

Uso de simulações no ensino da teoria da seleção natural: uma análise sobre os trabalhos publicados

Use of simulations in teaching the theory of natural selection: an analysis of published works

Felipe Varussa de Oliveira Lima

Escola Estadual Pastor Daniel Berg, Dourados-MS
felipevarussa@gmail.com

João Mianutti

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul - UEMS
jmianutti@uems.br

Resumo

Apresenta-se, neste trabalho, parte do processo de construção de um objeto de pesquisa no âmbito da área de ensino de ciências. O interesse pela biologia evolutiva, em especial pela teoria da Seleção Natural, e pelo uso de simulações no ensino orientou a busca por publicações em periódicos brasileiros. Dentre os periódicos, constatou-se que a Revista Genética na Escola publicou a maior parte dos trabalhos, o que nos levou a definir o recorte temporal. Em linhas gerais, tem-se uma acepção ampliada sobre simulação, incluindo o uso de simuladores baseados nas novas tecnologias de informação e comunicação. Os estudos revelam que os simuladores são recursos potencialmente importantes para educação científica, sobretudo, porque despertam o interesse e a curiosidade dos alunos. Conclui-se que essas ferramentas podem auxiliar na interatividade, tornando o aprendizado mais coletivo e inclusivo. Entretanto, o estudo também aponta algumas limitações e necessidades, especialmente quando se objetiva a aprendizagem sobre as ciências.

Palavras chave: ensino de ciências, evolução biológica, seleção natural, simulações.

Abstract

This work presents part of the construction process of a research object within the area of science teaching. Interest in evolutionary biology, in particular the theory of Natural Selection, and the use of simulations in teaching guided the search for publications in Brazilian journals. Among the journals, it was found that journal Genética na Escola published most of the works, which led us to define the time frame. In general terms, there is an expanded meaning of simulation, including the use of simulators based on new information and communication technologies. Studies reveal that simulators are potentially important resources for science education, mainly because they arouse students' interest and curiosity. It is concluded that these tools can help in interactivity, making learning more collective and inclusive. However, the

study also points out some limitations and needs, especially when it comes to learning about science.

Key words: science teaching, biological evolution, natural selection, simulations.

Introdução

No âmbito da literatura da área de ensino de ciências, a prática educativa é considerada uma atividade complexa, já que envolve muitas variáveis, sendo o professor e os alunos as mais importantes, pois implicam na tomada de decisões sobre as demais variáveis envolvidas no processo. Nesses termos, mesmo admitindo que uma análise ampliada e em profundidade impõe considerar todas as variáveis envolvidas, dar-se-á relevo neste trabalho a dois importantes aspectos, que são estruturantes do processo de ensino, o conteúdo, no caso a teoria da Seleção Natural, e os recursos didáticos, no caso a simulação ou simuladores.

A seleção natural é parte do constructo teórico da biológica evolutiva e, em termos sumários, se constitui no mecanismo proposto por Darwin e Wallace para explicar as mudanças evolutivas e aparente harmonia e adaptação do mundo vivo. Dentre as teorias evolutivas que compõem o constructo darwiniano, a teoria da seleção natural foi a ideia ousada e inovadora (MAYR, 2005, p. 126-7), à época, sendo que a sua aceitação plena decorreu de avanços em outras áreas de conhecimento, sobretudo, da genética e da biologia celular e molecular. Cabe ressaltar que este mecanismo tem sido objeto de debate, o que é evidenciado, inclusive, no clássico *A origem das espécies* (DARWIN, 1979). Tendo como base a alta taxa de fecundidade, padrão observado na economia da natureza, e a competição pela sobrevivência em cada espécie, Darwin cunhou o conceito de seleção natural. Contudo, pensar logicamente este mecanismo pressupõe considerar a existência das seguintes condições: i) reprodução, fenômeno que produz novas gerações; ii) hereditariedade, a progênie deve lembrar os seus progenitores; iii) variação de caracteres individuais entre os indivíduos que compõem uma população; iv) variação da aptidão do organismo de acordo com seu estado quanto a um carácter herdável (RIDLEY, 2006, p. 104).

