

Ensinar Genética e Evolução por meio de jogos didáticos: superando concepções alternativas de professores de ciências em formação

Rita Campos^{1,2},
Maria da Conceição Vieira de Almeida Menezes³,
Magnólia Araújo

¹ Universidade de Coimbra, CES – Centro de Estudos Sociais, Colégio de S. Jerónimo, Coimbra, Portugal

² CIBIO, Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos, Universidade do Porto, InBIO

³ Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Campus Universitário Central, Mossoró/RN

⁴ Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN

Autor para correspondência: rita.ml.campos@gmail.com



A experiência desenvolvida e apresentada neste artigo descreve um curso de formação de professores que se deu no âmbito de uma colaboração internacional em educação científica/divulgação das ciências envolvendo pesquisadores de Portugal e do Brasil. Alunos de licenciaturas nas áreas das ciências naturais participaram do curso, que teve o objetivo de introduzir os temas de Genética Populacional e Biologia Evolutiva utilizando metodologias de aprendizagem ativa - "*active learning*", uma estratégia de aprendizagem que requer uma participação ativa do estudante no processo de aprendizagem.



GENÉTICA, BIODIVERSIDADE E EVOLUÇÃO COMO TEMAS DIFÍCEIS DE ENSINAR E APRENDER

No ensino de biologia muito se tem discutido sobre as dificuldades que o aluno apresenta para aprender conceitos científicos e entre essas dificuldades as concepções alternativas têm contribuído para dificultar o processo de ensino e aprendizagem dos alunos. Essas concepções alternativas podem ser definidas como construções pessoais dos alunos que se formam de maneira espontânea, oriundas de suas interações cotidianas com o mundo. Lidar com essas concepções, em especial quando se trata de conteúdo relacionado com evolução biológica, tem sido um desafio pois, muitas vezes, os próprios docentes apresentam concepções alternativas que são resistentes e que não foram confrontadas com outras perspectivas durante seu curso de formação inicial, o que contribui para tornar o ensino desse conteúdo ainda mais difícil na escola. Os conceitos biológicos são fontes de muitas das dificuldades para os alunos, e isso pode servir de incentivo para que os professores busquem novas formas de organizar e abordar os conteúdos, adaptando-os aos interesses e à capacidades dos aprendizes. Utilizar materiais diversificados pode ser uma forma de contribuir para a aprendizagem significativa e a redução das dificuldades de aprendizagem desses conteúdos. Por exemplo, a utilização de jogos didáticos que potencializem a participação ativa dos alunos e assim estimulem a aprendizagem ativa que auxilia a construção autônoma do conhecimento por via do que os alunos veem acontecer. Dessa forma, ao trocar a exposição teórica dos conceitos por uma abordagem ativa dos mesmos, os professores também ganham tempo e oportunidades para discutir os conteúdos e perceber eventuais dificuldades de aprendizagem dos alunos.

IMPORTÂNCIA DE RELACIONAR QUESTÕES AMBIENTAIS COM GENÉTICA E EVOLUÇÃO

A evolução é um tema transversal da biologia, permitindo compreender e relacionar

conteúdos, evitando que o estudo da vida seja uma coleção de fatos com os conteúdos “arrumados em gavetas” (SÁ-PINTO *et al.*, 2014). Parte deste estudo lida com as questões da classificação dos seres vivos e das relações que estabelecem entre si e com o meio ambiente, fornecendo dados fundamentais para lidar com perturbações ambientais, compreendendo os seus impactos e definindo estratégias de conservação e gestão da biodiversidade.

Esforços para se compreender e caracterizar melhor os táxons podem ser complementados pela utilização de conhecimentos da genética, mais especificamente da genética populacional. Isso permite avaliar o potencial ecológico de determinadas áreas e planejar ações de conservação para serem ali desenvolvidas. Nesse sentido, a genética permite, por exemplo, avaliar o impacto de tamanhos populacionais reduzidos sobre variações funcionais importantes, ligando a dinâmica demográfica da população com questões como adaptação e aptidão, compreender a extensão da interação entre genes e o ambiente, ou o impacto da deriva gênica ou da endogamia no *pool* genético de populações ou unidades de gestão. Isso ressalta a importância central de se reconhecer o *status* de identidade dos taxa habitando áreas protegidas.

PERCURSO METODOLÓGICO: ABORDAGEM DADA À DISCUSSÃO DO TEMA E AO USO DOS JOGOS NO ENSINO

O curso foi organizado em três etapas que poderão ser replicadas em sala de aula. A primeira consistiu na discussão dos temas de forma introdutória a partir de questionamentos; levantamento de concepções por meio de questionários e verificação de conceitos errôneos. Na segunda etapa, fez-se uma apresentação, explicação e execução de cada jogo, destacando os aspectos importantes e deixando tempo para os alunos colocarem suas dúvidas e levantarem novas possibilidades de uso dos jogos. Por fim, a terceira etapa constituiu-se de uma discussão sobre as possibilidades de usos do jogo com os futuros alunos e uma avaliação geral dos jogos e da proposta de percurso metodológico.

a. Diagnóstico de concepções alternativas e breve introdução teórica dos conceitos

Os questionários distribuídos na primeira etapa do curso foram elaborados para avaliar o conhecimento e a aceitação da evolução. Tiveram como objetivo a identificação de concepções alternativas sobre evolução entre os participantes do curso e simultaneamente estimular um debate sobre o desenvolvimento e persistência dessas concepções entre os alunos do ensino médio e fundamental. No processo de ensino e aprendizagem é importante partir desses conhecimentos prévios que os aprendentes trazem como forma de se trabalhar suas ideias que podem ser alternativas aos conceitos científicos atualmente aceitos.

Focou-se a discussão na importância do professor estar consciente desse problema para assim, por meio de linguagem adequada, trabalhar os conceitos associados ao ensino da genética populacional e biologia evolutiva de forma a promover a compreensão, por parte dos aprendentes, das ideias cientificamente aceitas na interface com aquelas geradas por suas experiências pessoais.

Optou-se ainda por abrir um espaço de debate sobre a relevância do ensino sobre evolução. Neste espaço foi possível discutir as diferentes aplicações dos conceitos evolutivos e das ferramentas metodológicas desenvolvidas no âmbito de pesquisas sobre genética populacional e biologia evolutiva em diversos campos da sociedade, como a medicina, a agricultura ou a engenharia. A definição de evolução biológica diz-nos tratar-se de alterações nas características hereditárias dos elementos de uma população ao longo das gerações. Logo, a existência de variabilidade intraespecífica nas populações é fundamental para que as populações evoluam. Frequentemente a diversidade é negligenciada, saindo favorecidos apenas os exemplos de adaptação, o que reduz a teoria da evolução à evolução por seleção natural.

Os participantes foram questionados sobre diferentes conteúdos relacionados com evolução e sobre como definiriam evolução

biológica e as respostas foram discutidas no grande grupo. Nesta etapa, os conceitos específicos sobre evolução e mecanismos evolutivos não são aprofundados, privilegiando-se uma discussão a partir da eventual diversidade de conhecimentos sobre o tema que os alunos tenham, guardando para a etapa seguinte - a utilização dos jogos - uma abordagem mais aprofundada sobre os conteúdos de evolução.

