



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA**

**JUAN PABLO DE ALMEIDA OLIVEIRA**

**RECURSO DIDÁTICO DIGITAL NO ENSINO DE EVOLUÇÃO: UMA PROPOSTA  
LÚDICA COM FOCO EM SELEÇÃO NATURAL E DERIVA GENÉTICA**

**FORTALEZA-CE  
2025**

JUAN PABLO DE ALMEIDA OLIVEIRA

RECURSO DIDÁTICO DIGITAL NO ENSINO DE EVOLUÇÃO: UMA PROPOSTA  
LÚDICA COM FOCO EM SELEÇÃO NATURAL E DERIVA GENÉTICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Ciências Biológicas do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de Licenciado em Ciências Biológicas.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Carla Ferreira Rezende

Coorientadora: Dra. Camila Rabelo Oliveira Leal

FORTALEZA-CE

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

O47r Oliveira, Juan Pablo de Almeida.  
Recurso didático digital no ensino de evolução : uma proposta lúdica com foco em seleção natural e deriva genética / Juan Pablo de Almeida Oliveira. – 2025.  
59 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências,  
Curso de Ciências Biológicas, Fortaleza, 2025.

Orientação: Profa. Dra. Carla Ferreira Rezende.

Coorientação: Profa. Dra. Camila Rabelo Oliveira Leal.

1. Gamificação. 2. STEAM. 3. pixel art. 4. Metodologia Ativa. I. Título.

CDD 570

---

JUAN PABLO DE ALMEIDA OLIVEIRA

RECURSO DIDÁTICO DIGITAL NO ENSINO DE EVOLUÇÃO: UMA PROPOSTA  
LÚDICA COM FOCO EM SELEÇÃO NATURAL E DERIVA GENÉTICA

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Graduação em  
Ciências Biológicas do Centro de Ciências  
da Universidade Federal do Ceará, como  
requisito parcial à obtenção do grau de  
Licenciado em Ciências Biológicas.

Aprovada em: 30/07/2025.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. <sup>a</sup> Dra. Carla Ferreira Rezende (Orientadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Dra. Camila Rabelo Oliveira Leal (Coorientadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Me. Marcos Adelino Almeida Filho  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. <sup>a</sup> Dra. Selma Freire de Brito  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Francisca Francileide e Edilio Jesuino, pelo apoio emocional e financeiro em todas as etapas da minha vida, e à minha irmã, Juane Leide, pelo amor e carinho.

À minha avó, Maria de Lourdes, pelos conselhos, e aos meus tios, Edilia, Egisia, Edisia, Eugênia e Edgleison, e primos por celebrarem cada um dos passos que tenho dado até o momento.

À minha companheira, Vitória Késsia, por estar ao meu lado acreditando em mim e me motivando a me tornar uma pessoa melhor.

Ao meu amigo João Amauri, por acreditar nesta ideia e me ajudar a transformá-la em realidade.

À minha orientadora Carla Ferreira Rezende pela oportunidade que me forneceu no Laboratório de Ecologia de Ecossistemas Aquáticos (LEEA) e por aceitar a ideia deste trabalho.

À minha coorientadora Camila Rabelo Oliveira Leal pelas sugestões e contribuições em Beetle Joy.

À professora Karoline Ceron por me auxiliar na busca pelos efeitos sonoros de *Rhinella icterica*, dando vida ao sapo cururu.

À Maria Fernanda por colaborar com o jogo disponibilizando os efeitos sonoros da avifauna reproduzidos na ambientação de Beetle Joy.

À Luciana Lameira e Juan Morales por dedicarem tempo me ajudando com melhorias na escrita deste trabalho.

Aos meus amigos do LEEA, pelos momentos de descontração e carinho, bem como pelos ensinamentos e ideias que contribuíram para as melhorias de Beetle Joy.

À Ana Gabriele, Kátia Milena, Naara Ximenes, Roberto Wagner e Vinícius Torres, amigos queridos que tive a oportunidade de conhecer durante a graduação, com os quais pude dividir momentos bons e difíceis.

Aos meus amigos de infância, com os quais cresci e ainda compartilho minha caminhada.

À Banca examinadora, pelas sugestões para a melhoria deste trabalho.

À Universidade Federal do Ceará e a todos os professores que colaboraram para o meu desenvolvimento profissional.

É interessante contemplar um emaranhado de bancos cobertos de plantas, com pássaros cantando nos arbustos, vários insetos zumbindo ao redor e vermes rastejando através do solo úmido, e refletir que essas formas tão altamente complexas, tão diferentes umas das outras, e dependentes umas das outras de maneira tão complexa, foram todas produzidas por leis que ainda estão em operação ao nosso redor. (DARWIN, 1859, p. 419).

## RESUMO

As orientações curriculares nacionais indicam que o ensino de Biologia na educação básica deve ocorrer de maneira articulada com a teoria da evolução. Na prática, o ensino da evolução biológica apresenta desafios para se concretizar no contexto escolar, frequentemente relacionados à sensação de conhecimento teórico insuficiente pelos educadores, interferência de convicções religiosas e ausência de recursos didáticos para trabalhar a temática. Os recursos didáticos são valiosas ferramentas que auxiliam na exposição de um conteúdo pelo professor e colaboram para reduzir a aprendizagem fragmentada, conteudista e memorística. Infelizmente, em virtude da desvalorização das atividades docentes extra-classe, muitos educadores não possuem tempo hábil para produzir os próprios materiais, recorrendo a recursos disponíveis em diferentes meios de compartilhamento de conteúdo. Os recursos didáticos digitais se diferenciam dos recursos analógicos porque não precisam ser confeccionados pelos educadores e podem ser utilizados em ampla escala. O objetivo deste trabalho foi elaborar e disponibilizar um jogo digital com propósito formativo com intuito de trabalhar de maneira lúdica os mecanismos evolutivos Seleção Natural e Deriva Genética. O jogo utiliza o elemento *pixel art* da cultura de jogos como técnica para elaboração das ilustrações e animações. O jogo, denominado Beetle Joy, foi produzido no motor de jogos Unity (v.6000.0.47f1) e desenhado nos programas “Pyxel Edit” e “Aseprite”. A interface de usuário é simples, direta e agradável e utiliza elementos visuais e linguagem simples para trabalhar a ludicidade através do humor. No jogo, a Seleção Natural é representada pela interação ecológica de predação entre um sapo cururu, da espécie *Rhinella icterica*, e besouros polimórficos da família Chrysomelidae; a Deriva Genética é representada pela ocorrência de três fenômenos naturais catastróficos: erupção vulcânica, inundação e queimada. O jogo apresenta potencial educativo, porém tem uma limitação de ordem tecnológica para ser aplicado em sala de aula, visto que exige boa infraestrutura escolar, o que ainda não é uma realidade comum no Brasil. Apesar disso, acreditamos que esse não deve ser um impedimento ao desenvolvimento de novos recursos digitais. Portanto, esperamos que Beetle Joy possa ser útil aos educadores e estimule o desenvolvimento de novos recursos.

**Palavras-chave:** Gamificação; STEAM; *pixel art*; Metodologia Ativa.

## ABSTRACT

The national curriculum guidelines indicate that the teaching of Biology in basic education should take place in an articulated manner with the theory of evolution. In practice, however, teaching biological evolution presents challenges in the school context, often related to teachers' perceived lack of theoretical knowledge, interference from religious beliefs, and the absence of didactic resources to address the topic. Didactic resources are valuable tools that assist teachers in presenting content and help reduce fragmented, content-heavy, and rote learning. Unfortunately, due to the undervaluation of out-of-class teaching activities, many educators do not have enough time to create their own materials and end up relying on resources available through various content-sharing platforms. Digital teaching resources differ from analog ones because they do not need to be created manually by teachers and can be used on a large scale. The objective of this work was to develop and make available a digital game with an educational purpose, aimed at teaching the evolutionary mechanisms of Natural Selection and Genetic Drift in a playful way. The game uses the pixel art style, inspired by video game culture, as a technique for creating illustrations and animations. The game, called Beetle Joy, was developed using the Unity game engine (v.6000.0.47f1) and designed using the programs "Pyxel Edit" and "Aseprite". The user interface is simple, clear, and pleasant, using visual elements and accessible language to promote playfulness through humor. In the game, Natural Selection is represented by the ecological interaction of predation between a cururu toad (*Rhinella icterica*) and polymorphic beetles of the family Chrysomelidae. Genetic Drift is represented by three catastrophic natural events: volcanic eruption, flooding, and wildfire. The game has educational potential, but it faces a technological limitation when applied in the classroom, as it requires good school infrastructure — a reality that is still uncommon in many parts of Brazil. Nevertheless, we believe this should not be an obstacle to the development of new digital resources. Therefore, we hope that Beetle Joy will be useful to educators and encourage the creation of new educational tools.

**Keywords:** Gamification; STEAM; pixel art; Active learning.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Fluxograma de desenvolvimento do Beetle Joy .....	33
Figura 2	- Seres vivos em Beetle Joy: (a) Sapo cururu ( <i>Rhinella icterica</i> ); (b) Besouros (Chrysomelidae).....	34
Figura 3	- Cenário de Beetle Joy.....	35
Figura 4	- Menu principal de Beetle Joy.....	35
Figura 5	- Exemplo de linhas de código da programação de Beetle Joy.....	36
Figura 6	- Edição dos tipos de besouros em Beetle Joy.....	36
Figura 7	- Exemplo de animação de interface com o botão “Começar”.....	41
Figura 8	- Menu de Opções de Beetle Joy .....	42
Figura 9	- Aba de créditos de Beetle Joy .....	42
Figura 10	- Cena de Apresentação e tutorial do jogo .....	43
Figura 11	- Distribuição dos organismos na cena de Seleção Natural.....	44
Figura 12	- Animação de projeção da língua do Sapo cururu ( <i>Rhinella icterica</i> ): a) sapo em estado normal; b) sapo com língua projetada...	45
Figura 13	- Cena da Deriva Genética.....	46
Figura 14	- Quadro de resumo das cenas.....	47
Figura 15	- Desfecho de Beetle Joy.....	49

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EVA	Etileno Vinil Acetato
FNDE	Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação
LEEA	Laboratório de Ecologia de Ecossistemas Aquáticos
LD	Livro Didático
LIEB	Laboratório de Interações Ecológicas e Biodiversidade
MAA	Metodologias Ativas de Aprendizagem
MEC	Ministério da Educação
OCEM	Orientações Curriculares para o Ensino Médio
PCNEM	Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio
PNLEM	Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio
PNLD	Programa Nacional do Livro e do Material Didático
SEB	Secretaria de Educação Básica
STEAM	<i>Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics</i>
TDICs	Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>18</b>
2.1 As contribuições da evolução para a ciência da vida .....	18
2.2 A importância do ensino de evolução na educação básica .....	21
2.2.1 A evolução traça uma linha cronológica da vida na terra.....	22
2.2.2 A evolução não é “apenas” uma teoria .....	23
2.2.3 A evolução não rejeita a religião .....	25
2.3 A evolução biológica nos livros didáticos .....	26
2.4 Recursos didáticos e a formação de professores para o ensino de evolução .	30
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	<b>32</b>
3.1. Objetivo geral: .....	32
3.2. Objetivos específicos:.....	33
<b>4. METODOLOGIA</b> .....	<b>33</b>
4.1. Beetle Joy: Do que se trata?.....	37
4.2. <i>Pixel art</i> : por quê? .....	38
4.3. <i>Softwares</i> de edição e plataforma de desenvolvimento de jogos.....	39
4.4. Efeitos sonoros .....	40
<b>5. RESULTADOS</b> .....	<b>40</b>
5.1 Primeiro contato com o jogo .....	41
5.2 Dentro do jogo .....	43
5.2.1 Cena de Apresentação e tutorial do jogo .....	43
5.2.2 Cena da Seleção Natural .....	44
5.2.3 Cena da Deriva Genética .....	45
5.2.4 Quadro de resumo das cenas .....	47
5.2.5 Desfecho do jogo .....	48
<b>6. DISCUSSÃO</b> .....	<b>49</b>
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>53</b>
<b>8. REFERÊNCIAS</b> .....	<b>54</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O ensino de evolução na educação básica é definido conforme os parâmetros curriculares nacionais. Os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM) estabelecem que as áreas de conhecimento da Biologia devem ser apresentadas aos estudantes de maneira articulada com o eixo Ecologia-Evolução, possibilitando visualizar o fenômeno da vida em sua totalidade (BRASIL, 1998). Similarmente, os PCN+: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais, ao sugerir a síntese curricular dos principais temas biológicos em seis temas estruturadores, ressaltam a necessidade de que a temática “Origem e evolução da vida” seja apresentada de maneira articulada com os demais conteúdos, visto que trata de um elemento central e unificador no estudo da Biologia (BRASIL, 2002).

Tendo a evolução biológica como elemento central do ensino de Biologia é possível compreender a origem da biodiversidade, a adaptação das espécies e, conseqüentemente, como são estruturadas suas interações com o ambiente que as engloba, facilitando a observação do fenômeno “vida” holisticamente. Essa visão é favorecida na célebre frase do geneticista Theodosius Dobzhansky, “Nada em Biologia faz sentido exceto à luz da evolução” (Dobzhansky, 1973). Entretanto, no ensino básico, o ensino dos conteúdos de Biologia ainda não ocorre integralmente a partir de uma abordagem evolutiva.

Na educação básica, o ensino de evolução tem se tornado motivo de apreensão para a maioria dos professores. Coimbra e Silva (2007), em entrevista com professores de Biologia, observaram que os educadores se sentem receosos para falar sobre o assunto, ressaltando desafios como a sensação de conhecimento teórico insuficiente pela ineficiência da formação, a interferência da crença religiosa durante a exposição do conteúdo e a ausência de recursos didáticos para trabalhar a temática.

O ensino de Biologia sob a perspectiva evolutiva exige, de fato, que o professor tenha domínio dos conceitos complexos que estruturam a teoria da evolução, principalmente os mecanismos evolutivos, como a Seleção Natural, fluxo gênico, mutação e a Deriva Genética. Nesse sentido, Oleques e colaboradores (2011) notaram a existência de dificuldades conceituais na compreensão do processo evolutivo por parte de alguns professores, principalmente no papel do acaso na evolução por Seleção Natural, levando-os a concluir erroneamente que, para a teoria

da evolução, as espécies surgem por uma sucessão de acidentes. Em *A Origem das Espécies*, Darwin (1859) define a Seleção Natural como a conservação das diferenças e variações individualmente favoráveis e destruição das que são prejudiciais pela atuação de pressões seletivas durante sucessivas gerações. É por meio do acaso que surgem novas variações em populações de uma determinada espécie. Assim, na verdade, o processo evolutivo não ocorre por aleatoriedade pura e simples, mas por consonância entre acaso e Seleção Natural, configurando um processo de aleatoriedade restrita (Dawkins, 2001).

