



ALEXANDRIA

Revista de Educação em Ciência e Tecnologia

Aprendizagem das Interações Alélicas ao Nível Molecular por meio de uma Sequência Didática com Caráter Investigativo no Ensino Médio

Learning of Allelic Interactions at the Molecular Level Using an Inquiry-based Didactic Sequence in High School

Mayana Flávia Ferreira Pimenta^a; Rafaella Cardoso Ribeiro^{b,c}; Adlane Vilas-Boas^c

^a Universidade Federal de Minas Gerais/Escola Estadual Dr. José Gonçalves/ Colégio Losango/ Colégio Recanto do Espírito Santo, Itaúna, Brasil - mayanaffp@gmail.com

^b Instituto de Educação de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil - rafaellacribeiro@gmail.com

^c Instituto de Ciências Biológicas/Departamento de Genética, Ecologia e Evolução, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil - adlane@ufmg.br

Palavras-chave:

Ensino de genética.
Ensino de ciências por investigação.
Interações genéticas.
Dominância e recessividade.
Transgenia.

Resumo: Interações alélicas, como dominância e recessividade, são comumente ensinadas sem ênfase nas relações das proteínas resultantes da expressão gênica. Isto pode levar a lacunas na compreensão de conceitos genéticos e processos como transgenia e terapia gênica. Este trabalho teve como objetivo elaborar, utilizar e avaliar uma sequência didática (SD) de genética com abordagem investigativa para estudantes da educação básica. Utilizou-se de aulas dialogadas, trabalhos em grupos e rodas de conversa, e um modelo para representação dos fenótipos com tinta guache e situações-problema envolvendo uma obra de arte transgênica. A sequência permitiu a construção do conhecimento em genética com o engajamento dos estudantes no desenvolvimento das atividades, efetivando os domínios conceituais sobre dominância e recessividade, bem como os domínios epistêmico e social, ainda que em menor grau. A sequência trouxe um caráter inovador ao lidar com a complexidade da genética moderna para além dos conceitos da genética mendeliana, tradicionalmente ensinados há décadas.

Keywords:

Genetics teaching.
Inquiry-based science teaching.
Gene interactions.
Dominance and recessivity.
Transgenesis.

Abstract: Allelic interactions such as dominance and recessiveness are commonly taught without emphasis on the relations of proteins resulting from gene expression. This can lead to misunderstandings of genetic concepts and processes such as transgenesis and gene therapy. This study aimed to develop, use, and evaluate a didactic sequence on Genetics for basic education students using inquiry-based science teaching. Dialogue classes, group work and conversation circles were used, and a model for representing the phenotypes with gouache paint and problem situations involving a transgenic artwork. The sequence allowed the engagement and motivation of students in the development of activities, putting into effect the conceptual domains about dominance and recessiveness, as well as the epistemic and social domains, although in reduced amount. The sequence brought up an innovative character in dealing with the complexity of modern genetics beyond mendelian genetics.



Esta obra foi licenciada com uma Licença [Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Introdução

A despeito de ser uma especialidade de extrema importância para a contemporaneidade, a Genética envolve dificuldades no ensino-aprendizagem de conceitos básicos importantes para compreensão de aspectos mais avançados da disciplina. Entre as causas da dificuldade em se ensinar a Genética está o fato de que ela requer dos alunos certo grau de abstração para sua compreensão, além de possuir, como é comum na Biologia, uma extensa terminologia e exigir domínio do vocabulário (FINLEY et al., 1982; KNIPPELS, 2002). Ainda, os problemas são resolvidos, muitas vezes, por tentativa e erro, sem o real entendimento dos fatores biológicos associados e concretos, como a compreensão limitada e inconsistente da divisão celular, além das poucas habilidades no raciocínio lógico matemático que envolve a probabilidade (KINDFIELD, 1994; CHU; REID, 2012; BORGES et al., 2017).

Dificuldades dos tipos citadas são perceptíveis por nós enquanto docentes e em pesquisas em que se observam estudantes que não compreendem os processos de divisão celular, estrutura, localização e função do material genético (e. g. BELMIRO; BARROS, 2017; SOUSA et al., 2023). Soma-se às dificuldades de professores em ensinar esta disciplina, um avanço do conhecimento e das técnicas de genética molecular e a concomitante aplicação em outras áreas das Ciências Naturais, médicas e farmacêutica, por exemplo (SCANDELARI et al., 2021).

Ao referir-se à terminologia específica do conteúdo de genética, Knippels (2002) ressalta que alguns termos se assemelham muito, o que pode levar os alunos a uma confusão na definição das palavras, por exemplo homozigoto/heterozigoto, genótipo/fenótipo. Como o conteúdo é extenso, o uso indevido ou dubio da terminologia pode ser um componente a mais de confusão. Um exemplo é a utilização dos termos gene e alelo como sinônimos. A mesma autora cita que muitos professores ou autores de livros didáticos costumam utilizar o termo gene para flores de cor vermelha em vez de alelo para flores de cor vermelha ou gene letal em vez de alelo letal. Afinal, não é o gene que é letal, e sim, a expressão de um determinado alelo de um gene que pode ser letal a um organismo. Essa imprecisão na utilização dos termos dificulta o processo de ensino e aprendizagem. No entanto, a compreensão dos processos moleculares subjacentes a esses conceitos poderia vir a facilitar a aprendizagem e prover uma maior clareza no ensino da genética clássica.

Presente no ensino de genética desde o ensino fundamental, as relações alélicas conservam traços de incoerência conceitual. Há relatos onde professores reconhecem que estudantes da educação básica têm dificuldades em associar adequadamente os termos ao seu conceito, como acontece com “dominante”, associando-o à ideia de frequente, “bom” e necessário para mascarar o efeito dos alelos recessivos que são “ruins” (DONOVAN, 1997;

HEIM, 1991). O problema referente aos equívocos e confusões na compreensão do conceito de dominância está relacionado com o conceito proposto por Mendel de sobreposição de função dos “fatores” nos híbridos de ervilha e representa uma potente metáfora sobre força e poder, que leva, na atualidade, a erros de compreensão inclusive entre biólogos (ALLCHIN, 2000; REDFIELD, 2012). As leituras das ideias de Mendel, associadas à utilização de um “A” para representar um alelo dominante e “a”, um alelo recessivo, auxiliaram na propagação desse equívoco, que permanece nos livros didáticos e na resolução de problemas. Outra questão é que, enquanto sabe-se que o termo dominância é, na verdade, uma relação entre os alelos, ainda há muitos estudantes que atribuem à relação dominante/recessivo uma norma, tendo em vista que a maior parte dos alelos apresentados ao longo da sua formação são pares dominante/recessivo; as interações do tipo codominância e dominância incompleta são apresentadas como variantes ou exceções à dominância completa.

Netto (2012) relata suas observações como docente do ensino superior sobre como seus estudantes compreendem, de forma errônea, os conceitos de dominância e recessividade, no sentido de que apenas os alelos dominantes seriam transcritos e os alelos recessivos inibidos durante a transcrição. Em uma pesquisa conduzida com estudantes de licenciatura de um curso de Ciências Biológicas de uma universidade pública brasileira, observou-se, por meio de análises quantitativa e qualitativa, incluindo análise textual discursiva, que eles apresentaram dificuldade em compreender a expressão de alelos recessivos (HADDAD, 2019). Esta autora cita que poucos estudantes mostraram compreender os conceitos moleculares relacionados com a fisiologia da interação alélica (como transcrição, tradução, produção de proteínas e diferenças estruturais dos alelos), dando a entender que muitos desconsideram que o alelo recessivo é transcrito. Esses relatos observados entre professores em formação nos levam a indagar se há uma maneira de se ensinar as relações alélicas no ensino médio (EM) de forma que haja um melhor entendimento desses conceitos básicos da genética moderna. Buscas na literatura não nos indicaram que há publicações quanto às dificuldades de entendimento sobre o mecanismo das relações alélicas no ensino básico. A importância dessa compreensão para se aprofundar nas aplicações biotecnológicas correntes no século 21 se faz presente, apontando, assim, para a necessidade de debruçar-nos sobre as metodologias possíveis de serem utilizadas nos processos de ensino e aprendizagem que possam ir além do convencional.

Genética moderna e a biotecnologia

Os primeiros relatos de sucesso em técnicas de manipulação genética datam dos anos 1970 e nas décadas seguintes essa parte da biotecnologia começou a ter espaço definido nos livros didáticos (FONSECA; BOBROWSKI, 2015). Hoje em dia, em livros do ensino médio,

muitas técnicas são mencionadas como o DNA recombinante, testes de paternidade e até mesmo a edição gênica por CRISPR-CAS9. A BNCC sugere, na unidade temática Ciências da Natureza e suas tecnologias, o objeto do conhecimento biotecnologia, apontando sua importância na medicina, na economia e suas implicações éticas e ambientais (BRASIL, 2017).

