

CASOS FORENSES COMO ESTRATÉGIA DIDÁTICA: FACILITANDO A APRENDIZAGEM DE GENÉTICA NO ENSINO MÉDIO

FORENSIC CASES AS A TEACHING STRATEGY: FACILITATING THE LEARNING OF GENETICS IN HIGH SCHOOL

CASOS FORENSES COMO ESTRATEGIA DE ENSEÑANZA: FACILITANDO EL APRENDIZAJE DE LA GENÉTICA EN LA ESCUELA SECUNDARIA

Marcos Vinicius Beserra & Regina Célia Pereira Marques

Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Brasil

reginamarques@uern.br

RESUMO | Este estudo relata a implementação de uma prática educativa inovadora no ensino de genética, voltada a alunos da 3ª série do Ensino Médio de uma escola pública em Mossoró (RN). O objetivo central foi superar a dificuldade de compreensão da Segunda Lei de Mendel, promovendo o raciocínio probabilístico e o engajamento dos estudantes. Para tanto, foram elaborados casos forenses simulados, utilizados em atividades de modelagem com quadros de Punnett e resolução colaborativa em grupos. A prática foi antecedida por um questionário diagnóstico (pré-teste) e seguida por um pós-teste e coleta de dados atitudinais para avaliação de eficácia. Os dados de aprendizado conceitual foram analisados por meio do Teste Exato de Fisher (software RStudio v. 4.3) devido ao tamanho amostral reduzido ($N=10$ no pós-teste) e à natureza dos dados categóricos. Os resultados evidenciaram avanços pontuais na compreensão conceitual e forte aceitação da proposta, destacada pelos alunos como motivadora e imersiva. A intervenção demonstra que a abordagem, baseada em investigação e colaboração, é um recurso didático promissor e de baixo custo, capaz de enriquecer o ensino de genética e inspirar a criação de novas práticas pedagógicas.

PALAVRAS-CHAVE: Ensino de genética, Aprendizagem ativa, Casos forenses, Modelagem conceitual, Cooperação.

ABSTRACT | This study reports on the implementation of an innovative educational practice in genetics teaching, aimed at 3rd-year high school students at a public school in Mossoró (RN), Brazil. The central objective was to overcome the difficulty in understanding Mendel's Second Law, promoting probabilistic reasoning and student engagement. To this end, simulated forensic cases were developed and used in modeling activities with Punnett squares and collaborative group problem-solving. The practice was preceded by a diagnostic questionnaire (pre-test) and followed by a post-test and collection of attitudinal data to evaluate its effectiveness. Conceptual learning data were analyzed using Fisher's Exact Test (RStudio v. 4.3 software) due to the small sample size ($N=10$ in the post-test) and the categorical nature of the data. The results showed specific advances in conceptual understanding and strong acceptance of the proposal, highlighted by students as motivating and immersive. The intervention demonstrates that the approach, based on research and collaboration, is a promising and low-cost teaching resource, capable of enriching the teaching of genetics and inspiring the creation of new pedagogical practices.

KEYWORDS: Genetics teaching, Active learning, Forensic cases, Conceptual modeling, Cooperation.

RESUMEN | Este estudio describe la implementación de una práctica educativa innovadora en la enseñanza de genética, dirigida a estudiantes de tercer año de bachillerato en una escuela pública de Mossoró (RN), Brasil. El objetivo principal fue superar la dificultad en la comprensión de la Segunda Ley de Mendel, fomentando el razonamiento probabilístico y la participación estudiantil. Para ello, se desarrollaron casos forenses simulados que se utilizaron en actividades de modelado con cuadros de Punnett y resolución colaborativa de problemas en grupo. La práctica fue precedida por un cuestionario diagnóstico (pretest) y seguida de un postest y la recopilación de datos actitudinales para evaluar su efectividad. Los datos de aprendizaje conceptual se analizaron mediante la prueba exacta de Fisher (software RStudio v. 4.3) debido al tamaño reducido de la muestra ($N=10$ en el postest) y la naturaleza categórica de los datos. Los resultados mostraron avances significativos en la comprensión conceptual y una alta aceptación de la propuesta, que los estudiantes destacaron como motivadora e imersiva. La intervención demuestra que el enfoque, basado en la investigación y la colaboración, es un recurso didáctico prometedor y de bajo coste, capaz de enriquecer la enseñanza de la genética e inspirar la creación de nuevas prácticas pedagógicas.

PALABRAS CLAVE: Enseñanza de genética, Aprendizaje activo, Casos forenses, Modelización conceptual, Cooperación.

1. INTRODUÇÃO

Ensinar genética no Ensino Médio apresenta-se, frequentemente, como um desafio pedagógico significativo: conceitos como alelos, genótipos, fenótipos, probabilidade genética e segregação independente tendem a permanecer abstratos quando trabalhados por meio predominantemente expositivo, o que compromete a transferência dos conhecimentos para situações-problema e a construção de raciocínios probabilísticos (Smith & Wood, 2016; Newman et al., 2021). No contexto nacional e internacional, pesquisas têm destacado a necessidade de articular explicações teóricas com atividades de modelagem e conjunto de problemas autênticos para promover compreensão mais robusta e engajamento discente (Freeman et al., 2014; Reinagel & Bray Speth, 2016; Silva & Reis, 2025). Além disso, os livros didáticos frequentemente apresentam a genética de forma fragmentada ou anacrônica, omitindo os contextos históricos e epistemológicos fundamentais, crítica essa amplamente discutida na literatura (Smith & Wood, 2016; Kampourakis, 2023).

