

EXTRAÇÃO DO DNA DA BANANA E USO DE FERRAMENTAS MOLECULARES: ATIVIDADES PRÁTICAS INVESTIGATIVAS E PERCEPÇÃO DOS ESTUDANTES NO ENSINO DE GENÉTICA E EVOLUÇÃO

BANANA DNA EXTRACTION AND MOLECULAR TOOLS: PRACTICAL INVESTIGATIVE ACTIVITIES AND STUDENTS' PERCEPTION IN GENETICS AND EVOLUTION TEACHING

Heloisa Helena Linhares¹;
Maurício Paulo Rodrigues²

RESUMO: Muitos estudos descrevem a importância dos experimentos pedagógicos e o Ensino de Ciências pode ser um caminho para que os alunos desenvolvam um pensamento crítico sobre as ciências naturais e se tornem mais ativos na construção do conhecimento, não apenas expectadores. A prática de extração de DNA pode servir como um introdutório na disciplina de Genética e fazer uma ponte ao ensino de Evolução, uma vez que a evolução biológica está atrelada a fatores genéticos, como mutação, transmissão de características hereditárias e variabilidade genética. Assim, o objetivo deste trabalho é realizar um experimento prático de extração de DNA e análise filogenética, e avaliação prévia e póstuma dos alunos quanto ao entendimento desses temas, seguindo a metodologia de ensino por investigação. As sequências de DNA foram analisadas no programa MEGA para a montagem de uma árvore filogenética. Os resultados mostraram que os alunos se envolveram nas práticas, mostrando-se participativos e curiosos. Os estudantes demonstraram conhecimentos básicos sobre genética, método científico e evolução, porém, no geral, notou-se uma concepção lamarckista dos estudantes ao tentarem explicar a evolução das espécies. Por outro lado, 91% dos alunos concordam que humanos e primatas descendem de um ancestral em comum e cerca de 70% concordaram que todos os organismos da Terra, vivos ou já extintos, são descendentes de um mesmo ancestral. A extração do DNA da banana mostrou-se eficaz e pode ser reproduzida por professores nas aulas de ciências e biologia. A construção da árvore filogenética corroborou nossa hipótese inicial de que humanos e primatas são linhagens-irmãs, agrupando-se por similaridade genética, o que já é aceito pela comunidade científica. Apesar da eficiência dessas práticas, a falta de infraestrutura, equívocos dos alunos acerca de conceitos importantes, aplicar alternativas de ensino e insegurança de muitos professores são apontados como desafios a serem superados.

Palavras-chave: árvore filogenética; atividade prática; ensino de ciências; ensino por investigação; evolução; extração de DNA da banana; MEGA.

ABSTRACT: Many studies have described the importance of pedagogical experiments, and Science Education may be a way for students to develop critical thinking about the natural sciences and become more active in the construction of knowledge, not just spectators. The

¹Licenciada em Ciências Biológicas pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas) e Mestra em Biologia dos Vertebrados (PUC Minas). Especialista em Práticas Educacionais pelo Instituto Federal do Espírito Santo (IFES) e doutoranda em Oceanografia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Contato: heloisa.linhares1990@gmail.com

²Graduado e mestre em Física pela Universidade Federal de Viçosa. Docente do Instituto Federal do Espírito Santo (IFES), campus São Mateus. Contato: mauricio.rodrigues@ifes.edu.br

practice of DNA extraction can serve as an introductory to genetics classes and build a bridge to teaching evolution because biological evolution is linked to genetic factors, such as mutation, transmission of hereditary characteristics, and genetic variability. Thus, the objective of this study was to carry out a practical experiment on DNA Extraction and phylogenetics analysis, and pre- and post-assessment of students regarding their understanding of these topics, following inquiry-based learning methodology. DNA sequences were analyzed using the MEGA program to assemble a phylogenetic tree. The results showed that the students engaged in practical classes, revealing themselves to be participative and curious. The students demonstrated basic knowledge of genetics, scientific method, and evolution, but some misunderstandings were still evident. Commonly, a Lamarckian conception was described to explain the evolution of species. On the other hand, 91% of the students agreed that humans and primates descended from a common ancestor, and approximately 70% agreed that all organisms on Earth, living or extinct, were descendants of the same ancestor. The extraction of DNA from bananas proved to be effective and could be reproduced by teachers in science and biology classes. The construction of the phylogenetic tree corroborated our initial hypothesis that humans and primates are sister lineages grouped by genetic similarity, which is already accepted by the scientific community. Despite the efficiency of these practices, the lack of infrastructure, students' misunderstandings about important concepts, the application of teaching alternatives, and the insecurity of many teachers are highlighted as challenges that must be overcome.

Keywords: banana DNA Extraction; evolution; teaching; inquiry-based learning; MEGA; phylogenetic tree; practical activity; science.

1 INTRODUÇÃO

A aplicação de atividades práticas como extensão do conteúdo teórico lecionado em sala de aula muitas vezes é vista como a parte menos importante do processo de ensino-aprendizagem do estudante, portanto, por vezes, dispensável. Práticas experimentais são pensadas para serem aplicadas para além do mero conteúdo memorizado em sala de aula, de forma que os alunos possam aplicar os conhecimentos adquiridos (Almeida; Mannarino, 2021).

Vários estudos discutem a importância e as vantagens da aplicação de práticas pedagógicas em sala de aula, incluindo os experimentos laboratoriais, na formação dos alunos do ensino básico. Para Trazzi, Garcia e Silva (2012, p. 31) “a experimentação tem a função de comprovar a teoria, ou seja, no laboratório, o aluno vê na prática aquilo que ele viu na aula teórica”. Para as aulas de ciências, não apenas a transmissão do conhecimento é aplicada quando se faz um experimento científico, mas também é trabalhada a parte lúdica, estimulação dos sentidos e motivação dos alunos atuantes, além de ser possível a abordagem de temas muito relevantes na atualidade, tais como clonagem, transgênicos, efeito estufa e bioética (Brasil, 2000;

Giordan, 1999). Entretanto, como observa Bueno e colaboradores (2018), aulas práticas podem se tornar inviáveis quando não há os equipamentos necessários e espaços específicos, como laboratórios de ensino. A lacuna de atividades práticas nos ensinos fundamental e médio é preocupante, sobretudo no ensino fundamental, quando a construção de uma visão científica já deveria ser trabalhada com os alunos (Andrade; Massabni, 2011).

O Ensino de Ciências deve estimular que o aluno desenvolva um pensamento crítico a respeito da ciência e tecnologia, pois os produtos gerados afetam a sociedade e ambiente. Dessa forma, a mera reprodução de conteúdo teórico não dá ao aluno uma visão ampla dos processos científicos envolvidos, então atividades experimentais permitem que o aluno possa construir seus conhecimentos passo-a-passo, fazendo perguntas, levantamentos bibliográficos, teste de hipóteses e análises estatísticas, dentro dos mais variados temas (Junior *et al.*, 2023).

Estudar o DNA é se permitir estudar toda a biodiversidade no Planeta e isso por si só já seria suficiente para nos causar fascínio. Toda a informação genética contida nos genes está intrinsicamente relacionada à evolução das espécies, numa série de eventos de adaptação, extinção e especiação, o que permite a manutenção das diferentes formas de vida na Terra (Mukhopadhyay; Bhattacharjee, 2016). No começo do século XX, descobriu-se que o DNA era a molécula biológica que carregava o material genético e não quaisquer outras, como carboidratos, lipídios ou proteínas. O DNA corresponde a uma molécula formada por dois filamentos de nucleotídeos paralelos em toda sua extensão, e que se torcem num formato helicoidal ou de dupla hélice. Cada nucleotídeo é formado por duas cadeias que se mantêm unidas por pontes de hidrogênio entre as bases nitrogenadas adenina (A), timina (T), guanina (G) e citosina (C). Cada base está conectada a um açúcar desoxirribose que, por sua vez, está ligada a um grupo fosfato (Griffiths *et al.*, 2013; Pierce, 2016).

As novas descobertas do campo da genética permitiram que várias perguntas fossem respondidas com relação à origem das espécies por meio da seleção natural, postulada por Charles Darwin. Darwin não conseguiu explicar, por exemplo, como essas mudanças que apareciam eram transmitidas de uma geração a outra. Assim, com a adesão dos preceitos genéticos, a Teoria da Evolução foi reformulada para

Teoria Sintética da Evolução que fundiu as tradições de Mendel e Darwin/Wallace, em que o ambiente atua para selecionar novos genótipos e, se esses novos genes forem vantajosos, têm maior probabilidade de aumentar sua frequência e se fixar nas populações (Futuyma, 2005; Gilbert, 2000). Além disso, há outros mecanismos, como o isolamento reprodutivo, em que a população de uma espécie é dividida em duas populações, pelo aparecimento de uma barreira geográfica, podendo ocorrer o processo de especiação, em que novas espécies surgem descendentes daquela espécie ancestral (Zink, 2005).

1.1 Práticas pedagógicas para as disciplinas de genética e evolução

Dentre as principais preocupações de se trabalhar com atividades práticas sob o ponto de vista dos professores, estão a utilização de métodos laboratoriais eficazes, a ideia de que trabalhos práticos podem resolver todos os problemas da aprendizagem em ciências, e a falta de habilidades dos próprios profissionais em orientar os alunos na condução dos trabalhos práticos (Oliveira; Bonito, 2023). Para Susantini e colaboradores (2017, p. 217) “alunos de graduação em biologia deveriam estar preparados para ensinar de forma criativa uma prática laboratorial fácil e acessível de extração de DNA”. Isso mostra que alunos de biologia bem capacitados podem se tornar profissionais mais seguros, porém, isso passa pela capacidade de adaptar práticas investigativas de acordo com o espaço e material disponível. Os autores, então, fazem importantes sugestões a respeito da implementação dessa prática docente na pesquisa e no aprendizado em biologia:

(1) A atividade de extração de DNA com materiais domésticos pode ser usada para desenvolver o conhecimento, as habilidades sociais e as habilidades de pensamento criativo dos alunos; (2) A extração de DNA pode ser implementada na escola utilizando materiais domésticos que são facilmente acessíveis pelos alunos no seu ambiente (Susantini, *et al.*, 2017, p. 224).