O conceito de Deriva Genética também pode ser complexo, uma vez que é o oposto da Seleção Natural. O reconhecimento da Deriva Genética como uma força evolutiva ocorreu com o desenvolvimento da Genética de Populações, entre as décadas de 1920 e 1930, a partir da associação entre as teorias clássicas de Darwin com os princípios da hereditariedade de Mendel, culminando mais tarde na formulação da Teoria Sintética da Evolução ou Síntese Moderna (Bidau, 2001). A Deriva Genética é um mecanismo evolutivo pelo qual ocorre fixação de certas características em detrimento de outras sem necessidade de aptidão diferencial, um dos principais requisitos para que a Seleção Natural ocorra, entre os indivíduos de uma mesma população, caracterizando um processo puramente aleatório (Simon, 2017). Apesar das distinções, é importante que tanto o professor como os estudantes compreendam que os mecanismos atuam concomitantemente, com um ou outro predominando conforme as condições específicas de cada população.

Outras dificuldades se referem a não compreensão do conceito de ancestralidade, a associação do termo “evolução” à ideia de progresso, tendo a espécie humana como ápice evolutivo, e o uso de concepções lamarckistas para explicar processos evolutivos (Yaber; Barros, 2017). Tidon e Lewontin (2004) observaram que alguns educadores até consideram fácil distinguir lamarckismo e darwinismo, porém confundem-se em diferenças sutis. Para Lamarck, as espécies possuíam tendência a sofrerem modificações pelo “esforço” de um indivíduo, a partir da lei do uso e desuso, que adquire melhorias e as transmite a sua prole (Ridley, 2007). Para Darwin, as espécies evoluem não porque estão destinadas a isso, mas pela atuação dos mecanismos evolutivos, como a Seleção Natural, que atua selecionando indivíduos mais aptos que outros, os quais conseguem gerar mais descendentes e transmitem tais características à sua prole. Se não solucionadas, as frequentes inconsistências conceituais podem resultar em ideias distorcidas,

comprometendo a compreensão dos estudantes e intensificando o quadro de observação da evolução biológica como conteúdo abstrato e de extrema complexidade (Santos, 2016).

Outro fator desafiador é que o ensino de evolução abre espaço para a dualidade entre evolucionismo e criacionismo dentro da sala de aula. Em seus relatos, alguns professores reconhecem identificar conflitos com convicções religiosas, pessoais ou dos estudantes, quando expõem os fundamentos da teoria da evolução, resultando em resistências que comprometem o processo de ensino-aprendizagem (Oleques et al., 2011; Tidon; Lewontin, 2004). Gould (2002) apresenta o princípio dos magistérios não-interferentes, no qual ciência e religião não se encontram em um mesmo plano de conhecimento, sendo, portanto, incompatíveis para explicar o mesmo fenômeno e devendo cada uma se limitar a sua área de interesse direto. A teoria da evolução sustenta que as espécies passam por um processo contínuo e autônomo de modificações, sem depender da intervenção de um ser idealizador para seu funcionamento — embora isso não implique a negação de sua existência. Como a evolução não apresenta intencionalidade, alguns religiosos veem nela a possibilidade de conciliação entre fé e ciência.

Almeida (2012), ao analisar as concepções de estudantes do ensino médio sobre a origem das espécies, observou que os alunos ficaram divididos entre criacionismo e evolucionismo, com resistência de alguns em detrimento de outros. Quanto à compreensão da evolução biológica, o autor identificou falhas conceituais em discentes de ambas as concepções, independentemente da resistência, o que argumenta ser um possível reflexo do descaso do ensino da evolução na escola. Porto e Falcão (2010), em entrevista com estudantes do ensino médio de uma escola confessional católica, por sua vez, notaram que, apesar dos discursos revelarem influências religiosas, não foi indicado que tais concepções fossem obstáculos à apreensão dos conhecimentos referentes à teoria da evolução. Desse modo, não foi verificada resistência, mas sim a presença de falhas conceituais, exemplificando-se a visão errônea de que “evoluímos do macaco”, como citado anteriormente.

Pereira, Bizzo e Marco (2013) ao questionar diretamente estudantes de ensino médio de diferentes escolas localizadas em todos os estados brasileiros, observaram que a maioria dos discentes discorda que sua fé possa influenciar na aceitação da Evolução Biológica. Nesse sentido, independentemente da resistência do público, abordagens fragmentadas em sala de aula, seja por interferência religiosa ou

conhecimento teórico insuficiente, prejudicam a compreensão do papel integrador da evolução pelos estudantes, implicando em falhas conceituais que se perpetuam quando negligenciadas.

Diante da natureza conceitualmente abstrata da teoria da evolução, pesquisas científicas têm confirmado que o uso de diferentes recursos didáticos permite tornar conteúdos teóricos densos mais palpáveis para os estudantes (Pereira et al., 2024; Travessas; Garnerio; Marinho, 2020). Os recursos didáticos são definidos como instrumentos educacionais capazes de auxiliar o professor durante a exposição de conteúdos e podem ser desde narrativas, histórias em quadrinhos, filmes, simulações e modelos tridimensionais até jogos, sejam físicos ou digitais, objetivando contribuir significativamente para o ensino e aprendizagem dos alunos (Souza, 2007). Entretanto, o uso desses materiais em sala de aula ainda não é universalizado, tendo em vista a ausência de disponibilidade desses recursos nas instituições de ensino ou pela falta de tempo do profissional docente para produzi-los, o qual acaba restringindo-se ao livro didático por maior facilidade (Krasilchik, 2008).

Os recursos didáticos físicos podem ser confeccionados a partir de objetos simples do dia a dia, sendo alguns deles folhas de EVA, papelão ou plásticos reutilizáveis. Menezes e colaboradores (2024), utilizando materiais de baixo custo, elaboraram dois recursos didáticos lúdicos para simular os impactos da Seleção Natural e da Deriva Genética sobre populações de borboletas e ararinhas azuis, respectivamente. Os autores observaram que os instrumentos provocaram motivação nos estudantes e contribuíram para a compreensão das diferenças entre os mecanismos e da dinâmica populacional desses táxons, tornando um conteúdo teórico mais concreto. Por outro lado, outros recursos podem ser elaborados digitalmente e disponibilizados para uso por diferentes educadores em sala de aula. Pessoa, Leite e Oliveira (2021) desenvolveram uma ferramenta virtual gratuita e *online* denominada "Alelotório", com a qual é possível simular os efeitos da Deriva Genética em uma população hipotética de maneira personalizada, modificando o número de indivíduos bem como a frequência dos alelos, tendo em vista identificar as principais propriedades desse mecanismo evolutivo.

Os recursos didáticos podem ser melhor aproveitados se utilizados na forma de metodologias ativas no ambiente escolar. As metodologias ativas de aprendizagem (MAA) são estratégias metodológicas que visam estimular interações ativas dos estudantes para com o conteúdo teórico abordado em sala de aula (Bondioli; Vianna;

Salgado, 2018), proporcionando o aprendizado dinâmico a partir de questionamentos, discussões e resolução de problemas de maneira autônoma, sem necessariamente depender do professor para obtenção de novas informações (Nascimento; Coutinho, 2016). As Orientações Curriculares para o Ensino Médio (OCEM) exemplificam no item “Estratégias para a abordagem dos temas” uma série de metodologias ativas e recursos didáticos que podem ser utilizados conjuntamente para promover a participação efetiva do aluno como elemento ativo de sua aprendizagem, tendo em vista desenvolver as habilidades e competências pertinentes a seu respectivo tema estruturador (BRASIL, 2006). Algumas dessas metodologias ativas podem ser o desenvolvimento de projetos, elaboração de seminários, promoção de debates e experimentação em laboratórios didáticos.

A abordagem STEAM, inicialmente denominada STEM e depois ampliada com a inclusão do campo das artes, acrônimo em inglês para *Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics*, surgiu na década de 1990 nos Estados Unidos como uma proposta que busca articular disciplinas escolares como ciências, tecnologia, engenharia, artes e matemática a partir da interdisciplinaridade no ambiente escolar e têm sido amplamente difundida ao redor do mundo justamente pela sua característica multifacetada (Pugliese, 2020). Dentre as categorias do *STEAM education* classificadas por Pugliese (2020), o STEAM como metodologia ativa para o ensino de ciências têm sido um objeto de estudo profusamente investigado pela pesquisa qualitativa em virtude de seus métodos serem baseados em resolução de problemas e desenvolvimento de projetos (Campos et al., 2022). Ao propor a elaboração de projetos colaborativos em torno de um tema específico, o professor estimula que o estudante aprenda de maneira mais significativa e desenvolva competências socioemocionais e de empregabilidade, exemplificando-se o trabalho em equipe, a comunicação e a adaptabilidade frente aos desafios do desenvolvimento (Colucci-Gray et al., 2017). Maes (2010) acrescenta ainda que a associação entre ciências e as artes liberais estimulada pela metodologia é positiva para aquisição de competências como a criatividade e o pensamento crítico, habilidades consideradas indispensáveis tanto para o artista quanto para o cientista em seu exercício profissional (Kim, 2012).

Diego-Mantecón e colaboradores (2021) constataram que a prática da metodologia STEAM com uso de recursos digitais pode também colaborar para o desenvolvimento da competência digital pelos estudantes. Para Brandão (2024), a

escola trata-se de um ambiente social amplo e heterogêneo que abrange grande diversidade de origens socioeconômicas e culturais, sendo, portanto, o local ideal para a execução de práticas pedagógicas que promovam a construção da autonomia do sujeito, inclusive no campo do letramento digital. Assim, desenvolver o letramento digital em um mundo cada vez mais mediado pelas Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDICs) significa permitir a inclusão do usuário no ambiente virtual, de forma que esse seja capaz de utilizar tais recursos para solucionar problemas do dia a dia, seja por praticidade ou para aquisição de novos conhecimentos (Moreira, 2012).

Dentro da sala de aula, os jogos digitais educacionais configuram-se como recursos didáticos oportunos, alinhando-se aos princípios da metodologia STEAM por meio da proposição de desafios que promovem engajamento, motivação e curiosidade (Balasubramanian; Wilson, 2006). Independentemente se de maneira individual ou coletiva, os jogos estimulam a autonomia e o pensamento crítico ao colocarem o aluno no papel ativo de tomador de decisões, exigindo a capacidade de averiguar situações distintas em níveis crescentes de dificuldade, assim, provocando a reflexão do usuário para resolução de problemas (Mitchell; Savill-Smith, 2004). Para Savi e Ulbricht (2008), os jogos também são ferramentas úteis para o letramento digital, visto que servem para ensinar os alunos a começarem a utilizar as TDICs, como o computador, ganhando mais familiaridade e coordenação com o teclado e o mouse. Apesar dos pontos positivos, a disponibilidade de jogos digitais educacionais ainda é escassa.

Um dos principais fatores para a escassez desses recursos didáticos se deve à dificuldade que há em equilibrar diversão e uso pedagógico. Para Van Eck (2006) e Fortuna (2000), produtos educacionais que buscam atratividade e diversão em excesso costumam falhar em relação aos seus objetivos de aprendizagem, enquanto que aqueles de teor mais acadêmico e de pouco conhecimento da cultura de jogos geralmente são incapazes de atrair a atenção dos estudantes. Balasubramanian e Wilson (2006) concordam que uma solução para isso seria conciliar profissionais com bom entendimento pedagógico e conhecimento tecnológico sólido, visto que o desenvolvimento desses recursos se trata de um campo de pesquisa educacional bastante frutífero. Assim, a proposta interdisciplinar do STEAM pode contribuir para criar recursos didáticos que equilibrem diversão e conteúdo pedagógico.

Diante da baixa disponibilidade de jogos essencialmente pedagógicos, encontrar e utilizar jogos convencionais como recurso didático tem sido um desafio

para os professores. No ensino de Ciências e Biologia, jogos convencionais como *Plague Inc.* e *Spore* costumam ser frequentemente investigados por pesquisadores em virtude de trabalharem conceitos biológicos sob perspectivas atrativas para os estudantes (Nascimento; Benedetti; Santos, 2020; Correia et al., 2009). No entanto, muitos jogos convencionais apresentam uso pedagógico limitado, pois priorizam a diversão, devido ao seu objetivo comercial, em detrimento da fidelidade aos conceitos científicos reais, podendo até mesmo ser prejudiciais para o aprendizado se utilizados deliberadamente. Para o ensino de evolução, tal problemática se intensifica, tendo em vista que se trata de uma temática específica e também em virtude dos desafios já citados anteriormente.

Dessa forma, este trabalho buscou elaborar e propor o uso de um jogo digital educacional para melhor instrumentalizar os alunos quanto aos mecanismos evolutivos de Seleção Natural e Deriva Genética, contribuindo para mitigar os possíveis conflitos teóricos descritos na literatura para o ensino da evolução biológica no ensino médio básico.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 As contribuições da evolução para a ciência da vida**

A ideia de que a Biologia estuda a vida como um fenômeno unificado é bastante atual. Anteriormente, os seres vivos não eram observados como partes de um mesmo conjunto, mas sim estudados a partir de áreas diferentes do conhecimento, como Medicina, Zoologia e Botânica, com pouca ou nenhuma relação evidente para os naturalistas da época. O termo “Biologia” como ciência que estuda a vida foi utilizado pela primeira vez por Jean-Baptiste Lamarck (1744-1829) e Gottfried Treviranus (1776-1837), em 1802, de maneira independente, porém com o mesmo objetivo (El-Hani, 2005). Assim, o conceito de “Biologia” como se conhece na atualidade nasceu oficialmente no século XIX.

Mayr (2005), frequentemente designado como “Darwin do século XX”, atribuiu o atraso na consolidação da Biologia como ciência unificada à necessidade de reconhecer que muitos conceitos fisicalistas, antes aceitos por grandes naturalistas, não se aplicavam à Biologia, como o essencialismo platônico. O essencialismo platônico, também denominado tipologia, durante muitos séculos tratou-se do conceito tradicional que definia a diversidade de formas do mundo. Para Platão, a realidade existente de formas, seres vivos e não vivos, pertencia a uma classificação com base

em um número limitado de essências, perfeitamente delimitadas e incapazes de sofrer modificações.

Os essencialistas costumavam ilustrar esse conceito a partir do exemplo do triângulo essencial, de acordo com Mayr (2005, p. 42),

Todos os triângulos têm as mesmas características fundamentais e são nitidamente delimitados em relação a retângulos ou qualquer outra forma geométrica. É inconcebível um intermediário entre um triângulo e um retângulo.

Dessa maneira, dentro do contexto da diversidade biológica, o pensamento essencialista é incapaz de acomodar variações entre indivíduos, tratando-as meramente como formas derivadas, acidentais e imperfeitas em comparação com a forma essencial e imutável pré-existente. O exemplo de Dawkins (2009, p. 32) ilustra a aplicação do conceito no contexto da Biologia: “Os coelhos que vemos são apenas pálidas sombras da ‘ideia’ perfeita de um coelho, do coelho platônico ideal, essencial, que paira em alguma parte do espaço conceitual [...]”. Assim, com o embasamento tipológico, a fixidez das espécies passou a ser a crença ortodoxa na época anterior às ideias evolucionistas (Ridley, 2007).

Charles Robert Darwin (1809-1882), no entanto, se contrapôs ao pensamento de Platão a partir da proposição do pensamento populacional. O pensamento populacional de Darwin parte do princípio de que mesmo dentro de populações de indivíduos de uma mesma espécie, cada indivíduo é único, não sendo sua variabilidade resultante de desvios de um formato ideal.