Tratando-se de um curso de formação de professores, optou-se por organizar a discussão antes da apresentação e da utilização dos jogos, mas, noutros contextos, o professor pode optar por utilizar primeiro os jogos e organizar uma discussão sobre evolução, metodologias de estudo da variabilidade genéticas das populações e suas aplicações (ver parágrafos seguintes) em aulas posteriores.

A discussão dá também o mote para se debater a importância do ensino da teoria da evolução desde os primeiros anos do ensino médio. A contextualização precoce ajuda a uma correta compreensão da evolução biológica, o que, por sua vez, facilita a compreensão de fenômenos com grande impacto social como, por exemplo o aparecimento de bactérias resistentes aos antibióticos ou estirpes novas e patogênicas de vírus, ou outras aplicações que têm por base os conceitos ou as ferramentas metodológicas associadas à teoria da evolução, como as múltiplas aplicações dos algoritmos evolutivos

Ainda numa fase introdutória, foram apresentadas algumas noções básicas de genética populacional e hereditariedade - origem e tipos de mutação, transmissão de mutações nucleares e mitocondriais, métodos laboratoriais para detectar e quantificar variabilidade genética - e de como este conhecimento pode, por exemplo, ajudar a perceber a capacidade de adaptação de uma espécie a alterações ambientais para um desenho adequado de medidas de conservação - genética (e genômica) da conservação.

Por fim, apresentou-se um modelo de recurso didático que faz uso de um caso de estudo recente - a evolução de quatro espé-

cies de lebres na Península Ibérica (https://cibio.up.pt/upload/filemanager/Mini-Livro_LebresFantasmasPT_Nov2015.pdf) - para exemplificar os diferentes conceitos que se cruzam no ensino da genética populacional e evolução, e de como os jogos educativos podem auxiliar a compreensão de assuntos potencialmente complexos.

b. A utilização de jogos como estratégia didática

Durante a segunda etapa, a utilização dos jogos seguiu uma estrutura já testada (CAMPOS; SÁ-PINTO, 2013) e que compreende um percurso educativo que se inicia na discussão sobre a existência de variabilidade genética dentro das populações e sobre a transmissão hereditária dessa variabilidade, que passa pelos mecanismos evolutivos que alteram as proporções das diferentes características hereditárias nas populações e termina num debate sobre a origem e diversificação das espécies, invocando todos os conceitos anteriormente abordados.

Depois de discutidas as concepções alternativas, os conceitos e as aplicações da genética populacional e evolução, passou-se à utilização dos jogos e à realização de debates sobre as suas aplicações em contexto de sala de aula ou espaços de educação não-formal. Estes jogos estão descritos sem detalhes em SÁ-PINTO; CAMPOS, 2012; CAMPOS; SÁ-PINTO, 2013; SÁ-PINTO *et al.*, 2017. A referência às concepções alternativas segue os exemplos listados em CAMPOS *et al.*, 2013 e CAMPOS *et al.*, 2017.

Em cada jogo, os alunos foram primeiro informados sobre as regras, após o que todos foram convidados a participar. Importa realçar que todas as aulas dessa etapa foram iniciadas com os jogos, sem incluir apresentações teóricas dos conceitos específicos que cada jogo permite explorar. O professor apenas facilitou a discussão a partir dos resultados que se vão obtendo à medida que o jogo decorre, de forma a que sejam os próprios alunos a definir e aplicar os conceitos, de acordo com os pressupostos da metodologia de aprendizagem ativa.

Os jogos foram pensados para turmas de 25 a 30 alunos mas já foram testados com números mais elevados de alunos. Nesses casos, cabe ao professor gerir as participações, tentando fazer com que todos os alunos tenham um papel ativo durante as fases em que estão efetivamente a jogar ou nas fases em que estão a anotar os resultados e a debater o que se vai alterando no cenário. Idealmente cada jogo ocupará um período de 60 minutos; esse tempo poderá ser ajustado em função do número de alunos na turma: mais alunos implicará em aumento do tempo para cada jogo, para que cada aluno tenha oportunidade de participar.

No exemplo aqui relatado, a turma era composta por 19 professores em formação e cada jogo ocupou entre 60 a 90 minutos; incluiu-se também uma pequena sessão para que os alunos pudessem refletir sobre as diferenças encontradas entre a aprendizagem anterior dos conteúdos trabalhados em cada jogo e a aprendizagem que resultou de terem participado do jogo, trabalhando especificamente as concepções alternativas descritas nos pontos seguintes.

c. Discussão geral e avaliação da metodologia utilizada

Não terceira etapa, ao final das atividades, os participantes partilharam as suas impressões sobre os jogos e suas potencialidades no ensino e aprendizagem de conteúdos de genética populacional, evolução e biodiversidade. Fizeram também uma breve avaliação sobre o uso dos jogos, com base num pequeno questionário, através do qual expressaram suas opiniões.

DESCRIÇÃO DOS JOGOS: JUSTIFICATIVAS E MODO DE UTILIZAÇÃO

Jogo 1: Analisando a variabilidade gênica numa população – Pedir aos alunos que selecionem fotografias de vários membros da própria família e as disponham num formato de árvore genealógica (Figura 1).

A análise detalhada de um conjunto de características hereditárias, como a cor dos olhos, dos cabelos ou a presença/ausência de cova no queixo, pode começar por ser

feita individualmente, chamando a atenção para a existência de alelos dominantes e recessivos, passando para a análise do conjunto, alertando para a independência na transmissão das diferentes características (com alunos que já compreenderam os conceitos básicos), pode-se discutir as exceções às leis de Mendel, combatendo a concepção alternativa “Cada característica

é influenciada por um locus do tipo Mendeliano”). Uma forma dinâmica de fazer esse alerta consiste em ir agrupando os diferentes elementos da árvore genealógica de acordo com uma só característica e ver como a composição dos grupos muda. Por exemplo, os membros do grupo “cabelo castanho” não serão os mesmos do grupo “sem cova no queixo”.