Alunos de uma escola da Indonésia tiveram sucesso na extração de DNA de diferentes tecidos animais e vegetais usando matérias de baixo custo, e mostraram um correto entendimento, por meio de questionários, sobre cada etapa da prática (Susantini *et al.*, 2017). Kinoshita e colaboradores (2016) realizaram o experimento de

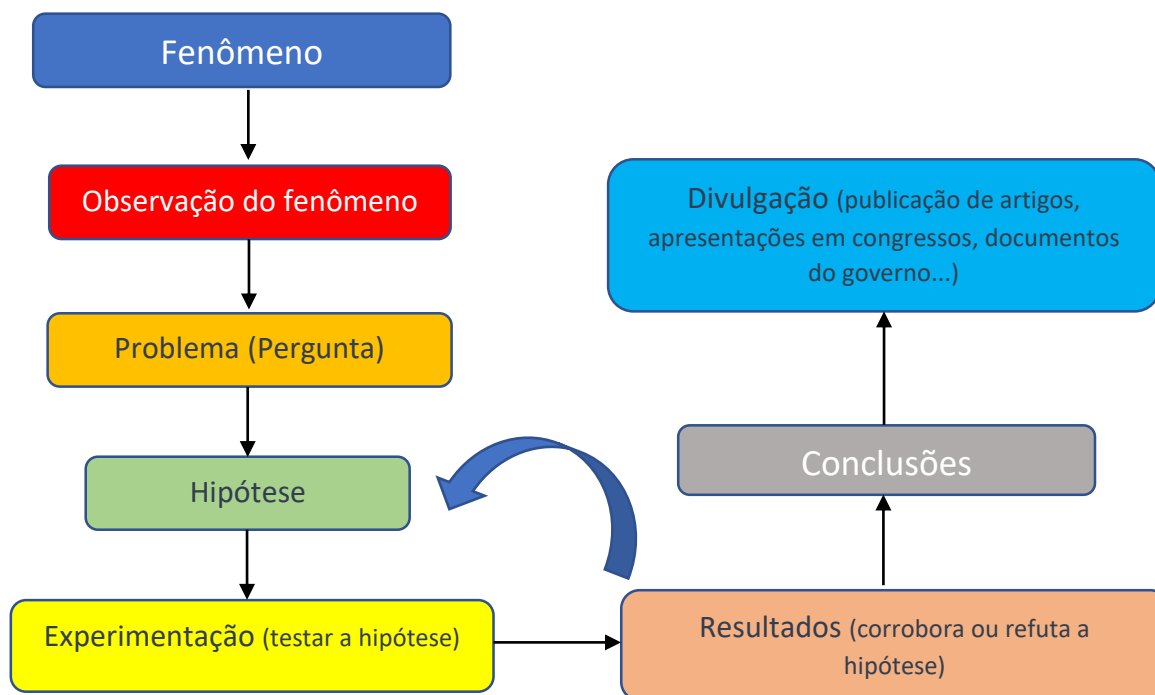
extração de DNA em uma escola do ensino Médio e concluíram que os experimentos foram eficazes, muito embora precisem ser melhorados. Já Levesque e colaboradores (2023) optaram por desenvolver uma abordagem do tipo “Escolha sua própria aventura” em que os alunos podem explorar o protocolo e modificar etapas experimentais, afim de se estudar cada fase do processo e os diferentes resultados. Assim, percebe-se que práticas como essa, além de eficazes e possíveis de serem realizadas até mesmo em sala de aula, também permitem que a metodologia seja explorada para discussões e se obter diferentes resultados.

O ensino de Evolução nas escolas pode encontrar alguns obstáculos, uma vez que este assunto muitas vezes toca com crenças pessoais dos alunos. Para Miller (2005) a religião está no cerne do antievolucionismo dos dias de hoje, sendo um desafio para a ciência compreender as motivações contra a “ortodoxia darwiniana” que controla a ciência e educação nos Estados Unidos. Os professores também podem apresentar certas barreiras no ensino de evolução nas escolas, sobretudo quando bate de frente com suas crenças pessoais e falta de entendimento acerca da teoria. Relatos como “(...) as dificuldades são percebidas devido à formação, o que me leva a pesquisar mais durante o planejamento (...)” (Docente K), e “Por ser evangélico, encontro algumas dificuldades em tratar de um assunto tão polêmico em sala de aula” (Docente B) (Oliveira; Menezes; Duarte, 2017). Esses estudos mostram que lecionar a Teoria da Evolução nas escolas ainda é um desafio.

Atualmente, o sistema de classificação dos organismos se baseia na sistemática filogenética, isto é, um campo que inclui a descrição das espécies e as relações de parentesco (filogenia) entre os diferentes grupos, que incluem análises de características morfológicas, ecológicas, comportamentais, moleculares e fisiológicas (Miyaki; Russo; Pereira, 2012). Entretanto, a montagem de árvores filogenéticas se baseia em hipóteses que são testadas e podem ser derrubadas frente a novas evidências. Aquela hipótese que passa por constantes experimentações e ainda assim sobrevive aos testes, é uma hipótese robusta, podendo levar, assim, ao surgimento de uma Teoria (Muotri; Carromeu, 2012). Assim, a construção de uma árvore evolutiva precisa passar por rigoroso Método Científico, em que o fenômeno é observado, a hipótese de parentesco é levantada e testada. Se a hipótese for

corroborada, é aceita como a que melhor explica o fenômeno e só será substituída frente a novas evidências (Figura 1) (Davis *et al.*, 2012).

Figura 1 – Esquema simplificado do passo-a-passo do método científico. A hipótese pode ser corroborada ou refutada. Se corroborada, ela é aceita como a que melhor explica o fenômeno observado. Se for refutada, novas hipóteses precisam ser testadas. Uma hipótese não é uma prova definitiva, apenas pode ser a explicação mais plausível até que novas informações estejam disponíveis.



Fonte: Elaborado por Heloisa Linhares.

Dentro deste contexto, nos questionamos qual o impacto da aplicação de um experimento científico na percepção das aulas de ciências de alunos que não estão habituados às práticas científicas. O uso de materiais caseiros e plataformas online é eficaz para assimilação do conteúdo teórico? Assim, o objetivo deste trabalho é desenvolver uma prática experimental dentro do tema de Genética e Evolução. A primeira parte do trabalho é executar a extração de DNA da banana utilizando materiais de baixo custo e facilmente encontrados em supermercados e farmácias. A segunda parte corresponde ao uso de sequências de DNA na montagem de uma árvore filogenética de espécies utilizando um *software* específico. A terceira parte

corresponde a um questionário sobre os conhecimentos dos alunos acerca dos temas discutidos nas aulas.

2 METODOLOGIA

A metodologia foi pensada baseando-se no método de ensino por investigação. O Ensino por Investigação pode ser pensado como uma espécie de metodologia de ensino em que há um caminho que o professor segue para ensinar (Alves; Bego, 2020). Nessa metodologia, o objetivo é levar os estudantes a realizarem a investigação científica, permitindo que os alunos resolvam problemas e busquem relações causais entre as variáveis que consigam explicar o fenômeno observado, elaborando hipóteses e deduções e possibilitando o desenvolvimento de teorias, leis e modelos (Grandy; Duschl, 2007). Assim, o ensino por investigação é uma metodologia ativa que instiga o aluno na construção do conhecimento científico, incentivando-os a exercitar o raciocínio lógico, resolução de problemas, fazer comparações e análises, características fundamentais na prática científica (Sasseron, 2015). Dessa forma, foram lecionadas duas aulas intercaladas no período de uma semana, para alunos do 3º ano do Ensino Médio do município de São Mateus, Espírito Santo. O cronograma das aulas ocorreu da seguinte forma: pré-avaliação com aplicação de questionário; aula teórica sobre a estrutura do material genético e método científico; prática de extração de DNA da banana; aula teórica sobre ferramentas moleculares usando o DNA e evolução das espécies; aula prática utilizando um *software* para montar uma árvore filogenética; e aplicação de questionário pós-atividades³. A aplicação de um questionário foi pensada baseando-se no questionário aplicado por Kinoshita, Yamanoi e Takemura (2016) e Susantini e colaboradores (2016).

³A pesquisa realizada com os alunos do 3º ano do Ensino Médio com a aplicação de questionário, cujo objetivo era avaliar o conhecimento prévio e póstumo dos alunos com relação aos temas das aulas, foi realizada baseando-se na Resolução nº. 510, de 2016 (Brasil, 2016), Artigo 1º, que dispõe das normas para pesquisas com participantes, cujo parágrafo único garante que não serão objetos de avaliação pelo sistema CEP/CONEP, o inciso VII, que diz sobre “pesquisa que objetiva o aprofundamento teórico de situações que emergem espontânea e contingencialmente na prática profissional, desde que não revelem dados que possam identificar o sujeito”, tornando-se, assim, dispensável o protocolo de pesquisa de aprovação pelo sistema CEP/CONEP.

2.1 Aulas teórico-práticas

No primeiro dia, a aula teórica versou sobre os tópicos estrutura do DNA e RNA e conceitos importantes como ácidos nucleicos, base molecular da herança genética, genótipos e fenótipos, gene, dupla hélice, mutação e sequências de nucleotídeos. Também foi discutido sobre as etapas do método científico, destacando a observação do fenômeno, formulação de hipóteses e teste de predição. A segunda aula teórica ocorreu na semana seguinte, focando em estudos e aplicações utilizando o DNA. Foi abordado o sequenciamento de Sanger, técnica da biologia molecular para se obter a sequência de bases nitrogenadas de um gene; classificação dos seres vivos e construção de cladogramas; descendência com modificação; Seleção Natural; evidências da Evolução e filogenia. Após a aula prática, os estudantes montaram uma árvore filogenética usando sequências de DNA. Foi aplicado o Método Científico: 1) Observação do fenômeno e Pergunta “O *Homo sapiens* é mais próximo das demais espécies de primatas?”; 2) Hipótese “O *Homo sapiens* irá se agrupar com as espécies de primatas por apresentarem maior similaridade genética”; 3) Teste da hipótese (Experimentação); 4) Resultados; 5) Discussão. O objetivo das aulas era relembrar os alunos conceitos importantes já estudados por eles, bem como introduzi-los em tópicos que ainda não foram vistos por eles. Após as aulas teóricas, foram realizadas as atividades práticas de extração do DNA da banana e construção da árvore filogenética.