Pope et al (2017) destacam que a compreensão da evolução pela seleção natural é fundamental para a alfabetização biológica. Entretanto, ainda é notadamente um tópico difícil para os alunos e de algum modo para os professores, com equívocos que persistem mesmo após a instrução (BISHOP & ANDERSON 1990; NEHM & REILLY 2007; NEHM & SCHONFELD 2008; GREGORY 2009).

Conforme apontado por Pope et al. (2017), para auxiliar os alunos na superação desses equívocos, precisamos utilizar metodologias ativas (ALTERS & NELSON, 2002; NELSON, 2008) que sejam comprovadamente eficazes (NEHM, 2006). Como a seleção natural é difícil de observar diretamente no contexto de uma classe, de uma sala de aula (KRIST e SHOWSH 2007; PLUNKETT & YAMPOLSKY, 2010; SERAFINI & MATTHEWS, 2009), muitos educadores se voltaram para abordagens de aprendizagem que usam simulações do processo para dissipar os equívocos dos alunos.

Para Pope et al. (2017), simulações de fenômenos naturais são ferramentas de ensino úteis porque permitem a visualização de escalas temporais e espaciais que são muito grandes ou muito pequenas para serem acessadas diretamente pelos alunos, além de permitir que estes investiguem os fatores subjacentes que influenciam esses fenômenos, alterando variáveis e observando o resultado (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2011; RUTTEN et al., 2012; SMETANA & BELL, 2012).

De acordo com Aguilar-Aleixo (2021), desde o ano de criação da Revista Genética na Escola, (2006), até o ano de 2020, foram publicados 14 trabalhos envolvendo Jogos Didáticos (jogos de cartas, jogos de tabuleiro, jogos online e outras atividades lúdicas) focados em Evolução Biológica, integrando conceitos de Genética Clássica e Genética Molecular à Evolução. Sendo que o fator evolutivo mais abordado nestes jogos didáticos foi a seleção natural, mecanismo evolutivo apresentado por Darwin e Wallace como o principal responsável pela adaptação dos seres vivos.

Como resultado das buscas verificamos que dos 28 trabalhos encontrados na busca, 12 deles apresentam algum recurso pedagógico para ser utilizado no ensino do conceito de seleção natural, sendo que 12 deles são simulações ou jogos (Quadro 1). Percebe-se, num primeiro momento, o uso de simuladores físicos (não baseados em computadores) (MORI, MIYAKI & ARIAS, 2006, 2009). Posteriormente, ressaltam-se o uso de simuladores baseados em computadores (MONTEIRO, 2021; PESSOA et al., 2021).

Quadro 1: Artigos encontrados que discutem o uso de simulação no ensino da teoria da seleção natural

Autor	Ano	Título	Classificação
MORI, MIYAKI & ARIAS	2006	Os tentilhões de galápagos: o que Darwin não viu, mas os Grants viram.	Simulação física
MORI, MIYAKI & ARIAS	2009	A seleção natural em ação: o caso das joaninhas	Simulação física
SILVA et al.	2013	O julgamento da mutação	Dramatização
TRIGO et al.	2014	Canudinhos: uma simulação para aprender genética de populações e seleção natural	Simulação física
ALLE et al.	2016	Genes e Ambientes	Jogo didático
COSWOSK et al.	2016	O jogo da seleção natural em plantas	Jogo didático
FERNANDES & SANTOS	2017	A Biologia tem História: darwinismo social e eugenia em uma proposta transdisciplinar	Júri simulado
DELL' ANTONIO & JUNIOR	2018	Dois jogos de tabuleiro extraídos da Revista Genética na Escola	Jogo didático
LIMA et al.	2020	Atuação da seleção natural em populações: modelo didático para estudo de evolução.	Simulação física
TRAVESSAS, GARNERO & MARINHO	2020	Gincana de Evolução com seis atividades: 1) Camuflagem; 2) Túnel dos roedores; 3) Tarefa das girafas; 4) Estratégias de forrageamento; 5) Predação – tarefa das borboletas; 6) Morcego predador.	Simulação física
MONTEIRO	2021	Evolução como processo emergente: desafiando o senso comum para remover obstáculos cognitivos	Simulação virtual
PESSOA et al.	2021	Alelotório: um simulador virtual didático para o ensino de deriva genética.	Simulação virtual
LIMA, ARAÚJO & LIMA	2021	O jogo “Vida na lagoa”	Jogo didático

Fonte: Elaborado pelos autores a partir das referências consultadas e citadas.