Em *A Origem das Espécies*, Darwin ([1859] 2017, p. 49) descreve:

Ninguém supõe que todos os indivíduos da mesma espécie estejam fundidos absolutamente no mesmo molde. Essas diferenças individuais são da maior importância para nós, porque frequentemente, como é muito conhecido de todos, são hereditárias e fornecem assim materiais para que a Seleção Natural atue sobre elas e as acumule [...]

Darwin não apenas admite que as variações individuais são características inerentes às populações biológicas, como também atribui à Seleção Natural — o mecanismo evolutivo que divide a descoberta com Alfred Russel Wallace (1823-1913) — o papel de selecioná-las por aptidão diferencial entre os indivíduos e acumulá-las ao longo das gerações, modificando as espécies. A ideia de que as espécies sofrem mudanças com o passar do tempo, porém, não é uma particularidade de Darwin. Segundo Ridley (2007), os naturalistas de um século ou dois antes de Darwin já

havia chegado a especular a transformação das espécies. Lamarck, contudo, foi o primeiro a propor um conjunto de explicações para isso.

O transformismo Lamarckiano dependia de dois mecanismos: o primeiro afirmava que as espécies possuíam um ímpeto de modificações, ansiando internamente por produzir descendentes levemente diferentes de si próprios; o segundo, por sua vez, argumentava que quaisquer modificações que os seres vivos passassem em vida eram transmitidas à sua prole. Apesar da proposição insatisfatória, o pioneirismo de Lamarck em *Philosophie Zoologique* (1809) foi importante para expor o que muito já se vinha cogitando por alguns naturalistas, mesmo que de maneira errônea. Além dos mecanismos, a principal distinção entre as ideias evolucionistas de Lamarck e Darwin se refere à maneira com que surgem novas espécies.

A evolução de Lamarck determina que o surgimento de uma nova espécie a partir de outra pressupõe a completa transformação da anterior, de modo que seria impossível a coexistência das duas. A evolução darwiniana, por outro lado, é comparável a uma árvore, com ramos que se bifurcam ao longo do tempo, aumentando a diversidade e permitindo coexistência das espécies originadas com seu ancestral comum (Freeman; Herron, 2009). Segundo Mayr, nenhuma outra das teorias propostas por Darwin foi tão bem aceita quanto àquela que se refere ao conceito de descendência comum.

A ancestralidade comum de Darwin afirma que todas as espécies provêm de uma origem comum na história da vida no planeta, a partir de um mesmo ancestral, sendo essa a teoria mais plausível para a origem da vida e da biodiversidade (Bidau, 2001). A relação entre as espécies nessa teoria ocorre por meio das homologias, atributos dos organismos ou grupos de organismos que possuem filogenética e ontogeneticamente a mesma origem evolutiva (Brusca; Brusca, 2003).

Sobre a ancestralidade comum, Darwin ([1859] 2017, p. 475) escreve:

Que pode haver de mais curioso que a mão do homem, feita para agarrar; a da toupeira, feita para cavar; a pata do cavalo, a aleta da orca e a asa de um morcego, estejam todas construídas segundo o mesmo padrão e encerrem ossos semelhantes nas mesmas posições relativas?

Segundo Young (1985), o darwinismo é, sem sombra de dúvidas, uma visão de mundo, visto que deixa de ser uma teoria biológica particular e alcança dimensões cada vez maiores. Assim, a ideia evolucionista de Darwin se mostra ambiciosa. Para

Mayr (2005), a publicação de *Origem das Espécies* foi o princípio de uma revolução intelectual que resultaria no estabelecimento da Biologia como uma ciência autônoma.

Entretanto, apesar dos pontos positivos, em virtude da ausência de uma teoria satisfatória para a hereditariedade, a teoria da evolução de Darwin ainda demoraria algumas décadas para ser aceita em sua completude. Segundo Bidau (2001), essa lacuna só foi solucionada com o redescobrimto das obras de Mendel e o desenvolvimento da genética de populações nas décadas de 1920 e 1930.

Sobre o desenvolvimento da síntese evolutiva, Julian Huxley (1942, p. 26) escreve:

A Biologia no presente momento está entrando em uma fase de síntese depois de um período em que novas disciplinas foram retomadas e trabalharam em relativo isolamento [...] já estamos vendo os primeiros frutos desta reanimação do Darwinismo.

Desse modo, a Síntese Moderna ou Teoria Sintética da Evolução, proposta por autores como Theodosius Dobzhansky (1900–1975), Ronald Fisher (1890–1962), John Burdon Sanderson Haldane (1892–1964) e Sewall Wright (1889–1988), estabeleceu as bases da Biologia moderna ao unificar áreas antes isoladas em uma única ciência, sob a ótica do pensamento evolucionista. O célebre artigo do geneticista Theodosius Dobzhansky ilustra esta perspectiva: “Nada em Biologia faz sentido exceto à luz da evolução” (Dobzhansky, 1973).

## **2.2 A importância do ensino de evolução na educação básica**

Considerando que a evolução é tão fundamental para a Biologia enquanto ciência, na educação essa relação não pode ser diferente. Araújo e Vieira (2021), diante do que já foi exposto, defendem que a evolução deve ser o eixo integrador do ensino de Biologia. Esses autores também argumentam que a evolução é importante porque interliga todas as áreas da Biologia também sob uma perspectiva histórica da origem da vida e das relações ecológicas entre os seres vivos. No Brasil, os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM) especificam como o ensino de Biologia deve ser apresentado no ensino médio básico. Conforme o PCNEM, as áreas de conhecimento da Biologia devem ser apresentadas aos estudantes de maneira articulada com o eixo Ecologia-Evolução, possibilitando a visualização da vida como fenômeno único (BRASIL, 1998). Os PCN+: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais vão além quando sugerem a divisão dos temas biológicos em seis temas estruturadores: 1)

Interação entre os seres vivos; 2) Qualidade de vida das populações humanas; 3) Identidade dos seres vivos; 4) Diversidade da vida; 5) Transmissão da vida, ética e manipulação gênica; 6) Origem e evolução da vida (BRASIL, 2002).

Sobre a temática “Origem e evolução da vida”, em especial, o documento Orientações Curriculares para o Ensino Médio (OCEM) descreve que essa deve ser apresentada de maneira articulada com os demais conteúdos:

O tema 6 dos PCN+ — origem e evolução da vida — contempla especificamente esse assunto, mas é importante assinalar que esse tema deve ser focado dentro de outros conteúdos, como a diversidade biológica ou o estudo sobre a identidade e a classificação dos seres vivos, por exemplo. A presença do tema *origem e evolução da vida* ao longo de diferentes conteúdos não representa a diluição do tema evolução, mas sim a sua articulação com outros assuntos, como elemento central e unificador no estudo da Biologia (BRASIL, 2006, p. 22).

Infelizmente, apesar dos documentos orientadores, o ensino da evolução de maneira articulada ainda não é uma realidade nas escolas. Diante disso, o presente trabalho discutirá, de maneira sintética, três razões pelas quais é importante que a evolução seja um tema recorrente no ensino básico.

### **2.2.1 A evolução traça uma linha cronológica da vida na terra**

Durante os séculos XVIII e XIX, após a Revolução Industrial e com o crescimento das demandas energéticas na Inglaterra, pesquisas geológicas intensas promoveram o mapeamento dos estratos rochosos (Palmer, 2009). Com a busca por carvão, minério de ferro e calcário, inúmeros fósseis foram descobertos e descritos pela ciência, como *Megalosaurus bucklandii* e *Iguanodon*, por William Buckland (1784–1856) e Gideon Mantell (1790–1852), respectivamente. A descoberta de que a distribuição dos fósseis seguia um determinado padrão nos estratos geológicos, feita por John Phillips (1800–1874), permitiu correlacionar a existência de seres vivos extintos com as diferentes eras do tempo geológico, o que é perfeitamente condizente com a ancestralidade comum e o gradualismo darwinianos.

Na história dos vertebrados, por exemplo, ao comparar morfologicamente os fósseis com os vertebrados modernos, a ciência sabe que a ordem de evolução desse grupo seguiu uma linearidade dos subgrupos: peixes, anfíbios, répteis e mamíferos (Ridley, 2007). Essa organização é evidenciada pelo registro fóssil, que mostra períodos-chave de distribuição e irradiação adaptativa dos subgrupos. Segundo Palmer (2009), durante o Cambriano, por exemplo, surgiram e irradiaram os primeiros peixes. No Devoniano, ocorreu a conquista da terra pelos primeiros tetrápodes, com

o surgimento e irradiação dos primeiros anfíbios. No Carbonífero, surgiram os primeiros répteis, que irradiaram apenas após a extinção do Permiano-Triássico, com o declínio da maioria dos anfíbios, evento no qual mais de 85% das formas viventes foram extintas. Enquanto os mamíferos surgiram apenas no Triássico, irradiando após a extinção ocorrida no final do Cretáceo, que marcou o desaparecimento dos dinossauros não avianos e a extinção de cerca de 65% da vida na Terra.

É claro que esses limites não são perfeitos e não segregam rigidamente os grupos. Como já citado, a evolução darwiniana permite a coexistência entre espécies derivadas e seus ancestrais, o que torna difícil delimitar exatamente quando uma linhagem surgiu e outra teve fim. Esses fatos não são argumentos contrários à evolução, mas apenas a fortalecem, uma vez que partem do pressuposto de que a vida surgiu e se transformou gradualmente. Essa ordem é interessante, pois impede, por exemplo, que grupos derivados venham a surgir de maneira anterior aos seus próprios ancestrais. Segundo Ridley (2007), John Burdon Sanderson Haldane (1892–1964) disse certa vez que desistiria de sua crença na evolução se fosse encontrado por alguém um coelho fóssil no Pré-cambriano. Esse argumento de Haldane exemplifica tal impossibilidade, visto que mamíferos são um subgrupo extremamente derivado na cronologia da vida na terra.

A origem dos vertebrados, no entanto, é uma parte recente na história do planeta terra, iniciando por volta de 540 milhões de anos (Pough; Janis; Heiser, 2008). Atualmente, a ciência consegue retroceder ainda mais essa cronologia. Segundo Madigan e colaboradores (2016), evidências moleculares sugerem que os ancestrais das atuais bactérias e arqueias divergiram há 3,7 bilhões de anos, no éon Arqueano, possivelmente derivados de uma população de células iniciais, consideradas como o último ancestral universal comum (*LUCA, last universal common ancestor*). Isso dá à vida uma janela por volta de 800 milhões de anos de diferença em relação a idade do planeta, de 4,5 bilhões de anos. Essa linha cronológica só pode ser construída a partir da perspectiva evolutiva da Biologia, uma vez que sem ela não seria possível compreender as relações íntimas que a vida possui no nosso planeta.

### **2.2.2 A evolução não é “apenas” uma teoria**

A ideia de que a evolução é apenas uma teoria tem sido propagada como uma forma pejorativa, no intuito de reduzir sua confiabilidade, por movimentos contrários à teoria. No uso comum do dia a dia, a palavra “teoria” até pode significar algo que não

é concreto, ou especulativo, no entanto, na ciência, a palavra “teoria” tem um significado completamente diferente. Para a ciência, as teorias possuem um alto grau de confiabilidade. Araújo e Paesi (2017) definem uma teoria como um sistema de ideias bem fundamentadas empiricamente que são apresentadas como explicação ou justificativa para um conjunto de fenômenos. Dessa maneira, as teorias são corroboradas por evidências que surgem de novos estudos ou quando essas são colocadas à prova, como costuma ser feito frequentemente pelos cientistas.

Nessa perspectiva, as teorias correspondem a paradigmas científicos comprovados empiricamente. Em *A Estrutura das Revoluções Científicas*, Kuhn ([1962] 2013, p. 54) define o conceito de paradigma científico como as realizações científicas que partilham duas características essenciais:

Suas realizações (dos paradigmas) foram suficientemente sem precedentes para atrair um grupo duradouro de partidários, afastando-os de outras formas de atividade científica dissimilares. Simultaneamente, suas realizações eram suficientemente abertas para deixar que toda espécie de problemas fosse resolvida pelo grupo redefinido de praticantes da ciência.

O método científico é a principal ferramenta utilizada pela ciência para elaboração e teste de hipóteses científicas. Segundo Moreira e Ostermann (1993), o método científico é interpretado como um procedimento definido, rigoroso, testado e confiável para se chegar ao conhecimento científico. O método se inicia com observações a respeito de um dado fenômeno que se deseja investigar na natureza, segue para elaboração de uma hipótese explicativa, depois para experimentação, análise dos resultados e conclusões. Na ciência, uma pesquisa inicia com a elaboração de uma hipótese que pode ser refutada ou corroborada.

Deve ficar claro também que o fato de que uma teoria atualmente está consolidada não significa que essa não pode passar por alguma modificação ou ser ultrapassada no futuro. Se assim fosse, a ciência perderia sua essência crítica. Na realidade, a ciência distingue-se de outras visões de mundo justamente pela sua irreduzibilidade quanto aos dogmas imutáveis, se propondo sempre a testá-los para garantir a observação neutra e objetiva dos fenômenos da natureza.

Nessa perspectiva, Kuhn ([1962] 2013, p. 116) descreve como ocorrem as revoluções científicas:

De forma muito semelhante (ao que ocorre nas revoluções políticas), as revoluções científicas iniciam-se com um sentimento crescente, de que o paradigma existente deixou de funcionar adequadamente na exploração de um aspecto da natureza, cuja exploração fora anteriormente dirigida pelo paradigma. Tanto no desenvolvimento político como no científico, o

sentimento de funcionamento defeituoso, que pode levar à crise, é um pré-requisito para a revolução.

Dessa maneira, o ensino de evolução embasado na história da ciência e explicando os processos para o desenvolvimento da teoria, bem como suas evidências, pode ser uma ferramenta interessante para desconstruir falsos argumentos e possibilitar a compreensão dos estudantes sobre o processo que envolve o método científico.

### **2.2.3 A evolução não rejeita a religião**

Uma das razões que permeiam discussões sobre o ensino de evolução nas escolas é o seu suposto embate com a religião. Coimbra e Silva (2007), em entrevista com professores de Biologia da educação básica, observaram que um dos desafios mais frequentes para os educadores no ensino da Biologia sob a perspectiva evolutiva é o desconforto proveniente da interferência em suas crenças religiosas pessoais ou dos alunos. Na realidade, a evolução não entra em conflito direto com a religião, mas sim com o fundamentalismo religioso. Do ponto de vista religioso, a natureza pode ser perfeitamente bem explicada pela evocação de um agente metafísico inteligente, porém, para a ciência, isso não funciona. A ciência não se propõe a rejeitar a existência de entidades ou seres metafísicos, mas sim de propor explicações com base no método científico que sejam independentes deles, através da formulação e teste de hipóteses por experimentação.