2.1.1 Extração do DNA da banana

A extração da banana seguiu o protocolo de extração adaptado, baseado em outros protocolos de extração (Brasil, 2017; Rodrigues *et al.*, 2008; WGBH Boston Science Unit, 2005) (Quadro 1, APÊNDICE A). A ideia era utilizar materiais acessíveis e de baixo custo.

Quadro 1 – Descrição das etapas de extração de DNA da banana.

Materiais e etapas	Procedimentos e funções
--------------------	-------------------------

Material biológico: banana	• Maceração da banana para a liberação do material genético das células. • Permite que as paredes celulares vegetais sejam rompidas. • Facilita a entrada da solução de lise.
Água	Solução de lise • Detergente: rompimento da membrana plasmática. Capaz de dissolver os lipídios da membrana plasmática e envelope nuclear. • Sal (NaCl): neutralização do grupo fosfato e histonas. Também funciona para manter a pressão osmótica
Sal de cozinha	
Detergente	
Álcool 70-90%	• É preciso que esteja gelado. • O DNA não é solúvel em álcool, logo, suas moléculas se agrupam. • O Álcool desidrata o DNA, fazendo com que ele não fique mais dissolvido na solução.
Precipitação	• Após colocar o álcool, comumente são observadas bolhas e aglomerados brancos de pectina na superfície do líquido. Isso não é o DNA. O DNA é mais denso e se precipita na interfase do líquido.

Elaborado por Heloisa Linhares.

2.1.2 Construção da árvore filogenética

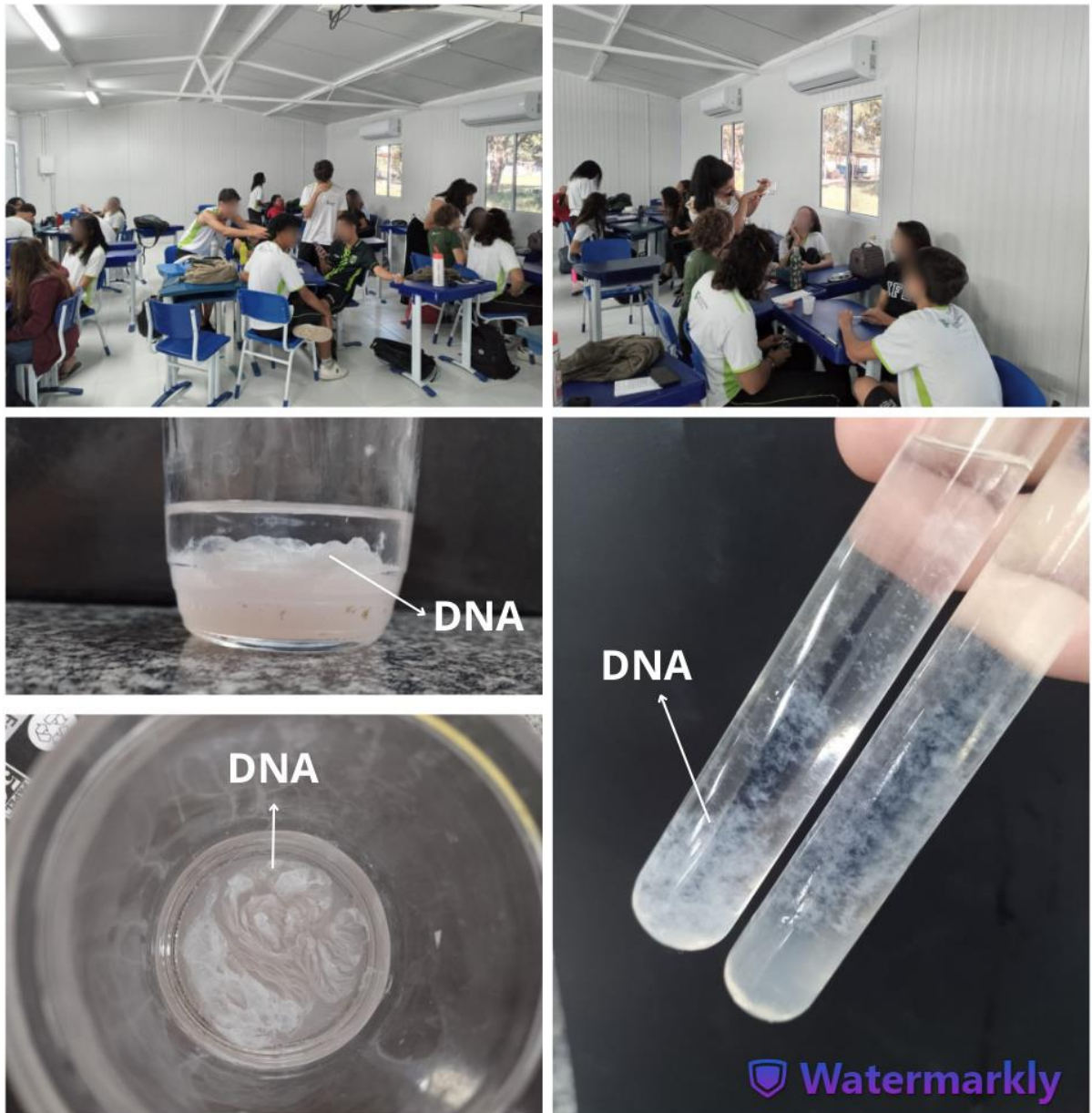
As sequências selecionadas correspondem ao citocromo B (*CytB*), gene encontrado no DNA das mitocôndrias das células eucarióticas. O *Cytb* é um gene muito importante, pois faz parte da cadeia respiratória e metabolismo energético de muitos grupos de organismos (Esposti *et al.*, 1993). Sequências de *Cytb* foram baixadas no Genbank (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/>) da *National Center for Biotechnology Information* (NCBI). O *GenBank* corresponde a um banco de dados público de sequências de ácidos nucleicos e mantido pela colaboração de cientistas do mundo todo, à medida que novos sequenciamentos de espécies são feitos e disponibilizados para os usuários. As sequências selecionadas correspondem às seguintes espécies e códigos de acesso, respectivamente: ser humano (*Homo sapiens*, JN034135.1); chimpanzé (*Pan troglodytes*, EF660842.1); orangotango (*Pongo pygmaeus*, AY765201.1); boto-cinza (*Sotalia guianensis*, EU022549.1); baleia-azul (*Balaenoptera musculus*, KJ586852.1); lobo-cinza (*Canis lupus*, GQ376503.1); cachorro (*Canis lupus familiaris*, KC985187.1); galo (*Gallus gallus*, OK206566.1); gaivotão (*Larus dominicanus*, OP738515.1); e pinguim-de-magalhães (*Spheniscus magellanicus*, AF338601.1). Foi feito o download do arquivo em formato FASTA de cada sequência e estas foram editadas e alinhadas utilizando o MEGA11: *Molecular Evolutionary Genetics Analysis* versão 11 (Tamura; Stecher; Kumar, 2021)

3.1 Extração de DNA e construção da árvore filogenética

No primeiro dia da aula, 28 alunos participaram da atividade e responderam ao questionário. A turma foi dividida em cinco grupos e os alunos se mostraram bastante envolvidos e curiosos ao executar a prática, fazendo perguntas e trabalhando em colaboração. Todas as extrações foram positivas, sendo possível observar o agrupamento do DNA (Imagem 1).

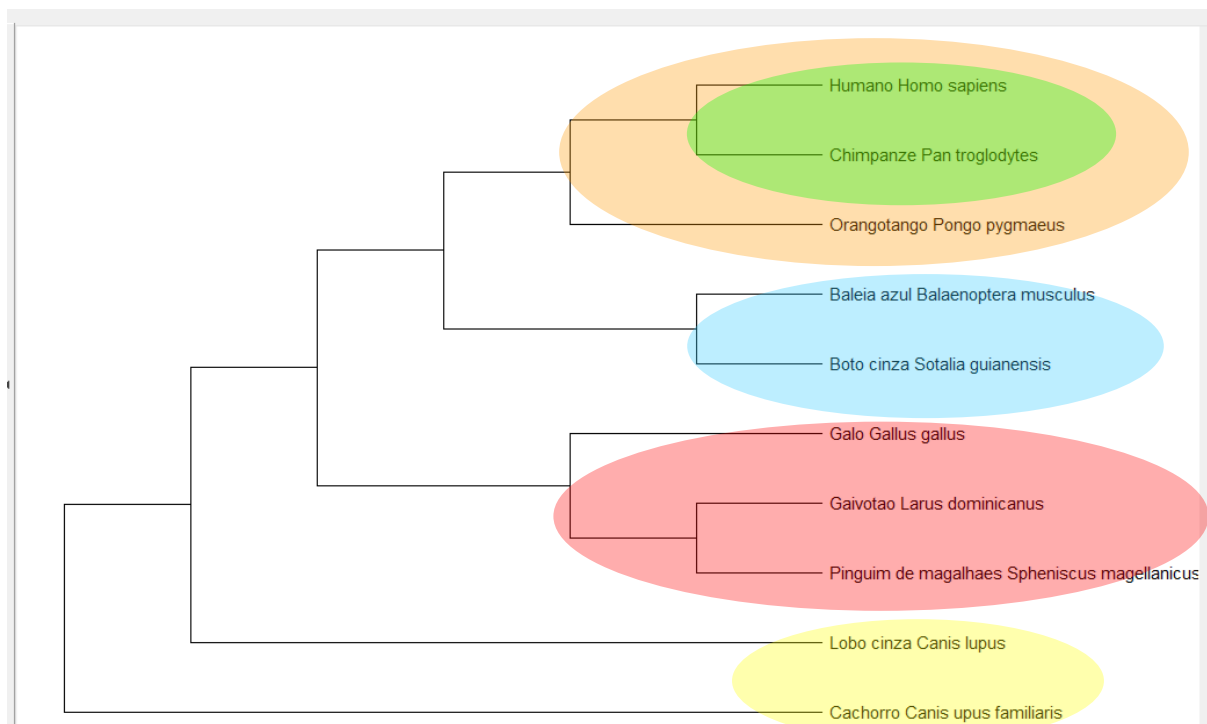
No segundo dia de aula, 22 alunos participaram da atividade e responderam ao questionário no fim da aula. Cada aluno rodou as análises individualmente e foi possível confirmar a hipótese inicial: *Homo sapiens* se agrupou, por similaridade genética, ao demais primatas, sendo que o ser humano é uma espécie-irmã de chimpanzé e estes formam um grupo-irmão de orangotango. Além disso, outras similaridades foram observadas: a baleia azul se agrupou ao boto-cinza, resultado dentro do esperado, uma vez que mysticetos (baleias) e odontocetos (golfinhos) fazem parte do grupo dos cetáceos; galo, gaivotão e pinguim-de-magalhães formaram o grupo das aves; e, por fim, lobo-cinza e cachorro que estão mais próximos na árvore (Figura 3).