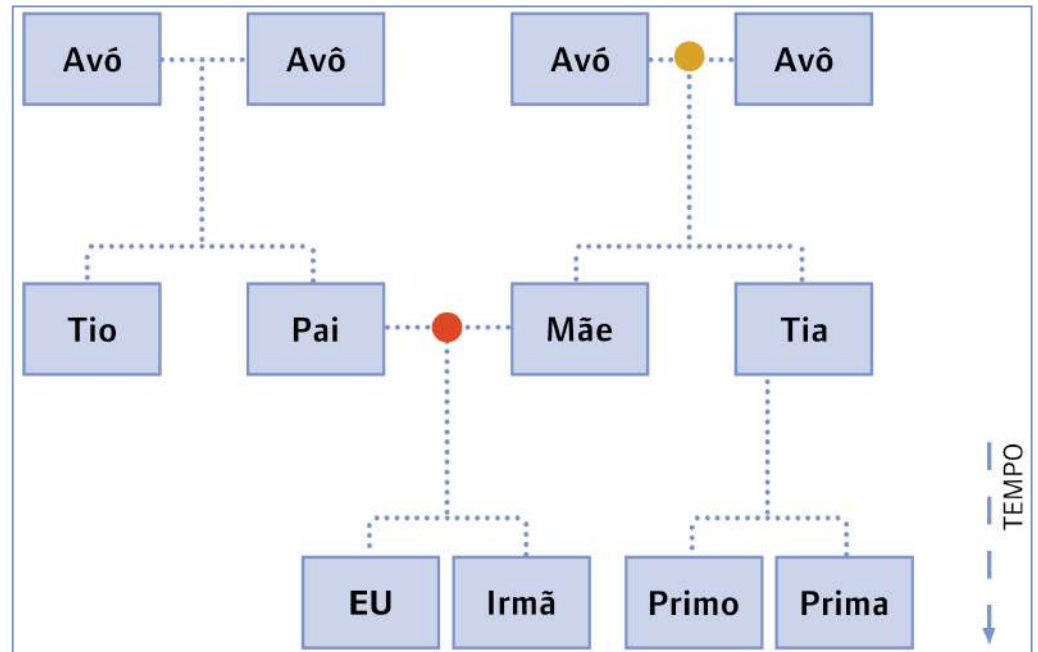


Figura 1.

Esquema de uma árvore genealógica usado para explorar o conceito de diversidade intraespecífica. Em relação ao aluno, assinalado com a caixa “EU”, mostram-se três gerações, nas quais com a ajuda de fotografias, poderão ser identificadas semelhanças e diferenças. Destacam-se ainda dois ancestrais: em vermelho, o ancestral que partilha com o indivíduo familiarmente mais próximo, assinalado com a caixa “Irmã”, e em amarelo o ancestral que partilha com indivíduos familiarmente mais afastados, assinalados com as caixas “Primo” e “Prima”.

Tomando o conjunto, e em particular usando genealogias que mostram ancestrais mais distantes, pode-se discutir uma das concepções alternativas frequentes - “os seres humanos não estão em evolução” - analisando com detalhe as alterações que se verificam nos diferentes membros da genealogia ao longo das gerações. Convém alertar que nesse ponto não devemos referir as características que aparecem e desaparecem (por exemplo, características determinadas por alelos recessivos), mas sim alterações que se possam considerar definitivas. Um exemplo poderá ser a altura. Embora essa seja uma característica multifatorial, sabe-se que muitas populações humanas estão mais altas e isso pode ser visto como uma evidência da evolução (CAMPOS *et al.*, 2013). Pode-se também

falar de resistência a doenças. Não é uma característica que se veja numa genealogia mas pode haver quem saiba de antepassados que tenham morrido por doenças que hoje se tratam, por falta de imunidade, ou de alterações de dieta (se o professor assim o entender, pode aproveitar o tópico para referir uma área de investigação inovadora, que é o estudo genético do metagenoma formado pelos genomas humanos e os genomas das bactérias que constituem a flora intestinal).

Finalizando as análises, importa discutir a relação positiva que geralmente se observa entre proximidade genealógica e taxa de semelhanças: quanto maior o grau de parentesco, mais semelhanças esperamos encontrar. Em casos em que essa relação não se apresente tão evidente, o professor

poderá orientar a análise para o conjunto de todas as genealogias e verificar assim que, de um modo geral, a relação positiva referida é verificável. Um caso particular a ter em atenção é a existência de alunos adotados ou de famílias monoparentais. Nesses casos, a atividade poderá ser realizada recorrendo a famílias conhecidas para as quais se consigam imagens de várias gerações nos meios de comunicação social.

Jogo 2: Simulando adaptação em situações de alterações ambientais – Dos três principais mecanismos evolutivos - seleção natural, deriva genética e seleção sexual - a seleção natural é o mais conhecido. Mas, o conhecimento está muitas vezes associado a um desconhecimento sobre o seu modo de funcionamento e de que forma influencia a trajetória evolutiva das populações.

Esse jogo baseia-se no exemplo clássico da mariposa *Biston betularia* para demonstrar como a seleção natural atua sobre uma determinada característica, fazendo alterar as frequências gênicas numa população. Embora o exemplo de base seja uma alteração ambiental induzida pela poluição industrial, pode-se utilizar qualquer exemplo de perturbação ambiental, mediada ou não pelo ser humano.

Para facilitar a discussão sobre seleção natural e potencial adaptativo, inicia-se o jogo num “meio ambiente” natural, heterogêneo. Numa caixa cheia de bolas coloridas - o meio ambiente - colocam-se seis discos também coloridos - as presas (Figura 2A). Depois de misturar bolas e discos, pede-se aos alunos - os predadores - que apanhem o máximo de discos em cerca de cinco segundos. Depois de três alunos terem apanhado os discos, retiram-se os que ficaram na caixa e comparam-se as características dos que foram apanhados e dos que ficaram, ressaltando o papel do acaso nessa “predação”.

Simula-se a geração seguinte substituindo cada disco que não foi apanhado - os “pais” - por dois discos com a mesma cor - os “filhos”. Repete-se a predação e a comparação, dessa vez comparando também a distribuição das frequências genéticas entre as duas gerações.

Depois de nova discussão sobre o resultado da predação, simula-se uma alteração ambiental, como a construção de uma fábrica que liberta fuligem para a vegetação, substituindo a caixa com as bolas coloridas por uma caixa com bolas todas da mesma cor (tendo o cuidado de usar uma cor igual a uma das cores dos discos; (Figura 2B). Reinicia-se o jogo colocando o mesmo número de discos de cada cor na caixa e misturando. Pede-se aos jogadores que apanhem os discos, comparando e discutindo sobre as cores que foram apanhadas e as cores que ficaram na caixa e simulando uma nova geração (Figura 2C).

Repetem-se esses passos duas a três vezes. Nessa altura será possível observar que os discos de cor igual à do novo meio ambiente estão aumentando em número (Figura 2D). Ou seja, ao contrário do que acontecia na simulação anterior, em que as alterações das frequências eram aleatórias, na simulação posterior nota-se uma direcionalidade que favorece uma das características, fazendo-a aumentar em frequência na população ao longo das gerações. Nesse momento, é importante fazer os alunos notarem tal fato e consequentemente chegarão autonomamente a uma definição de evolução por seleção natural. Nessa fase, sugere-se que a discussão seja orientada para realçar o fato de a população ter se adaptado ao novo ambiente, mas ter perdido quase toda a sua diversidade. Continuando o jogo simulando um novo ambiente, usando-se, por exemplo, bolas verdes, os alunos verão como a profunda perda de diversidade compromete a sobrevivência da população (Figura 2E).