Para verificar como os temas de biotecnologia se apresentam em exames para ingresso ao ensino superior, Pinheiro et al. (2017) analisaram as provas do ENEM – Exame Nacional do Ensino Médio entre 2009 e 2015. Verificaram que em todas as edições analisadas havia questões voltadas à biotecnologia, abordando temas como células-tronco, clonagem, transgênicos, DNA recombinante, produção de vacinas, antibióticos, cosméticos e outros. Os pesquisadores ressaltaram a importância do ensino contextualizado e que desperte a curiosidade e o interesse dos estudantes, visto que, cada vez mais, a biotecnologia estará inserida nas avaliações externas e, principalmente, estará presente na vivência em sociedade. Mas afinal, tendo em vista toda a discussão acerca da importância de inserir cada vez mais a biotecnologia no currículo da educação básica, como este tópico é trabalhado em sala de aula? Nesta mesma pesquisa, foram entrevistados cinco professores da educação básica que trabalham na rede pública de ensino, os quais foram questionados sobre como lidam com a biotecnologia com os alunos do 3º ano do ensino médio (PINHEIRO et al., 2017). De uma forma geral, os educadores destacaram que abordam este tema sem um aprofundamento, destacando um certo desconforto para se aprofundar nesta temática, pois não estavam atualizados com os recorrentes avanços da biotecnologia nos últimos anos e a sua complexidade. Tal fato foi também relatado por professores de química na pesquisa de Marcelino e Marques (2017), podendo se tornar um desafio para os professores da educação básica inserir esse conteúdo em seu planejamento de aulas. Entretanto, vale ressaltar ainda a importância de se ensinar a biotecnologia como uma alternativa para relacionar as novas tecnologias com a genética mendeliana e molecular, além de permitir aos estudantes não apenas conhecer técnicas e conceitos, mas também adquirir um pensamento crítico para a tomada de decisões (MARCELINO; MARQUES, 2017).

Alves e Costa (2020) nos trazem uma perspectiva sobre o ensino da biotecnologia a partir da produção científica indexada em duas bases de dados brasileiras. Os autores indicam o resgate de poucas publicações no Scielo do ano 2000 a 2019, com o descritor *ensino de biotecnologia*. Já na base de teses e dissertações esse número é consideravelmente maior, tendo a percepção sobre biotecnologia um importante espaço no acervo. Efetivamente, a genética, biologia molecular e bioética se destacam em muitas destas produções bibliográficas.

Práticas educativas reflexivas para ensino de temas de genética e biotecnologia

Atividades didáticas que venham a aumentar o protagonismo do discente no seu aprendizado são bem-vindas, pois podem despertar e manter o seu interesse, envolvê-lo em investigações científicas, desenvolver habilidades e capacidade em resolver problemas e a compreensão de conceitos básicos (HOFSTEIN; LUNETTA, 1982). Fazer com que os educandos consigam perceber a genética em seu cotidiano, por meio de atividades práticas, pode ser uma alternativa para aproximá-los e potencializar o engajamento e a motivação nas aulas, além de permitir que a dimensão conceitual do aprendizado seja enriquecida com abrangências sociais e epistêmicas.

Dentre as tendências para o ensino, destaca-se o ensino por investigação nas ciências e na biologia. Embasado na filosofia de John Dewey, o ensino por investigação criou forma em meados do século 20 na América do Norte, tornando-se uma perspectiva de ensino-aprendizagem importante e que focava muito em levar o estudante a experimentar ações de um cientista, como a observação, coleta e interpretação de dados e discussão. No Brasil, o ensino por investigação já vinha sendo levado em conta em reformas curriculares nos anos 60 e 70, mas nos últimos anos é que vem ganhando espaço, seja como prática pedagógica em escolas públicas e privadas ou objeto de pesquisa (CARVALHO, 2013; FRANCO; MUNFORD, 2020; FRANCO, 2021).

Um importante aporte ao estudo do ensino por investigação nos parece ser o trazido por Duschl (2008) no qual se muda o foco de um aprendizado baseado em conceitos para um enfoque mais equilibrado, incluindo um domínio epistêmico e social do conhecimento científico. Além do domínio conceitual, que é de muita importância na Biologia, a dinâmica epistêmica pode contribuir para evidenciar o pensamento dos estudantes de forma que o contexto de aprendizado baseado no conceito promova o raciocínio científico e a motivação para aprender. Neste domínio estão incluídas práticas desenvolvidas em sala de aula, que podem ser chamadas de práticas epistêmicas, científicas ou investigativas, a depender do autor (FRANCO; MUNFORD, 2020). Já o domínio social inclui os contextos e processos que se relacionam sobre a forma do conhecimento ser comunicado, representado, argumentado e debatido. Em uma sala de aula, este domínio pode se dar pelos compartilhamentos de ideias e debates em rodas de conversa, grupos e diálogos com colegas e professor.

Existem diferentes estratégias de ensino e aprendizagem que podem caracterizar uma atividade como investigativa, tais como filmes, experimentos, visitas de campo, demonstrações, pesquisas, simulação de computador, dentre outros. Na concepção de Carvalho (2013), a atividade adotada *per si* é menos importante que o quanto a estratégia adotada esteja em sintonia com a problematização pretendida. O problema deve estar inserido na realidade/convívio social dos estudantes, algo que os envolva de forma que se sintam

motivados na procura de uma solução e possibilite condições para resolvê-la. Tendo em mente o equilíbrio proposto por Duschl (2008) é importante no desenho de uma atividade investigativa que as práticas sejam enriquecidas com perguntas norteadoras e promovam discussão dos conceitos a serem conectados na aprendizagem. No ensino de genética na educação básica, o domínio conceitual se apresenta de forma bastante enfática, mas é possível a inovação na sala de aula com atividades em que a construção do conhecimento científico e suas implicações sejam bastante relevantes. É preciso, assim, se atentar a outras características específicas de atividades investigativas, tais como: o interesse dos alunos para participar das atividades; levantamento de hipóteses, através das quais o professor identifica os conhecimentos prévios do estudante; a busca por informações através de pesquisas bibliográficas ou experimentos que auxiliem na resolução de um problema proposto inicialmente; a abertura de espaços para diálogo e discussão, de forma que aproximem os saberes científicos daqueles estudados em sala de aula (ZÔMPERO; LABURÚ, 2011; CARVALHO, 2013).

Entendemos que a abordagem de ensino por investigação seja uma metodologia bastante apropriada para um ensino de genética onde o domínio conceitual possa ser bem explorado em conjunto com os domínios epistêmicos e sociais, de forma a se subsidiar debates sobre as tecnologias em que estejam envolvidas questões biotecnológicas e genéticas. A questão científica planejada pelo professor pode ser construída aos poucos, com a participação ativa dos alunos nesse processo. A discussão após uma atividade prática é o ponto chave para sistematizar o conceito, procedimentos e o conhecimento que foram objetos do problema (CARVALHO, 2013; SEDANO, CARVALHO, 2017).

Assim, este trabalho teve como objetivo elaborar, utilizar e avaliar uma sequência didática (SD) de genética com abordagem investigativa para estudantes da educação básica. Nos interessou investigar como a sequência poderia contribuir para a construção da aprendizagem sobre o tema das relações alélicas fazendo uma conexão com aplicações biotecnológicas como a transgênese no ensino médio. Na análise buscamos pontos que indicassem que houve engajamento dos estudantes nas discussões e atividades bem como incremento no conhecimento sobre interações alélicas.

Metodologia

O público-alvo deste estudo foi uma turma de 30 alunos do 3º ano do ensino médio diurno de uma escola estadual do município de Itaúna, Minas Gerais, durante o ano de 2019. A escolha dessa instituição justificou-se pelo fato da primeira autora ser a professora regente, o que facilitou o contato com os alunos e com a direção escolar, bem como a observação e

análise da turma. O estudo foi apreciado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da instituição de estudo, sendo os termos de consentimento e assentimento apresentados e assinados pelos participantes conforme plano de pesquisa aprovado.

Para a realização deste estudo, utilizaram-se abordagens quantitativas e qualitativas, ainda que a pesquisa quantitativa tenha sido usada apenas para a avaliação dos acertos dos itens das atividades feitas pelos alunos (dando uma dimensão do alcance da SD para entendimento dos conceitos e processos apresentados). A pesquisa qualitativa foi utilizada considerando, entre outros fatores, a apresentação da opinião e a perspectiva dos participantes (SÁ-SILVA et al., 2009; IERVOLINO; PELICIONI, 2001; YIN, 2016). Assim, além da observação, conclusão, relatos e diálogo, foi solicitado aos alunos que descrevessem, individualmente, sua opinião acerca da metodologia utilizada, com o propósito de analisar as respostas na íntegra, possibilitando considerar também a opinião dos alunos mais tímidos e menos participativos durante as atividades propostas neste trabalho. Utilizou-se a metodologia de observação participante conduzida pela primeira autora, considerando que neste tipo de estudo o pesquisador que conduz o trabalho também se faz presente no ambiente que está sendo estudado, relatando e interpretando os dados (YIN, 2016).

Construção da sequência didática sobre relações alélicas e biotecnologia

Uma prática educativa reflexiva e coerente com a realidade do ambiente escolar é estruturada a partir de sequências de atividades que se baseiam em objetivos previamente definidos, reunindo-os em três fases de uma prática educacional: planejamento, aplicação e avaliação (ZABALA, 1998) e devem ser pautadas no antes e depois, seguindo o fluxo da Figura 1. Tais fases são necessárias para que o professor construa aulas de forma intencional, flexível e significativa para os educandos, considerando os conhecimentos prévios, contexto, estratégias, métodos e instrumentos avaliativos. É por meio das sequências didáticas que as diferentes atividades são elaboradas e inseridas na unidade didática (ZABALA, 1998) facilitando a construção do conhecimento pelos estudantes. Segundo Sedano e Carvalho (2017) é importante considerar nas sequências didáticas as atividades em grupo, pois possibilitam a interação e o convívio social dos alunos, e isto fez parte do nosso planejamento.