Imagem 1 - Atividade prática de extração de DNA da banana com os alunos do 3º ano do Ensino Médio. É possível observar o agrupamento do DNA como filamentos esbranquiçados.



Fotos: Heloisa Linhares

Figura 3 – Árvore filogenética construída a partir das sequências de DNA disponíveis no *GenBank*. As cores representam os agrupamentos de acordo com a similaridade genética entre as espécies. Verde e laranja: grandes primatas; azul: cetáceos; vermelho: aves; amarelo: canídeos.



Elaborado pela autora
Fonte: MEGA11

3.2 Análise dos dados

Os questionários visaram avaliar o entendimento dos alunos acerca de temas como DNA, Genética, Método Científico e Evolução. As respostas dos alunos às questões discursivas estão agrupadas na tabela 1. Com relação à Questão 1 (Q1), cerca de metade dos alunos responderam apenas “Material genético” ou associaram o DNA aos sexos ou gametas masculinos e femininos; cerca de 21% das respostas foram associadas às características dos indivíduos e informações dos genes, e 14% associaram o material genético às características hereditárias e que armazena informações genéticas, tais como morfologia, físicas e psicológicas. A Q2 perguntou sobre como os estudantes entendiam a Evolução das espécies e 21% associaram às mudanças ou mutações ao longo do tempo; 46% à adaptação dos organismos ao ambiente; um aluno (3,6%) citou “ancestral comum aos macacos” e mudanças no DNA e código genético.

Com relação à Q3, grande parte dos alunos associaram o conceito de Hipótese ao conceito de teoria, tese, ideia, suposição, pergunta que precisa ser comprovada/testada (~86%). Na Q4, embora as respostas tenham sido diversas, a

maioria dos alunos entende o Método Científico como fases de um experimento ou método para se provar algo, ou testar alguma coisa. Na Q5, cerca de 36% dos alunos associam mutação com adaptação e mudança; 11% das respostas associam à variação do material genético ou mudanças das espécies que podem ser boas ou ruins.

Tabela 1 – Questões discursivas para avaliação do conhecimento prévio dos alunos ($n = 28$). As respostas dos alunos foram agrupadas de acordo a semelhança nas respostas.

Q1. Quando se fala em DNA, o que você entende?	Antes das aulas (%)
Material genético/Ácidos nucleicos de dois sexos diferentes/Gametas masculino e feminino	14 (48,3)
Diferencia cada ser vivo/Características de um ser vivo/Informações dos nossos genes	6 (21)
Código genético e características hereditárias/ Passado dos pais para os filhos/Transmite e armazena as informações genéticas (morfológicas/físicas/psicológicas)	4 (14)
Material genético de fita dupla/Helicoidal/Desoxirribose/Fitas simples com bases nitrogenadas	3 (10,3)
Molécula presente no núcleo	1 (3,4)
Q2. O que você entende sobre Evolução das Espécies?	
Mudança/Mutação ao longo do tempo	6 (21,4)
Adquirir características diferentes	1 (3,6)
Mutação da espécie para se adaptar melhor/não mais evoluído, mas mais adaptado	9 (32,1)
Adaptação a determinados ambientes/Se adaptar	4 (14,3)
Mudança do ancestral gerando novas espécies/Processo de evolução das espécies	4 (14,3)
A gente surgiu de um ancestral comum com os macacos	1 (3,6)
Mudança no DNA/Código genético/Fisiológica	1 (3,6)
Melhora do ser vivo/Aperfeiçoamento de determinada característica	2 (7,1)
Q3. O que é uma Hipótese?	
Teoria/algo que eu acredito que pode ser verdadeiro ou falso	2 (6,9)
Teoria/Ideia/Tese/Crença/Explicação que precisa ser comprovada/Testada	5 (17,2)
Teoria/Suposição/Dúvida/Probabilidade/Possibilidade/Pergunta	20 (69)
Sugestão que explica um fenômeno	1 (3,4)
Q4. O que você entende por Método Científico?	
Hipótese comprovada cientificamente/Cientistas usam para comprovar algo	12 (43)
Método para provar uma suposição/descobrir algo/provar algo/testado e ser avaliado/chegar numa resposta/Conclusão por experimento científico	5 (18)
Experimento feito por cientistas/Pesquisa científica	2 (7,1)

Fases do experimento: hipótese, teste, conclusão, resultados, observação do fenômeno, experimentação	4 (14,3)
Uso de tecnologias modernas para o estudo de organismos/Estudo usando tecnologia	2 (7,1)
Forma de comprovar uma hipótese ou descartá-la/Método para validar ou invalidar uma teoria	1 (3,6)
Categorização baseada em preceitos científicos/Método inteligente/Saber evoluções/Provar uma possibilidade/Obtenção de conhecimento	2 (7,1)

Q5. O que você entende por Mutação?

Mudança/Adaptação das espécies a uma certa condição	10 (36)
Evolução genética que se forma uma nova característica de um determinado ser vivo/Espécie no decorrer do tempo	7 (25)
Mudança da espécie em busca de melhorias para a adaptação	3 (11)
Mudança nos indivíduos ou espécies que pode ser boa ou não	3 (11)
Variação/mudança no material genético/Bases nitrogenadas	3 (11)
Aconteceu durante a reprodução/Diferenças na evolução e reprodução	1 (3,6)
Mudança repentina do DNA, diferente da Evolução que ocorre num longo período de tempo	1 (3,6)

As perguntas objetivas variaram entre a percepção dos alunos acerca das aulas de Biologia, Ciências e Evolução. A Q6, Q7 e Q8 foram aplicadas na fase pré, e a Q9 foi perguntada antes e após as aulas. Na Q6, 60% dos alunos dizem apresentar pouca dificuldade na disciplina de Biologia (Gráfico 1). Quando perguntados sobre quais outros métodos de ensino eles consideram importantes (Q7), cerca de 93% dos alunos consideram as aulas práticas como “muito importantes”, seguido de “visita a museus, instituição de pesquisas e zoológicos (75%)” (Gráfico 2). Quando perguntados se eles achavam que todos os organismos possuem material genético, 75% ($n = 21$) disseram que “sim”, enquanto 25% ($n = 7$) marcaram como “alguns” sendo que todos indicaram as plantas como organismos que possuem DNA/RNA (Q8) (Gráfico 3). A Q9 foi feita antes e depois das aulas, afim de se analisar se houve alguma mudança de percepção dos alunos. Foi perguntado se eles “acreditavam que todos os organismos da Terra são descendentes do mesmo ancestral”. 71% ($n = 20$) e 68% ($n = 15$) dos estudantes responderam que “sim”, enquanto cerca de 29% ($n = 8$) e 23% ($n = 5$) responderam que “não” (Gráfico 4).

Gráfico 1 – “Q6. O quanto você tem dificuldade na disciplina de Biologia?”, $n = 28$

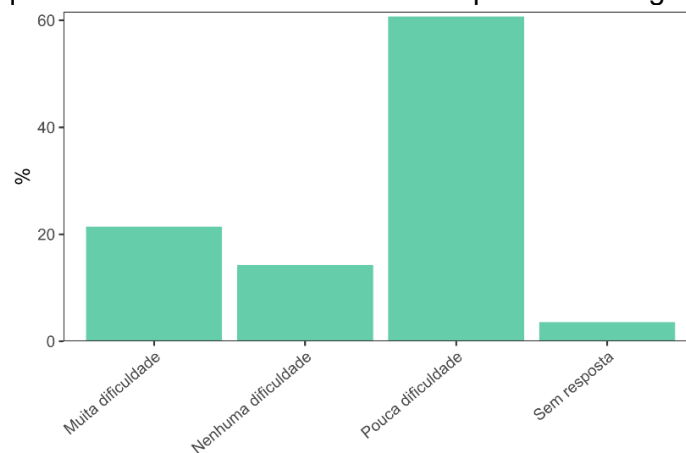


Gráfico 2 – “Q7. Além das aulas teóricas, quais outros métodos de ensino você acha que são importantes e, portanto, deveriam ser ensinados nas escolas na disciplina de Biologia?”, $n = 28$

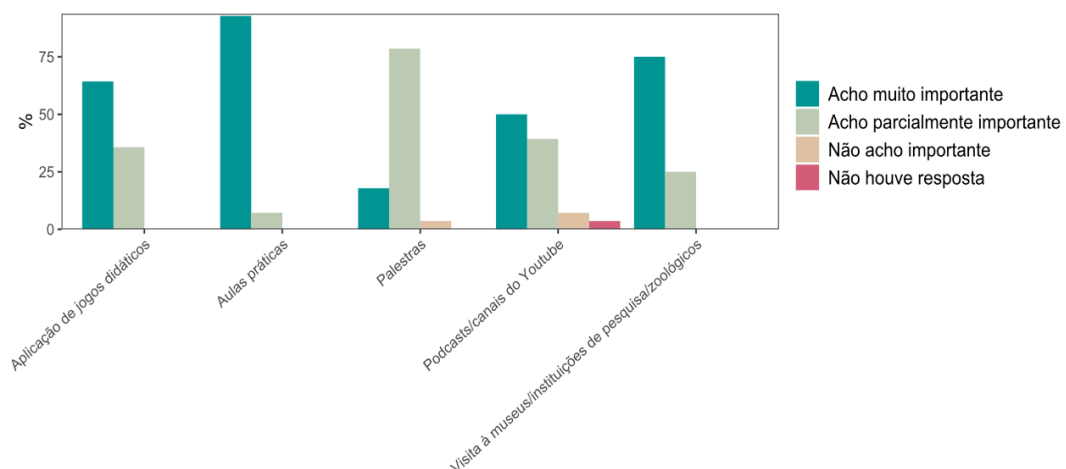


Gráfico 3 – “Q8. Você acha que todos os organismos vivos possuem material genético (DNA e RNA)? Se a resposta for ‘Alguns’, marque aqueles que você acha que possuem material genético”. 21 alunos (75%) responderam ‘sim’ (dados não mostrados). Dos sete alunos que responderam alguns, 100% responderam consideraram ‘plantas, sementes e frutos’, e 57% ($n = 4$) responderam ‘animais, ovos e carnes’ e ‘bolor que ocorre na laranja’. Três alunos (43%) consideraram os ‘protozoários’ e dois alunos (29%) consideraram ‘organismos transgênicos’.

