ufrj.br) – Telefone: (21) 3938-2480 (segunda à sexta de 8 às 16 horas).

Rio de Janeiro, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2020.

Assinatura do (a) responsável: \_\_\_\_\_

Contato telefônico do responsável: ( ) \_\_\_\_\_

E-mail do responsável: \_\_\_\_\_

Assinatura do (a) participante: \_\_\_\_\_

Assinatura da pesquisadora: \_\_\_\_\_

## APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO PRÉ-INTERVENÇÃO

- 1) A partir dos seus conhecimentos sobre o assunto e da fala do personagem no trecho de *A culpa é das estrelas* assistido, explique o que é Evolução Biológica

---

---

---

- 2) O que vem a sua mente quando escuta a palavra mutação?

- DNA  
 doenças  
 superpoderes  
 mudanças  
 esperança  
 medo  
 algo ruim  
 algo bom  
 melhora  
 problemas  
 evolução  
 outros:

---

- 3) O que você entende que sejam mutações?

---

---

---

- 4) Em sua opinião, existe alguma relação entre os termos destacados abaixo? Se sim, qual a relação?

mutações – processo evolutivo – surgimento de novas espécies

---

---

---

- 5) Você gostaria de ter uma aula utilizando modelos em três dimensões (3D)?  
 Sim  Não

- 6) Você tem alguma questão (pergunta) ou curiosidade a respeito da evolução que gostaria que fosse esclarecida em aula? Qual?

---

---

---

## APÊNDICE D – QUESTIONARIO PÓS-INTERVENÇÃO

- 1) Nos últimos dias, você teve aulas sobre genética e evolução. Hoje a professora utilizou um modelo didático para ilustrar os conceitos de evolução apresentados de forma apenas expositiva anteriormente. Você acredita que a aula com esse material ajudou a esclarecer dúvidas que você tinha sobre essa matéria?

( ) Não

( ) Sim.

Qual era a sua dúvida? R: \_\_\_\_\_

- 2) O que é Evolução Biológica?

---

---

---

---

- 3) O que vem a sua mente quando escuta a palavra mutação?

- ( ) DNA  
( ) doenças  
( ) superpoderes  
( ) mudanças  
( ) esperança  
( ) medo  
( ) algo ruim  
( ) algo bom  
( ) melhora  
( ) problemas  
( ) evolução  
( ) outros:

- 4) O que são mutações?

---

---

---

- 5) Após a aula com modelos, você acredita ter entendido melhor a fala do personagem no trecho do filme assistido?

( ) Sim ( ) Não

Se quiser comentar algo sobre, utilize esse espaço:

---

---

6) Você considerou algum assunto sobre evolução difícil de ser compreendido? Qual?

---

---

7) Na sua opinião, aprender os conteúdos de genética e evolução juntos faz diferença na compreensão dos temas?

---

---

---

8) O que você achou da aula em que foi usado o modelo?

---

---

---

9) Deixe aqui suas críticas e sugestões sobre nossa aula com o modelo

---

---

---