Kuhn ([1962] 2013, p. 184) descreve como essa perspectiva se refletiu na teoria da evolução:

A Origem das Espécies não reconheceu nenhum objetivo posto de antemão por Deus ou pela natureza. Ao invés disso, a Seleção Natural, operando em um meio ambiente dado e com os organismos reais disponíveis, era a responsável pelo surgimento gradual, mas regular, de organismos mais elaborados, mais articulados e muito mais especializados. Mesmo órgãos tão maravilhosamente adaptados como a mão e o olho humanos — órgãos cuja estrutura fornecera no passado argumentos poderosos em favor da existência de um artífice supremo e de um plano prévio — eram produtos de um processo que avançava com regularidade desde um início primitivo, sem contudo dirigir-se a nenhum objetivo.

A problemática do fundamentalismo religioso é de que os textos sagrados costumam ser interpretados de maneira literal, geralmente indo diretamente de encontro às explicações científicas para a natureza. Segundo Bizzo (2013), por exemplo, a interpretação literal das escrituras bíblicas se refletiu em momentos históricos de descobertas científicas. A proposição do heliocentrismo por Galileu

enfrentou oposição do clero em virtude da colisão com as escrituras no livro de Josué, do Antigo Testamento da Bíblia Sagrada. Segundo o autor, nesse livro o profeta ordena que a duração do dia seja prolongada, interrompendo o movimento do sol, o que seria uma comprovação literal de que o Sol gira em torno da Terra, e não ao contrário.

A criação dos animais, no livro de Gênesis da Bíblia Sagrada (2010, p. 3) capítulo 1, versículos 24 e 25, por sua vez, durante muito tempo foi interpretada como argumento para a fixidez das espécies, de que estas sempre existiram em sua morfologia atual:

E Deus disse: “Que a terra produza seres vivos de acordo com as suas espécies: animais domésticos e animais selvagens, segundo as suas espécies”. E assim foi. Deus fez os animais selvagens, os animais domésticos e os demais seres vivos da terra, de acordo com as suas espécies. E Deus ficou satisfeito.

Em *Deus e a ciência*, Allègre (2000) defende que não existe absolutamente nenhuma dificuldade de conciliação entre o conhecimento científico e os textos sagrados se esses forem interpretados de maneira simbólica. Ainda nessa perspectiva, Gould (2002) sugere o princípio dos magistérios não-interferentes, argumentando que ciência e religião podem coexistir, mas são incompatíveis para explicar os mesmos fenômenos, devendo cada uma se limitar a sua área de interesse direto. Assim, o ensino de evolução é capaz de ajudar a desconstruir a ideia errônea do embate entre ciência e religião, auxiliando os alunos a compreenderem a posição de cada uma como visões de mundo distintas, independentes e não interferentes.

### **2.3 A evolução biológica nos livros didáticos**

O Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD), compreende um conjunto de ações do Ministério da Educação (MEC) e do Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE) voltadas a distribuição de obras didáticas e outros materiais pedagógicos às escolas participantes de maneira gratuita (BRASIL, 2023). Os materiais didáticos são produzidos por editoras e avaliados em duas etapas: a primeira pela Secretaria de Educação Básica (SEB) conforme as características exigidas e os critérios de qualidade e a segunda por profissionais educadores nas instituições de ensino. O Programa foi criado em 1985 e inicialmente contava apenas com a distribuição do LD (Livro Didático) para estudantes do ensino fundamental.

O Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLEM) foi

implantado em 2004 pela resolução nº 38 do FNDE como uma vertente do PNLD e previa a distribuição progressiva de livros didáticos para todos os alunos do ensino médio público do país, começando pelas áreas de português e matemática (BRASIL, 2007). A primeira avaliação do LD aconteceu em 2004, com análise dos livros de português e matemática pelos professores. Os livros didáticos de Biologia foram distribuídos pela primeira vez pelo MEC no ano de 2007, após avaliação dos materiais por uma equipe composta de 28 profissionais educadores (El-Hani; Roque; Rocha, 2011). Em 2009, no entanto, com a resolução CD/FNDE nº 60, as escolas públicas do ensino médio foram oficialmente integradas ao PNLD, extinguindo assim o PNLEM, porém mantendo o processo avaliativo do LD em ciclos trienais (Pinheiro; Echalar; Queiroz, 2021).

Segundo El-Hani, Roque e Rocha (2011), o sistema de avaliação do PNLEM analisa livros apresentados pelas editoras em formato de volume único e em coleção, tomando como base quatro classes de critérios: 1) correção e adequação conceituais; 2) adequação e coerência metodológicas; 3) promoção de visões adequadas sobre a construção do conhecimento científico; e 4) princípios éticos e educação para a cidadania. Apesar da complexidade e do rigor desse sistema, muitos pesquisadores da área de educação têm refletido sobre a forma como os livros didáticos abordam o conteúdo da evolução biológica no ensino médio. Essa preocupação é justificável, uma vez que, segundo Kawasaki e El-Hani (2002), o livro didático de Biologia representa a principal ferramenta de transposição dos conteúdos científicos para os alunos desse nível de ensino, sendo muitas vezes o primeiro contato dos alunos com esse conteúdo.

Em uma investigação de oito materiais aprovados pelo PNLEM nos anos de 2007 e 2009, Roma Navarro e Motokane (2009), por exemplo, encontraram que o assunto de evolução se encontra condensado em capítulos pouco articulados com o restante do livro, muitas das vezes inferiores a 10% do conteúdo apresentado nos materiais, demonstrando abordagem insuficiente. Engelke (2017), por sua vez, ao analisar outros quatro materiais também aprovados pelo Programa, tece críticas à maneira com que os livros lidam erroneamente com as ideias evolutivas de Lamarck e Darwin, sobrepõem conceitos de teoria e hipótese sem estabelecer distinções claras e, de maneira similar a Roma Navarro e Motokane, restringem o conteúdo de evolução a capítulos pouco ou nada relacionados com o restante do livro.

Zamberlan e Silva (2012) ilustram esse déficit de articulação ao observarem

capítulos de quatro livros referentes à conceitos básicos de ecologia, sendo dois em volume único e dois em formato de coleção. Os autores notaram que os livros sentem dificuldade em relacionar o conceito de “competição” à perspectiva evolutiva. Em Biologia, evolução e ecologia são áreas estreitamente relacionadas, o que ocorre em virtude das relações ecológicas, harmônicas e desarmônicas, como a competição, serem frequentemente bem explicadas quando observadas sob a lente evolutiva. Diante disso, a dificuldade dos livros em tratá-las como áreas correlatas costuma causar estranhamento entre pesquisadores e educadores.

O conceito de evolução paralela ou coevolução, por exemplo, implica que as interações entre duas ou mais espécies são antigas e adquirem maior complexidade com o passar do tempo. Ridley (2007, p. 634) elucida esse conceito: “Coevolução significa esse tipo de influência recíproca: cada espécie exerce uma pressão seletiva sobre a outra espécie e evolui em resposta à outra espécie”. Com o estudo da Biologia sob a perspectiva evolutiva, alguns conceitos poderiam ser utilizados como subsunçores para outros, assim facilitando a compreensão dos estudantes (Moreira; Masini, 2009).

Para demonstrar a estreita relação entre ecologia e evolução, em *A Origem das Espécies*, antes de apresentar o conceito de Seleção Natural, Darwin ([1859] 2017, p. 79) se inspira na teoria Malthusiana para explicar que na natureza há uma constante luta pela sobrevivência, apresentando a competição como resposta à disponibilidade limitada de recursos para todas as espécies:

Como as espécies de um mesmo gênero têm quase sempre - ainda que não constantemente - muita semelhança em hábitos e constituição e sempre em estrutura, a luta, se ambas entram em mútua concorrência, será geralmente mais rigorosa entre elas, que entre espécies de gêneros diferentes.

A maneira resumida com que os capítulos de evolução são apresentados piora ainda mais no caso de livros propostos pelas editoras em formato de volume único para as três séries do ensino médio. Engelke (2017) argumenta que há clara diferença de qualidade na abordagem evolutiva entre livros de volume único e de coleção. Para Sales e Landim (2009), os livros em volume único apresentam grande redução dos conteúdos de Biologia, frequentemente levando à exclusão de textos complementares, o que pode acarretar em uma abordagem mais superficial e induzir o aluno à formulação de conceitos errôneos.

Infelizmente, com a redução do livro torna-se mais comum que os capítulos não tenham espaço para trabalhar o processo de desenvolvimento da teoria da evolução

de maneira mais significativa. Conhecer conceitos é importante para o aprendizado de qualquer ciência, no entanto, a maneira na qual os livros costumam tratá-los geralmente é pouco proveitosa, uma vez que o aluno não tem a possibilidade de explorar o contexto que os engloba nem seus impactos para o desenvolvimento da ciência como um todo. A história da Biologia, por exemplo, é rica em conceitos e frequentemente os autores e cientistas retornam a eles para saber como embasar melhor o seu estudo (Sales; Hayward; Loyola, 2021). Nesse sentido, compreender a origem de um conceito e suas relações com outros permite ao estudante reconhecer seus limites e aplicações, além de entender as vantagens de um em relação a outro — como de fato ocorre na prática científica.

A condensação do LD de Biologia é intensificada ainda mais com as modificações provenientes da reforma do ensino médio, prevista na lei nº 13.145/2017, que busca articular o sistema de ensino com a Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Com o Novo Ensino Médio (NEM), a disciplina de Biologia passa a dividir o mesmo material didático com outras disciplinas como Química e Física, conforme a área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias. A problemática da síntese das três áreas em um mesmo material de reduzido número de páginas é que muitos conteúdos de ambas as áreas deixam de ser abordados ou o passam a ser ainda mais superficialmente. Para Leal e Pereira (2022), essa disposição dos conteúdos implica no esvaziamento e fragmentação dos temas da Biologia, tornando os assuntos cada vez mais desconexos. Dessa maneira, a dificuldade em relacionar evolução e Biologia em alguns livros didáticos ganha proporções ainda maiores quando passa a ser necessário relacioná-la também com as áreas de Química e Física.

Leal e Pereira (2022) acreditam que uma das soluções para essa problemática seja incitar a busca dos professores pela sua autonomia didática, reforçando que o LD, apesar de muitas vezes ser o único recurso do docente, trata-se de uma ferramenta e não um currículo a ser seguido. Sobre o LD, Choppin (2004, p. 553) escreve: “O livro didático não é, no entanto, o único instrumento que faz parte da educação da juventude [...], mas torna-se um elemento constitutivo de um conjunto multimídia”. Dessa maneira, o uso de recursos didáticos, como jogos educativos e modelos tridimensionais, pode auxiliar a suprir as lacunas do LD no ensino de evolução.

#### **2.4 Recursos didáticos e a formação de professores para o ensino de evolução**

Os recursos didáticos são definidos como instrumentos educacionais capazes de auxiliar o professor durante a transposição didática de conteúdos e podem ser desde narrativas, histórias em quadrinhos, filmes, simulações e modelos tridimensionais até jogos, sejam físicos ou digitais, objetivando contribuir significativamente para o ensino e aprendizagem dos alunos (Souza, 2007). No entanto, segundo Krasilchik (2008), esses recursos não costumam estar disponíveis nas escolas e, além disso, os professores não têm tempo para produzi-los.

Apesar da aparente complexidade em produzir um recurso didático, iniciativas têm demonstrado que é possível criar materiais de qualidade com recursos limitados. Araújo e Roque (2022), utilizando objetos domésticos, como pregadores de roupa e grampos, em conjunto com caroços de milho e feijão replicaram o jogo “*clipbirds*” elaborado por Janulaw e Scotchmoor (2003) com estudantes do ensino médio para exemplificar o funcionamento da Seleção Natural na atividade formalizada como “batalha dos bicos”. Os autores observaram que o jogo atuou como uma importante ferramenta motivadora, permitindo aos estudantes compreenderem como as espécies de aves estão adaptadas ao consumo de diferentes alimentos pelo formato de seus bicos. Ainda nessa perspectiva, Menezes e colaboradores (2024), por sua vez, construíram dois recursos didáticos lúdicos para simular os impactos da Seleção Natural e da Deriva Genética sobre populações de borboletas e ararinhas azuis, respectivamente. Os autores perceberam que os recursos foram úteis para auxiliar os estudantes a diferenciarem os dois mecanismos evolutivos e compreenderem como se interrelacionam.

Esses e outros trabalhos, ao esclarecerem sua metodologia e maneira com que os recursos foram elaborados, estimulam os educadores a produzirem os mesmos materiais e experimentarem em suas atividades em sala de aula. Outros trabalhos, com o mesmo objetivo, têm se focado na produção de recursos didáticos digitais para utilização dos educadores. Pessoa, Leite e Oliveira (2021) desenvolveram uma ferramenta virtual gratuita e *online* denominada “Alelotório”, através da qual é possível simular os efeitos da Deriva Genética em uma população imaginária de maneira personalizada. Assim, uma vez que o simulador está disponível a partir de um site, professores de qualquer estado podem utilizá-lo como ferramenta didática em suas aulas.

Entretanto, mesmo com os pontos positivos, muitos professores preferem utilizar os livros didáticos, apesar de suas limitações. Yaber e Barros (2017) delegam o uso restrito do livro didático à sensação de despreparo da maioria dos professores em abordar a evolução na sala de aula, comprometendo o aprendizado dos estudantes em virtude de uma abordagem fragmentada, conteudista e memorística. Na educação básica, o ensino de evolução tem se tornado motivo de apreensão para a maioria dos professores. Segundo pesquisa realizada com educadores por Coimbra e Silva (2007), a sensação de conhecimento teórico insuficiente pela ineficiência da formação é um dos fatores que acarreta grande desconforto na transposição didática dos conceitos referentes à teoria evolutiva pela maioria dos educadores.

Em entrevista com professores egressos do curso de Licenciatura em Ciências Biológicas da Universidade Federal de Santa Catarina na década de 1990, Goedert (2004) observou evidente insatisfação quanto à maneira com que a estrutura curricular do curso tratou da disciplina durante sua formação. Os educadores afirmaram que as demais disciplinas do curso estavam pouco articuladas com a evolução, que foi abordada especificamente por uma única disciplina. Nesse contexto, como exigir dos educadores a postura de domínio teórico-prático dos conceitos referentes à teoria da evolução?

Em entrevista também com educadores, Oleques e colaboradores (2001) identificaram dificuldades conceituais relacionadas ao papel do acaso na evolução e ao significado de Seleção Natural. A compreensão de que a evolução biológica corresponde a um processo misto, sustentado por uma associação entre fatores aleatórios e de seletividade pode ser difícil à primeira vista. Em *A Origem das Espécies*, Darwin (1859) define a Seleção Natural como a conservação das diferenças e variações individualmente favoráveis e destruição das que são prejudiciais pela atuação de pressões seletivas durante sucessivas gerações. Darwin propôs que as variações individuais surgem ao acaso, e atualmente a ciência entende que esse processo resulta de mutações aleatórias. Dessa maneira, a partir de um mecanismo sensível, quaisquer modificações — até mesmo as menores — que confirmam maior facilidade de sobrevivência em relação às outras serão favorecidas pela seleção.