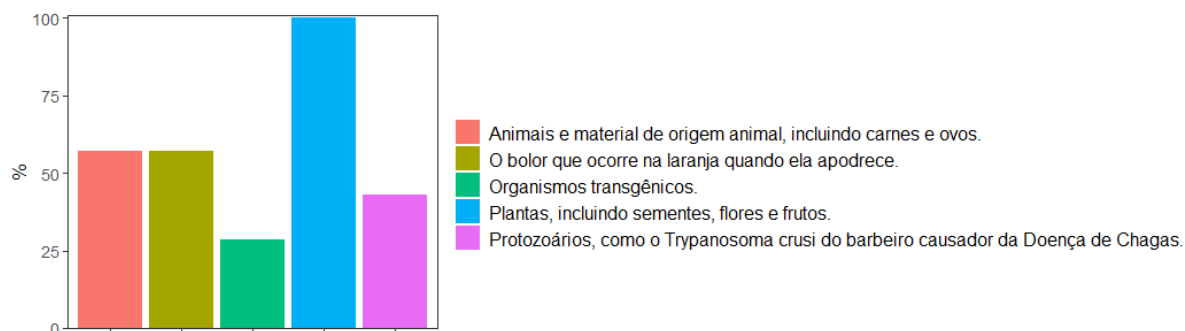
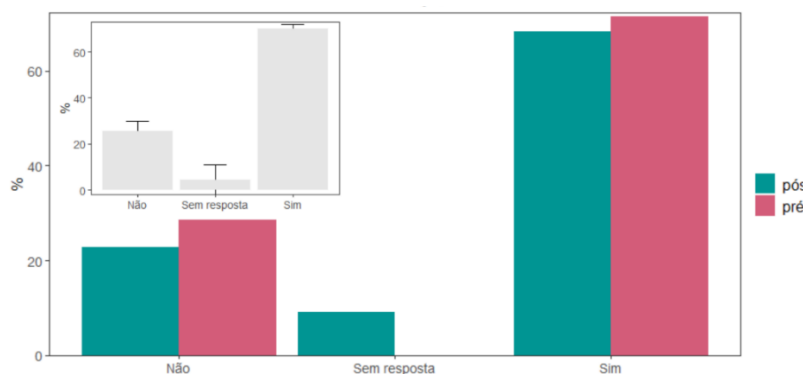


Gráfico 4 – “Q9. Vocês acreditam que todos os organismos da Terra, extintos ou ainda viventes nos dias de hoje, são descendentes do mesmo ancestral?”. Pré, $n=28$; pós, $n=22$.



A segunda leva de perguntas foi aplicada no segundo dia de aula, após os alunos terminarem a atividade de construção da árvore filogenética. Na Q10, cerca de 86% dos alunos concordam com a afirmação de que “mudanças evolutivas não são, necessariamente, boas ou ruins”; cerca de 91% alunos disseram discordar da definição de que “humanos vieram dos macacos” (Q11), em concordância com a definição da Q12 que diz que “o ser humano e demais primatas descendem de um ancestral comum mais recente” (91%). Na Q13, 81,8% dos alunos dos alunos dizem discordar do Fixismo, isto é, que as “espécies são imutáveis”. As respostas dos alunos das Q11, 12 e 13 foram agrupadas no gráfico 5. Mais de 95% dos alunos concordam total ou parcialmente que melhoraram os seus conhecimentos em Evolução com as aulas teóricas e práticas (Q14, Gráfico 6). Por fim, os alunos consideraram que “aprender novas técnicas”, “estimular a curiosidade” e “estimular o pensamento crítico” foram as coisas que eles mais gostaram com relação às aulas teórico-práticas (Q15, Gráfico 7).

Gráfico 5 – As questões 11, 12 e 13 foram agrupadas numa única pergunta: “O quanto os alunos (as) concordam com essa afirmação”. Cerca de 9% dos alunos concordam que os humanos vieram dos macacos; 91% concordam que os humanos e primatas descendem de um ancestral em comum; e 18,2% concordam com o Fixismo.



Gráfico 6 – “Q14. Eu melhorei meus conhecimentos sobre Evolução com a aula teórica e a prática de construção da Árvore Filogenética no *software* MEGA”, $n = 22$

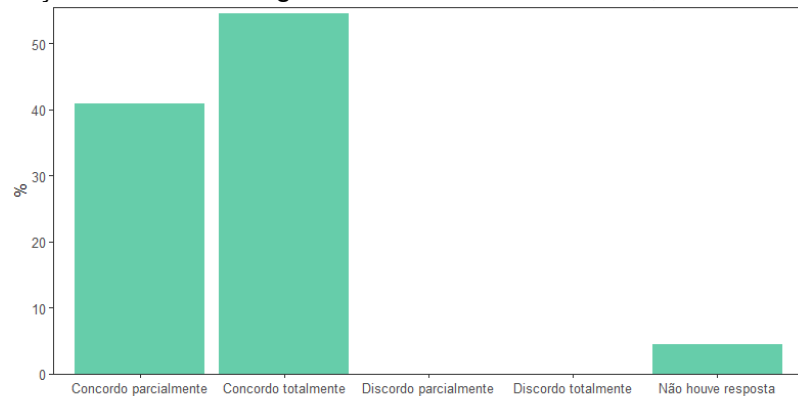
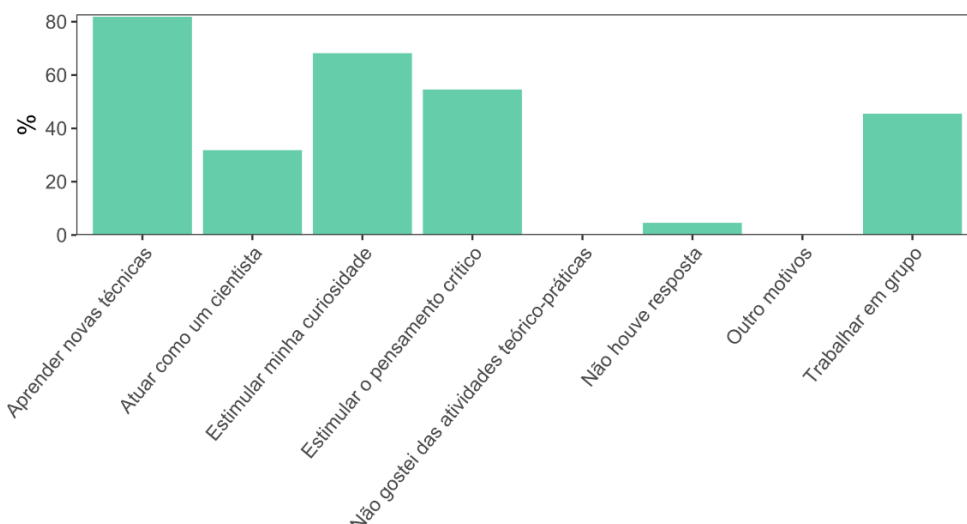


Gráfico 7 – “Q15. O que você mais gostou das aulas teórico-práticas? Marque todas as opções das quais você concorda.



4 DISCUSSÃO

As atividades práticas de extração de DNA e construção da árvore filogenética mostraram-se eficazes quanto ao objetivo proposto. Todos os alunos conseguiram realizar as atividades e se mostraram muito interessados. O fato de se conseguir visualizar o DNA provocou curiosidade, pois estamos acostumados apenas com a imagem da molécula nos livros, na sua estrutura bi ou tridimensional. O interesse dos alunos é evidenciado pelas respostas dos estudantes com relação à Q7, em que a grande maioria considera as aulas práticas, jogos didáticos e visitas a museus, instituições de pesquisa e zoológicos como muito importantes. Os alunos também concordam integralmente de que melhoraram seus conhecimentos sobre Evolução com a construção da árvore filogenética (Q14), e aprender novas técnicas, estimular a curiosidade e o pensamento crítico foram o que mais gostaram nas aulas (Q15).

A prática teve a vantagem de utilizar materiais acessíveis, podendo ser reproduzida por professores de ciências e biologia em quaisquer escolas. No ensino de Ciências, independentemente do espaço físico em que ocorra ou os equipamentos utilizados, a etapa de experimentação representa um papel fundamental para a aprendizagem dos alunos, sendo que o professor precisa avaliar sua prática-pedagógica buscando sempre por ferramentas que complementem e o auxiliem nas aulas teóricas (Junior *et al.*, 2023).

No nosso estudo, o resultado da árvore filogenética também corroborou o que já se sabe sobre evolução dos grandes primatas. Dados genômicos e de fósseis já mostram que humanos e chimpanzés são linhagens-irmãs que divergiram de um ancestral comum mais recente no final do Mioceno, entre 9,3 e 6,5 milhões de anos (Almécija *et al.*, 2021). A construção da chamada “Árvore da Vida” se baseia num processo de descoberta das similaridades e caracteres compartilhados entre os organismos que pode usar dados moleculares, anatomia comparada, fisiologia, embriologia e biogeografia. Se forem dados moleculares, é preciso fazer a extração de DNA, depois o processo de PCR (reação em que uma parte do DNA é amplificada em milhões de cópias) para, enfim, fazer o sequenciamento (obtenção da sequência de bases nitrogenadas: A, T, C e G). Essas sequências serão comparadas e agrupadas conforme a similaridade entre elas. Se forem dados morfológicos, também haverá o agrupamento por similaridade, porém usando esqueletos ou espécimes preservados (Cracraft, 2005). Alguns estudos mostram que a similaridade do genoma de humanos e chimpanzés é de 98,8% com base na comparação de 8.859 sequências de DNA compostas por cerca de 1,9 milhões de pb (Ebersberger *et al.*, 2002). As divergências genéticas entre orangotangos/humanos e orangotangos/chimpanzés foram estimadas em 3,08 e 3,12%, respectivamente (Chen; Li, 2001). Assim, seguindo o método científico, nossa hipótese inicial foi corroborada pela árvore filogenética, agrupando os primatas dentro do que já esperávamos, pois colocou chimpanzés e humanos como espécies-irmãs (mais próximas), seguido do ramo de orangotango, mais próxima dos humanos e chimpanzés do que as outras espécies de organismos selecionadas para comparação. É importante destacar que a árvore filogenética construída no MEGA não indica tempo evolutivo de divergência entre as espécies.