Nos artigos que propõem o uso de simulações ou simuladores na Revista Genética na Escola (Quadro 1), verificou-se a ausência de teorizações da área de ensino, evidenciando que as propostas tem fundamento no domínio específico. O material sugere que se trata de uma característica do periódico, possivelmente, decorrente dos itinerários dos pesquisadores que submetem trabalhos para publicação na revista. É digno de nota que os textos apresentam uma descrição substantiva dos recursos, com orientações para confecção dos materiais e seus respectivos usos no processo de ensino.

Além da busca no periódico citado anteriormente, apontamos simulações físicas e virtuais que são divulgadas nos trabalhos encontrados e em outras referências consultadas sobre tema seleção natural e disponibilizadas na internet, em alguns casos com uso gratuito. A seguir, apresenta-se uma síntese do material encontrado.

Simulações físicas:

O jogo Clipbirds desenvolvido por Al Janulaw e Judy Scotchmoor, da Universidade da Califórnia, em Berkeley. O jogo simula um processo de mudança populacional devido a alterações do regime seletivo, especificamente, da oferta de alimentos, num contexto de separação geográfica e isolamento reprodutivo de uma população inicial de pássaros que apresentam variação fenotípica nos tamanhos de seus bicos. Os pássaros são representados por alunos divididos em duas populações, os quais manuseiam cliques que simulam os bicos das aves. Há variação de tamanho dos bicos (grandes, médios e pequenos). A adaptação do jogo/simulação recebeu o nome Clipsitacédeos (JANULAW & SCOTCHMOOR, 2003; REIS et al., 2013).

Simulações virtuais:

Darwinian snails¹ – Disponibilizado em: https://simbio.com/content/darwinian_snails/ (pago) O módulo Darwinian Snails, de SimBio Virtual Labs®, foi construído a partir dos estudos de Robin Seeley sobre o efeito da predação do caranguejo-verde-europeu (*Carcinus maenas*) sobre a evolução da espessura da concha do caramujo *Littorina obtusata* na Nova Inglaterra.

Simulador Seleção Natural² Alguns objetivos de aprendizagem neste simulador são: i) descrever quais características alteram a capacidade de sobrevivência de um organismo em diferentes ambientes; ii) fazer experiências com ambientes que produzem uma população estável de coelhos, uma população que morre e uma população que domina o mundo; iii) rastrear genes por várias gerações; iv) comparar como os genes dominantes e recessivos são transmitidos aos descendentes; v) determinar quais mutações são favorecidas pelos agentes de seleção de predadores e variedade de alimentos e quais mutações são neutras.

Simulador Alelotório³ – O uso deste simulador, elaborado com o intuito de demonstrar os efeitos da deriva genética, é indicado para o ensino desse tema (PESSOA et al., 2021).

A partir Monteiro (2021) que cita o projeto BEAGLE (Biological Experiments in Adaptation, Genetics, Learning and Evolution), foram encontrados modelos que podem ser utilizados em

¹ Em tradução livre, “Caramujos Darwinianos”.

² Disponível em: <https://phet.colorado.edu/sims/html/natural-selection/latest/natural-selection_pt_BR.html?download> (gratuito e uso offline após baixar).

³ Disponível em: <<https://edikocruz.github.io/alelotorio>> ou <<https://github.com/EdikoCruz/alelotorio>> (Gratuito e uso off-line após baixar).

atividades com estudantes de diferentes níveis de ensino. Aqui são registrados aqueles simuladores relacionados ao ensino de Seleção natural:

Bug Hunt Camouflage⁴ – Permite descobrir como a camuflagem surge em uma população de insetos caçada por um predador (NOVAK & WILENSKY, 2005a).

Bug Hunt Speeds⁵ – Possibilita explorar como diferentes estratégias de predação exercem diferentes pressões seletivas sobre uma população de insetos em movimento (NOVAK & WILENSKY, 2005b).

Peppered Moths⁶ – Este modelo é baseado no famoso exemplo da mudança da coloração das mariposas em resposta à poluição. (WILENSKY, 1997).

Outro simulador é citado por Klein (2017) que relata o uso do software PopG⁷ para simulação de mecanismos evolutivos.