A utilização do novo meio ambiente ajuda também a criar um espaço para debater algumas das mais frequentes concepções alternativas relacionadas com o modo como atua a seleção natural - “a evolução resulta no progresso; através da evolução, os organismos estão em contínuo aperfeiçoamento”, “seleção natural implica que os organismos tentem adaptar-se”, “a seleção natural dá aos organismos o que eles precisam”, “os seres vivos adaptam-se às condições ambientais”, “os seres humanos não podem impactar negativamente os ecossistemas por-

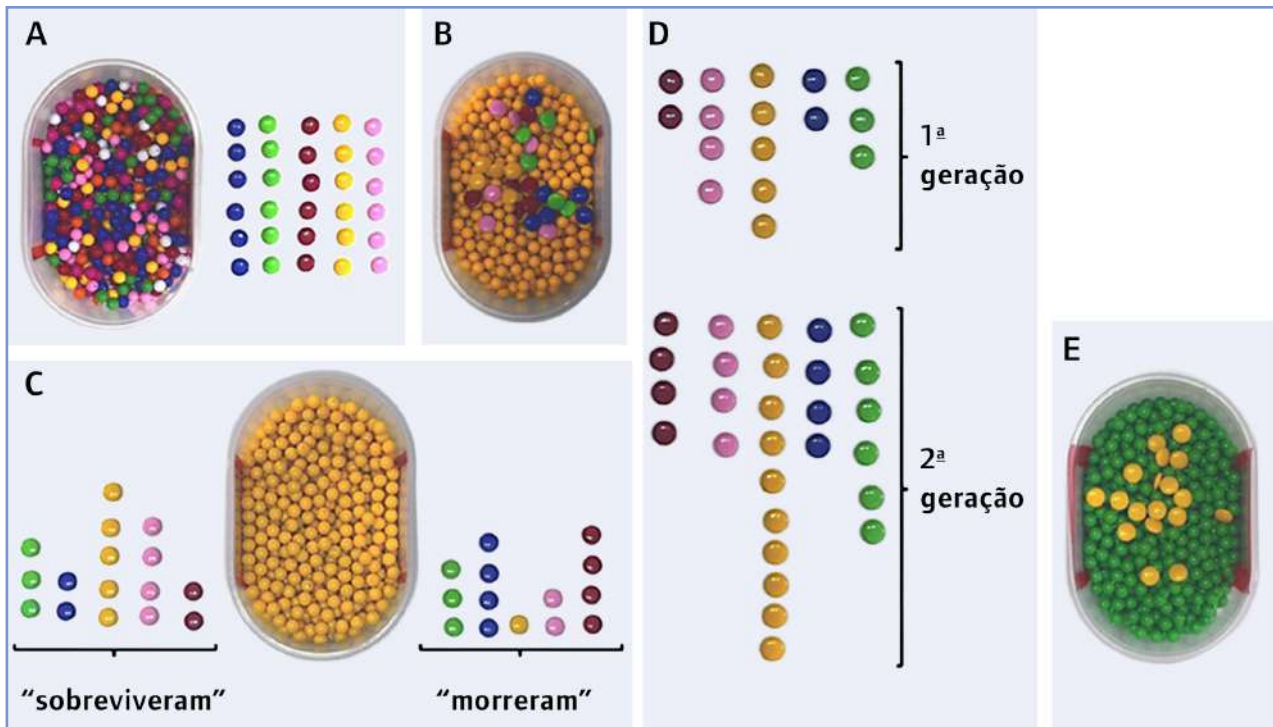


Figura 2.

Principais passos do jogo sobre seleção natural. A: Separar seis discos de cinco cores diferentes, misturá-los num meio colorido (caixa com bolas coloridas) e simular dois a três eventos de predação. B: Reiniciar o jogo num ambiente homogêneo (por exemplo, uma floresta depois de um grande incêndio; caixa com bolas amarelas). C: No final de cada dois a três eventos de predação, comparar os indivíduos que foram apanhados - “mortos” - com os que são “sobreviventes”; simular uma nova geração através da reprodução desses últimos de acordo com a regra 1 progenitor: 2 crias iguais a ele. D: Ao longo das gerações podemos observar alterações nas frequências das diferentes cores na população - evolução biológica; notar que a cor que mais aumenta em frequência é aquela que é semelhante à cor do novo meio - evolução biológica por seleção natural. E: Simular uma nova alteração ambiental (por exemplo, uma extensa plantação de eucaliptos; caixa com bolas verdes) e recomenciar o jogo com uma população com muito baixa diversidade genética - a população que se adaptou ao meio anterior.

que as espécies evoluirão de acordo com o que precisam para sobreviver” ou “qualquer interferência dos seres humanos sobre outros seres vivos é seleção artificial”.

Por fim, repetindo o jogo dividindo os participantes em dois grupos e dando a cada grupo um “meio ambiente” diferente, é possível comparar o resultado da seleção natural sobre a população original e de como as duas novas populações, que se adaptaram a meios diferentes, são tão diferentes uma da outra e da população original. Ou seja, é possível ver como, ao longo das gerações e sujeitos a pressões seletivas diferentes, as populações vão se diferenciando sob a ação da seleção natural, originando novas espécies. Essa discussão ajuda também a combater a concepção alternativa “A partir de um mesmo ancestral, devido à diferença entre os indivíduos, ocorre divergência entre os organismos que colonizam diferentes habitats”.

Ao simular as gerações e ao observar as alterações na população ao longo das gerações, pode-se minimizar o desenvolvi-

mento da concepção alternativa “Os organismos podem evoluir durante o seu tempo de vida”. Essas simulações ajudam também a discutir a natureza da ciência e o enquadramento da teoria da evolução no conhecimento científico, por vezes mal compreendido (seguindo a concepção alternativa “A evolução não é ciência porque não pode ser observada ou testada”), salientando o aspecto experimental dos jogos e de como podem equiparar-se a experiências com organismos com tempos de geração muito curtos (como, por exemplo, bactérias ou moscas do gênero *Drosophila*).

Jogo 3: Aleatoriedade na alteração das frequências gênicas - Ao contrário da seleção natural, a deriva genética é um mecanismo pouco valorizado como força evolutiva. No entanto, e particularmente quando as populações são pequenas, é um mecanismo poderoso, que pode alterar profundamente as frequências genéticas de uma população. Alguns exemplos interessantes para despertar o interesse dos alunos por tal mecanismo vêm de populações humanas isoladas. O papel da deriva gené-

tica é também importante para a genética da conservação uma vez que as populações ameaçadas de extinção têm habitualmente um efetivo populacional baixo ou em declínio, fazendo com que estejam mais sujeitas à ação da deriva genética. Por outro lado, os parâmetros demográficos das populações determinados pela sua análise genética são estimados assumindo a neutralidade, ou seja, que as alterações na composição genética das populações ocorrem por deriva genética.

Para simular uma redução drástica de efetivo populacional e poder observar o efeito da deriva genética sobre o fundo genético de uma população, usamos um cenário de fragmentação do habitat por interferência humana. Qualquer cenário de perturbação ambiental que conduza à redução do efetivo populacional pode ser usado, apenas sugerimos que a simulação inclua pelo menos duas populações, com efetivos diferentes, para que se possa comparar as duas trajetórias evolutivas.