Grande parte dos professores são assertivos ao considerarem as atividades práticas como fundamentais para o ensino das ciências naturais. Este pensamento vem de uma concepção empírica de que a ciência é prática, da demonstração de conteúdos teóricos e comprovação de teorias (Bassoli, 2014). De fato, para Pasquali e Amorim (2000) *apud* Melo (2010, p. 41), “(...) a Biologia é uma ciência experimental”, capaz de tornar as aulas mais dinâmicas, despertar nos alunos a curiosidade, torná-los mais motivados e capacitando-os a pensar de forma mais racional e crítica (Fala;

Correia; Pereira, 2010; Junior *et al.*, 2023; Xavier; Almeida, 2021;). Segundo Costa, Nogueira e Cruz (2020), o ensino de Ciências é fundamental, uma vez que só assim o indivíduo terá o conhecimento científico necessário para a compreensão da sociedade que o cerca, propiciando experiências práticas baseadas em sua vivência cotidiana. Entretanto, apesar desse reconhecimento da importância das práticas e experimentações científicas, sabemos que esses métodos de ensino, por vezes, são impraticáveis, sobretudo quando se trata das escolas públicas brasileiras. Dentre os vários motivos apontados para a inexistência das práticas nas escolas públicas estão a falta de infraestrutura, despreparo do professor para o manejo das atividades, falta de tempo e número excessivo de alunos (Costa; Nogueira; Cruz, 2020; Lima; Amorim; Luz, 2018). Estes fatores fazem com que o método tradicional de ensino seja ainda o mais aplicado, baseado somente em aulas expositivas, em que os professores apenas seguem o livro didático e o conhecimento é passado de forma unidirecional, além de ser considerado por muitos como uma aula mais fácil e prática (Interaminense, 2019; Krasilchik, 2004).

Tosta, Gontijo e Corte (2020) observaram que a prática extração de DNA permitiu aos alunos irem atrás de respostas para a investigação, pois, para responder às questões norteadoras, os alunos pesquisaram em livros, na internet, discutiram em grupos e foram capazes de corroborar ou rejeitar as hipóteses propostas. A atividade também despertou a curiosidade e os tornaram mais envolvidos em todo o processo de construção do aprendizado. Em uma outra atividade, alunos foram incumbidos do *design* experimental de uma nova metodologia de extração. Os estudantes formaram grupos e, a cada reunião da turma, eles apresentavam seus próprios protocolos e questionavam as abordagens das demais equipes (Chowning *et al.*, 2019). Assim, se percebe que o aluno deixa de ser um sujeito passivo, aquele que apenas recebe a informação, e passa a desempenhar um papel de colaborador junto ao professor, atuante e ativo, capaz de interagir com os colegas e discutir resultados.

Carvalho (2013) expõe a importância de se criar um ambiente investigativo nas aulas de Ciências e descreve que para a iniciação no ensino por investigação, é preciso que haja a escolha do problema experimental a ser resolvido. Entretanto, este deve seguir uma sequência de etapas em que os alunos possam levantar e testar

hipóteses, estruturar seus pensamentos e apresentar argumentos que serão discutidos com o professor e demais alunos. O ensino por investigação permite que o aluno participe de todo o processo, utilizando as práticas investigativas como pioneiras ao desenvolver nos estudantes a compreensão de conceitos, levando-os a participar do seu próprio processo de aprendizagem, buscando a explicação causal para o resultado observado (Azevedo, 2004).

Com o objetivo de mostrar aos alunos de uma escola secundária que todos os organismos vivos “compartilham a mesma unidade química da vida, a molécula de DNA”, Kinoshita e colaboradores (2016) desenvolveram um protocolo de extração de DNA de organismos representantes dos cinco reinos biológicos. O experimento foi realizado com alunos e professores de biologia e os resultados mostraram que os experimentos foram eficazes. Embora vários pontos precisem ser melhorados, a atividade é adequada para escolas do Ensino Médio. Já Susantini e colaboradores (2017) utilizaram de materiais domésticos baratos e facilmente disponíveis para a aplicação da prática de extração de DNA com alunos de uma escola na Indonésia. Os resultados mostraram que essa abordagem incentivou a criatividade, habilidades sociais e melhorou o conhecimento dos alunos sobre o assunto. Os autores utilizaram para a elaboração da prática amostras de folhas de árvores, epiderme de frango e intestino de frango. Porém, há outros materiais muito mais acessíveis e que já mostraram serem muito bons para práticas de extração de DNA mais “caseiras”, tais como banana, morango e cebola (Brasil, 2017; Institute for Molecular Bioscience, s/a; Nova Science Now, 2005).

As células são as unidades básicas da Vida e o DNA é a molécula que contém todas as informações de todos os seres vivos na Terra, informações estas que direcionam todas as atividades biológicas do indivíduo. Assim, além da prática de extração do material genético, a contextualização do assunto e demonstração da importância da atividade em estudos científicos póstumos, mostram-se extremamente relevantes para um entendimento mais abrangente sobre o tema. Dessa forma, atualmente o uso de *softwares* para análises de sequências de DNA disponíveis em órgãos públicos é outra ótima ferramenta de complementação do estudo dentro da disciplina de genética e/ou evolução. Blauth, Santin e Santos (2023) propuseram

algumas atividades neste sentido. Os autores escolheram sete sequências de DNA mutantes para a doença genética humana denominada Querubismo, de forma a se introduzir a matéria de mutações aos alunos. O texto propõe a sugestão de uma atividade em que é disponibilizado um roteiro para os alunos a ser seguido: 1) Identificar a mutação; 2) Identificar a alteração do aminoácido; 3) Tipo de mutação.

4.1 Percepção dos alunos sobre as aulas teórico-práticas

As questões discursivas foram avaliadas antes das aulas teórico/práticas. Os resultados mostraram que os alunos têm certa noção do que se refere os termos perguntados, alguns apresentando maior nível de compreensão, enquanto outros estudantes frequentemente misturaram as definições e apresentaram algum nível de dificuldade nas explicações. Os alunos parecem ter claros a noção do que se trata o DNA (Q1), Método Científico (Q4) e Mutação (Q5), sendo grande parte das respostas parcialmente corretas. Há uma maior confusão com relação ao responder O que é a evolução das espécies (Q2) e O que é uma hipótese (Q3). Pelo menos um aluno respondeu que “a gente surgiu de um ancestral comum com os macacos”. Em uma pesquisa com entrevistas com professores do ensino básico, um docente relatou que “Os estudantes colocam o homem como referência da evolução, eles acham que a evolução é aquele processo que transforma um macaco em um homem” (Oliveira; Menezes; Duarte, 2017, p. 185). Para Carneiro (2004) essa explicação é mais fácil de se entender do que dizer que humanos e macacos descendem de um mesmo ancestral. Fatores como complexidade e conceitos mais abstratos no que se refere aos mecanismos evolutivos, foram também apontados pelos professores como empecilhos para o entendimento dos alunos (Oliveira; Menezes; Duarte, 2017).

Muitos alunos entenderam que evolução requer mudança ou está associada às mutações, porém, confundiram evolução com adaptação. Há claramente uma ideia mais lamarckista da evolução das espécies do que darwinista. Sob um ponto de vista lamarckiano, mudanças genéticas ocorreriam em resposta às necessidades do indivíduo (Futuyama, 2005). Respostas como “mudanças de acordo com o ambiente para se adaptar melhor”, “capacidade de se adaptar a determinados ambientes” e “aperfeiçoamento e melhora de determinada característica” foram comuns. Ao

contrário do que imagina, a adaptação é baseada num processo de mutações aleatórias, em que os alelos ou genes que conferirem alguma vantagem ao indivíduo (sobrevivência naquele determinado ambiente) são selecionados e passados para as próximas gerações, aumentando, assim sua frequência e se fixando na população (Futuyama, 2005). Indivíduos bem adaptados significa que eles possuem traços que os beneficiam em um dado ambiente, porém, podem não estar mais adaptados no futuro se o ambiente mudar, o que pode levar à extinção de toda uma população. Esse processo, conhecido como Seleção Natural pode ser de difícil assimilação pelos estudantes e sabe-se que não apenas jovens e o público em comum, mas também estudantes de graduação em biologia, compreendem mal o mecanismo de Seleção Natural (Gregory, 2009).

Não apenas a Seleção natural, mas a Evolução também é mal compreendida. São justamente as variações que vão surgindo nas populações (mutações) e se acumulando que vão permitir o processo de evolução biológica. Assim, é preciso que os professores deixem claro para os alunos que a evolução é um conceito populacional: o que evolui não é o indivíduo sozinho, mas populações de uma espécie. São justamente as várias mutações acumuladas que deram origem a grande diversidade de espécies (Russo; André, 2019).

Apesar das incompreensões acerca dos conceitos de evolução e adaptação, os alunos parecem aceitar a Evolução como a teoria que explica a origem das espécies e que todos os organismos descendem de um mesmo ancestral (Q9, 11, 12 e 13). Alguns estudos têm mostrado que estudantes podem ser resistentes diante do paradigma da evolução. Sinatra e colaboradores (2003) avaliaram o conhecimento e aceitação acerca da evolução, da fotossíntese e respiração celular de 93 estudantes de graduação de outras áreas. Os autores constataram que há uma correlação entre o conhecimento dos estudantes sobre fotossíntese e respiração e aceitação destes pressupostos. Por outro lado, o conhecimento da evolução humana ou animal não estava correlacionado a aceitação da teoria. Ainda, foi demonstrado que quanto mais sofisticada a visão epistemológica dos estudantes, mais eles tendiam a aceitar a evolução humana.