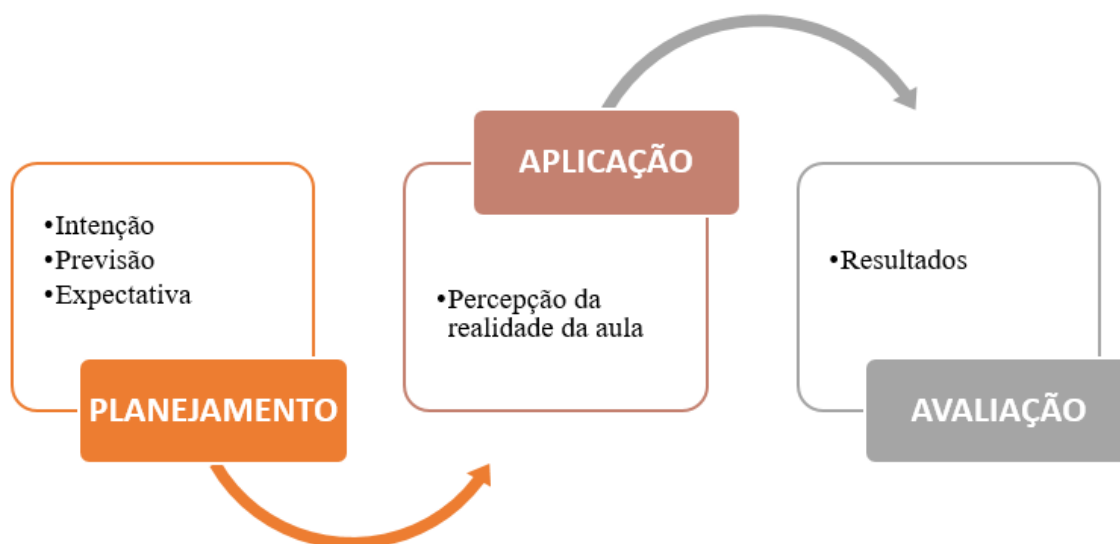


Figura 1 – Representação do fluxo de intervenções pedagógicas contendo as peças consideradas substanciais em toda prática educacional.

Fonte: autoras com base em Zabala (1998).

O diagrama da Figura 2 resume as estratégias utilizadas na sequência didática, planejada para ser realizada em seis aulas de 50 minutos.

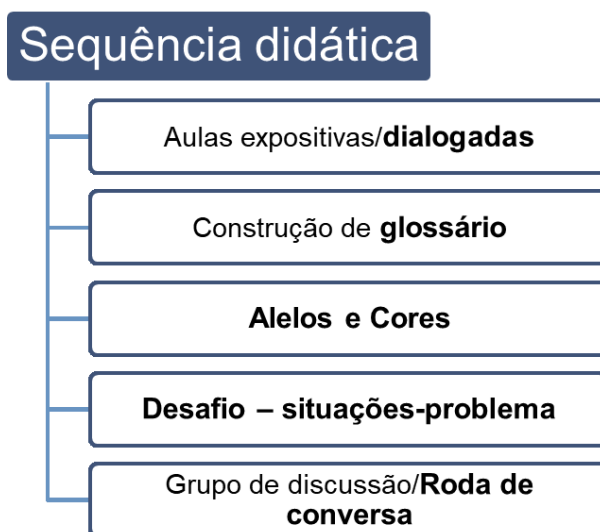


Figura 2 – Etapas da sequência didática: aulas expositivas sobre genética molecular e mendeliana, construção de glossário com terminologias utilizadas, atividade “Alelos e Cores: integrando transcrição, tradução e interações alélicas”, situações-problemas sobre transgênicos e grupo de discussão na roda de conversa.

Fonte: autoria própria

Aulas expositivas dialogadas

Apesar de não ser a atividade inicial, o ponto central da SD foi a atividade Alelos e Cores, adaptada de Sant’Anna et al., (2020) - “Alelos e Cores: integrando transcrição, tradução e interações alélicas”. Esta atividade trabalha com processos de transcrição e tradução, normalmente ensinados em séries iniciais do EM, que são aplicados para a

compreensão de conceitos mendelianos numa perspectiva contemporânea da genética. Após uma experiência piloto (dados não publicados das autoras) onde percebeu-se que os conhecimentos prévios daquela turma não haviam sido suficientes para um bom andamento da atividade proposta, optou-se por introduzir na SD uma exposição dialogada (de duas aulas), com foco nos processos de transcrição e tradução e nos conceitos fundamentais da genética transmissional, incluindo divisão celular e leis de Mendel, e conceitos como fenótipo, genótipo, alelos e relações de dominância e recessividade (Figura 3). Ainda nestas duas aulas, foi trazida a questão dos transgênicos, com exemplos de utilizações, como o arroz dourado e a insulina (ver descrição em COSTA, 2004 e FERREIRA, 2009, respectivamente) para construção de uma perspectiva técnica e social. Por fim, solicitou-se a construção de um glossário com termos relatados na aula, de forma que o aluno pudesse fazer uma busca ativa para sua conceituação; o glossário serviria também de material de apoio para a atividade prática.



Figura 3 – Conceitos trabalhados em aulas dialogadas. Princípios de genética com inter-relação da meiose e mitose, transcrição e tradução.

Fonte: autoria própria

Atividade experimental Alelos e Cores

Planejou-se duas aulas com a atividade Alelos e Cores depois das aulas expositivas. Em resumo, essa atividade simula a formação de diferentes fenótipos (dados por misturas de tinta guache com concentrações distintas) definidos pela interação de proteínas funcionais ou não, provenientes de dois alelos (apresentados por sequências de DNA, previamente distribuídas a diferentes grupos). São apresentadas três condições (em três espécies de plantas) onde a cor das flores resultante da mistura é vermelha (dominância e codominância) ou rosa (dominância incompleta). A codominância também é representada pela cor vermelha, mas olhando-se o recipiente de perto pode-se perceber a presença do líquido vermelho e do transparente (solução de guache e óleo). O roteiro sugerido pelas autoras é bastante dirigido, com perguntas instigadoras a serem respondidas ao longo de todo o processo, levantamento de hipóteses e com momentos em que os estudantes possam ter sua experiência em grupo e, em seguida, comparar com as misturas dos outros grupos. Consideramos importante incorporar ao roteiro dos alunos uma pergunta após feita a mistura das preparações: “Quanto à

questão sobre o fenótipo esperado da interação entre os alelos, a hipótese levantada inicialmente pelo seu grupo está correta? Em caso negativo, indique o resultado obtido e justifique o porquê do fenótipo encontrado.” Essa nova pergunta intencionou levá-los a interpretar os dados obtidos, discutir sobre eles e sanar possíveis erros conceituais e de interpretação, conduzindo-os a relacionar os fenótipos com o fato de as proteínas serem ou não funcionais.

Desafio: situações-problema – coelhos transgênicos fluorescentes

Com a intenção de aumentar o caráter investigativo da SD, foi introduzido um desafio com situações-problema na aula consecutiva a da atividade Alelos e Cores (ver Figura 2). A expectativa é que se pudesse contextualizar o desenvolvimento de animais transgênicos com a genética mendeliana e as interações alélicas, uma prática didática que, a nosso ver, não vem sendo explorada nos livros didáticos e salas de aula, já que a compartimentalização dos assuntos não prevê essa síntese por parte do professor da educação básica. As situações-problema foram idealizadas para serem, também, um sinalizador da aprendizagem alcançada na parte inicial da sequência. Os estudantes seriam apresentados a um projeto de arte transgênica do consagrado artista Eduardo Kac intitulado “GFP Bunny” (KAC, 2002). O projeto consistiu na criação de uma coelha albina que, quando iluminada por uma luz no espectro do ultravioleta, se tornava verde fluorescente. A coelha, denominada Alba, foi resultado de um projeto de engenharia genética desenvolvido no ano de 2000 pela equipe contratada pelo artista, numa tentativa de discussão da técnica e suas implicações sociais. Tecnicamente, o que foi feito se resume à introdução do gene (*gfp8*) encontrado na água-viva *Aequorea victoria* no genoma de um embrião de coelha; assim, ela passou a possuir a sequência gênica responsável pela produção de uma proteína verde fluorescente. Além da coloração sob a condição de luz específica, a transgênese, segundo o autor, não trouxe efeitos adicionais à biologia do animal (KAC, 2002).

As perguntas das situações-problema foram desenvolvidas de forma a agregar os conhecimentos da genética mendeliana com as novas biotecnologias. Trouxemos questionamentos de como seria tecnicamente possível que um único gene introduzido através da transgênese funcionasse e a característica desejada se manifestasse. Nessa aula foram lembrados os temas da engenharia genética e da produção de transgênicos, com os exemplos do arroz dourado e a insulina. Foi proposta uma discussão a respeito do projeto de arte “GFP Bunny” considerando a opinião dos alunos e os diferentes usos da engenharia genética e a coelha Alba. A proposição também incluiu a indução da reflexão e levantamento de hipóteses sobre a funcionalidade das proteínas. O desafio aos alunos seria feito pela

problematização e contextualização que seguem abaixo (Quadro 1). Para esta parte da atividade dedicou-se uma aula.

Apresentamos aqui as respostas ou raciocínio esperados para cada item. As situações-problema apontadas no Quadro 1 foram representadas no roteiro do aluno pelas questões 1 a 8, dentro das situações nomeadas de A a C. A professora introduziu aos alunos a seguinte nomenclatura para os animais: genótipos FF, F*, **, representando animais portando, respectivamente, dois alelos do gene *gfp*, um alelo, ou sua ausência (animal não transgênico).