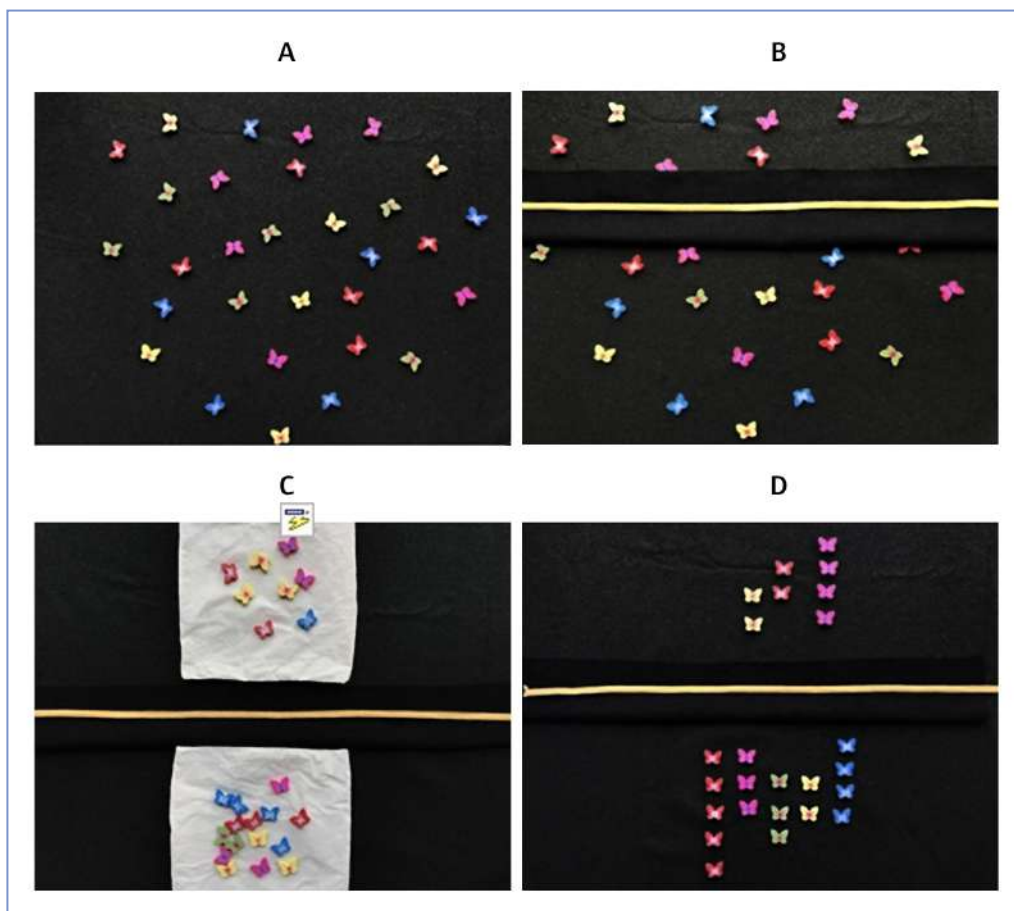


Figura 3.

Principais passos do jogo sobre deriva gênica. A: Separar seis elementos (borboletas de madeira, neste caso) de cinco cores diferentes e espalhá-los aleatoriamente sobre um meio ambiente (pedaço de tecido quadrado). B: Simular a construção de uma barreira física (estrada asfaltada) colocando aleatoriamente uma faixa de tecido sobre o meio. Para mostrar o efeito da deriva em populações com diferentes tamanhos, colocar a faixa de maneira a ficar com duas populações com efetivos populacionais diferentes. Nesse passo, eliminar do jogo os elementos que ficaram total ou parcialmente por baixo da faixa (considerar que “morreram”). C: Simular uma nova geração em cada população através da reprodução de metade dos indivíduos de cada população de acordo com a regra 1 progenitor: 2 crias iguais a ele; usar sacos opacos para escolher quais os indivíduos que se reproduzirão em cada população e em cada geração. D: Ao longo das gerações, observar alterações nas frequências das diferentes cores em cada população - evolução biológica; notar que essas alterações ocorrem de forma aleatória - evolução biológica por deriva gênica - e que são mais drásticas na população com menos indivíduos.

A introdução de uma barreira - uma autoestrada de múltiplas vias - num habitat “pano” - um pedaço de tecido - levará à redução do habitat original de uma população de borboletas e ao isolamento das novas subpopulações. Para isso espalham-se igual número de borboletas de cores diferentes sobre um pano - o habitat (Figura 3A) - e pede-se a um participante que construa a estrada colocando uma faixa

de tecido sobre o habitat (Figura 3B). A faixa dividirá o habitat em dois, uma parte menor do que a outra, e as borboletas que ficaram por baixo da faixa são retiradas do jogo - morreram. Ao comparar as duas novas populações uma com a outra, e cada uma com a população original, percebe-se que ficaram diferentes e que a alteração das frequências deu-se de forma aleatória.

Para simular a geração seguinte de forma também aleatória, colocam-se as borboletas de uma das populações num saco opaco e retira-se apenas metade - a fração da população que se reproduzirá (Figura 3C). Simula-se a reprodução substituindo cada uma dessas borboletas por duas iguais a elas. Repete-se com as borboletas da outra população e retoma-se a discussão sobre as semelhanças e diferenças entre as duas novas populações.

Simulam-se novas gerações repetindo os mesmos passos, criando espaços para observar e discutir as alterações nas frequências genéticas das duas populações e na forma como a alteração ocorre em cada uma - é esperada uma maior alteração, com perda mais acentuada de variantes genéticas, na população menor (Figura 3D). Nessa altura pode-se enriquecer a discussão comparando os resultados desse jogo com os obtidos no jogo da seleção natural, realçando a relação entre diversidade genética e a capacidade de cada uma das duas novas populações se adaptarem a alterações ambientais. Pode-se ainda debater os exemplos das populações humanas atribuindo a cada cor uma função relacionada com uma doença humana, explicando assim a prevalência de algumas patologias em certas populações (ver exemplos em CAMPOS *et al.*, 2014).

Para debater o efeito da deriva genética na formação de novas espécies, pode-se usar o mesmo cenário ou simular a colonização de dois ou mais novos habitats (por exemplo, ilhas), o que normalmente se faz com poucos indivíduos da população original, e seguir a trajetória evolutiva das novas populações e da população original de acordo com as instruções para o jogo da fragmentação do habitat. Para manter a aleatoriedade no processo de colonização, as borboletas que irão para cada novo habitat devem ser retiradas de dentro de um saco opaco.

Orientando as discussões no sentido das comparações entre as duas novas populações e entre essas e a população original, e dando ênfase na aleatoriedade e na amplitude das alterações verificadas, ajuda-se os

alunos a combaterem a concepção alternativa frequente “A deriva genética ocorre apenas em populações pequenas”. Ou seja, esse mecanismo evolutivo ocorre sempre, independente do tamanho da população, mas o seu impacto é maior e muitas vezes apenas perceptível em populações pequenas.