Considerando um dos simuladores citados, Vargens & El-Hani (2011) trazem referenciais teóricos como Ausubel e Piaget, quando se referem a aprendizagem significativa e aos jogos, estes autores realizaram a avaliação se o jogo Clipsitacídeos (REIS et al., 2013) atende ao seu propósito educativo, através de um teste empírico.

Além disso, Vargens e El-Hani apontam que:

Considerando o pequeno número de trabalhos que avaliam o resultado do uso de jogos no ensino de biologia e, principalmente, no ensino de evolução, este trabalho buscou investigar empiricamente a eficácia de um jogo educativo elaborado com a finalidade de contribuir para o ensino e a aprendizagem de evolução (Clipsitacídeos), de modo a fazer frente às dificuldades enfrentadas na promoção de uma aprendizagem significativa dos conteúdos deste campo da biologia. Além disso, ao realizar este estudo, estávamos também interessados em analisar as dificuldades na compreensão conceitual relativa à evolução que seriam porventura apresentadas pelos estudantes participantes [...] (VARGENS & EL-HANI, 2011, p. 148)

Vargens e El-Hani utilizaram questionário CINS (*Conceptual Inventory of Natural Selection*), desenvolvido e validado por Anderson et al., (2002), traduzido por C. N. El-Hani e adaptado e testado no contexto brasileiro por C. N. El-Hani e C. Sepulveda. O questionário foi utilizado para avaliar as modificações sofridas pelo conhecimento dos alunos em decorrência das intervenções, no caso do jogo (Clipsitacídeos) e da confecção de cartazes (VARGENS & EL-HANI, 2011)

Vargens e El-Hani ao discutir resultados sobre a utilização de jogos educativos em sala de aula, fazem uma observação sobre as características de jogos didáticos que devem ser preservadas para que eles tenham função educativa, baseado no argumento de Kishimoto (1993) “de que o jogo educativo possui duas funções que devem estar em constante equilíbrio: a função lúdica, que está ligada à diversão, ao prazer e até ao desprazer, e a função educativa, que objetiva a ampliação dos conhecimentos dos educandos. Ela considera duas conseqüências de um

⁴ Em tradução livre, “Caça aos insetos camuflados”.

⁵ Em tradução livre, “Velocidades de caça ao inseto”.

⁶ Em tradução livre, “Mariposas salpicadas”, em geral refere-se às mariposas *Biston betularia*.

⁷ Disponível em: <<http://evolution.gs.washington.edu/popgen>>.

desequilíbrio destas funções, evidenciada quando “não há mais ensino, há apenas jogo, quando a função lúdica predomina ou, o contrário, quando a função educativa elimina todo hedonismo, resta apenas o ensino. (KISHIMOTO apud VARGENS; EL-HANI, 2011, p. 156)

As simulações de seleção natural podem ajudar a dissipar equívocos sobre o processo porque os alunos podem ver, como eles veem na simulação, que os indivíduos não mudam, mas sim que a sobrevivência diferencial e a reprodução combinadas com a herdabilidade mudam a composição da próxima geração. A variação e condição para seleção, não seu produto (POPE et al., 2017).

A seleção natural é um mecanismo evolutivo que cumpre papel central, mas não exclusivo, na evolução. Trata-se de mecanismo bem corroborado que atua em populações, correspondendo à sobrevivência e reprodução diferenciais de variantes presentes nas mesmas (MEYER & EL-HANI, 2005).

Conforme destacado por Pope et al. (2017), simulações desenvolvidas para o ensino da seleção natural incluem simulações nas quais os alunos manipulam fisicamente objetos ou seu próprio corpo para representar a população (FIFIELD & FALL, 1992; VAN THIEL, 1994; SIEGEL, et al., 2005; PRICE, 2011; ETEROVIC & SANTOS, 2013; HILDEBRAND et al., 2014), e também simulações de populações virtuais (LATHAM & SCULLY, 2008; ABRAHAM et al., 2009; BRAYSPETH et al., 2009; SODERBERG & PRICE, 2003; YAMANOI & IWASAKI, 2015).

Como uma discussão importante, pode ser obtida a partir da revista *Genética na Escola*, fonte de pesquisa e de conhecimento científico que chega ao professor da Escola básica, retirando em parte a centralidade do livro didático. Sendo interessante pensar no aspecto de transposição das pesquisas científicas e síntese do consenso científico atual nas publicações desta revista sobre a temática seleção natural e utilização dos simuladores no ensino da temática.