Quadro 1 – Situações-problema e os raciocínios esperados para o desafio GFP Bunny – a Coelho Alba

Contextualização
<p>O gene F é responsável pela produção de uma proteína fluorescente em uma espécie de água-viva, que fica verde quando ela é submetida a raios ultravioleta (UV). Utilizando técnicas de engenharia genética, os cientistas conseguem inserir este gene em plantas e outros animais fazendo com que também se tornem verdes-fluorescentes sob a luz UV.</p> <p>Situação A – Transgênese e fenótipos</p> <p>Uma coelha albina foi gerada, em que o gene F havia sido inserido em seu material genético, criando uma coelha transgênica. O fenótipo desta coelha sob a luz UV era verde-fluorescente. Considerando os seus conhecimentos em genética e as interações alélicas do tipo dominância completa, dominância incompleta e codominância, responda:</p> <p>1) Qual é o fenótipo esperado da coelha após a transgênese?</p> <p>2) Como é possível que a inserção de apenas um gene determine o fenótipo nesta coelha? 3) O que acontece com as células dos coelhos transgênicos para eles serem verdes?</p>
<p>Resposta/raciocínio esperada(o):</p> <p>Espera-se que o aluno entenda e discorra sobre o papel das proteínas no fenótipo e que é necessário a presença de uma proteína funcional para gerar tal fenótipo na coelha transgênica.</p>
<p>Situação B – Transgênese e herança</p> <p>Esta coelha transgênica foi cruzada com um coelhinho albino e teve oito filhotes. Todos eram albinos e quando colocados sob a luz UV a metade deles era verde-fluorescente. Explique por que esses resultados foram encontrados.</p> <p>4) É possível explicar esses achados pelas Leis de Mendel? Em caso afirmativo, como?</p> <p>5) Por que o fenótipo fluorescente não foi passado para todos os filhotes?</p>
<p>Resposta/raciocínio esperada(o):</p> <p>Espera-se que o aluno mencione a herança mendeliana; que entenda que o fenótipo verde se deve a um genótipo F₋ (um alelo apenas, independente do segundo). A dificuldade aqui é o aluno entender que o genótipo tem que ser F* onde o * significa ausência de outro alelo (já que o gene F não existe na espécie onde foi introduzido). Assim, o coelho seria **, para o gene F. Como resultado do cruzamento fêmea F* X macho ** os filhotes seriam: F*, F*, **, **. Assim, explica-se porque nem todos os filhotes são verdes.</p>
<p>Situação C – Aplicação da 1ª Lei de Mendel</p> <p>Em outro acasalamento, a coelha transgênica foi cruzada com uma de suas crias fluorescentes.</p> <p>6) O que esperar na ninhada de 8 filhotes deste cruzamento?</p> <p>7) Os filhotes serão albinos?</p> <p>8) Serão também fluorescentes?</p>

Resposta/raciocínio esperada(o):

Espera-se que os alunos compreendam que o acasalamento será como um cruzamento entre heterozigotos fêmea $F^* \times$ macho F^* e que a proporção de filhotes seja, aproximadamente, como na Lei de Mendel: $\frac{1}{4} FF$, $\frac{2}{4} F^*$, $\frac{1}{4} **$; os fenótipos seriam seis coelhos verdes fluorescentes e dois não fluorescentes.

Fonte: autoria própria

Consideramos o uso da roda de conversa para finalizar a sequência por esta ser uma metodologia participativa que envolve os integrantes em intervenções pontuais, onde é possível escutá-los e utilizar abordagens dinâmicas e integradoras entre o conhecimento e o grupo (AFONSO; ABADE, 2008). Nessa conversa, planejada para uma aula, pensou-se que os estudantes poderiam dar sua opinião sobre sua participação neste tipo de atividade, à qual não estavam habituados, e também ser mais um espaço para a professora avaliar, a partir de sua observação, os avanços no conhecimento dos seus alunos e refletir sobre sua própria prática didática. Assim, as questões que mobilizaram a conversa centraram nas ideias sobre genética expostas nas aulas anteriores, e nas suas experiências com a metodologia de ensino à qual foram expostos. Os dados foram colhidos por transcrição de áudio e anotações da professora.

Resultados e discussão

Nas aulas iniciais da SD, foram trazidas informações sobre o processo de transcrição e tradução, um tema que a turma supostamente teria sido apresentada no 1º ano do ensino médio. A exploração de conhecimentos prévios foi feita e observou-se que os conceitos não estavam presentes de forma consistente nas falas dos alunos. Seguiu-se a aula com explicações sobre esses dois processos, de forma que os estudantes pudessem realizar o que se pedia na prática Alelos e Cores, no que tangesse ao preenchimento de fichas com as sequências de RNA e proteínas baseado nas sequências de DNA fornecidas.

Discutiram-se as interações alélicas partindo-se do exemplo da corola da flor maravilha (Figura 4) que apresenta como fenótipos as colorações vermelho, rosa e branco. Esse é um típico caso de dominância incompleta e é apresentado em muitos livros didáticos de forma a contrastar com a herança do tipo dominância completa, tipicamente representada na flor da ervilha pelas colorações púrpura e branca. O que os livros muitas vezes não trazem é o porquê de tais características apresentarem modos de herança diferentes e a explicação molecular subjacente (dados nossos, não publicados). Allchin (2000) sugere o ensino deste modelo na flor maravilha antes de ensinar a dominância completa, como uma possível solução à confusão que a metáfora do dominante como o alelo forte suscita. Ainda que de forma superficial, explicou-se molecularmente aos estudantes que a espécie possui um loco com os alelos A_1 e A_2 , e que apenas o alelo A_1 codifica proteínas funcionais, capazes de

produzir pigmentos na flor. A flor A_1A_1 produz, então, o dobro da quantidade desta proteína, apresentando fenótipo vermelho. Por outro lado, a flor A_2A_2 não produz a proteína capaz de colorir a flor (proteína não funcional) e, por isso, elas se apresentam como brancas. Aquelas flores em heterozigose, A_1A_2 , apresentam apenas uma dose de proteína codificada pelo gene A_1 , manifestando um fenótipo de flor rosa, intermediário entre vermelho e branco.



Figura 4 – Flor maravilha (espécie *Mirabilis jalapa*) com diferentes fenótipos resultantes das interações alélicas do tipo codominância. A flor central tem genótipo A_1A_1 , com fenótipo vermelho; a flor branca da esquerda tem genótipo A_2A_2 ; o genótipo A_1A_2 , caracteriza a flor rosa da direita.

Fonte: autoria própria

Na continuidade das aulas sobre o tema interações alélicas, foi introduzida uma discussão sobre a engenharia genética e os transgênicos, indicando os organismos que adquirem, por meios artificiais, um ou mais genes de outra espécie. A ideia foi que o estudante pudesse entender os princípios desta tecnologia, mas pudesse fazer uma correlação com os conceitos fundamentais de herança, e de como os genes interagem no organismo com a presença de um gene antes não existente na espécie. Tal discussão possibilitou contextualizar os conhecimentos de genética mendeliana com novas tecnologias, como a transgênese.

Foi promovida uma discussão sobre os benefícios dos transgênicos para a sociedade, sendo possível ter noção de qual era a visão/conhecimento prévio que os alunos possuíam sobre o tema. Foram apresentados dois exemplos de transgênicos que contribuíram para a construção de uma perspectiva social e técnica acerca dos temas abordados:

- O arroz dourado que recebeu um gene que o tornou capaz de produzir betacaroteno, um precursor da vitamina A. A carência desta vitamina pode causar cegueira e, como o arroz faz parte da dieta da maioria da população, o arroz dourado seria um importante mecanismo de prevenção (COSTA, 2004).
- A insulina produzida em grande escala para comercialização, o que foi possível graças à engenharia genética, onde uma bactéria passa a produzir uma proteína humana ou porcina (FERREIRA, 2009).

O glossário solicitado nesta aula permitiu que o aluno fizesse uma busca ativa para conceituação dos termos a eles apresentados pela professora. Os glossários foram discutidos

na aula seguinte e possibilitou-se, assim, um maior domínio dos conceitos, além de que serviram de material de apoio para as atividades que se seguiram.

Para a realização da atividade “Alelos e Cores”, a classe, composta de 30 alunos, foi dividida em 6 grupos de cinco integrantes cada (nomeados grupos A a F). Destaca-se que o único pré-requisito para seleção da turma foi ser o 3º ano do ensino médio, sendo pouco relevante a amostra utilizada para realização da prática. A perspectiva da SD é que o roteiro possa ser utilizado por qualquer professor que esteja ministrando o conteúdo de genética no ensino médio, independente da escola e horário de aula.

No primeiro momento, preparou-se os materiais de acordo com as instruções disponíveis no roteiro do professor (SANT’ANNA et al., 2020), adaptado pela professora. Cada grupo de cinco, formado por escolha dos próprios alunos, recebeu um roteiro para a execução da prática. Os alunos receberam, juntamente com o roteiro, a tabela do código genético e duas fichas que representam o material genético de uma planta, conforme exemplificado na Figura 5. Foram distribuídos seis conjuntos de fichas, com três diferentes pares de alelos (um par por grupo), representando diferentes espécies de plantas onde a cor se deve a três tipos de herança: dominância completa; dominância incompleta (em que as misturas de tinta guache seriam vermelha e rosa, respectivamente) e codominância (mistura de tinta guache branca e óleo de soja, predominando a cor da tinta). No caso da codominância, o roteiro por nós utilizado seguiu a primeira publicação dessas autoras que se encontravam em um portal de compartilhamento de experimentos (o qual não se encontra mais disponível) com a instrução para uso da tinta branca e óleo. Na versão atual, Sant’Anna et al. (2020) apresentam instruções para o uso de tinta vermelha e óleo mineral para codominância, o que nos pareceu uma excelente alternativa pois o tom das flores seria semelhante nas três espécies. A partir das fichas, os grupos deveriam verificar se as sequências genéticas eram iguais ou diferentes e concluir se os indivíduos seriam homozigotos ou heterozigotos (questão 1); completar, no espaço indicado, o mRNA transcrito da sequência de bases da molécula de DNA (questão 2); e, com o auxílio de uma tabela de códons de mRNA, completar a cadeia polipeptídica traduzida da sequência (questão 3).