Jogo 4: Destacando a importância da reprodução na evolução – A sobrevivência dos indivíduos é frequentemente invocada como o atributo-chave para que a seleção natural atue. No entanto, uma observação mais atenta sobre diversas características presentes em alguns indivíduos de muitas espécies mostra-nos que, muitas vezes, a seleção favorece o que parece ser prejudicial para a sobrevivência dos indivíduos, como a exibição de cores ou de comportamentos conspícuos ou a presença de grandes hastes ou outras protuberâncias. Darwin debruçou-se sobre essa questão tendo concluído que, nesses casos, atuava uma forma diferente de seleção que favorecia especificamente a reprodução dos indivíduos, designada de seleção sexual.

Embora muitas vezes negligenciada nos currículos escolares, ao ponto de não se encontrar informação sobre concepções alternativas sobre ela, a seleção sexual ajuda os alunos a perceberem o conceito de aptidão (evolutiva) e de como o conceito relaciona-se com a capacidade adaptativa dos indivíduos e das populações. Pesquisas recentes têm também mostrado a influência desse mecanismo na formação das espécies.

Por meio de jogos é possível simular dois tipos de seleção sexual - seleção inter (escolha do parceiro) e intra-sexual (competição pelo parceiro) - e criar espaços de discussão sobre o impacto desse mecanismo na evolução.

Para simular um cenário de escolha do parceiro usa-se um conjunto de máscaras com graus de coloração diferentes, do branco ao muito colorido. Espalham-se as máscaras - indivíduos de um dos sexos - sobre uma superfície lisa e pede-se a cada participante - indivíduos do outro sexo - que escolha aquela que lhe parecer

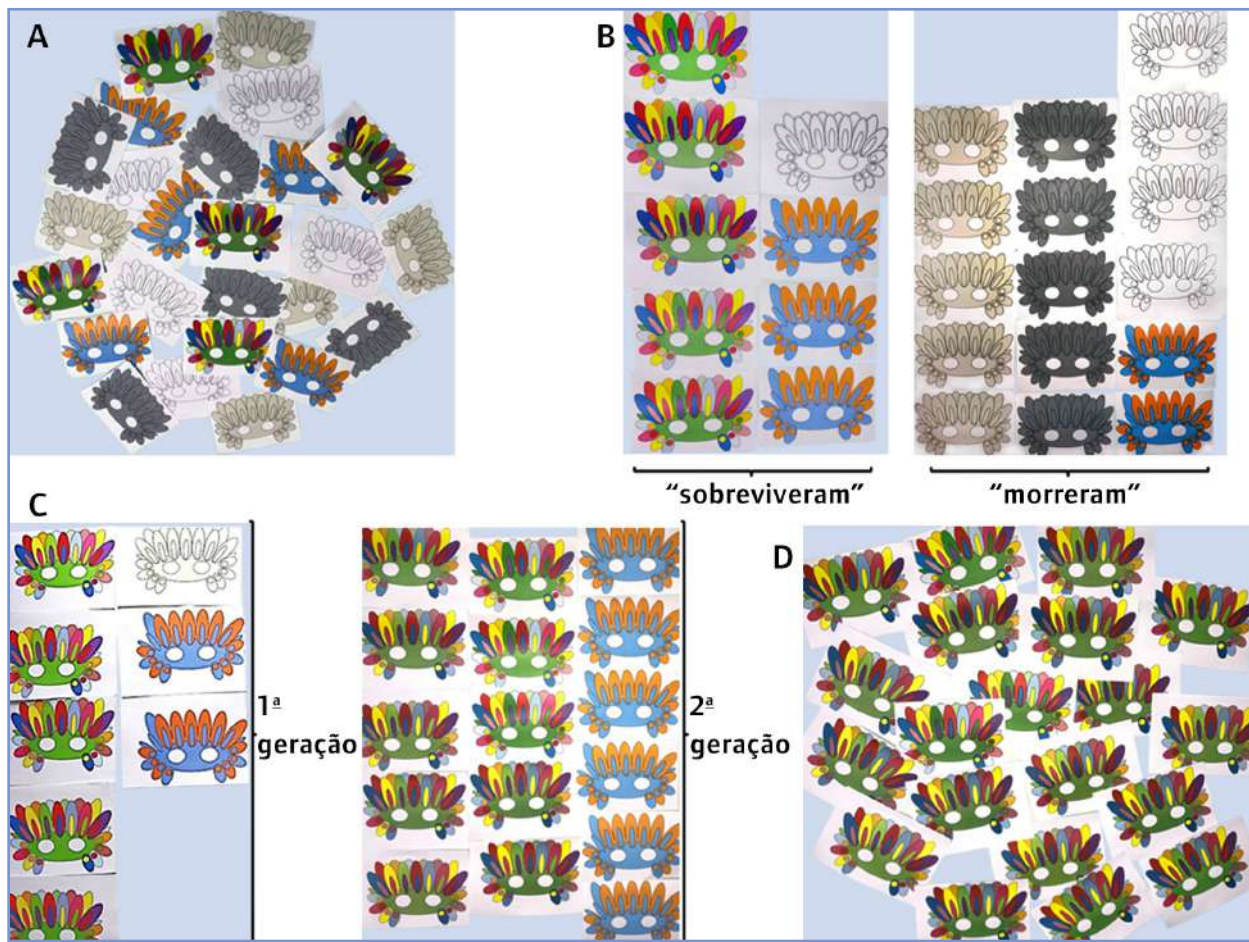


Figura 4. Principais passos do jogo sobre seleção sexual. A: Separar um número equivalente de máscaras de cinco cores diferentes e espalhá-las numa superfície lisa; cada aluno deverá escolher uma máscara de acordo com a preferência. B: Comparar as máscaras que foram escolhidas (“sobreviventes”) - as que se reproduzirão e contribuir para a geração seguinte - com as que não foram escolhidas (“mortos”) - não se reproduzem e por isso as suas características não estarão representadas na geração seguinte. C: Simular as novas gerações através da reprodução das máscaras escolhidas de acordo com a regra 1 progenitor: 2 crias iguais a ele. D: Ao longo das gerações podemos observar alterações nas frequências das diferentes cores na população - evolução biológica; notar que a cor que mais aumenta em frequência é aquela que é mais escolhida em cada geração - evolução biológica por seleção sexual.

mais apelativa. Feitos os pares, pode-se discutir os motivos das escolhas, após o que se simula uma nova geração: cada par deixa três filhos, dois iguais à máscara e um igual ao participante.

Discute-se a nova população, do ponto de vista da sua composição, em relação ao tipo de máscaras. Repete-se a escolha e a reprodução e observam-se as diferenças a cada nova geração. Espera-se que os indivíduos mais coloridos tenham sido preferencialmente escolhidos, levando a que a frequência dessa característica tenha aumentado a cada nova geração. Podem-se simular outros cenários alterando o número inicial de máscaras ou as regras para a escolha do parceiro.

Para simular seleção sexual por competição entre parceiros utilizam-se balões alongados com diferentes tamanhos - in-

divíduos de um dos sexos - e as máscaras - indivíduos do outro sexo. O número de máscaras deverá ser metade do número de balões. De forma aleatória, distribuem-se os balões entre os participantes e cada par de participantes deverá “combater” entre si pelo acesso à máscara. Ganha o combate o participante que tiver tocado três vezes com o balão no outro participante e apenas esse se reproduz. Simula-se a nova geração com cada par balão-máscara substituindo o balão por dois de igual tamanho e a máscara, por uma igual. Repetem-se os combates e as gerações, discutindo o modo como a composição da população está se alterando quando observada a diversidade de tamanhos dos balões. Espera-se que a frequência dos balões mais compridos tenha aumentado, demonstrando a ação da seleção sexual sobre esse tipo de característica.