Avaliando como estudantes de biologia do Líbano encaram a evolução com suas crenças religiosas, Dagher e BouJaoude (1997) mostraram que alguns alunos ainda fazem confusão do tipo “o macaco evoluiu para o homem” ou “o produto final da evolução é a perfeição”. Alguns fizeram afirmações metafísicas como “Deus estabeleceu os princípios básicos e a evolução é uma adaptação desses princípios”. Alguns estudantes concordam com a evolução e utilizaram argumentos científicos para explicá-la, enquanto outros a rejeitam veementemente e afirmam a existência de um Criador. Os autores sugerem que é preciso que professores não negligenciem a fé dos estudantes, mas, ao contrário, permitam que os alunos discutam sua fé e valores, sem julgamentos.

A Q3 foi outra pergunta cujo conceito foi bastante confundido pelos estudantes. Alguns confundiram o conceito de Hipótese com Teoria, Suposição, Crença, Pergunta ou Possibilidade. É bem comum que as pessoas confundam esses termos, sobretudo quando se trata de teoria científica. O senso comum tende a dizer “Mas a Evolução é apenas uma teoria, não um fato comprovado”. Entretanto, teoria para a ciência tem um significado diferente do termo coloquial. Segundo Pennock (2005), no dia-a-dia, o termo teoria é mais utilizado como sinônimo de palpite, porém este está mais para hipótese ou suposição feitos antes do teste; na academia, uma proposição/hipótese testada e comprovada inúmeras vezes de maneira independente, acumula evidências suficientes para ser considerada uma teoria, passando a ser aceita como um fato.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O que se percebe é que ainda há mal-entendidos por parte dos alunos com relação a pressupostos importantes para a biologia. Há um claro interesse dos alunos em atividades que fujam do ensino tradicional. Além disso, mesmo que haja alguma confusão, no geral, os alunos se mostraram interessados e abertos para aprender e em momento algum demonstraram estar incomodados com as explicações sobre evolução. Assim, recomendamos que, sempre que possível, os professores pensem em alternativas de ensino para além do conteúdo teórico, que incentivem os alunos a investigar, propor hipóteses, testar e discutir resultados. Sejam aulas práticas, jogos, visitas a museus, saídas de campo, seminários, os alunos são receptivos e gostam

de dinâmicas que quebrem a rotina de sala de aula. Também, que o professor esteja muito bem preparado para o ensino de Evolução, sobretudo ao abordar ideias que causam confusão, como Lamarck, Darwin e conceitos como adaptação e seleção natural.

REFERÊNCIAS

- ALMÉCIIA, S. *et al.* **Fossil apes and human evolution.** Science, 372, 2021.
- ALMEIDA, C. A.; MANNARINO, L. A. **A importância da aula prática de ciências para o ensino fundamental II.** Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação- REASE, São Paulo, 7(8): 787-799, 2021.
- ALVES, M.; BEGO, A. M. **A celeuma em torno da temática do planejamento didático-pedagógico:** definição e caracterização de seus elementos constituintes. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, 71-96. 2020.
- ANDRADE, M. L. F.; MASSANBI, V. G. **O desenvolvimento de atividades práticas na escola: um desafio para os professores de ciências.** Ciência e Educação, 17(4): 835-854, 2011.
- AZEVEDO, M. C. P. S. Ensino por investigação: problematizando as atividades em sala de aula. *In:* Carvalho (Org.). **Ensino de ciências por investigação:** condições para implementação em sala de aula. São Paulo: Cengage Learning, 2013.
- BASSOLI, F. **Atividades práticas e o ensino-aprendizagem de ciência(s):** mitos, tendências e distorções. Ciênc. Educ., 20(3): 579-593. 2014.
- BLAUTH, Mônica Laner; SANTIN, Maria Helena Romano; SANTOS, Rafael Martins dos. **Uso de ferramentas online no estudo de mutações.** Genética na Escola, Sociedade Brasileira de Genética, 18(1), p. 59-70, 2023.
- BRASIL. **PCN Ensino Médio:** orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Parte III - Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, p. 7-144, 2000.
- BRASIL. **Resolução 510/16, de 7 de abril de 2016.** Conselho Nacional de Saúde (CNS) estabelece normas para pesquisas em Ciências Humanas e Sociais. Brasília, 2016. Disponível em: <<https://www.ifes.edu.br/conselhos-comissoes/comite-de-etica-em-pesquisa-do-ifes?start=3>> Acesso em: 17 out. 2024.
- BRASIL. Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à docência, PIBID/CAPES. **Sugestões de práticas a serem desenvolvidas para o ensino de ciências naturais e biologia:** extração de DNA de morango, p. 51-52. 2017. Disponível em:

<https://www.fef.br/upload_arquivos/geral/arq_5aba3c3cbd47f.pdf> Acesso em: 21 de nov. 2023.

BRASIL. Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à docência, PIBID/CAPES. **Sugestões de práticas a serem desenvolvidas para o ensino de ciências naturais e biologia:** extração de DNA de cebola, p. 53. 2017. Disponível em: <https://www.fef.br/upload_arquivos/geral/arq_5aba3c3cbd47f.pdf> Acesso em: 21 de nov. 2023.

BUENO, A. J. A. *et al.* **Atividades práticas/experimentais para o ensino de Ciências além das barreiras do laboratório desenvolvidas na formação inicial de professores.** Revista de Ensino de Ciências e Matemática, 9(4): 94-109, 2018.

CARVALHO, A. M. P. O ensino de Ciências e a proposição de sequências de ensino investigadas. *In:* Carvalho (Org.). **Ensino de ciências por investigação:** condições para implementação em sala de aula. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

COSTA, T. P. A.; NOGUEIRA, C. S. M.; CRUZ, A. F. **As atividades práticas no ensino de ciências:** limites e possibilidades sobre o uso desse recurso didático no processo de ensino-aprendizagem. Revista Macambira, 4(2): 2020.

CHEN, F.; LI, W. **Genomic divergences between humans and other hominoids and the effective population size of the common ancestor of humans and chimpanzees.** American Journal of Human Genetic, 68: 444-456. 2001.

CHOWNING, J. T. *et al.* **A new twist on DNA extraction:** collaborative argumentation and student protocol design. Sci Teach, 86(6): 20-27. 2019.

CRACRAFT, J. An overview of the Tree of Life. *In:* CRACRAFT, J. (org.). **Evolutionary Science and Society:** educating a new Generation. Chicago: Proceedings of the BSCS, AIBS Symposium. 43-51. 2005.

DAGHER, Z. R.; BOUJAOUDE, S. **Scientific views and religious beliefs of college students:** the case of biological evolution. Journal of Research in Science Teaching, 34(5): 429-445. 1997.

DAVIS, S. **Applying the scientific method & phylogenetics to understand the transition from kingdoms to domains:** does one plus one equal five, six, or three? The American Biology Teacher, 74(5): 332-334. 2012.

EBERSBERGER, I. *et al.* Genomewide comparison of DNA sequences between humans and chimpanzês. American Journal of Human Genetic, 71: 1490-1497. 2002.

ESPOSTI, M. D. *et al.* **Mitochondrial cytochrome b:** evolution and structure of the protein. Biochimica et Biophysica Acta, 1143: 243-271. 1993.

Extracting DNA from bananas. Artificial Life Viewing Activity, Teacher Notes. WGBH Boston Science Unit: Nova Science Now. 3p., 2005. Disponível em:

<https://www.pbs.org/wgbh/nova/teachers/activities/pdf/3214_01_nsn_01.pdf> Acesso em: 21 de nov. 2023.

FALA, A. M.; CORREIA, E. M.; PEREIRA, H. D. **Atividades práticas no ensino médio: uma abordagem experimental para aulas de genética.** Ciências e Cognição, 15(1): 2010.

FUTUYMA, D. J. The nature of Natural Selection. *In*: CRACRAFT, J. (org.). **Evolutionary Science and Society: educating a new Generation.** Chicago: Proceedings of the BSCS, AIBS Symposium. 93-98. 2005.

GILBERT, S. F. **Developmental Biology.** 6th ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2000.
GIORDAN, M. **O papel da experimentação no Ensino de Ciências.** Química Nova na Escola, nº 10, s/p, 1999.

GRANDY, R. E; DUSCHL, R. A. **Reconsidering the character and role of inquiry in school science:** analysis of a conference. Science and Education, 16:141-166, 2007.

GREGORY, T. R. **Understanding Natural Selection:** essential concepts and common misconceptions. Evo. Edu. Outreach., 2: 156-175. 2009.

GRIFFITHS, A. J. F. *et al.* Introdução à genética. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013.

INTERAMINENSE, B. K. S. **A importância das aulas práticas no ensino da biologia:** uma metodologia interativa. Revista Multidisciplinar e de Psicologia, 13(45): 342-354. 2019.

INSTITUTE FOR MOLECULAR BIOSCIENCE. Strawberry DNA Extraction. Disponível em: <<https://imb.uq.edu.au/strawberry-dna-extraction-activity>> Acesso em 21 de nov. 2023.

JUNIOR, R. N. S. *et al.* **Aulas práticas no ensino de ciências.** Contribuciones a Las Ciencias Sociales, 16(3): 1044-1061, 2023.

KINOSHITA, Y.; YAMANOI, T.; TAKEMURA, M. **Extracting DNA to visualize the unity e diversity of life.** The American Biology Teacher, 78(2): 118-126. 2016.

KRASILCHIK, M. **Prática de ensino em Biologia.** 4ª ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo. 2004.

LEVESQUE, D. C. *et al.* **An interactive protocol for in-classroom dna extraction.** Teaching Tools and Strategies, 10: 1-6. 2023.

LIMA, J. F.; AMORIM, T. V.; LUZ, P. C. S. **Aulas práticas para o ensino de Biologia:** contribuições e limitações no Ensino Médio. Revista de Ensino de Biologia da SBEnBio, 11(1): 36-54. 2018.

MELO, J. F. R. **Desenvolvimento de atividades práticas experimentais no**

ensino de biologia – um estudo de caso. Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília. 75p. 2010.

MILLER, K. R. looking for god in all the wrong places: answering the religious challenge to Evolution. *In*: CRACRAFT, J. (org.). **Evolutionary Science and Society: educating a new Generation.** Chicago: Proceedings of the BSCS, AIBS Symposium. 13-21, 2005.