1	2
Fragmento de DNA do cromossomo paterno	Fragmento de DNA do cromossomo materno
<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin-bottom: 10px;"> <div style="text-align: center; margin-right: 10px;">DNA</div> <div style="text-align: center; margin-right: 10px;">Fita Molde</div> <div style="text-align: center;"> <div style="border-bottom: 1px solid black; width: 150px; margin: 0 auto;"></div> <div style="margin-top: 5px;">TTACTACCCACGTTAGTCCATT</div> </div> </div> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin-bottom: 10px;"> <div style="text-align: center; margin-right: 10px;">mRNA</div> <div style="border-bottom: 1px solid black; width: 150px; margin: 0 auto;"></div> </div> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="text-align: center; margin-right: 10px;">Proteína</div> <div style="border-bottom: 1px solid black; width: 150px; margin: 0 auto;"></div> </div>	<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin-bottom: 10px;"> <div style="text-align: center; margin-right: 10px;">DNA</div> <div style="text-align: center; margin-right: 10px;">Fita Molde</div> <div style="text-align: center;"> <div style="border-bottom: 1px solid black; width: 150px; margin: 0 auto;"></div> <div style="margin-top: 5px;">TTACTACTCACGTTAGTCCATT</div> </div> </div> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin-bottom: 10px;"> <div style="text-align: center; margin-right: 10px;">mRNA</div> <div style="border-bottom: 1px solid black; width: 150px; margin: 0 auto;"></div> </div> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="text-align: center; margin-right: 10px;">Proteína</div> <div style="border-bottom: 1px solid black; width: 150px; margin: 0 auto;"></div> </div>

Figura 5 – Exemplos de fichas que representam um fragmento do material genético de uma planta a serem completadas com outras informações pelos estudantes.

Fonte: SANT'ANNA et al., 2020, modificado pelas autoras.

Todos os seis grupos conseguiram perceber que as suas sequências eram diferentes e que, por esse motivo, tratavam-se de indivíduos heterozigotos. Quanto à transcrição da sequência de bases que forma o mRNA, um grupo apresentou incoerência na aplicação dos conceitos de tradução e transcrição, com dificuldades em relacionar os pares de bases nitrogenadas Adenina-Timina/Uracila e Citosina-Guanina, sendo necessária a intervenção e orientação da professora. Após os grupos completarem as fichas e identificarem a cadeia polipeptídica traduzida da sequência, um representante de cada um deles procurou na mesa da professora o frasco identificado com um rótulo correspondente à proteína traduzida nas duas fichas.

A questão 4 solicitava aos alunos que observassem as cores dos líquidos presentes em cada garrafa. Em seguida, considerando que cada cor se originava de uma sequência de DNA, os estudantes foram questionados se os alelos haviam sido transcritos e traduzidos. Posteriormente, eles deveriam indicar a cor e funcionalidade da proteína produzida pelas sequências de origem materna/feminina e paterna/masculina e refletir sobre o fenótipo esperado da interação entre aqueles alelos. Todos os grupos compreenderam que os alelos haviam sido transcritos e traduzidos e completaram a cor e funcionalidade das sequências referentes à proteína produzida. Quando perguntados sobre o fenótipo esperado da interação entre esses alelos, o grupo A, que trabalhava um caso de dominância completa, considerou que o fenótipo seria rosa. Ressalta-se que o raciocínio deste grupo não está errado, uma vez que apenas com a visualização das cores dos frascos e a funcionalidade das proteínas não é possível certificar-se se o fenótipo seria vermelho ou rosa. Allchin (2000) aponta que é contraintuitivo se esperar, pela noção simplista da herança da mistura, que plantas com flores vermelhas e brancas possam produzir flores vermelhas, da mesma forma que não se esperaria que da autofertilização de plantas de flores rosa pudessem emergir plantas de flores vermelhas. Desta forma, os estudantes teriam que ter a evidência empírica da mistura para seguir respondendo às questões. Outro grupo, B, que também trabalhava com um caso de dominância completa, em vez de responder o que se perguntava, respondeu “Aa”, mostrando que os integrantes confundiram os conceitos de genótipo e fenótipo. A semelhança entre estas terminologias contribuiu para essa confusão e, como relatado por Knipels (2002) e Borges et al. (2017), existem dificuldades para se diferenciar termos de genética. Já o grupo F, que lidava com um caso de codominância, respondeu que o fenótipo seria amarelado (referindo-se à cor do óleo de soja), afirmando indiretamente que apenas a característica amarela seria expressa e não levando em consideração que o branco seria também visualizado. Por orientação da professora, as respostas foram anotadas a caneta, para que não fossem alteradas

no decorrer da prática. Desta forma, observou-se que dois dos seis grupos, que correspondem a 10 alunos, encontraram dificuldades em responder a esta questão e relacionar o fenótipo com a funcionalidade das proteínas.

As garrafas foram abertas e os conteúdos despejados em uma vasilha plástica transparente. Após misturar as preparações, os estudantes observaram a representação do fenótipo da espécie de planta que o seu grupo recebera. Posteriormente, responderam às questões 6 a 8 que tratam da relação e interação para o fenótipo da espécie de planta recebido, resultante das proteínas produzidas pelos dois alelos. Todos os grupos apontaram corretamente a relação entre o fenótipo observado e o estado das proteínas produzidas a partir das sequências dos alelos e o tipo de interação alélica observada pelo seu grupo. Já na questão 7, que pergunta sobre a existência de uma relação de dominância e recessividade entre os alelos do gene responsável por essa característica, o grupo C (dominância incompleta) optou pela alternativa errada.

Por fim, todos os grupos responderam corretamente à questão 8, que intencionava verificar se os alunos conseguiam, depois da prática, relacionar o conceito de dominância e recessividade com a quantidade de proteínas ou a capacidade da proteína de ser ou não funcional. Os dados relatados acima foram consolidados na Figura 6, quantificando os resultados analisados.

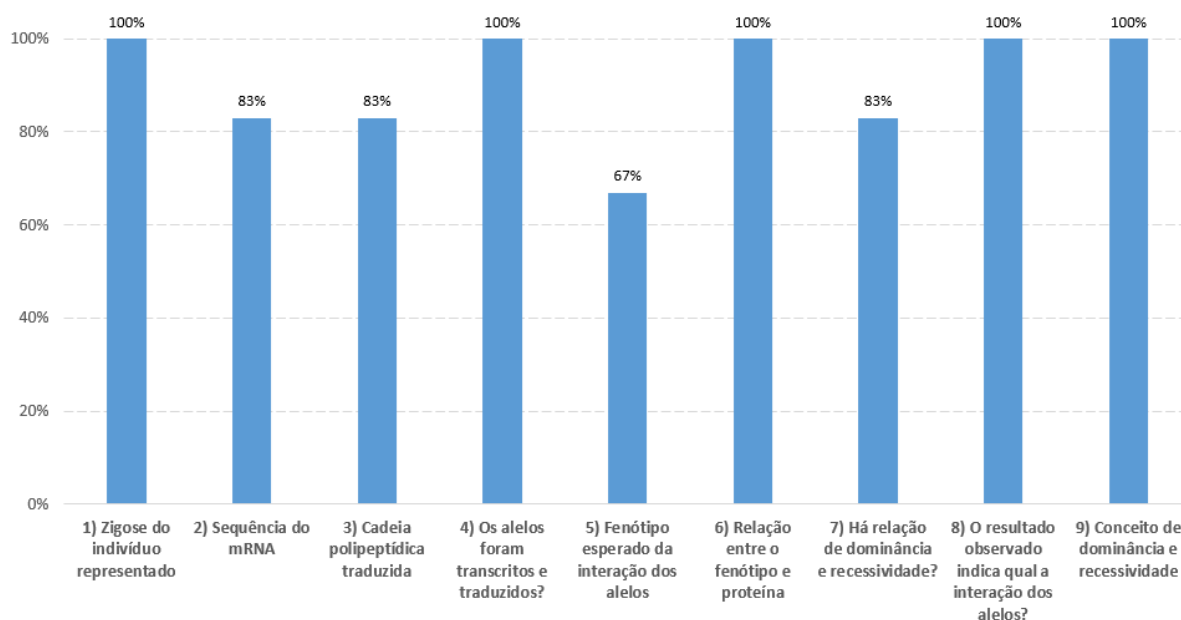


Figura 6 – Quantificação de acertos dos grupos para cada questão do roteiro do aluno. As respostas correspondem a seis grupos (total=30 estudantes) que participaram da atividade.

Fonte: autoria própria

As questões referentes à zigose, tipo de interação alélica e o conceito de dominância e recessividade foram bem compreendidas pelos alunos, como pode-se observar no gráfico da Figura 6. Nas questões 2 e 3, notou-se que o grupo E encontrou dificuldades no entendimento

do processo de tradução e transcrição e na questão 7, o grupo C considerou que havia uma relação de dominância e recessividade ao analisar a interação alélica do tipo dominância incompleta. A maior dificuldade encontrada pela turma, mais especificamente pelos grupos B e F, refere-se à questão 5, que os leva a refletir qual seria o fenótipo esperado da interação entre os alelos. Os estudantes interpretaram erroneamente o termo “fenótipo” ou não analisaram a funcionalidade das proteínas para responder a esta questão.

Em seguida à atividade Alelos e Cores, procedeu-se à exposição dos estudantes ao desafio GFP Bunny – a Coelho Alba (situações-problemas A, B e C), onde esperava-se que eles pudessem aplicar o conhecimento recém-adquirido sobre a funcionalidade das proteínas e sua implicação nos fenótipos. As respostas de cada grupo às primeiras questões do desafio (situação-problema A) são descritas na Quadro 2.

Quadro 2- Respostas à situação-problema A - **Transgênese e fenótipos**. As três perguntas resumidas e as respostas dos seis grupos estão representadas.