Compreender as diferenças entre as teorias evolucionistas de Lamarck e Darwin, segundo Tidon e Lewontin (2004), também tem sido uma dificuldade recorrente para os educadores. Alguns profissionais afirmam que até consideram fácil distingui-las para os estudantes, mas acabam se confundindo em pontos específicos

de divergência. Para Lamarck, as espécies possuem tendência a sofrerem modificações pelo “esforço” de um indivíduo, a partir da lei do uso e desuso, que adquire melhorias e as transmite a sua prole (Ridley, 2007). Para Darwin, as espécies evoluem não porque estão destinadas a isso, mas pela atuação dos mecanismos evolutivos, como a Seleção Natural, que atua selecionando indivíduos ocasionalmente mais aptos que outros, os quais conseguem gerar mais descendentes e transmitem tais características à sua prole.

Yaber e Barros (2007) também destacam a tendência de muitos professores associarem a evolução a uma ideia de progresso, como aperfeiçoamento dos organismos ou aumento de sua complexidade, colocando a espécie humana como ápice evolutivo. A evolução, na realidade, não apresenta tal direcionalidade. Não existem espécies “mais evoluídas” do que outras: todas são igualmente “evoluídas”. A Seleção Natural gera adaptações específicas ao contexto de cada espécie, não sendo possível, por isso, considerar umas como “melhores” do que outras. O aumento da complexidade, por sua vez, também não é necessariamente verdade para todos os casos. Inúmeros são os casos em que a Seleção Natural produz descendentes menos complexos do que seus ancestrais, como no caso das aves ratitas, espécies que perderam sua capacidade de voar em virtude das pressões seletivas do ambiente, onde indivíduos mais simples foram favorecidos em detrimento dos outros (Araújo; Paesi, 2017).

Infelizmente, essas e outras visões fragmentadas dos conceitos que permeiam a teoria da evolução são problemáticas. É na escola, nas aulas de ciências e Biologia, que os estudantes adquirem o primeiro contato com o pensamento evolucionista. A transmissão de conceitos de maneira equivocada pode induzir os estudantes a encararem o tema de maneira negativa, formulando o quadro de observação da evolução biológica como conteúdo abstrato e de extrema complexidade ou simplesmente rejeitando-o em prol de outras explicações menos científicas para a origem e diversidade da vida (Santos, 2016).

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivo geral:**

Elaborar um jogo digital educacional atrativo, denominado Beetle Joy, que retrata como os mecanismos evolutivos Seleção Natural e Deriva Genética atuam sobre populações de besouros culminando no processo evolutivo para uso em aulas

de evolução no ensino médio.

### 3.2. Objetivos específicos:

Ilustrar de forma prática os conceitos de Seleção Natural e Deriva Genética em linguagem acessível ao público adolescente.

Exemplificar como a interação entre Seleção Natural e a Deriva Genética resulta em evolução com o passar das gerações de besouros.

Facilitar a compreensão de que a Seleção Natural ocorre através de relações ecológicas entre seres vivos independentes, como exemplificado em Beetle Joy com a predação de besouros por sapos.

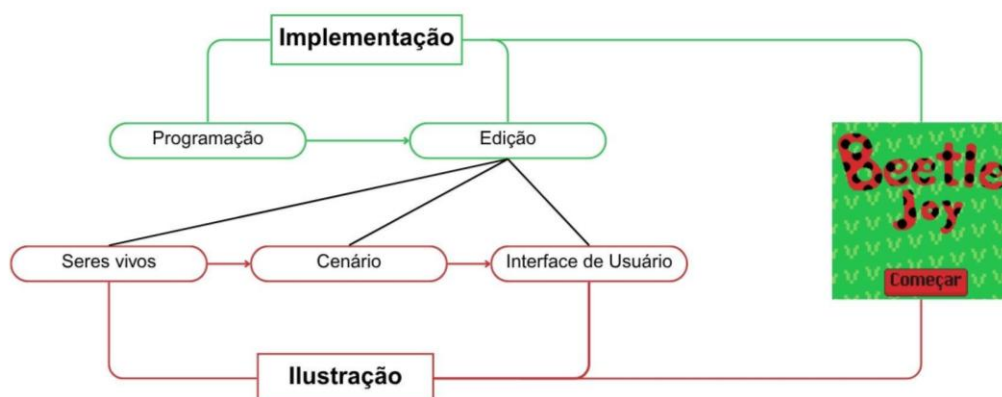
Demonstrar que a Deriva Genética atua sobre as populações de seres vivos a partir de fenômenos aleatórios, em Beetle Joy a população de besouros é afetada pelos eventos de inundação, queimada e erupção vulcânica.

Elaborar um recurso didático utilizando o *pixel art* como elemento da cultura de jogos para equilibrar didática e ludicidade.

## 4. METODOLOGIA

O presente trabalho trata-se de uma pesquisa de abordagem qualitativa, que se caracteriza como de natureza básica e finalidade descritiva (Minayo; Deslandes; Gomes, 2016; Prodanov; Freitas, 2013). O processo de desenvolvimento do jogo ocorreu em duas etapas simultâneas: ilustração e implementação (Figura 1).

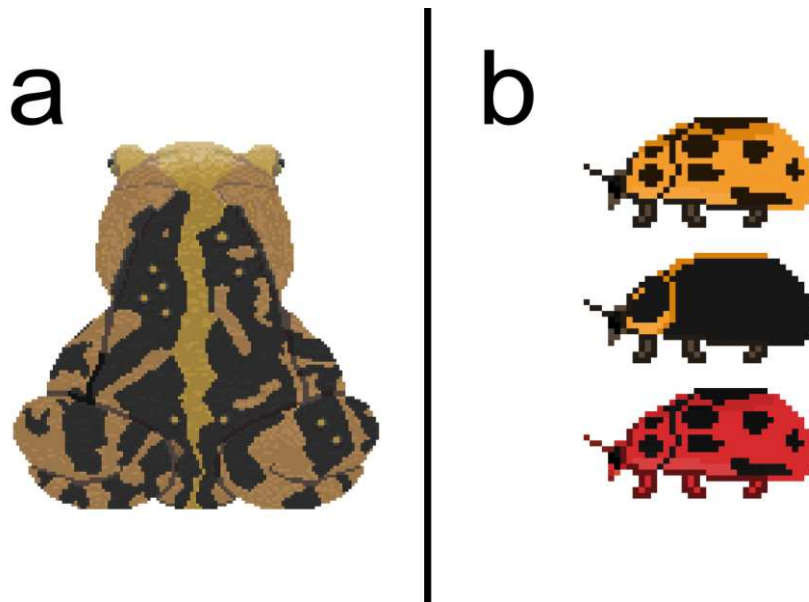
Figura 1 - Fluxograma de desenvolvimento do Beetle Joy



Fonte: Elaborada pelo autor.

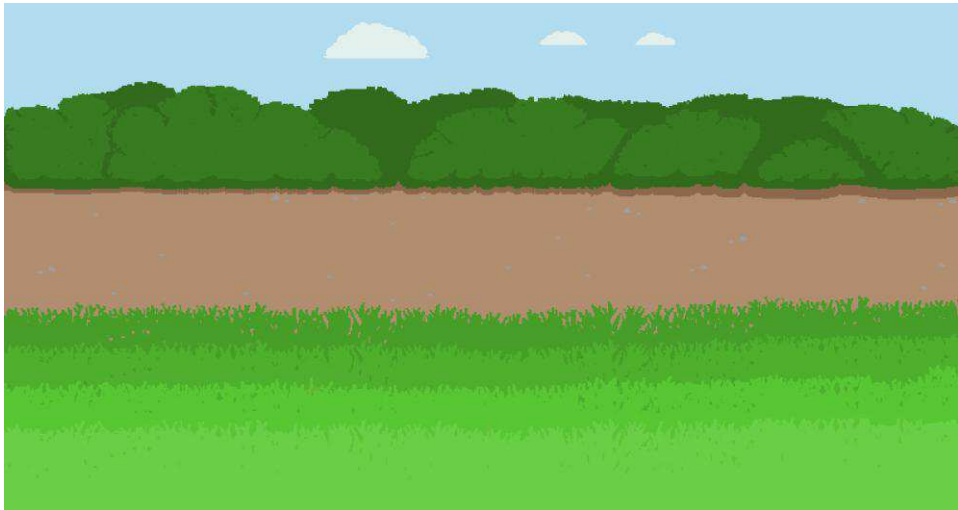
A etapa de ilustração foi dividida em três sub etapas sucessivas. Em cada uma delas foram utilizadas imagens de referência disponibilizadas publicamente na internet. A primeira consistiu na elaboração dos seres vivos aqui representados: os besouros, cada um representando três formas variáveis da população, e o sapo cururu (Figura 2a, b). A segunda constituiu a confecção do cenário, apresentando estratos de vegetação intercalados por uma faixa de terra (Figura 3). A terceira se configurou na construção da interface de usuário, exemplificando-se o menu principal (Figura 4). A etapa de implementação, por sua vez, foi dividida em duas sub etapas. A primeira delas foi a elaboração da lógica de programação que permite o funcionamento do jogo (Figura 5). A segunda constituiu a edição dos elementos visuais elaborados na etapa de ilustração para atuação conjunta (Figura 6).

Figura 2 - Seres vivos em Beetle Joy: (a) Sapo cururu (*Rhinella icterica*); (b) Besouros (Chrysomelidae)



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 3 - Cenário de Beetle Joy



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 4 - Menu principal de Beetle Joy



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 5 - Exemplo de linhas de código da programação de Beetle Joy

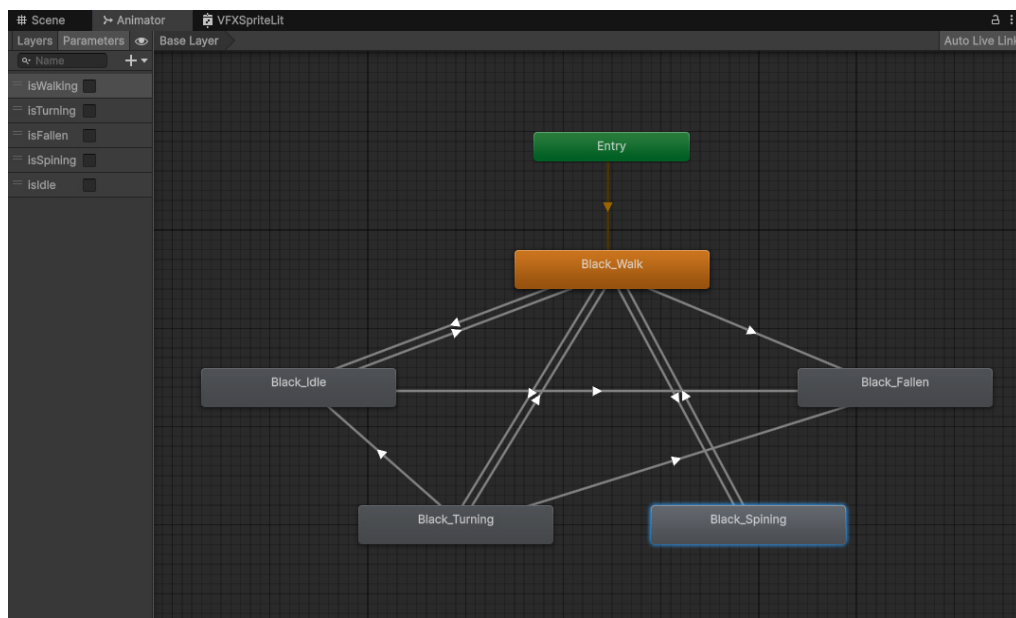
```

5      [System.Serializable]
6      public enum Morphotype
7      {
8          Black,
9          Red,
10         Yellow
11     }
12
13     public enum HabitatType { Earth, Grass }
14
15     public enum BeetleState { Walking, Idle, Turning, Fallen, Spining }
16
17     [RequireComponent(typeof(Collider2D))]
18     [RequireComponent(typeof(SpriteRenderer))]
19     public class Beetle : MonoBehaviour
20     {
21         [Header("General Settings")]
22         public float speed = 2f;
23         public float turnInterval = 3f;
24         [Range(0f, 1f)] public float turnChance = 0.3f;
25
26         [Header("Idle Settings")]
27         public float idleChancePerSecond = 0.2f;
28         public float minIdleTime = 1f;
29         public float maxIdleTime = 2f;
30         public float idleRecoveryDelay = 0.5f;
31         private float noCollisionTimer;
32
33         [Header("Patrol Settings (Optional)")]
34         public List<Transform> patrolPoints;
35         public float zigzagAmplitude = 0.5f;
36         public float zigzagFrequency = 2f;

```

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 6 - Edição dos tipos de besouros em Beetle Joy



Fonte: Elaborada pelo autor.

O jogo digital educacional foi desenvolvido por dois colaboradores, um ilustrador e um programador, sendo esses Juan Pablo de Almeida Oliveira e João Amauri Rodrigues do Nascimento, respectivamente. O recurso didático foi desenvolvido durante o período do semestre letivo 2025.1, no calendário acadêmico da Universidade Federal do Ceará (UFC), entre os meses de janeiro e junho de 2025. O jogo foi testado uma única vez por um grupo de quinze voluntários do Laboratório de Ecologia de Ecossistemas Aquáticos (LEEA): alunos de graduação, pós-graduação e professores da UFC, tendo em vista identificar possíveis problemas, ou *bugs* para serem solucionados.

#### **4.1. Beetle Joy: Do que se trata?**

Beetle Joy é um jogo digital educacional que busca trabalhar os mecanismos evolutivos de Seleção Natural e Deriva Genética de maneira didática e lúdica. O jogo simula como os mecanismos evolutivos exercem influência sobre uma população de besouros polimórficos através das gerações. O objetivo é proporcionar ao jogador a visualização de um processo cíclico, no qual o predador visualmente orientado, representado por um sapo cururu, atuará selecionando negativamente os insetos de menor aptidão, caracterizando o mecanismo de Seleção Natural. Posteriormente, o ambiente atuará eliminando insetos aleatoriamente e independentemente de sua aptidão através da ocorrência de eventos imprevisíveis, caracterizando o mecanismo de Deriva Genética.

Os besouros polimórficos escolhidos para serem representados em Beetle Joy pertencem à família Chrysomelidae. O polimorfismo, variedade de formas corporais, deste táxon representado no jogo é importante para demonstrar que existem variedades prévias dentro da população, visto que não haverá geração de novas variedades, posto que estas são o motor necessário para que a Seleção Natural possa atuar culminando no processo de evolução. O sapo cururu escolhido para atuar como predador pertence à espécie *Rhinella icterica*.

A proposta de Beetle Joy é que o jogador seja capaz de compreender que as populações de seres vivos estão constantemente sob influência dos mecanismos evolutivos. Através do jogo esperamos que o jogador seja capaz de observar os fatores individualmente, exemplificando-se o papel do predador, que atuam conjuntamente culminando no processo evolutivo no decorrer das gerações,

aprendendo que a evolução biológica, apesar de se tratar de um fenômeno complexo, pode ser compreendido de maneira lúdica e descontraída.