Considerando a pouca importância atribuída à seleção sexual no ensino da evolução, estes jogos promovem um maior reconhecimento sobre este tipo de seleção e facilitam o debate sobre as várias características (como a morfologia ou o comportamento) e momentos (pré e pós-cópula) que evoluem sob a ação da seleção sexual.

Jogo 5: Classificando organismos com base em suas semelhanças e diferenças

– Embora seja mais fácil de observar o efeito dos mecanismos evolutivos a longo prazo, na miríade de espécies que habitam ou habitaram o planeta, os alunos sentem muitas vezes dificuldade em compreender os processos numa escala macro evolutiva. A construção autônoma das relações evolutivas entre espécies pode ser um primeiro passo para uma correta interpretação dos diagramas usados para representar essas relações - genericamente designadas por árvores evolutivas ou filogenéticas - e a integração dos diferentes mecanismos evolutivos numa escala temporal alargada.

Este jogo inicia-se espalhando um conjunto de imagens de várias espécies numa superfície lisa (Figura 5A) e pedindo aos participantes que escolham um par de espécies que sejam mais semelhantes entre si do que com qualquer outra espécie. Repete-se esse passo até todas as espécies estarem emparelhadas (Figura 5B). Sugere-se a criação de um espaço de discussão para observação cuidada das principais características que foram usadas para agrupar as espécies. Depois desse primeiro emparelhamento, os participantes devem formar pares usando os pares já feitos e o mesmo critério de semelhanças. Repete-se o passo até todas as espécies formarem um só grupo - o grupo dos seres vivos - tendo o cuidado de manter sempre um diálogo sobre os critérios utilizados nos emparelhamentos (Figura 5C).

Selecionam-se alguns grupos e, num quadro ou numa folha de papel, desenha-se um esquema que mostre a ordem com que as espécies foram emparelhadas: na linha de baixo ficam as espécies, na linha imediatamente acima desenharam-se linhas que representem o primeiro agrupamen-

to, e assim sucessivamente, até todas as espécies e pares estarem ligados.

Fazendo um paralelismo entre o esquema desenhado (Figura 5D) e a árvore genealógica do primeiro jogo (Figura 1), orienta-se a discussão para a forma como as diferentes espécies partilham ancestrais comuns mais ou menos recentes e de como essa diferença para os diferentes ancestrais se reflete nas diferenças e semelhanças entre elas. Na utilização dessa analogia, o professor deve ter em atenção as diferenças fundamentais entre uma genealogia e uma filogenia. Por exemplo, na árvore genealógica os ancestrais podem coexistir com os seus descendentes mas tal não se verifica na árvore filogenética.

Relembrando o modo como os diferentes mecanismos evolutivos atuam sobre o fundo genético das populações, discute-se a relação positiva entre tempo de divergência entre duas populações ou espécies e o grau de diferenças acumuladas: espera-se que espécies que divergiram há mais tempo - logo, partilham um ancestral comum mais antigo - sejam mais diferentes entre si que espécies que se separaram há menos tempo - partilham um ancestral comum mais recente. Alertar os participantes para o fato de haver diferentes ancestrais na árvore que se desenhou, trabalhando assim a concepção alternativa “as espécies só têm um ancestral comum que é o representado na filogenia como o nó mais recente”.

O desenho do esquema ajuda também a combater diferentes concepções alternativas relacionadas com a interpretação de árvores evolutivas, como “taxa que são adjacentes nas pontas de uma filogenia são mais próximos entre si do que com qualquer outra taxa em pontas mais distantes da filogenia” ou “taxa que aparecem perto da ponta ou no lado direito da filogenia são mais evoluídos que os outros organismos na árvore”. Este jogo facilita ainda a desconstrução das concepções alternativas relativas à origem do ser humano e a sua relação filogenética com os restantes primatas (“os humanos são descendentes diretos dos macacos”).

Por fim, o jogo pode também ser usado para debater conceitos mais complexos, como convergência evolutiva, ou a importância de se usar diferentes marcadores para identificar e classificar as espécies, como o caso das espécies críticas, bastando, para tal, selecionar espécies que exemplifiquem os casos que se pretende abordar.

Esse último exemplo e o das lebres ibéricas, ou qualquer outro caso de especiação rápida, são úteis para uma discussão sobre o processo de formação de espécies e para debater a concepção alternativa “As espécies são entidades naturais distintas, com uma definição clara, e que são facilmente identificáveis por qualquer pessoa”.