Grupos	Questões		
	1. Fenótipo esperado da coelha após a transgênese.	2. Explicação de como a inserção de apenas um gene determina o fenótipo.	3. O que faz as células dos coelhos transgênicos serem verdes?
A	<i>50% albina, 50% verde</i>	<i>O gene inserido ter uma proteína funcional e o alelo ser dominante.</i>	<i>A proteína inserida ser funcional.</i>
B	<i>F*</i>	<i>Porque a coelha já tinha o genótipo **, e com a inserção ganhou um alelo dominante, ficando assim F*.</i>	<i>É injetada uma proteína funcional verde fluorescente.</i>
C	<i>Branca</i>	<i>Se a proteína for funcional ela determina o fenótipo.</i>	<i>Foram dominados pelos genes inseridos.</i>
D	<i>Fica fluorescente pela luz UV.</i>	<i>Porque ela não tem outro gene do tipo.</i>	<i>Elas começam a produzir a proteína que produz a coloração verde fluorescente.</i>
E	<i>Dominância completa.</i>	<i>Pois é uma proteína funcional, sendo assim o gene é dominante por ser único.</i>	<i>A célula irá produzir a substância que foi inserida pelo novo gene.</i>
F	<i>Que ela fique verde fluorescente quando exposta a raios UV.</i>	<i>Porque a coelha não produzia o gene que foi inserido nela, portanto ele é dominante.</i>	<i>Recebeu o gene responsável pela proteína fluorescente, modificando o fenótipo da coloração</i>

			<i>das células.</i>
--	--	--	---------------------

Fonte: autoria própria.

Esperávamos um grande nível de acerto na pergunta 1, pois a informação solicitada se encontrava no enunciado da situação-problema. No entanto, apenas dois grupos apresentaram verbalizações que indicaram a compreensão da questão (D e F). Acreditamos que ao mencionar uma porcentagem (50%), o grupo A concluiu que a coelha permaneceria albina, mas que também expressaria o fenótipo verde. Ainda que tenham tido dificuldade em expressar os termos conceituais trazidos, as respostas seguintes mostraram que entenderam as questões levantadas e que conseguiram associar a proteína funcional ao fenótipo observado.

No grupo B, observou-se, uma vez mais, uma confusão entre os conceitos de genótipo e fenótipo quando responderam que o fenótipo esperado na coelha após a transgênese é F* em vez de se referirem à característica. Ainda se observou o uso de gene e alelo como sinônimos, bem como a utilização do termo “injetada” no lugar de “produzida”. No entanto, a não apropriação da nomenclatura correta não implicou no raciocínio incorreto sobre a inserção do transgene e o genótipo resultante.

O grupo C apresentou inconsistência em suas respostas, primeiro apontando que o fenótipo da coelha transgênica seria branco. No entanto, na questão seguinte, o grupo associou corretamente a proteína funcional ao fenótipo quando justificou o porquê de as células da coelha serem verdes. Ao responderem que as células do coelho foram dominadas pelos genes inseridos, na nossa interpretação, não utilizaram o termo “dominaram” no sentido da interação dominante, mas sim para expressar a funcionalidade da proteína dada pelo gene inserido. De forma semelhante, o grupo E mostrou ter compreendido o funcionamento do transgene, ainda que tenha errado a primeira questão.

De uma forma geral, os alunos conseguiram demonstrar um correto raciocínio ao responderem à situação-problema A. Mesmo sendo uma proposta com conteúdo novo para o ensino médio, eles foram capazes de relacionar o gene inserido por transgênese com a funcionalidade da proteína e o fenótipo.

As perguntas 4 a 8 (Quadro 1) referentes às situações-problema B e C envolvem outros conhecimentos, como herança mendeliana, biotecnologia e a relação entre fenótipo e genótipo. As questões estavam relacionadas à análise de situações de cruzamento da coelha transgênica com um coelho não-transgênico, onde metade da descendência herdou a capacidade de ser verde-fluorescente sob luz UV (ver Quadro 1). O aluno foi, assim,

convidado a explicar como esses resultados se relacionavam com as Leis de Mendel e porque nem todos os filhotes herdaram a capacidade de ser fluorescentes.

Os grupos A, C e E tiveram dificuldades em mostrar entendimento dos conceitos das leis de Mendel, ainda que tenham feito menção, em suas respostas, ao quadro de Punnett (diagrama proposto para prever os resultados de cruzamentos). Expuseram ideias como: “Lei de Mendel está relacionada com a dominância e a recessividade”, “Porque alguns deles receberam do pai o alelo recessivo”, “Porque os dois genes eram dominantes”, ou, ainda, associando às proteínas: “Porque eles tiveram a proteína funcional”. Apesar dos equívocos, a associação com o quadro de Punnett nos leva a interpretar que os alunos compreenderam que os alelos se separam na meiose e que, na fecundação, o material genético é herdado dos progenitores. Ainda, ao mencionarem as proteínas funcionais, os alunos desses grupos perceberam, mesmo que indiretamente, a necessidade de os alelos serem transcritos e traduzidos para a manifestação de um fenótipo. Por outro lado, ao associarem o problema com dominância e recessividade, os alunos não consideraram que, de fato, a ausência de outro alelo do gene F do próprio animal é que estaria relacionada com os resultados obtidos neste cruzamento, juntamente com a capacidade deste único gene da água-viva de produzir uma proteína funcional, resultando no fenótipo verde fluorescente nos coelhos.

Já os grupos B, D e F foram mais coerentes nas respostas registradas, embora tenham ocorrido falhas e confusão nos conceitos. Observa-se que as respostas se relacionaram com o genótipo, a probabilidade na herança genética e as Leis de Mendel. Fragmentos das respostas listados abaixo nos fazem perceber que estes grupos compreenderam que o fenótipo verde se deve a um genótipo, neste caso, F*:

“Porque 50% nasceram com os genes F* e os outros 50% nasceram com os genes **”

“Depois do cruzamento a probabilidade genética indica que metade dos filhotes teriam característica verde fluorescente”

“Eles tinham 100% de chance de serem albinos e apenas 50% de possuírem o gene F”

“Porque nem todos os filhotes tinham o gene F”

“Sim, pois o gene F foi passado para os filhotes, gerando a possibilidade dos próximos filhotes terem o gene também”.

Por fim, o roteiro da SD se encerra com as questões da situação-problema C – Aplicação da 1ª Lei de Mendel - que expõem um cruzamento em que se pergunta sobre o fenótipo esperado dos descendentes. De um modo geral, os grupos compreenderam que se tratava de um cruzamento entre heterozigotos e que a proporção esperada de filhotes seria aproximadamente como apresentada em exemplos da 1ª Lei de Mendel (3:1), ou seja, 6 verdes fluorescentes e 2 não fluorescentes. Apenas os grupos B e C não interpretaram desta forma, e foram confusos em suas respostas, afirmando que os oito filhotes “nascem todos com o gene fluorescente” e “Ausência de dominância”, respectivamente. Ao mesmo tempo, os

grupos afirmaram que os filhotes seriam albinos e também fluorescentes, mostrando o entendimento correto da transmissão das características.

Ao final da atividade, os alunos participaram de uma discussão sobre o trabalho realizado em uma roda de conversa, como oportunidade de troca de experiências e maior interação da turma. Nesta oportunidade, além de voltar nas ideias sobre genética expostas nas aulas anteriores, a professora comentou sobre metodologias de ensino e pediu que refletissem sobre as experiências que tiveram. Essa atividade de síntese é muito importante nas atividades de ensino por investigação e pode ajudar o professor a estimular o protagonismo do estudante, o colocando como principal ator do processo de ensino e aprendizagem. Alguns relatos na roda de conversa nos fizeram perceber que isto aconteceu. O aluno D.O.A. afirmou que a experimentação é uma oportunidade de “colocar o que aprendemos em prática, trocar ideia com os colegas para aprimorar ainda mais o que já aprendemos nas aulas teóricas”. Já para a R.S.M., a metodologia que se utilizou é “mais participativa e menos entediante, pois te faz debater e te força mais a pensar”. D.S.R. ressaltou a importância deles, como alunos, manusearem objetos e assumirem a centralidade do processo de ensino e aprendizagem, pois assim a matéria “fica mais fácil de ser entendida, pois enquanto explica o aluno está tendo contato com a experiência”, e a aluna I.P.P. concordou que a experimentação é uma ferramenta importante para a aprendizagem, afirmando que a prática possibilita o “contato com a ciência de fato e aprendemos mais; assim ficamos mais atentos e interessados nas aulas”. A aluna R.F.A. concluiu afirmando que a metodologia “desperta o interesse entre os alunos, dispõe a pauta sobre a matéria entre as conversas desses e possibilita que as dúvidas sejam sanadas com explicações diferentes e talvez mais fáceis de serem entendidas”. Essa aproximação da ciência ao cotidiano do aluno torna-se uma ferramenta importante em busca da motivação e, conseqüentemente, a construção do aprendizado dos alunos.

Azevedo (2016) aponta as situações problematizadoras, questionadoras e dialógicas como o ponto chave para atividades investigativas, que devem ir além da observação e manipulação de objetos, proporcionando aos alunos pensar, refletir, discutir e relatar suas ações. Além disso, a discussão em sala de aula proporciona uma mediação entre os saberes científicos e os saberes cotidianos. Nesta atividade, os alunos se reuniram em grupos, discutiram e foram protagonistas no seu processo de ensino-aprendizagem, mostrando engajamento nos trabalhos em grupo. Percebeu-se no trabalho de pesquisa empreendido que a dinâmica de grupos se torna mais eficiente quando a atividade planejada requer discussão e troca de ideias entre os participantes. Isto faz com que o trabalho coletivo leve a um maior potencial mútuo e a construção de novos conhecimentos.