#### 4.2. *Pixel art*: por quê?

O *pixel art* surgiu como uma solução dos primeiros desenvolvedores de jogos para lidarem com as limitações tecnológicas de processamento da época, durante as décadas de 1970 e 1980. Os *pixels* correspondem a menor unidade de uma imagem digital e são eles que compõem as imagens que se costuma visualizar em monitores de computador, televisores, celulares e outros aparelhos digitais (Silber, 2015). Mesmo com a menor disponibilidade de recursos visuais e estéticos da época, muitos artistas foram capazes de elaborar personagens memoráveis e amados pelo público, como Mário, um encanador de baixa estatura com um nariz grande e bigode chamativo.

Para Silber (2015), o *pixel art* é uma imagem onde cada *pixel* visível é intencionalmente colocado na tela pelo artista, dando a ele a liberdade para manipular sua arte, denominada *sprite*, de maneira minuciosa para produzir obras nostálgicas, adoráveis e que atinjam públicos de faixas etárias distintas. Apesar de se tratar de uma técnica “antiga” e atualmente “abandonada” pela maioria das grandes produtoras de jogos, o *pixel art* tem sido amplamente utilizado por desenvolvedores menores na atualidade, denominados desenvolvedores independentes ou *indie*, conquistando inclusive as gerações mais atuais, por meio de jogos como Stardew Valley, Undertale, Celeste e diversos outros (Vahl; Albuquerque, 2022). Dessa maneira, o *pixel art* contemporâneo não se resume à nostalgia dos jogos antigos, visto que passa a consolidar uma nova identidade também para o público mais jovem.

Outra vantagem importante do *pixel art* está na acessibilidade para pessoas ainda em processo de aprendizagem. Segundo Alencar (2017), a facilidade de aprendizagem da técnica é um dos fatores mais atrativos para os desenvolvedores *indie*, sendo necessário tempo e dedicação para seu aprendizado, porém dispensando o uso de dispositivos gráficos extremamente potentes para seu exercício. Assim, o *pixel art* trata-se de uma estética artística quase sinônima a videogames, sendo essa a razão de sua escolha para o presente trabalho (Martins, 2018).

### 4.3. Softwares de edição e plataforma de desenvolvimento de jogos

Os *sprites* e animações em *pixel art* presentes no jogo Beetle Joy foram elaborados por meio dos *softwares* pagos Aseprite (v.1.3.2) e Pyxel Edit (v.0.4.95). O primeiro foi utilizado para construção da interface do usuário, através de ilustrações como o menu principal, o menu de opções e o menu de jogo. O segundo, por sua vez, foi utilizado para as ilustrações e animações dos animais envolvidos nas cenas de Seleção Natural e Deriva Genética. Ambos os *softwares* foram escolhidos em virtude da sua receptividade e baixa curva de aprendizagem para elaboração de *sprites* pouco complexos.

A plataforma de desenvolvimento de jogos escolhida para elaboração do Beetle Joy foi o motor de jogos, ou *game engine*, Unity (v.6000.0.47f1). A Unity é uma das mais populares *engines* utilizadas para criação de jogos devido a sua característica de multiplataforma, dentre elas o Windows, Linux, Mac OS, dispositivos móveis e consoles de *videogames*, e uso de linguagens de programação como C# e Javascript (Neto et al., 2015). A versão da Unity escolhida para elaboração do jogo ocorreu em razão do recorrente suporte da comunidade e por se tratar de uma versão que receberá atualizações por um período prolongado, permitindo alterações para melhorias futuras. A plataforma Github foi utilizada para organização e controle dos arquivos de desenvolvimento do jogo.

O Github é um sistema de controle de versão gratuito utilizado para trabalho coletivo colaborativo, atuando como um repositório para arquivos conforme as versões de desenvolvimento do projeto proposto por uma equipe de colaboradores (Bouquin, 2015). Uma das vantagens do Github é que por meio dele é possível acompanhar um dado projeto por meio de etapas, sendo possível visitar versões anteriores de maneira rápida e fácil, o que garante segurança para o usuário em caso de acidentes, funcionando também como um *backup* de partes do projeto. A comunidade ativa de usuários também é muito positiva, sendo possível visitar projetos de outras pessoas e estabelecer uma rede colaboradores proveitosa.

O jogo digital educacional Beetle Joy foi implementado em código pelo programador, desenvolvedor de jogos e aluno do curso de Sistemas e Mídias Digitais da UFC João Amauri Rodrigues do Nascimento. O planejamento do jogo foi realizado a partir de reuniões virtuais, na plataforma Discord, e presenciais, na UFC do *campus* do Pici. O jogo foi cuidadosamente elaborado tendo em vista equilibrar o uso de elementos científicos reais de evolução e ecologia com elementos lúdicos e divertidos

para jovens e adolescentes.

#### 4.4. Efeitos sonoros

Os efeitos sonoros utilizados no jogo foram obtidos a partir da plataforma Freesound, elaborados a partir do *software* Ableton Live 12 Suite e por meio de parcerias com pesquisadores do Laboratório de Interações Ecológicas e Biodiversidade (LIEB) da UFC. A plataforma Freesound trata-se de um repositório de *samples* de sons variados obtidos por compartilhamento entre diversos usuários ao redor do mundo, dando suporte para artistas e pesquisadores (Font et al., 2012). O Ableton Live 12 Suite, por sua vez, é um *software* utilizado para gravação, edição e produção de arquivos de áudio, comumente usado para produção de músicas e efeitos sonoros. Os efeitos sonoros da avifauna retratada no jogo foram obtidos de gravações feitas pela pesquisadora, ornitóloga e aluna do curso de Ciências Biológicas da UFC Maria Fernanda Paiva e Paiva. Os efeitos sonoros de *Rhinella icterica* foram obtidos do site Frösche, a partir de buscas na internet em conjunto com a professora, pesquisadora e herpetóloga Karoline Ceron.

### 5. RESULTADOS

O jogo digital educacional Beetle Joy foi desenvolvido para ajudar a suprir a carência de recursos didáticos disponíveis e utilizados por professores de Biologia no ensino de evolução biológica no ensino médio. O recurso didático será disponibilizado para uso por professores de maneira gratuita a partir da plataforma de divulgação de jogos individuais Itch.io. Ele busca equilibrar a abordagem didática dos mecanismos evolutivos — como Seleção Natural e Deriva Genética — com a ludicidade característica de um jogo eletrônico a partir do uso do *pixel art* como elemento da cultura de jogos. Apesar do recomendado uso do jogo pelo público adolescente, o presente trabalho acredita na possibilidade de aplicação do recurso didático também com o público infanto-juvenil em aulas de ciências do ensino fundamental. A proposta do jogo é que esse possa ser utilizado por educadores da rede municipal e estadual do Ceará, mas também em outros estados do Brasil por outros professores, tendo em vista colaborar com a rede de educadores que busca novas metodologias e recursos para o ensino de evolução não focado somente na abordagem metodológica tradicional.

Beetle Joy trabalha os mecanismos evolutivos através das cenas durante três rodadas. Inicialmente, ocorre a cena de Seleção Natural, na qual o jogador realiza a captura do máximo de besouros que conseguir no intervalo de quinze segundos. Em seguida, ocorre a cena de Deriva Genética, na qual os besouros são eliminados da população de maneira aleatória. O objetivo de estabelecer três rodadas é de proporcionar aos alunos o entendimento da evolução como um processo que ocorre a cada nova geração de besouros. Com o fim das três rodadas, o jogo compara o estado inicial da população com o estado final, tendo em vista evidenciar como os mecanismos evolutivos causaram sua modificação, alterando a proporção inicial entre os tipos de besouros e a sua distribuição na faixa de terra e sobre a vegetação.

### 5.1 Primeiro contato com o jogo

O jogo inicia-se primeiramente com a aparição do menu principal para o jogador (Figura 4). O primeiro contato tem o objetivo de apresentar ao jogador a interface de usuário, simples e direta, com as primeiras opções para uso, a partir dos botões “Começar”, “Opções” e “Sair”. Cada um dos botões apresenta uma animação conforme o clique do usuário, tendo em vista simular sua ação de pressionar, um elemento característico de jogos eletrônicos que visa fornecer ao jogador um retorno visual de que algo está acontecendo a partir de suas ações (Figura 7).

Figura 7 - Exemplo de animação de interface com o botão “Começar”

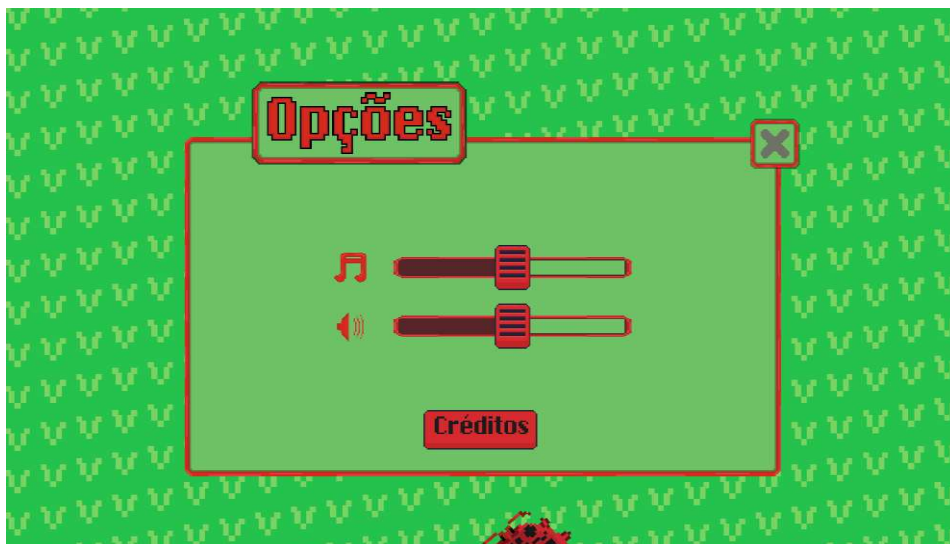


Fonte: Elaborada pelo autor.

O botão “Começar” inicia propriamente o jogo. Em “Opções”, o usuário tem acesso ao menu de opções, onde é possível ajustar o volume dos sons (Figura 8). Logo abaixo, há também o botão “Créditos”, o qual permite acessar a aba de créditos com agradecimentos à equipe de desenvolvimento e colaboradores (Figura 9). Já o

botão “Sair” encerra a sessão do aplicativo e retorna à área de trabalho do dispositivo. Os botões apresentam todos o mesmo formato e coloração tendo em vista atender a estética visual do jogo. O fundo e a logo, por sua vez, apresentam animação para atender a estética lúdica que o jogo busca promover para os usuários. A arte do fundo tem o objetivo de retornar ao jogador a ideia de flora em movimento. A logo, por sua vez, utiliza-se das cores e elementos característicos dos besouros vermelhos. A ideia de utilizar elementos em movimento ao invés de estáticos torna os elementos visuais mais dinâmicos e harmoniosos.

Figura 8 - Menu de Opções de Beetle Joy



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 9 - Aba de créditos de Beetle Joy



Fonte: Elaborada pelo autor.

## 5.2 Dentro do jogo

### 5.2.1 Cena de Apresentação e tutorial do jogo

Uma vez dentro do jogo, o usuário é recebido por uma cena breve de apresentação e tutorial (Figura 10). Por meio dessa cena, o jogador é introduzido à proposta do jogo e aos cenários de maneira resumida. A cena se desenvolve a partir de diálogos com um besouro vermelho em um estúdio de jornal. Os diálogos apresentam linguagem simples, direta e envolvente, por meio de elementos cômicos, como piadas e ironias. O jogador tem a opção de evitar a leitura ao pressionar o botão “Pular” ou seguir o tutorial de maneira contínua, pressionando os dois botões em formato de setas no canto inferior direito da tela.

O fundo da cena é ilustrado por um estúdio de jornal, no qual se encontra o besouro jornalista. O estúdio é composto por uma mesa de madeira sobre a qual o inseto repousa. Abaixo do besouro jornalista há uma folha que lembra os roteiros comumente utilizados em programas de jornal, assim como a caneca de café, ao lado do personagem.

Figura 10 - Cena de Apresentação e tutorial do jogo



Fonte: Elaborada pelo autor.

### 5.2.2 Cena da Seleção Natural

Após a escolha do botão “Começar” e término do tutorial, o jogo desenvolve-se em duas cenas. A primeira delas é onde haverá a representação do primeiro mecanismo evolutivo a ser trabalhado, a Seleção Natural, a partir da interação de predação dos besouros crisomelídeos pelo sapo cururu. A cena é representada por um ambiente natural organizado em três estratos: a vegetação de gramíneas, a faixa de terra e a vegetação arbustiva (Figura 3). Nesse ambiente, os seres vivos da fauna trabalhada no jogo estarão organizados de maneira diferente: o predador se encontra na vegetação rasteira de gramíneas, enquanto as presas podem estar presentes na faixa de terra e na vegetação arbustiva (Figura 11). A proposta de dividir as presas em estratos diferentes no ambiente natural é de que essa distribuição atue como um atributo herdável pela sua prole, além do morfotipo dos besouros. Desse modo, a predação pelo sapo cururu, além de reduzir a quantidade de um dado morfotipo na cena, também irá interferir na sua distribuição nas próximas gerações.

Figura 11 - Distribuição dos organismos na cena de Seleção Natural

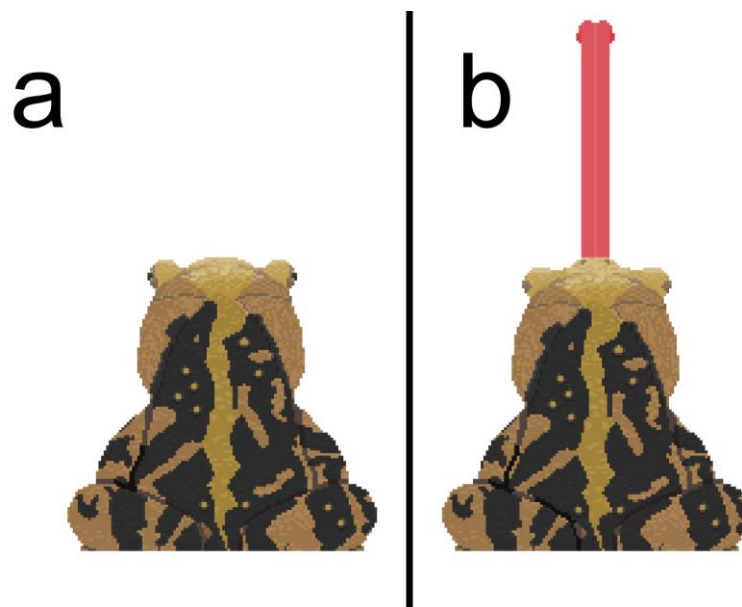


Fonte: Elaborada pelo autor.

No primeiro estrato, o sapo se movimenta horizontalmente a partir do comando do usuário, ao pressionar as teclas correspondentes. No segundo e terceiro estratos, os insetos também se movimentam horizontalmente, porém alternam seu movimento aleatoriamente, tendo em vista fornecer imprevisibilidade ao jogador para dificultar a

captura. Para capturar, o jogador deve alinhar o sapo a um dado besouro, sendo a língua projetada do predador em direção a presa a partir do comando do usuário, ao pressionar a tecla correspondente (Figura 12). Para acessar os besouros presentes no estrato arbustivo, por sua vez, o jogo introduz uma mecânica diferente, sendo necessário o clique com o mouse. Ao clicar no besouro desejado, esse cai sobre a faixa de terra, sendo possível sua captura pelo método já explicado. O relógio no canto superior direito registra a passagem do tempo de quinze segundos pré-estabelecido para a cena, devendo o jogador atuar selecionando o máximo de presas que conseguir nesse intervalo. Após a passagem desse tempo ocorrerá o encerramento da cena.