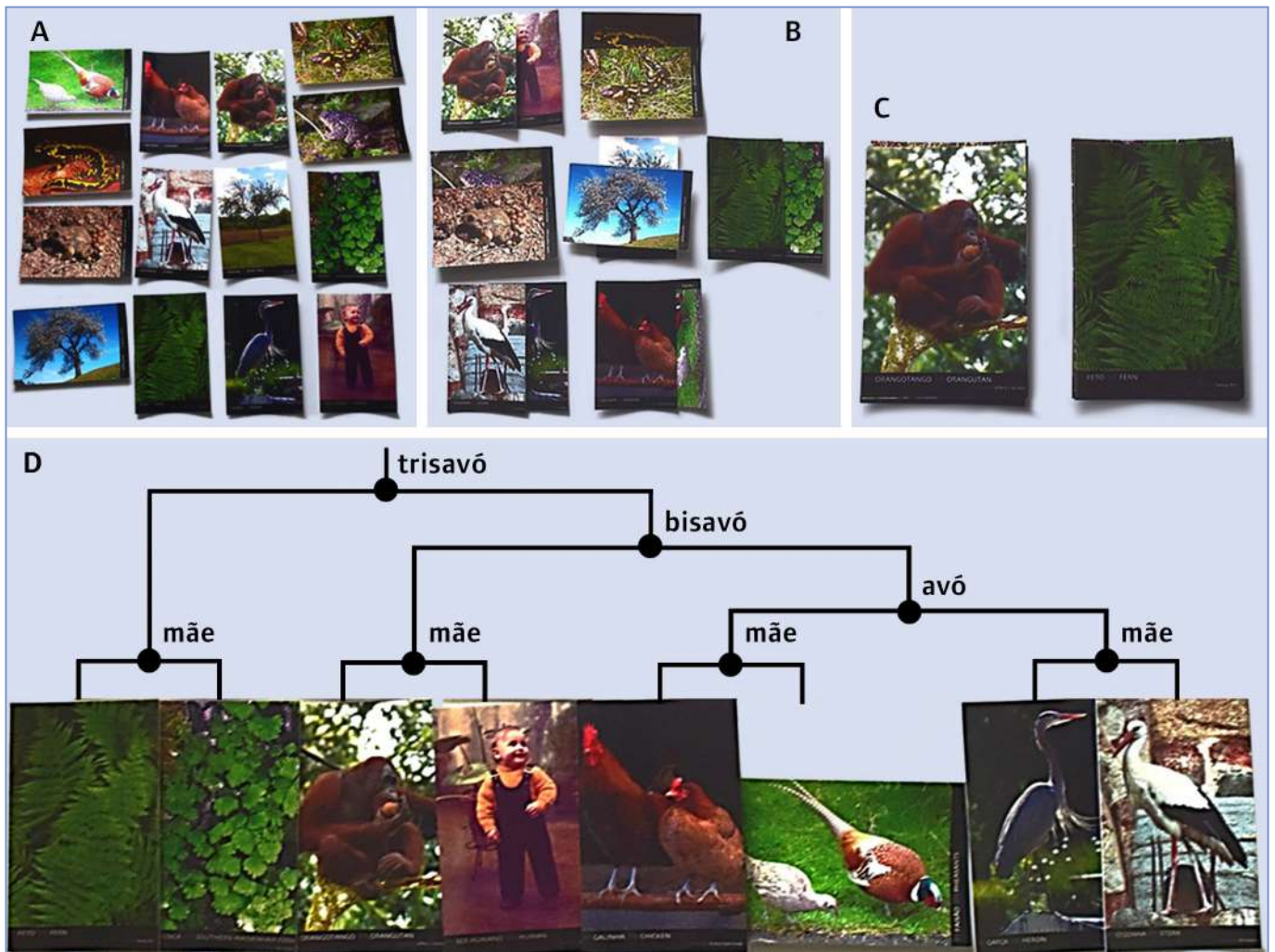


Figura 5.

Principais passos do jogo sobre sistemática. **A:** Selecionar algumas imagens de seres vivos e espalhá-los sobre uma superfície lisa; neste exemplo, utilizaram-se 14 - 10 animais e 4 plantas. **B:** Agrupar os seres vivos em pares usando como critério terem mais semelhanças entre si do que com qualquer dos outros seres vivos. Neste exemplo fica-se com sete pares: Primatas, Anfíbios caudata, Anfíbios, anura, Aves galiformes, Aves ciconiformes, Plantas angiospérmicas e Plantas pteridófitas. **C:** Repetir esse passo agrupando os primeiros pares em grupos de quatro seres vivos até agrupar todas as imagens, usando sempre o critério de maior semelhança; neste exemplo, chegaremos primeiro aos grupos de Primatas, Anfíbios, Aves e Plantas e finalmente chegamos ao grupo de Animais e Plantas, terminando com o grupo único de todos os seres vivos. **D:** Selecionar alguns exemplos e, num quadro (preferencialmente) ou folha de papel, esquematizar a forma como os grupos foram organizados, usando um esquema com linhas retas. Usando a analogia com a árvore genealógica, notar que as semelhanças entre seres vivos são, na maioria dos casos, um reflexo das suas relações evolutivas e do tempo que decorreu desde que se separaram do último ancestral comum.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os jogos aqui apresentados foram desenvolvidos para serem utilizados sem necessidade de aulas teóricas introdutórias sobre evolução e mecanismos evolutivos pois o desenvolvimento do tema se faz durante o seu desenlace e o professor tem oportunidade de desenvolver o conteúdo na interação com os alunos, durante as discussões. As discussões teóricas realizadas

no início da sequência didática tiveram apenas como finalidade abordar, de forma muito resumida, alguns conceitos de genética e hereditariedade, para que em seguida os alunos possam contextualizá-los durante os jogos, e criar uma oportunidade de discutir com os futuros professores de ciências a importância e relevância do conhecimento sobre evolução em diferentes setores da sociedade. Nesta proposta, a aula sobre os conceitos foi usada no início mas o professor pode optar por fazer essa aula no final, consolidando o conhecimento adquirido através dos jogos.

A fala dos alunos durante a realização dos jogos e discussões subsequentes foi usada para avaliação informal da compreensão dos conceitos e da sua aplicação em diferentes contextos, nomeadamente pela proposta de cenários ambientais alternativos, com ligação próxima à comunidade onde os participantes se inserem.

A maioria dos participantes declarou, no questionário de avaliação do curso, que o uso dos jogos, no modo como foi abordado, facilita a compreensão do tema que, em princípio, muitos consideravam difícil de ser compreendido. Destaque-se que a dinâmica interativa dos jogos favorece espaços de discussão mediada pelo professor, promovendo assim a construção do conhecimento por parte do aluno.

Embora tenha havido uma discussão teórica inicial, essa não abordava os conceitos sobre evolução que os jogos permitem elucidar, tais como as definições de evolução por seleção natural, por deriva genética e por seleção sexual, e a macroevolução (sistemática), além das diferentes aplicações desse conhecimento. A compreensão desses temas pôde ser constatada na medida em que muitos participantes destacaram a rápida internalização dos conceitos específicos abordados em cada jogo e a sua integração num campo de conhecimento mais alargado e em situações que lhes são próximas, o que foi proporcionado pela dinâmica de questionamentos feitos durante o desenvolvimento dos jogos, permitindo desmistificar várias concepções alternativas comuns.

Todos os participantes declararam ter adquirido uma nova visão sobre os temas tratados e muitos destacaram, em especial, o fato de poder reproduzi-los, posteriormente, como estratégia didática nas suas aulas de genética e evolução.

REFERÊNCIAS

- CAMPOS, R. (ed.) et al. (58 autores) *Um livro sobre evolução*. CIBIO, Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos. Porto, Portugal, 2013.
- CAMPOS, R. et al. (2014). *Somos mutantes!* Disponível em: <<http://cibio.up.pt/resources-1/details/exhibition-somos-mutantes>> Disponível em 20/06/2017.
- CAMPOS, R.; SÁ-PINTO, A. Early evolution of evolutionary thinking: teaching evolutionary biology in elementary schools. *Evolution: Education and Outreach* v.6, p.25, 2013.
- SÁ-PINTO, X.; CAMPOS, R. *As borboletas da floresta amarela*. CIBIO, Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos. Porto, Portugal. 2012.
- SÁ-PINTO, X.; CARDIA LOPES, P.; CAMPOS, R. Sexual selection: a short review on its causes and outcomes and activities to teach evolution and the nature of science. *The American Biology Teacher*, v.79, n.2, p.131-139, 2017.
- SÁ-PINTO, X.; PONCE, R.; FONSECA, M. J.; DE OLIVEIRA, P.; CAMPOS, R. Evolução biológica no dia-a-dia das escolas. *Revista de Ciência Elementar*, v.2, n.3, p.21-25, 2014.

AGRADECIMENTOS

Rita Campos é apoiada pelo POCH - Programa Operacional Capital Humano e por fundos do Fundo Social Europeu e do Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior (MCTES) de Portugal, via Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT; bolsa SFRH/BPD/110348/2015).

As autoras agradecem aos participantes da ação de formação, em particular à professora Rute Alves Sousa pelas discussões e comentários que levaram à concepção deste artigo e a João Mateus e Deise Felix pela ajuda na produção das imagens. Agradecemos ainda à SEDIS/PROEX-UFRN pela viabilização financeira da ação.