A atividade didática Alelos e Cores (SANT’ANNA et al., 2020) traz elementos com características da metodologia de ensino por investigação e foi central para a realização deste

trabalho, pois aborda uma questão que acreditamos ser de suma importância para o ensino da genética contemporânea, que é o entendimento de como os genótipos contribuem para a determinação dos fenótipos ao nível molecular. Deixa-se de ter apenas um par de letras representando um genótipo para se ter a representação de um par de proteínas interagindo para se formar um fenótipo. Esta é a base para que o aluno possa aprofundar seus questionamentos sobre o funcionamento celular e do organismo. O professor pode agregar noções de funcionamento proteico e enzimático, por exemplo, se o tempo permitir. Nosso guia para o desenvolvimento da SD sempre foi a contextualização de questões contemporâneas com o despertar do protagonismo do aluno pela investigação. Por isso, o roteiro foi preparado para aprofundar o assunto das interações gênicas com um tema atual, a transgênese. Incluir a contextualização com os transgênicos nas situações-problema possibilitou aos alunos refletirem sobre como a ciência avança em questões biotecnológicas e como a expressão gênica e a síntese de uma proteína funcional como produto final está diretamente relacionada ao fenótipo. Demonstrar que aquele conhecimento adquirido em sala de aula é aplicável traz significados que favorecem a aprendizagem. Carvalho (2016) discute aspectos em que a ciência provoca modificações na sociedade e reforça a ideia de introduzir no ensino a “*aculturação científica* no lugar da *acumulação dos conteúdos científicos*”, levando os alunos a argumentarem, assim, modificando a ideia de uma ciência pronta, fechada. Falar sobre transgênicos, relacioná-los à genética e discutir sobre a inovação científica pode levar o aluno à formação conceitual, e os resultados observados neste trabalho apontam pontos positivos, uma vez que a turma, de um modo geral, conseguiu compreender e alcançar os objetivos propostos inicialmente.

Devido ao pouco tempo que a professora dispunha para explorar o tema com os alunos, a SD pode ser considerada curta. Mesmo com esta limitação, acreditamos que a SD tem um potencial para avanços na abordagem conceitual em genética, bem como em questões sociotécnicas. O uso de uma obra de arte para as questões investigativas propiciou a discussão conceitual, sociotécnica e cultural sobre transgenia. Neste sentido, as respostas e atitudes dos estudantes nos levam a dizer que a SD permitiu que se circulasse nos três domínios propostos por Duschl (2008), ainda que o domínio conceitual tenha sido mais enfatizado sobre os dois outros. Franco (2021) reflete sobre como a ênfase no ensino dos conceitos é valiosa na Biologia, mesmo nas propostas inovadoras, como o ensino por investigação. Pesquisadores da área entendem que é um desafio articular os três domínios de maneira equilibrada e que isso dependerá do contexto da sala de aula, exigindo um diálogo entre os atores envolvidos para essa construção. Na nossa SD, o domínio conceitual e o epistêmico caminharam juntos; a forma mais tradicional de aula expositiva foi importante para se discutir os conceitos de genética, bem como a construção do glossário que se valeu da pesquisa individual de cada

aluno. O domínio social esteve bastante próximo do epistêmico à medida que a construção do conhecimento, instigada pela experimentação e construção de hipóteses, foi se dando pela argumentação, compartilhamento de ideias e debates entre os componentes do grupo para a representação das ideias que surgiam durante o desenvolvimento da SD. Uma oportunidade de transitar por este domínio foi também propiciada pela disposição da turma em uma roda de conversa em que muitos expuseram suas ideias sobre a sua atuação e aprendizagem com o uso da metodologia proposta pela professora.

Considerações finais

Ao considerarmos o ensino de genética, a complexidade do assunto e a dificuldade relatada pelos docentes em ensinar e dos discentes em entender, ressalta-se a importância de se utilizar novas e variadas metodologias de ensino que favoreçam a compreensão e discussão dos temas da genética moderna, aproximando-os do cotidiano dos alunos, tornando-os menos abstrato e trazendo mais significados (BORGES et al., 2017). As lacunas existentes na compreensão deste conteúdo podem estar relacionadas à fragmentação de temas que são, na verdade, inter-relacionados. A complexidade na genética também é refletida na necessidade de relação do micro com o macro, nos níveis de observação do material genético e do entendimento molecular dos fenótipos observáveis. Alguns exemplos de fenótipos que são apresentados em muitos livros didáticos, como cor de olhos, dobramento da língua, entre outros, servem como estímulo ao engajamento dos estudantes. No entanto, muitos deles, há décadas, já se mostraram inadequados ao ensino de caracteres monogênicos, se tratando de herança complexa. Doenças comuns como obesidade, câncer e hipertensão são também engajadoras para aprendizagem, mas, por se tratarem de doenças complexas com envolvimento de muitos loci e variantes alélicas, podem ser exemplos desafiadores para o professor lidando com conceitos básicos.

A nosso ver, interações alélicas são um conceito chave que necessita constar no ensino da genética moderna. O entendimento destas ideias ao nível molecular permite uma compreensão da genética de forma mais ampla. É importante estabelecer junto aos alunos as contribuições dos estudos de Mendel referentes à hibridização e a produção de novas espécies, mas deve-se enfatizar que hoje conhece-se muito mais da complexidade das interações alélicas do que aquilo que foi previsto pelos pioneiros da genética. A complexidade da genética moderna não deve ser impeditiva para planejamento de atividades que exijam um pensamento conceitual além do que trazem os livros didáticos atualmente, mesmo que o professor tenha que escolher entre aproximar-se do contexto dos alunos com exemplos errôneos de herança ou aprofundar e utilizar exemplos conceitualmente corretos. Esta preocupação é trazida por Baiotto et al. (2016) que citam, por exemplo, como é comum no

ensino médio o ensino da herança para cor da pele e olhos como herança monogênica. Os autores indicam, como nós, a necessidade de um posicionamento crítico do docente, onde sejam levados em conta o ambiente, processos de ensino e a sua realidade, sabendo que sempre será constringido pelas limitações de suas escolhas. Nossa expectativa é de que a SD desenvolvida e avaliada neste estudo possa ser esclarecedora e inspiradora para o planejamento do ensino de genética na educação básica, não apenas pelo questionamento conceitual como pelo incremento didático-metodológico.

Agradecimentos

As autoras agradecem à Capes pelo apoio financeiro a M. F.F. P. para realização do Mestrado Profissional em Ensino de Biologia - PROFBIO e ao CNPq pela bolsa de produtividade em pesquisa a A.V. B. Agradecemos aos estudantes que possibilitaram a construção desta pesquisa e a Lorryne E. Sousa e Caroline Trevelin pela leitura cuidadosa do artigo.

Referências

- AFONSO, M. L.; ABADE, F. L. *Para reinventar as rodas: rodas de conversa em direitos humanos*. Belo Horizonte: RECIMAM, 2008.
- ALLCHIN, D. Mending Mendelism. *The American Biology Teacher*, v. 62, n. 9, p. 632-639, 2000.
- ALVES, L. C.; COSTA, H. S. Ensino de Biotecnologia: um panorama de suas abordagens no país da biodiversidade. *SAJEBTT*, v. 7, n. 2, p. 816-835, 2020.
- AZEVEDO, M. C. P. S. de. Ensino por Investigação: problematizando as atividades em sala de aula. In: CARVALHO A. M. P. (org.). *Ensino de Ciências - unindo a pesquisa e a prática*. São Paulo: Cengage Learning, 2016. p. 19-33.
- BAIOTTO, C. R.; SEPEL, L. M. N.; LORETO, E. L. S. Para ensinar genética mendeliana: ervilhas ou lóbulos de orelha. *Genética na Escola*, v. 11, n. 2, p. 286-293, 2016.
- BELMIRO, M. S.; BARROS, M. D.M. Ensino de genética no ensino médio: uma análise estatística das concepções prévias de estudantes pré-universitários. *Revista Práxis*, v. 9, n. 17, p. 95-102, 2017.
- BORGES, C. K. G. D.; SILVA, C. C.; REIS, A. R. H. As dificuldades e os desafios sobre a aprendizagem das leis de Mendel enfrentadas por alunos do ensino médio. *Experiências em Ensino de Ciências*, v. 12, n. 6, p. 61-75, 2017.
- BRASIL. Ministério da Educação. *Base Nacional Comum Curricular*. Brasília, 2017. 600p.
- CARVALHO, A. M. P. (org.). *Ensino de Ciências por Investigação: condições para implementação em sala de aula*. 1ª ed. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