Figura 12 - Animação de projeção da língua do Sapo cururu (*Rhinella icterica*):  
a) sapo em estado normal; b) sapo com língua projetada



Fonte: Elaborada pelo autor.

### 5.2.3 Cena da Deriva Genética

Após a cena dedicada à Seleção Natural, o jogo prossegue com a representação da Deriva Genética. Nessa etapa, o jogador é informado sobre um evento catastrófico aleatório que atinge a população de besouros, resultando na eliminação de um número específico de indivíduos, determinado aleatoriamente pelo código de programação. Em Beetle Joy, três tipos de fenômenos naturais podem ocorrer: erupção vulcânica, inundação e queimada. A cena é apresentada de forma

lúdica e envolvente, com um besouro vermelho assumindo o papel de jornalista em um estúdio de notícias (Figura 13). Ele comunica o acontecimento a seus telespectadores, em um cenário que expressa urgência e preocupação. Elementos visuais, como a expressão "Breaking News" em destaque e a bagunça do cenário, como o café derramado sobre a mesa e no papel utilizado pelo jornalista, reforçam o tom dramático da situação vivida pelos besouros. O tamanho exagerado dos objetos em comparação ao do besouro também denota humor na cena.

Figura 13 - Cena da Deriva Genética



Fonte: Elaborada pelo autor.

A tentativa de conferir à animais características humanas é um fator bastante comum em jogos digitais. Em Beetle Joy, esses elementos atribuem comicidade à cena, assumindo que há uma sociedade fictícia de besouros que estaria supostamente interessada na notícia apresentada pelo noticiário. Abaixo da notícia há ainda um texto passando repetidamente da direita para a esquerda, algo característico de noticiários, também para tornar a cena mais dramática, através de expressões como “população de besouros”, “autoridades investigam possível sabotagem” e “cientistas besouros”. O texto escrito reforça ainda o papel do acaso expresso pela Deriva Genética, porém de maneira mais exagerada para provocar humor, através de frases como “folha seca pega fogo sozinha”, “vulcão entra em erupção completamente do nada” e “após súbita cheia de rio que sempre esteve seco”.

Além do texto apresentado pelo besouro jornalista, à sua direita há uma

ilustração representando a catástrofe natural recém-ocorrida. Esse recurso visual busca simular a prática comum de noticiários reais, que frequentemente exibem imagens dos acontecimentos como forma de sensibilizar e informar melhor sua audiência. A representação da catástrofe é propositalmente exagerada, tanto nos traços quanto na intensidade do evento, com o objetivo de surpreender o jogador e provocar humor. Esse tom cômico reforça a abordagem lúdica do jogo, ao mesmo tempo em que comunica, de forma acessível, os conceitos relacionados à Deriva Genética.

#### 5.2.4 Quadro de resumo das cenas

Após a cena da Deriva Genética, o jogo segue para a apresentação da tabela de resumo ao jogador (Figura 14). O objetivo dessa parte é comunicar ao jogador exatamente quantos e quais besouros foram eliminados em cada cena, para que o usuário tenha noção das flutuações ocorridas entre os morfotipos da população. A cena é apresentada por ícones representativos, simples e diretos, tendo em vista transmitir a mensagem de maneira mais conclusiva, evitando possíveis falhas de compreensão. Nessa tabela aparecem dois ícones, o primeiro logo acima é correspondente à cena de Seleção Natural, com o sapo como elemento representativo, enquanto o segundo logo abaixo é correspondente à cena da Deriva Genética, com um dado com elemento representativo dos fenômenos aleatórios que caracterizam a cena.

Figura 14 - Quadro de resumo das cenas



Fonte: Elaborada pelo autor.

Ao lado de cada ícone é informado a exata quantidade de besouros que foram capturados, com um limite de 21 indivíduos, que corresponde à quantidade máxima suportada de organismos na população. O ícone de caveira logo acima faz alusão à morte dos besouros da população em conjunto com a frase “Descansem em paz”, tendo em vista transmitir a mensagem de maneira mais direta. Ao lado da tabela há também o botão de “Pular”, dando ao usuário a opção de seguir adiante caso não tenha interesse em observar as informações da tabela ou já as tenha observado anteriormente. A figura exemplifica como as informações estão dispostas demonstrando que apenas besouros amarelos foram eliminados em ambas as cenas e a sua quantidade exata, sendo dez indivíduos pela Seleção Natural e sete pela Deriva Genética.

### **5.2.5 Desfecho do jogo**

Após as rodadas, o jogo tem sua culminância na etapa de desfecho (Figura 15). Essa etapa tem o objetivo de demonstrar a população de besouros resultante da atuação dos dois mecanismos evolutivos, Seleção Natural e Deriva Genética. Isso ocorre com a apresentação de duas imagens ao usuário, a primeira representando o estado inicial da população, antes da atuação dos mecanismos, e a segunda o estado final da população, após a atuação. O objetivo dessa etapa é evidenciar ao usuário que a população passou por modificações.

O cenário é o mesmo utilizado na cena de apresentação e tutorial do jogo, uma vez que apresenta o último diálogo do besouro jornalista com o jogador. O diálogo evidencia isso de maneira irônica e dramática, esclarecendo para o jogador que isso ocorreu em virtude da ação conjunta de suas escolhas individuais e da deriva genética representada pelos fenômenos aleatórios.

Figura 15 - Desfecho de Beetle Joy



Fonte: Elaborada pelo autor.

## 6. DISCUSSÃO

Diante do potencial lúdico dos jogos educativos para o ensino de evolução, Ferreira, Mota e Souza (2015) argumentam que a inserção desses recursos é imprescindível no cotidiano escolar. Na área de ciências e Biologia, o uso de jogos para o ensino de outros conteúdos está em processo de crescimento e já apresenta resultados interessantes. Souto (2015), por exemplo, constata a eficiência do uso de um jogo didático como facilitador na aprendizagem de conceitos relacionados ao reino Monera. Sousa e Chupil (2019), por sua vez, em uma pesquisa bibliográfica, observam o uso proveitoso de oito jogos no ensino de parasitologia. Conceição, Mota e Barguil (2020), em entrevista com educadores de ciências e Biologia, observaram que os professores reconhecem a importância do uso desses recursos em sala de aula, mas tendem a recorrer às aulas expositivas com maior frequência.

Essa problemática, no entanto, não é causada por um único fator, mas apresenta na verdade uma característica multifatorial. Não é possível delegar somente ao educador a falta de uso de recursos didáticos nas aulas de evolução. A falta de jogos educativos já disponíveis para uso é um aspecto importante, uma vez que a maioria dos professores não possui tempo para produzi-los previamente. Somando-se a isso, outra questão é que a maioria dos recursos costumeiramente produzidos na literatura é de formato analógico (Sousa; Chupil, 2019). A construção de recursos

didáticos, sejam físicos ou digitais, é de extrema importância. No entanto, informar apenas os materiais utilizados na elaboração, com a intenção de que o educador confeccione individualmente o recurso, pode não resolver completamente a recorrente dificuldade apontada por muitos professores: a falta de tempo para produzir tais materiais (Krasilchik, 2008).

A baixa disponibilidade desses recursos nas escolas também contribui para a permanência da metodologia tradicional expositiva como principal abordagem de ensino. Da Silva, De Sousa Sá e Sousa (2020) em entrevista com professores de ciências de uma escola pública, observaram que há poucos recursos disponíveis para muitos docentes, o que impossibilita o uso pleno desses materiais. Dessa maneira, os professores acabam por ser impulsionados à metodologia expositiva e o uso irrestrito do livro didático, uma vez que a própria escola não fornece recursos para a realização de aulas com formatos e metodologias distintas.

Outro fator é que os cursos de formação de professores não costumam incentivar o uso ou a confecção de recursos didáticos pelos educadores no ensino básico. No caso da evolução biológica, Goedert (2004) observa que os professores já formados se queixam da abordagem essencialmente teórica durante sua graduação, com pouco incentivo à realização de atividades práticas para consolidar o aprendizado. A falta de incentivo dificulta que futuros educadores vejam os recursos didáticos como ferramentas úteis para o seu cotidiano, o que também colabora para que os docentes recorram frequentemente às metodologias tradicionais. A formação continuada de professores pode ser uma solução, mas quanto mais cedo os licenciandos forem imersos nessa discussão, menor a necessidade de remediar a problemática.

Apesar dessas dificuldades, os recursos digitais podem otimizar o trabalho do professor, uma vez que não exigem que ele os confeccione, sendo necessário apenas a realização do planejamento adequado para utilizá-lo com os estudantes em sala de aula. Com essa proposição não buscamos retirar do professor o dever de selecionar cuidadosamente o melhor recurso didático para seu uso. Na verdade, compreendemos que o recurso didático, independente de qual seja, não é capaz de garantir sozinho que o aluno aprenderá o conteúdo que deve ser ensinado pelo professor, sendo necessário que o educador esteja sempre atento ao potencial pedagógico de cada recurso e como esse se adequa ao seu respectivo contexto (Menezes et al., 2024). Nesse caso, é necessário frisar a importância da fase de

preparação da aula, uma vez que garantir sua qualidade é dever do profissional educador.

Outra vantagem interessante que observamos a respeito dos recursos didáticos digitais é que esses podem ser acessados em escala nacional, por educadores de outros estados, como é o caso do simulador “Alelotorio”, desenvolvido por Pessoa, Leite e Oliveira (2021). Com Beetle Joy esperamos colaborar de maneira similar com professores de ciências e Biologia também de outras localidades, estimulando o uso de metodologias diferentes do ensino tradicional bancário, como definido por Freire (1986), e inspirando professores e pesquisadores a produzirem seus próprios recursos, também a partir da cooperação com profissionais da área de tecnologia (Balasubramanian; Wilson, 2006).

É importante lembrar que a produção dos jogos digitais educacionais deve atender aos requisitos de didática e ludicidade, como apontado por Savi e Ulbricht (2008). Um jogo didático precisa apresentar elementos que promovam a aprendizagem dos estudantes, assim como sua diversão, o que acaba por ser a etapa mais difícil de seu desenvolvimento. Em Beetle Joy, buscamos fornecer elementos de ludicidade intercalados com o aprendizado, estabelecendo desafios para o jogador. A captura dos besouros, em virtude de seu movimento aleatório e o curto período de tempo para que seja realizada, se inserem nesse contexto. Mas isso não significa que jogadores com maior treinamento não sejam capazes de capturar mais insetos, mesmo com menos tempo. O entendimento de que as ações do jogador como predador interferem na população de besouros pelas próximas gerações também é importante, uma vez que a intensidade de sua captura representará uma seleção forte ou fraca das presas.

Além disso, a apresentação de elementos humorísticos, como a figura do besouro vermelho em um ambiente jornalístico, também é uma forma de proporcionar entretenimento. Nos jogos digitais, é comum a presença de elementos que demonstram situações absurdas com a finalidade de provocar humor. As animações de movimentação e de dança dos besouros também buscam estabelecer essa sensação para os jogadores.

A forma com que Beetle Joy é projetado pode auxiliar no ensino significativo dos mecanismos evolutivos Seleção Natural e Deriva Genética, geralmente difíceis e pouco compreendidos pelos estudantes. Esses mecanismos são extremamente importantes porque sua compreensão soluciona uma das principais dificuldades e

conclusões precipitadas dos estudantes e das pessoas em geral: compreender a evolução como um processo puramente aleatório. Porém, o jogo possui uma grande limitação quanto à sua utilização. Essa limitação é de ordem tecnológica, uma vez que muitas escolas não possuem infraestrutura específica para seu uso. Apesar de existirem escolas com boa infraestrutura e inclusão digital, Bonilla (2010) discute que essa realidade não é comum a todas. Segundo a autora, as dificuldades de ordem estrutural fazem com que poucos estudantes tenham acesso às tecnologias em suas instituições de ensino. Quando acontece, as TDICs costumam ser utilizadas com a perspectiva instrumental, restringindo-se à realização de cursos com foco no mercado profissional, impedindo que os professores utilizem essas ferramentas para o ensino.

No entanto, acreditamos que a existência dessas limitações não deve impedir o desenvolvimento de novos recursos digitais. Beetle Joy pode ser uma ferramenta extremamente útil para os educadores, ao fornecer um contexto prático para a atuação dos mecanismos evolutivos, sanando a principal dificuldade do livro didático: fornecer exemplos práticos de como cada mecanismo atua no processo evolutivo. Os conceitos trabalhados em Beetle Joy são cuidadosamente planejados, tendo em vista impedir que os estudantes tirem conclusões precipitadas a respeito do conteúdo teórico dos mecanismos evolutivos Seleção Natural e Deriva Genética. Acreditamos que os professores podem utilizar o recurso da maneira que lhes parecer mais confortável, antes ou depois da discussão do conteúdo teórico em sala de aula. Após a abordagem dos conceitos, uma possibilidade interessante que encorajamos é que o professor, juntamente com os alunos, observe o jogo Beetle Joy de forma crítica, incentivando o questionamento e a análise sobre quais aspectos do jogo se relacionam com os conceitos da teoria da evolução, sem tomar o recurso didático como uma representação absoluta da realidade científica, estimulando o desenvolvimento da investigação e da criticidade.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os recursos didáticos são excelentes ferramentas para auxiliar os educadores na transposição didática em sala de aula. Para conteúdos mais complexos, como a teoria da evolução, na qual costumam-se utilizar poucos exemplos para ilustrar seus conceitos do ponto de vista prático, esses recursos podem colaborar para o aprendizado significativo dos estudantes, reduzindo a fragmentação e memorização conteudista das informações. No momento sociopolítico em que vivemos, formar cidadãos críticos bem embasados cientificamente trata-se de uma prioridade para o contexto escolar, sendo o conhecimento e aceitação da teoria da evolução de vital importância pelo sistema de ideias que é e que explica como a vida surgiu e se desenvolveu no planeta. Nessas situações, o jogo digital educacional é uma excelente ferramenta, uma vez que busca equilibrar elementos didáticos e lúdicos para proporcionar atratividade e aprendizado para os alunos.

Nesse sentido, o jogo Beetle Joy aqui apresentado passa a ser uma ferramenta disponível para uso pelos educadores ao trabalharem essa temática em sala de aula. Por meio do jogo é possível trabalhar os mecanismos evolutivos Seleção Natural e Deriva Genética, exemplificando conceitos como a influência das pressões seletivas ambientais na direcionalidade da evolução, assim como o papel do acaso. Entender como esses conceitos se inter relacionam muitas vezes pode ser um desafio para os estudantes, por isso espera-se que o jogo possa ser capaz de auxiliar suprimindo essas lacunas. No entanto, o jogo exige uma boa infraestrutura tecnológica para que possa ser aplicado, o que ainda não é uma realidade para todas as instituições de ensino. Apesar disso, acreditamos que essa limitação não deve impedir o desenvolvimento de novos recursos digitais, tendo em vista suas qualidades e potencial educativo. Esperamos que o jogo seja útil do ponto de vista educacional e também possa estimular o desenvolvimento de novos recursos didáticos, assim como a pesquisa pela elaboração e experimentação da eficiência de novos jogos digitais educacionais, tendo em vista o potencial educativo dessas ferramentas para o ensino.