Apesar dos trabalhos publicados na revista *Genética na Escola*, conforme já colocado, de forma geral, não apresentarem fundamentação nas teorizações da área de ensino, constituem-se em material relevante que pode ser acessado, pelos professores da educação básica, e contribuir para superar a centralidade do livro didático.

Cabe destacar ainda o trabalho de Abraham, Meir & Perry (2009), que avaliaram a compreensão de estudantes iniciantes e avançados de graduação sobre a teoria da seleção. Os autores sugerem que os equívocos podem ser efetivamente resolvidos por meio de laboratórios simulados baseados em computador.

Monteiro destaca que:

Além da ênfase na numeracia, na alfabetização de dados, em probabilidade e estatística, a utilização de software para simulações de modelos baseados em agentes tem se mostrado útil para o ensino de evolução como processo emergente. Os agentes dos modelos são entidades computacionais com propriedades e comportamentos específicos que simulam os componentes de sistemas evolutivos, como animais, plantas e microrganismos. Essas simulações permitem aos estudantes visualizar os agentes e modificar as regras simples de probabilidade dos modelos, gerando padrões macro em grandes escalas de tempo, como deriva genética, seleção natural, interações ecológicas e coevolução (Monteiro, 2021, p. 343).

Deste modo, consideramos que as simulações podem ser importantes para a aprendizagem de ciências, mas cabe investigar as suas potencialidades para aprendizagem sobre ciência. Pode

traduzir isso com a seguinte questão: é possível recuperar aspectos históricos e epistemológicos presentes na construção de um conceito científico, como seleção natural, a partir de uma simulação?

Nesta perspectiva, reitera-se que a simples utilização dos simuladores em sala de aula não é garantia de que haverá uma aprendizagem significativa, mas seu papel educacional deve estar associado a um planejamento adequado, no qual cabe ao professor a clareza do seu papel e das vantagens e limitações, algumas apontadas, quanto ao uso das simulações no ensino-aprendizagem da seleção natural. Embora a concepção original de um objeto de aprendizagem (simulador) possa ser pautada em um enfoque teórico de ensino-aprendizagem ou outro (comportamentalista, cognitivista, construtivista, humanista) o professor poderá utilizá-lo de outra forma, que não a original.

Considerações finais

Considerando a revisão realizada e as leituras verificamos que as simulações e os simuladores são recursos didáticos (objetos de aprendizagem) valiosos como proposições para uma aprendizagem ativa dos estudantes sobre a teoria da seleção natural, tendo o uso dos simuladores relacionados a seleção natural baseados no uso de computadores um destaque em publicações nos últimos 10 anos no Brasil. Considerando que poucos são validados no processo de investigação e alguns, como *Darwinian snails*, *Clipbirds* e *Clipsitacídeos*, ao serem testados não tem sido evidenciado diferenças significativas na aplicação das simulações quando comparado com práticas que envolvem outros recursos. As simulações e os simuladores têm aspectos importantes a serem compreendidos a partir de teorizações sobre o processo de ensino-aprendizagem para uso por professores de biologia no ensino de evolução, no caso desta investigação, especificamente a seleção natural. Por fim, a incursão realizada pelos trabalhos elencados nos colocou a tarefa de investigar, inclusive a partir do levantamento do uso de simulação no ensino de ciências, a exemplo do que ocorreu com o uso de analogias e metáforas, se uma metodologia para o uso de simulações pode potencializar o uso desses recursos na aprendizagem de ciências e sobre ciências. Destaca-se, também, que tendo como inspiração, o trabalho de Matthews (1995) pretendemos investigar se a história e a filosofia da biologia podem trazer contribuições para o ensino-aprendizagem do tema seleção natural.

Agradecimentos e apoios

Aos revisores que colaboraram anonimamente na leitura e sugestões na escrita do texto.