MYIAKI, C. Y.; RUSSO, C. A. M.; PEREIRA, S. L. Reconstrução filogenética. Introdução e o método de máxima parcimônia. *In*: MATIOLI, S. R.; FERNANDES, F. M. C. **Biologia Molecular e Evolução.** 2ªed. Ribeirão Preto: Holos, Sociedade Brasileira de Genética, 256p. 2012.

MUKHOPADHYAY, T.; BHATTACHARJEE, S. Genetic diversity: importance and measurements. *In*: Mir, A. H.; Bhat, N. A. **Conserving biological diversity: a multiscaled approach.** New Delhi: Research India Publications, p. 251-295. 2016.
MUOTRI, A. R.; CARROMEU, C. Genoma não codificante – uma breve introdução. *In*: MATIOLI, S. R.; FERNANDES, F. M. C. **Biologia Molecular e Evolução.** 2ªed. Ribeirão Preto: Holos, Sociedade Brasileira de Genética, 256p. 2012.

OLIVEIRA, C. L. C.; MENEZES, M. C. F.; DUARTE, O. M. P. **O ensino da teoria da evolução em escolas da rede pública de senhor do Bonfim: análise da percepção dos professores de Ciências do Ensino Fundamental II.** Revista Exitus, 7(3): 172-196. 2017.

OLIVEIRA, H.; BONITO, J. **Practical work in science education: a systematic literature review.** Frontiers in Education, 8:1-20, 2023.

PENNOCK, R. T. On teaching evolution and the nature of Science. *In*: CRACRAFT, J. (org.). **Evolutionary Science and Society: educating a new Generation.** Chicago: Proceedings of the BSCS, AIBS Symposium. 7-12. 2005.

PIERCE, B. A. **Genética: um enfoque conceitual.** Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.

R Core Team (2022). **R: A language and environment for statistical computing.** R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available in <<https://www.R-project.org/>>

RODRIGUES, C. D. N. *et al.* DNA vegetal na sala de aula. São Paulo: IBUSP, 8p. 2008.

RUSSO, C. A. M.; ANDRÉ, T. **Science and evolution.** Genetics and Molecular Biology, 42(1): 120-124. 2019.

SASSERON, L. H. **Alfabetização científica, ensino por investigação e argumentação: relações entre ciências da natureza e escola.** Revista Ensaio, 17: 49-67. 2015.

SINATRA, G. M. *et al.* **Intentions and beliefs in students' understanding and acceptance of biological evolution.** Journal of Research in Science Teaching, 40(5): 510-528. 2003.

SUSANTINI, E. *et al.* **Designing easy DNA extraction:** teaching creativity through laboratory practice. Biochemistry and Molecular Biology Education, 45(3): 216-225. 2017.

TAMURA K.; STECHER G.; KUMAR S. **MEGA11:** Molecular evolutionary genetics analysis Version 11. Molecular Biology and Evolution, 38(7): 3022-3027. 2021.

TOSTA, E. M.; AOYAMA, E. M.; CORTE, V B. **As folhas enquanto tecido vivo: uma proposta de atividade de Botânica com alunos do ensino médio.** Health and Biosciences, 1(3): 2020.

TRAZZI, P. S. S.; GARCIA, J. F. M.; SILVA, M. A. J. Ensinar e aprender em Ciências e Biologia: a experimentação em foco. *In:* LEITE, S. Q. M. (Org.). **Práticas experimentais investigativas em ensino de ciências.** Vitória: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo e Secretaria de Estado de Educação do Espírito Santo, 218p., 2012.

XAVIER, R. M.; ALMEIDA, J. E. **Atividades práticas no ensino de biologia:** um estudo sobre a percepção de professores em um município de Rondônia. Brazilian Journal of Development, 7(1): 3089-3100. 2021.

ZINK, R. M. **Natural selection on mitochondrial DNA in *Parus* and its relevance for phylogeographic studies.** Proceedings of the Royal Society B, 272: 71-78. 2005.

APÊNDICE A

EXTRAÇÃO DE DNA DA BANANA

Objetivo

Aplicação da técnica de extração de DNA de tecidos vegetais, como a banana, utilizando materiais caseiros e baratos.

Materiais necessários

- ½ banana madura.
- 1 saco plástico para amassar a banana.
- 2 colher de sopa de detergente neutro.
- 1 colher de chá de sal de cozinha.
- 2 béqueres, copos de vidro ou copo de plástico transparente (requeijão, americano) ou 1 copo e um tubo de ensaio.
- Cerca de 30 a 50 ml de álcool 90% gelado (colocar no congelador por pelo menos 1 hora antes de realizar o procedimento).
- 100 ml de água.
- Um coador de café de papel.
- 1 colher de plástico, madeira ou de cozinha.
- 1 proveta ou copo medidor de líquidos.

Metodologia

- 1) Amassar a banana no saco plástico até virar uma papa homogênea.
- 2) Preparar a solução de lise: colocar a água, o detergente e o sal dentro do copo/béquer. Misturar tudo cuidadosamente para evitar que se formem bolhas.
- 3) Transferir a solução de lise preparada na etapa anterior na sacola contendo a banana amassada → transferir cerca de 50 ml.
- 4) Misturar a solução de lise mais a banana amassada dentro do saquinho. Obs.: Certifique-se que o saquinho está fechado para não derramar o conteúdo. Inverter o saquinho para misturar a solução.
- 5) Enquanto a solução está descansando, coloque o filtro de café no copo limpo. Depois, inverta a solução do saco dentro do filtro cuidadosamente, para não derramar.
- 6) Após filtrar, colocar 30ml de álcool absoluto gelado no copo com a solução filtrada. Você colocará o álcool cuidadosamente escorrendo pela parede. Não misturar o conteúdo. O álcool ficará na parte mais superior do líquido (figura a direita).
- 7) Aguardar uns minutos e observar os fios de DNA na interfase do líquido.



APÊNDICE B

QUESTIONÁRIO PRÉ-PRÁTICA EXPERIMENTAL

1. Quando se fala em DNA, o que você entende? Resposta: _____ _____ _____
2. O que você entende sobre Evolução das Espécies? Resposta: _____ _____ _____
3. O que é uma Hipótese? Resposta: _____ _____
4. O que você entende por Método Científico? Resposta: _____ _____ _____
5. O que você entende por Mutação? Resposta: _____ _____
6. O quanto você tem dificuldade na disciplina de Biologia? ☐ Muita dificuldade ☐ Pouca dificuldade ☐ Nenhuma dificuldade
7. Além das aulas teóricas, quais outros métodos de ensino você acha que são importantes e, portanto, deveriam ser ensinados nas escolas na disciplina de Biologia? - Aulas práticas: ☐ Acho muito importante ☐ Acho parcialmente importante ☐ Não acho importante - Visita à museus/instituições de pesquisa/zoológicos: ☐ Acho muito importante ☐ Acho parcialmente importante ☐ Não acho importante - Aplicação de jogos didáticos: ☐ Acho muito importante ☐ Acho parcialmente importante ☐ Não acho importante - Palestras: ☐ Acho muito importante ☐ Acho parcialmente importante ☐ Não acho importante - Podcasts/canais do Youtube: ☐ Acho muito importante ☐ Acho parcialmente importante ☐ Não acho importante
8. Você acha que todos os organismos vivos possuem material genético (DNA e/ou RNA)? Se a resposta for "Alguns", marque aqueles que você acha que possuem material genético. ☐ Sim ☐ Não ☐ Alguns ☐ Plantas, incluindo sementes, flores e frutos. ☐ Animais e material de origem animal, incluindo carnes e ovos. ☐ O bolor que ocorre na laranja quando ela apodrece. ☐ Protozoários, como o <i>Trypanosoma cruzi</i> do barbeiro causador da Doença de Chagas. ☐ Organismos transgênicos.
9. Você acredita que todos os organismos da Terra, extintos ou ainda vivos nos dias de hoje, são descendentes do mesmo ancestral? ☐ Sim ☐ Não

Fonte: Elaborado por Heloisa Linhares

APÊNDICE C

QUESTIONÁRIO PÓS-PRÁTICA EXPERIMENTAL

9. Vocês acreditam que todos os organismos da Terra, extintos ou ainda vivos nos dias de hoje, são descendentes do mesmo ancestral? ☐ Sim ☐ Não	
10. As modificações evolutivas não significam que estas sejam ou “boas” ou “ruins”. ☐ Concordo ☐ Discordo	
11. “De acordo com a Teoria da Evolução, o ser humano veio dos macacos”. ☐ Concordo com essa definição ☐ Discordo dessa definição	
12. “De acordo com a Teoria da Evolução, o ser humano e os demais grandes primatas descendem de um ancestral comum mais recente”. ☐ Concordo com essa definição ☐ Discordo dessa definição	
13. “Os seres vivos são imutáveis, ou seja, uma vez que foram criados ou surgiram na Terra, eles não mudam ao longo do tempo, sendo essa corrente denominada Fixismo.” ☐ Concordo com essa definição. ☐ Discordo dessa definição	
14. “Eu melhorei meus conhecimentos sobre Evolução com a aula teórica e a prática de construção da Árvore Filogenética no software MEGA.” ☐ Concordo totalmente ☐ Concordo parcialmente ☐ Discordo parcialmente ☐ Discordo totalmente	
15. O que você mais gostou das aulas teórico-práticas? Marque todas as opções as quais você concorda. ☐ Aprender novas técnicas. ☐ Atuar como um cientista. ☐ Estimular o pensamento científico. ☐ Trabalhar em grupo. ☐ Estimular minha curiosidade. ☐ Não gostei das atividades teórico-práticas. ☐ Outros motivos. Quais? _____ _____ _____ _____ _____	

Fonte: Elaborado por Heloisa Linhares

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, primeiramente. Depois aos meus pais pelo apoio às minhas decisões.

Aos meus amigos de turma que seguiram comigo nessa jornada e aos amigos da UFES por toda a troca de ideias. Menção honrosa para minha amiga Gabriela Ortolane que me ajudou na condução da aula de extração de DNA.

Agradeço aos professores e outros profissionais do Instituto Federal do Espírito Santo por toda a assistência necessária.

Agradeço ao meu orientador, Maurício, por todas as contribuições.

Agradeço à banca examinadora pelo aceite do convite em participar dessa banca. Estou certa que suas recomendações serão de grande valia.

Por fim, dedico este trabalho a todos os professores e professoras que se desdobram e se reinventam para construir a educação neste país.