## 8. REFERÊNCIAS

ALLÈGRE, Claude. **Deus e a ciência**. 1. ed. Bauru, SP: EDUSC, 2000. 204 p.

ALMEIDA, David Figueiredo. Concepções de alunos do ensino médio sobre a origem das espécies. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 18, n. 1, p. 143-154, 2012.

ARAÚJO, Leonardo Augusto; PAESI, Ronaldo A. Parece simples mas não é: equívocos comuns sobre evolução. In: ARAÚJO, Leonardo Augusto Luvison (Org.). **Evolução Biológica da pesquisa ao ensino / Volume I: Interdisciplinaridade & Evolução**. Porto Alegre, RS: Editora Fi, 2017. p. 271-292.

ARAÚJO, Leonardo Augusto Luvison; VIEIRA, Gilberto Cavalheiro (Org.). **Ensino de Biologia: uma perspectiva evolutiva / Volume II: Biodiversidade & Evolução**. Porto Alegre, RS: Editora Fi, 2021. 407p.

ARAÚJO, Alisson Campos de Souza; ROQUE, Francisco. Alta eficácia de material didático para o ensino de evolução por Seleção Natural. **HOLOS**, Ano 38, v.6, e10018, p. 1-14. 2022.

BALASUBRAMANIAN, Nathan; WILSON, Brent G. Games and simulations. In: **Society for information technology and teacher education international conference**. 2006. p. 1-23.

BIDAU, Claudio J. La enseñanza de la biología evolutiva en la escuela. **Memorias de las V Jornadas Nacionales de Enseñanza de la Biología (ADBIA)**, p. 55-70, 2001.

**BÍBLIA SAGRADA**. Edição Nova. São Paulo: Mundo Cristão, 2010. 1056p.

BIZZO, Nelio Marco Vincenzo. Criacionismo versus evolucionismo: literalismo religioso e materialismo darwiniano em questão. **Filosofia e História da Biologia**, v. 8, n. 2, p. 301-339, 2013.

BONDIOLI, Ana Cristina Cristina Vigliar; VIANNA, Simone Cristina Gonçalves;

SALGADO, Maria Helena Veloso. **Metodologias ativas de Aprendizagem no Ensino de Ciências: práticas pedagógicas e autonomia discente**. Caleidoscópio, v. 10, n. 1, p. 23-26, 2018.

BONILLA, Maria Helena Silveira. Políticas públicas para inclusão digital nas escolas. **Motrivivência**, n. 34, p. 40-60, 2010.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. **Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias**. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2006. 135 p.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. **Programa Nacional do Livro e do Material Didático**. Brasília: 2023.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Fundamental. **Parâmetros Curriculares Nacionais + (PCN+): Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias**. Brasília: MEC, 2002.

BRASIL. Ministério da Educação-MEC, Secretaria de Educação Básica. **Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio-PNLEM**. Brasília: 2007.

BRASIL. Secretaria de Educação Fundamental. **Parâmetros curriculares nacionais: terceiro e quarto ciclos do ensino fundamental: introdução aos parâmetros curriculares nacionais**. Brasília: MEC/SEF, 1998. 174 p.

BRUSCA, R.C.; BRUSCA, G.J. **Invertebrados**. 2a edição. Rio de Janeiro: Editora Guanabara-Koogan, 2007. 968 p.

CAMPOS, D. C. et al. The STEAM approach and its pedagogic and methodological trends. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 15, p. 1-11, 2022.

CHOPPIN, A. História dos livros e das edições didáticas: sobre o estado da arte. **Educação e Pesquisa**, v. 30, n. 3, p. 549-566, dez. 2004.

COIMBRA, Roberta Lipp; SILVA, Juliana. Ensino de evolução biológica e a necessidade de formação continuada. In: MORTIMER, E.F. (Ed.). **Atas do VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**. Florianópolis. Abrapec.

COLUCCI-GRAY, Laura; BURNARD, Pamela; COOKE, Carolyn; DAVIES, Richard; GRAY, Donald Stuart; TROWSDALE, Jo. Reviewing the potential and challenges of developing STEAM education through creative pedagogies for 21st learning: how can school curricula be broadened towards a more responsive, dynamic, and inclusive form of education? **British Educational Research Association**. 2017.

CONCEIÇÃO, Alexandre Rodrigues; MOTA, Maria Danielle Araújo; BARGUIL, Paulo Meireles. Jogos didáticos no ensino e na aprendizagem de Ciências e Biologia: concepções e práticas docentes. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 5, p. e165953290-e165953290, 2020.

CORREIA, A. C. et al. Jogos digitais: possibilidades e limitações: o caso do jogo Spore. **O Digital e o Currículo**, p. 727-740.

DA SILVA, Nadja Fonsêca; DE SOUSA SÁ, Marcela; SOUSA, Kezya Rebeca Ribeiro. Formação de professores e o uso de recursos didáticos no ensino de ciências: um estudo nos anos finais do ensino fundamental em uma escola pública. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 29603-29615, 2020.

DARWIN, Charles. **A origem das espécies** [1859]. São Paulo: Lafonte, 2017.

DAWKINS, Richard. **O maior espetáculo da Terra: as evidências da evolução**. Companhia das Letras, 2009.

DAWKINS, Richard. **O relojoeiro cego**. São Paulo: Companhia das Letras, 2001.

DIEGO-MANTECON, Jose-Manuel et al. An attempt to evaluate STEAM project-based instruction from a school mathematics perspective. **ZDM—Mathematics Education**, v. 53, n. 5, p. 1137-1148, 2021.

DOBZHANSKY, Theodosius. Nothing in biology makes sense except in the light of evolution. **The American Biology Teacher**, v. 75, n. 2, p. 87-91, 1973.

EL-HANI, Charbel Niño. **Evolução: o sentido da biologia**. Unesp, 2005.

EL-HANI, Charbel Niño; ROQUE, Nádia; ROCHA, Pedro Luís Bernardo da. Livros didáticos de biologia do ensino médio: resultados do PNLEM/2007. **Educação em Revista**, v. 27, p. 211-240, 2011.

ENGELKE, Douglas Senna. A teoria da evolução é um fio condutor nos livros didáticos de biologia do ensino médio? In: ARAÚJO, Leonardo Augusto Luvison (Org.). **Evolução Biológica da pesquisa ao ensino / Volume I: Interdisciplinaridade & Evolução**. Porto Alegre, RS: Editora Fi, 2017. p. 397-412.

FORTUNA, Tânia Ramos. Sala de aula é lugar de brincar? In: XAVIER, M.L.F. e DALLA ZEN, M.I.H. Planejamento: análises menos convencionais. Porto Alegre: Mediação, 2000 (**Cadernos de Educação Básica**, 6) p. 147-164.

FREEMAN, Scott; HERRON, Jon C. **Análise evolutiva**. Porto Alegre: Artmed Editora, 2009. 835p.

FREIRE, Paulo; SHOR, Ira. **Medo e ousadia: o cotidiano do professor** [1986]. São Paulo: Editora Paz e Terra, 2021.

GOEDERT, Lidiane et al. A formação do professor de biologia na UFSC e o ensino da evolução biológica. **Dissertação de mestrado**, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil. 2004.

GOULD, Stephen Jay. **Pilares do tempo: ciência e religião na plenitude da vida**. Rio de Janeiro: Editora Rocco, 2002.

HUXLEY, Julian. **Evolution**. The modern synthesis. 1942.

KAWASAKI, Clarice S.; EL-HANI, Charbel N. Uma Análise das Definições de Vida Encontradas em Livros Didáticos de Biologia do Ensino Médio. In: **VIII ENCONTRO PERSPECTIVAS DO ENSINO DE BIOLOGIA**, 2002, São Paulo.

KIM, H. S. A study on relation and importance of art education and STEAM education. **Journal of Korean Society of Basic Design and Art**, 13(5), 105–113, 2012.

KUHN, Thomas S. **A estrutura das revoluções científicas** [1962]. 12. ed. São Paulo: Perspectiva, 2013.

LEAL, Cristianni Antunes; PEREIRA, Beatriz. Onde está a Biologia? O “objeto 2” de Ciências da Natureza do Programa Nacional do Livro Didático. **VII ENECiências**, Rio de Janeiro, p. 1-10, 2022.

MAES, B. **Stop talking about “STEM” education! “TEAMS” is way cooler.** Retrieved from: <http://bertmaes.wordpress.com/2010/10/21/teams/>, 2010.

MADIGAN, Michael T. et al. **Microbiologia de Brock**. Porto Alegre: Artmed, 2016. 987p.

MAYR, Ernst. **Biologia, ciência única**. Editora Companhia das Letras, 2005.

MITCHELL, Alice; SAVILL-SMITH, Carol. The use of computer and video games for learning: A review of the literature. Londres: **Learning and Skills Development Agency (LSDA)**, 2004.

MOREIRA, Carla. Letramento digital: do conceito à prática. **Anais do SIELP**, v. 2, n. 1, p. 1-15, 2012.

MOREIRA, Marco Antonio; MASINI, Elcie Aparecida Fortes Salzano. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. 2009.

MOREIRA, Marco Antonio; OSTERMANN, Fernanda. Sobre o ensino do método científico. **Caderno catarinense de ensino de física**, v. 10, n. 2, p. 108-117, 1993.

NASCIMENTO, Francisca Georgiana Martins et al. Uso do Jogo Plague Inc.: uma possibilidade para o Ensino de Ciências em tempos da COVID-19. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 25909-25928, 2020.

NASCIMENTO, Tulliana Euzébio; COUTINHO, Cadidja. Metodologias ativas de aprendizagem e o ensino de Ciências. **Multiciência online**, v. 2, n. 3, p. 134-153, 2016.

OLEQUES, Luciane Carvalho et al. Evolução biológica como eixo integrador no ensino de biologia: concepções e práticas de professores do ensino médio. **Atas do VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**. Campinas, SP. 2011.

PALMER, Douglas. **Evolução: A História da vida**. São Paulo: Larousse do Brasil, 2009. 372p.

PEREIRA, Helenadja Mota Rios et al. O ensino de evolução biológica no Ensino Médio brasileiro e a influência das crenças religiosas. **Enseñanza de las ciencias**, n. Extra, p. 2409-2414, 2013.

PEREIRA, Jennifer Gabrielly de Sousa et al. Jogo para o ensino de evolução biológica: Capivó - Duelo Evolutivo. **Revista Ensinar**, v. 2, n. 1, p. 1–12, 2024.

PESSOA, Ediko Dominike Cruz et al. Alelotório: um simulador virtual didático para o ensino de deriva genética. **Genética na Escola**, v. 16, n. 2, p. 458-465, 2021.

PINHEIRO, Regiane Machado de Sousa et al. As políticas públicas de livro didático no Brasil: editais do PNLD de Biologia em questão. **Educar em Revista**, v. 37, e81261, 2021.

POUGH, F. Harvey et al. **A vida dos vertebrados**. São Paulo: Atheneu Editora, 2008. 718p.

PORTO, Paulo Roberto de Araújo; FALCÃO, Eliane Brígida Moraes. Teorias da origem

e evolução da vida: dilemas e desafios no ensino médio. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 12, n. 3, p. 13-30, 2010.

PUGLIESE, G. O. STEM EDUCATION - um panorama e sua relação com a educação brasileira. **Currículo sem fronteiras**, v. 20, n. 1, p. 209-232, 2020.

RODRIGUES, Alzeir Machado et al. A utilização de jogos didáticos no ensino de biologia: uma revisão de literatura. **Educere et Educare**, 2017.

RIDLEY, Mark. **Evolução**. Porto Alegre: Artmed Editora, 2009. 752p.

ROMA NAVARRO, Vanessa; MOTOKANE, Marcelo T. Evolução Biológica nos Livros Didáticos de Biologia do Ensino Médio. **Enseñanza de las Ciencias**, Número Extra VIII Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias, Barcelona, p. 3021-3025, 2009.

SALES, Adeline Brito; LANDIM, Myrna Friederichs. Análise da abordagem da flora nativa em livros didáticos de biologia usados em escolas de Aracaju-SE. **Experiências em ensino de Ciências**, 2009.

SALES, Lilian P.; HAYWARD, Matt W.; LOYOLA, Rafael. What do you mean by “niche”? Modern ecological theories are not coherent on rhetoric about the niche concept. **Acta Oecologica**, v. 110, p. 103701, 2021.

SAVI, Rafael; ULBRICHT, Vania Ribas. Jogos digitais educacionais: benefícios e desafios. **Revista Novas Tecnologias na Educação**, v. 6, n. 1, 2008.

SANTOS, Glauber Aminthas de Souza Sena et al. O cinema como recurso didático no ensino da evolução das espécies e educação ambiental. **Ideias e Inovação - Lato Sensu**, v. 3, n. 1, p. 45-56, 2016.

SOUSA, Tatiane Neves; CHUPIL, Henrique. A contribuição dos jogos lúdicos na aprendizagem de ensino da parasitologia em ciências e biologia. **Revista Uningá**, v. 56, n. 1, p. 47-57, 2019.

SOUTO, R. V. S. Biocombat: jogo estratégico de cartas como instrumento didático no ensino de conceitos associados ao Reino Monera. **Dissertação de mestrado**, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, Brasil. 2015.

SOUZA, Salete Eduardo; GODOY DALCOLLE, Gislaíne Aparecida Valadares. O uso de recursos didáticos no ensino escolar. **Arq Mudi**, v. 11, n. Supl 2, p. 110-114p, 2007.

TIDON, Rosana; LEWONTIN, Richard C. Teaching evolutionary biology. **Genetics and molecular biology**, v. 27, p. 124-131, 2004.

TRAVESSAS, Amanda Oliveira; GARNERO, Analía Del Valle; MARINHO, Julio Cesar Bresolin. Recursos didáticos alternativos para o ensino de Genética e Evolução. **Revista Eletrônica Ludus Scientiae**, v. 4, n. 2, 2020.

VAN ECK, Richard. Digital game-based learning: It's not just the digital natives who are restless. **EDUCAUSE Review**, v. 41, n. 2, p. 16, 2006.

YABER, Renata Lopes da Silva; BARROS, Marcelo Diniz Monteiro de. Estudando a evolução biológica por meio de histórias em quadrinhos. **Trilhas Pedagógicas**, v. 7, ed. 7, p. 103-122, 2017.

YOUNG, Robert Maxwell. Darwin's metaphor: nature's place in Victorian culture. Cambridge: **Cambridge University Press**, 1985.

ZAMBERLAN, Edmara Silvana Joia; SILVA, Marcos Rodrigues. O ensino de evolução biológica e sua abordagem em livros didáticos. **Educação & Realidade**, v. 37, n. 1, p. 187-212, 2012.