- CARVALHO A. M. P. (org.). *Ensino de Ciências - unindo a pesquisa e a prática*. São Paulo: Cengage Learning, 2016.
- COSTA, N. M. B. Biotecnologia aplicada ao valor nutricional dos alimentos. *Biotecnologia, Ciência & Desenvolvimento*, v. 32, p. 47-54, 2004.
- CHU, Y. C.; REID, N. Genetics at school level: addressing the difficulties. *Research in Science and Technological Education*, v. 30, n. 3, p. 285-309, 2012.
- DONOVAN, M. P. The vocabulary of biology and the problem of semantics. *Journal of College Science Teaching*, v. 26, p. 381-382, 1997.
- DUSCHL, R. Science Education in Three-Part Harmony: Balancing Conceptual, Epistemic, and Social Learning Goals: *Review of Research in Education*, v.32, p. 268-291, 2008.
- FERREIRA, J. G. Técnicas de engenharia genética para produção de transgênicos. *Saúde & Ambiente em Revista*, v. 4, n. 2, p. 40-46, 2009.
- FINLEY, F. N.; STEWART, J.; YARROCH, W. L. Teachers' perceptions of important and difficult science content. *Science Education*, v. 66, n. 4, p. 531-538, 1982.
- FONSECA, V. B.; BOBROWSKI, V. L. Biotecnologia na escola: a inserção do tema nos livros didáticos de Biologia. *Acta Scientiae*, v. 17, n. 2, p. 496-509, 2015.
- FRANCO, L. G. Princípios orientadores para uma perspectiva investigativa em aulas de Biologia. In: Franco, L.G. (Org.) *Ensinando Biologia por investigação: propostas para inovar a ciência na escola*. São Paulo: Na Raiz, 2021.
- FRANCO, L. G.; MUNFORD, D. O ensino de ciências por investigação em construção: possibilidades de articulações entre os domínios conceitual, epistêmico e social no conhecimento científico em sala de aula. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 20, p. 687-719, 2020.
- HADDAD, R. *Estudo das concepções de licenciandos de Ciências Biológicas sobre a relação de dominância e recessividade*. Dissertação de Mestrado em Genética - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.
- HEIM, W. G. What is a recessive allele? *The American Biology Teacher*, v. 53, n. 2, p. 94-97, 1991.
- HOFSTEIN, A.; LUNETTA, V. N. The role of the laboratory in science teaching: neglected aspects of research. *Review of Educational Research*, v. 52, n. 2, p. 201-217, 1982.
- IERVOLINO, S. A.; PELICIONI, M. C. F. A utilização do grupo focal como metodologia qualitativa na promoção da saúde. *Revista da Escola de Enfermagem USP*, v. 35, n. 2, p. 115-21, 2001.
- KAC, E. GFP Bunny: a coelhinha transgênica. *Galáxia*. v. 3, p. 35-58, 2002.
- KINDFIELD, A. C. H. Understanding a basic biological process: Expert and novice models of meiosis. *Science Education*, v. 78, n. 3, p. 255-283, 1994.

KNIPPELS, M-C. P. J. Coping with the abstract and complex nature of genetics in biology education. The yo-yo learning and teaching strategy. *Thesis*. Universiteit Utrecht, Utrecht, Netherlands, 2002.

MARCELINO, L. V.; MARQUES, C. A. Compreensões de professores sobre abordagens das biotecnologias no ensino de química. *Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, v. 10, n.1, p. 119-142, 2017.

NETTO, R. C. M. Dominante ou Recessivo? *Genética na escola*, v. 7, n. 2, p. 28-33, 2012.

PINHEIRO, J. P. S.; Pantoja, L. D. M.; Vanderley, C. S. B. S. Ensino de Biotecnologia: o conhecimento docente e abordagem na perspectiva do exame nacional do ensino médio. *RIAAE – Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação*, v. 12, n. 2, p. 776-792, 2017.

REDFIELD, R. J. “Why Do We Have to Learn This Stuff?” — A new Genetics for 21st century students. *PLoS Biology*, v. 10, n. 7, p. 1-4, 2012.

SÁ-SILVA, J. R.; Almeida, C. D.; Guindani, J. F. Pesquisa documental: pistas teóricas e metodológicas. *Rev. Brasileira de História e Ciências Sociais*, v. 1, n. 1, p. 1-15, 2009.

SANT’ANNA, H. DE PLÁ et al. Alelos e Cores: integrando transcrição, tradução e interações alélicas. *Genética na escola*, v. 15, p. 27-47, 2020.

SCANDELARI, M. F. R.; Alves, J. A. P.; Roehrig, S. A. G. Ensino de biotecnologia a partir do enfoque CTSA: problematização sobre o uso e o descarte de medicamentos. *ALEXANDRIA: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, v. 14, n. 1, p. 93-115, 2021.

SOUSA, L. E.; TAVARES, M. L.; VILAS-BOAS, A. Uso de um inventário de conceitos de meiose para identificar concepções alternativas entre calouros e licenciandos de Ciências Biológicas. *Ciência & Educação*, v. 29, e23048, p. 1-18, 2023.

SEDANO, L.; CARVALHO, A. M. P. de. Ensino de Ciências por investigação: Oportunidades de Interação Social e sua Importância para a Construção da Autonomia Moral. *ALEXANDRIA: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, v. 10, n. 1, p. 199-220, 2017.

YIN, R. K. *Pesquisa qualitativa do início ao fim*. Porto Alegre: Penso, 2016.

ZABALA, A. *A prática educativa: como ensinar*. Porto Alegre: Artmed, 1998.

ZÔMPERO, A.; LABURÚ, C. Atividades investigativas no ensino de ciências: aspectos históricos e diferentes abordagens. *Revista Ensaio*, v. 13, n. 3, p. 67-80, 2011.

SOBRE AS AUTORAS

FLÁVIA FERREIRA PIMENTA. Mestre em Ensino de Biologia pela Universidade Federal de Minas Gerais – PROFBIO-UFG. Possui graduação em Pedagogia pelo Centro Universitário Internacional (2017) e graduação em Ciências Biológicas pela Fundação Universidade de Itáúna (2009). Especialista em Gestão Ambiental Integrada pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, especialista em Ensino de Ciências por Investigação pela Universidade Federal de Minas Gerais e técnica em Meio Ambiente.

RAFAELLA CARDOSO RIBEIRO. Licenciada e bacharel em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Minas Gerais (2009). Mestre e Doutora em Biologia Vegetal pela

Universidade Federal de Minas Gerais. Realizou, entre 2014-2015, doutorado sanduíche no New York Botanical Garden/New York na qualidade de bolsista CNPq. Atuou durante o doutorado (2012-2015) como professora bolsista CAPES/REUNI da Universidade Federal de Minas Gerais. Foi professora voluntária na disciplina Genética e Evolução para o curso de Medicina Veterinária da UFMG. É professora efetiva no Instituto de Educação de Minas Gerais, pós-doutoranda em Genética pela UFMG e foi bolsista de apoio técnico em extensão/CNPq no projeto: Ensino de Genética, conceitos e aprendizagem - Aplicações no Ensino Básico.

ADLANE VILAS-BOAS. Bióloga formada pela Universidade Federal de Minas Gerais (1988), com mestrado em Genética e Biologia Molecular pela Universidade Estadual de Campinas (1991) e doutorado em Genética - University of British Columbia, Canadá (1997). Atualmente é professora titular da Universidade Federal de Minas Gerais atuando em extensão e nas áreas de pesquisa e ensino em Genética, divulgação científica e percepção pública da ciência. Orienta nos programas de Pós-graduação em Genética na área de ensino em Genética e divulgação científica e no Mestrado Profissional em Ensino de Biologia PROFBIO.

NOTAS DE AUTORIA

Nome Completo: Mayana Flávia Ferreira Pimenta

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1510-4972>

Filiação institucional: Mestrado profissional em Biologia – PROFBIO da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil. profbiobh@icb.ufmg.br

E-mail da autora: mayanaffp@gmail.com

Nome Completo Rafaella Cardoso Ribeiro

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6095-651X>

Filiação institucional: Departamento de Genética, Ecologia e Evolução - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil. dgee@icb.ufmg.br

E-mail da autor/a: rafaellacribeiro@gmail.com

Nome Completo Adlane Ferreira Vilas Boas

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7026-5539>

Filiação institucional: Departamento de Genética, Ecologia e Evolução - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil. dgee@icb.ufmg.br

E-mail da autor/a: adlane@ufmg.br

Agradecimentos

Agradecemos aos estudantes que possibilitaram a construção desta pesquisa e a Lorryne E. Sousa e Caroline Trevelin pela leitura cuidadosa do artigo.

Como citar esse artigo de acordo com as normas da ABNT

PIMENTA, M. F. F.; RIBEIRO, R. C.; VILAS-BOAS, A. F. Aprendizagem das interações alélicas ao nível molecular por meio de uma sequência didática com caráter investigativo no ensino médio. Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia, Florianópolis, v. 17, p. 1-27, 2024.

Contribuição de autoria

Nome Completo: Mayana Flávia Ferreira Pimenta delineou a pesquisa, realizou a coleta e análise dos dados, e a escrita do manuscrito.

Rafaella Cardoso Ribeiro e Adlane Vilas-Boas delinearão a pesquisa, realizaram a análise dos dados e a escrita do manuscrito.

Financiamento

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e do CNPq edital de Bolsa de produtividade em pesquisa a A.V. B.

Consentimento de uso de imagem

Não se aplica. Imagens de autoria própria.

Aprovação de comitê de ética em pesquisa

A pesquisa teve aprovação do comitê de ética, número de processo CAAE 88856618.6.0000.5149 em 24/09/2018.

Conflito de interesses

Não se aplica.

Licença de uso

Os/as autores/as cedem à Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia os direitos exclusivos de primeira publicação, com o trabalho simultaneamente licenciado sob a [Licença Creative Commons Attribution \(CC BY\) 4.0 International](#). Esta licença permite que terceiros remixem, adaptem e criem a partir do trabalho publicado, atribuindo o devido crédito de autoria e publicação inicial neste periódico. Os autores têm autorização para assumir contratos adicionais separadamente, para distribuição não exclusiva da versão do trabalho publicada neste periódico (ex.: publicar em repositório institucional, em site pessoal, publicar uma tradução, ou como capítulo de livro), com reconhecimento de autoria e publicação inicial neste periódico.

Publisher

Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica. Publicação no [Portal de Periódicos UFSC](#). As ideias expressadas neste artigo são de responsabilidade de seus/suas autores/as, não representando, necessariamente, a opinião dos/as editores/as ou da universidade.

Histórico

Recebido: 16 de fevereiro de 2023.

Revisado: 20 de julho de 2023.

Aceito: 30 de novembro de 2023.

Publicado em: 31 de julho de 2024.