Referências

ABRAHAM, J.K., MEIR, E., PERRY, J. et al. Addressing Undergraduate Student Misconceptions about Natural Selection with an Interactive Simulated Laboratory. **Evo Edu Outreach**, 2, p. 393–404, 2009. <https://doi.org/10.1007/s12052-009-0142-3>

AGUILAR-ALEIXO, L. Panorama das pesquisas em ensino de evolução biológica publicadas na revista *Genética na Escola* no período de 2006 a 2020. **Genética na Escola**, São Paulo, v. 16, n. 2, p. 430–439, 2021. Disponível em: <https://geneticanaescola.com/revista/article/view/400>. Acesso em: 14 nov. 2022.



- ALLE, B. R.; ANDRADE, F. A. de; HASS, I.; ALLE, L. F. GEA – Genes e Ambientes. **Genética na Escola**, São Paulo, v. 11, n. 2, p. 170–219, 2016. Disponível em: <https://geneticanaescola.com/revista/article/view/234>. Acesso em: 12 nov. 2022.
- COSWOSK, J. A.; TEIXEIRA, M. da C.; BARATA, D. O jogo da seleção natural em plantas. **Genética na Escola**, São Paulo, v. 11, n. 1, p. 66–73, 2016. Disponível em: <https://geneticanaescola.com/revista/article/view/224>. Acesso em: 12 nov. 2022.
- DELL' ANTONIO, B. M.; JUNIOR, V. C. Os princípios de Darwin na consolidação dos conteúdos de Evolução do Ensino Médio. **Ensino, Saúde e Ambiente**, v. 11, n. 1, 9 jul. 2018.
- DARWIN, C. **A origem das espécies**. (Trad. Eduardo Fonseca). São Paulo: Hemus, 1979.
- FERNANDES, F. P.; SANTOS, F. C. dos. A Biologia tem História: darwinismo social e eugenia em uma proposta transdisciplinar. **Genética na Escola**, São Paulo, v. 12, n. 2, p. 142–149, 2017. Disponível em: <https://geneticanaescola.com/revista/article/view/278>. Acesso em: 14 nov. 2022.
- GREGÓRIO, E. A.; MATOS, A. A.; OLIVEIRA, L. G. Uso de Simuladores como Ferramenta no Ensino de Conceitos Abstratos de Biologia: Uma Proposta Investigativa para o Ensino de Síntese Proteica. **Experiências em ensino de ciências**, Minas Gerais, n.1, p. 101–125, fev. 2016. Disponível em: <https://fisica.ufmt.br/eenciojs/index.php/eenci/article/view/550/521>. Acesso em: 03 nov. 2022.
- JANULAW, A.; SCOTCHMOOR, J. Clipbirds. In: **Understanding Evolution**, UCMP, Berkeley, CA 2003. Disponível em: <http://www.ucmp.berkeley.edu/education/lessons/clipbirds/>. Acesso em 13 nov. 2022.
- KLEIN, A. L. Simulação de mecanismos evolutivos no PopG: um roteiro de aula In: ARAÚJO, L. A. L. (Org.). **Evolução Biológica: da pesquisa ao ensino** [recurso eletrônico] Porto Alegre, RS: Editora Fi, 2017. p. 473-479. Disponível em: https://www.pensamentoevolutivo.com/_files/ugd/3812cb_3e31c67f09034107b4ef19995d3e9944.pdf. Acesso: Acesso em: 12 nov. 2022.
- LIMA, S. M. de S.; ARAÚJO, M. dos S.; LIMA, M. M. de O. Metodologias alternativas no ensino de Evolução em uma escola pública do Piauí. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática**, [S. l.], v. 12, n. 1, p. 1–15, 2021. Disponível em: <https://revistapos.cruzeirodosul.edu.br/index.php/rencima/article/view/2734>. Acesso em: 12 nov. 2022.
- LIMA, N. E.; SOBREIRO, M. B.; VIEIRA, L. D.; COLLEVATTI, R. G. Atuação da seleção natural em populações: modelo didático para estudo de evolução. **Genética na Escola**, São Paulo, v. 15, n. 1, p. 54–65, 2020. Disponível em: <https://geneticanaescola.com/revista/article/view/329>. Acesso em: 12 nov. 2022.
- MATTHEWS, M. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 12, n. 3, p. 164-214, 1995. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/7084/6555>. Acesso em: 17 out. 2022.
- MAYR, E. **Biologia, ciência única: reflexões sobre a autonomia de uma disciplina científica**. São Paulo: Companhia das Letras, 2005.

MEYER, D.; EL-HANI, C.N. **Evolução**: o sentido da biologia. São Paulo, SP: Editora UNESP, 2005.

MONTEIRO, L. R. Evolução como processo emergente: desafiando o senso comum para remover obstáculos cognitivos. **Genética na Escola**, São Paulo, v. 16, n. 2, p. 334–343, 2021. Disponível em: <https://geneticanaescola.com/revista/article/view/391>. Acesso em: 14 nov. 2022.

MORI, L.; MIYAKI, C. Y.; ARIAS, M. C. A seleção natural em ação: o caso das joaninhas. **Genética na Escola**, São Paulo, v. 4, n. 2, p. 41–46, 2009. Disponível em: <https://geneticanaescola.com/revista/article/view/79>. Acesso em: 12 nov. 2022.

MORI, L.; MIYAKI, C. Y.; ARIAS, M. C. Os tentilhões de galápagos: o que Darwin não viu, mas os Grants viram. **Genética na Escola**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 1–3, 2006. Disponível em: <https://geneticanaescola.com/revista/article/view/11>. Acesso em: 12 nov. 2022.

NOVAK, M.; WILENSKY, U. 2005a. **NetLogo Bug Hunt Camouflage model**. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/BugHuntCamouflage>. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL.

NOVAK, M.; WILENSKY, U. 2005b. **NetLogo Bug Hunt Speeds model**. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/BugHuntSpeeds>. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL.

PESSOA, E. D. C.; LEITE, M. P.; OLIVEIRA, J. L. Alelotório: um simulador virtual didático para o ensino de deriva genética. **Genética na Escola**, São Paulo, v. 16, n. 2, p. 458–465, 2021. Disponível em: <https://geneticanaescola.com/revista/article/view/403>. Acesso em: 13 nov. 2022.

POPE, D.S., ROUNDS, C.M. & CLARKE-MIDURA, J. Testing the effectiveness of two natural selection simulations in the context of a large-enrollment undergraduate laboratory class. **Evo Edu Outreach**, 10, 3, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12052-017-0067-1>. Acesso em: 09 out. 2022.

REIS, V. P. G. S.; CARNEIRO, M. C. L.; AMARANTE, A. L. A. P. C.; ALMEIDA, M. C.; SEPÚLVEDA, C. A. S.; EL-HANI, C. N. O jogo dos Clipsisitacídeos: uma simulação do processo de seleção natural como estratégia didática para o ensino de evolução. **Ciência em Tela**, v.6, n.2, p.1-18, 2013. Disponível em: <http://www.cienciaemtela.nutes.ufrj.br/artigos/0602sa01.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2022.

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

SILVA, G. K.; MELO, J. T. A.; OLIVEIRA, A. H. S.; SILVA, E. C.; MEDEIROS, S. R. B.; AGNEZ, L. F.; LIMA, L. F. A. O julgamento da mutação. **Genética na Escola**, São Paulo, v. 8, n. 1, p. 42–57, 2013. Disponível em: <https://geneticanaescola.com/revista/article/view/157>. Acesso em: 14 nov. 2022.

TRAVESSAS, A. O.; GARNERO, A. V.; MARINHO, J. C. B. Recursos didáticos alternativos para o ensino de genética e evolução. **Revista Eletrônica Ludus Scientiae**, v. 4, n. 2, p. 88-104, 2020. Acesso em: 12 nov. 2022.

TRIGO, F. R.; PERTICARRARI, A.; MORA, I. M.; COUTO, R. M.; BARBIERI, M. R. Canudinhos: uma simulação para aprender genética de populações e seleção natural. **Genética na Escola**, São Paulo, v. 9, n. 1, p. 2–11, 2014. Disponível em: <https://geneticanaescola.com/revista/article/view/174>. Acesso em: 12 nov. 2022.



VARGENS, M. M. F.; NIÑO-EL-HANI, C. Análise dos efeitos do jogo Clipsitacídeos (Clipbirds) sobre a aprendizagem de estudantes do ensino médio acerca da evolução. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 143–168, 2011. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4131>. Acesso em: 16 nov. 2022.

WILENSKY, U. 1997. **NetLogo Peppered Moths model**. Disponível em: <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/PepperedMoths>. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL. Acesso em: 12 nov. 2022.