Modelos didáticos, sejam físicos, visuais ou conceituais, têm grande potencial para reduzir o caráter abstrato desses conteúdos, facilitando a construção de representações mentais e o entendimento da lógica da herança genética (Pereira, 2021; Fontenele & Campos, 2017). Contudo, estudos mostram que propostas dessa natureza ainda são escassas e pontuais: uma revisão das seções didáticas da revista *Genética na Escola* indicou que poucas delas promovem modelagem prática e ainda menos trabalham com cruzamentos mendelianos de forma contextualizada (Rodrigues et al., 2022). Isso é crítico, pois sem modelos concretos torna-se mais difícil para os estudantes integrar conhecimentos de Biologia, Matemática e Ciências Ambientais — essenciais para entender variação genética e padrões de herança (Moraes, 2023). Tal integração é fundamental para a formação em STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics), uma vez que a genética moderna é um campo intrinsecamente quantitativo e aplicado. O ensino por meio de metodologias ativas, que envolvem o aluno como construtor do saber, tem sido apontado como caminho promissor para superar tais barreiras, promovendo motivação, participação e melhor retenção de conteúdos, inclusive em genética (Freeman et al., 2014).

Estudos demonstram que o *cooperative learning* ("aprendizagem cooperativa") — especialmente quando estruturado — favorece resultados acadêmicos superiores, melhora atitudes em relação ao estudo e desenvolve habilidades genéricas, como resolução de problemas, comunicação e autoestima (Johnson et al., 2014; Gillies, 2003; Springer et al., 1999; Kyndt et al., 2013). No contexto da genética, o trabalho em grupo é particularmente eficaz, pois a discussão e a co-construção de argumentos durante a resolução de problemas complexos, como o di-bridismo, permitem que os alunos articulem o raciocínio probabilístico e corrijam mutuamente suas representações conceituais do Quadro de Punnett (Reinagel & Bray Speth, 2016; Bolger et al., 2021). Por exemplo, grupos com experiência prévia de cooperação apresentaram desempenho mais eficaz e retenção mais duradoura do conteúdo (*Instructional Science*, 2019). Esses achados sustentam nossa escolha por organizar os alunos em grupos de três, com interação dialógica e responsabilização mútua, favorecendo a co-construção do conhecimento genético e o refinamento de argumentos, especialmente durante a resolução conjunta dos casos investigativos.

Diante desse cenário, este estudo apresenta uma prática didática inovadora aplicada com alunos da 3ª série do Ensino Médio em uma escola pública de Mossoró (RN), buscando responder

à seguinte questão de pesquisa: Em que medida uma abordagem investigativa contextualizada em casos forenses, ancorada na modelagem conceitual e na aprendizagem cooperativa, é capaz de impactar a compreensão da Segunda Lei de Mendel e o engajamento de alunos do Ensino Médio? A prática combinou questionário diagnóstico, trabalho em grupos com resolução de casos forenses fictícios e avaliação pré e pós-intervenção, representando uma proposta consistente, fundamentada na literatura sobre aprendizagem ativa e modelagem conceitual (Reinagel & Bray Speth, 2016; Bolger et al., 2021).

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Desafios no Ensino de Genética

O ensino da genética no Ensino Médio enfrenta desafios conceituais e pedagógicos bem documentados. Conceitos centrais como alelos, genótipo/fenótipo e segregação independente costumam permanecer abstratos para os estudantes quando ensinados por métodos expositivos. Isso prejudica a transferência desses conhecimentos para a resolução de problemas e a construção do raciocínio probabilístico necessário para entender cruzamentos (Smith & Wood, 2016; Newman et al., 2021). Estudos de síntese e pesquisas empíricas indicam que essa dificuldade não decorre apenas da complexidade intrínseca dos conteúdos, mas também de escolhas curriculares e metodológicas que enfatizam enunciados simplificados de Mendel e não promovem modelagem, argumentação e integração entre conceitos quantitativos e conceituais (Reinagel & Bray Speth, 2016; Dewey et al., 2022). A literatura científica mais recente tem se debruçado sobre a importância de romper com a abordagem tradicional, que se limita à memorização e à aplicação mecânica de fórmulas.

A pedagogia atual para o ensino de genética sugere uma mudança de foco para a compreensão de processos e aplicações práticas, em vez da simples repetição de leis. Pesquisas de Dewey et al. (2022) e Newman et al. (2021) apontam para a necessidade de um ensino contextualizado, que use exemplos relevantes do cotidiano, como a genética de doenças, a biotecnologia e a seleção de culturas agrícolas. Essa abordagem, centrada na resolução de problemas autênticos, não só torna o conteúdo mais palpável, mas também motiva os alunos a conectar a teoria à realidade, construindo um entendimento mais profundo e duradouro. Outra perspectiva emergente é o uso de metodologias ativas que fomentem a participação do estudante no processo de aprendizagem. Trabalhos como o de Reinagel e Bray Speth (2016) e Smith e Wood (2016) defendem a implementação de atividades investigativas e baseadas em projetos. Por exemplo, a simulação de cruzamentos com o uso de ferramentas digitais, a análise de árvores genealógicas de famílias famosas ou até mesmo a investigação de traços genéticos na própria sala de aula. Essas atividades transformam o estudante em protagonista de sua própria aprendizagem, desenvolvendo habilidades de pensamento crítico, colaboração e argumentação científica, que são essenciais para a formação de cidadãos mais conscientes e capazes de interpretar informações complexas.

A interdisciplinaridade é um pilar fundamental no ensino moderno da genética. Artigos recentes destacam como a conexão com a matemática, a estatística e até mesmo a bioética é crucial para uma compreensão completa do assunto. A genética não é apenas um campo da biologia, mas uma ciência que se apoia em modelos probabilísticos e implicações sociais e éticas significativas. Autores como Dewey et al. (2022) ressaltam que ao integrar a matemática no

estudo da genética, os alunos podem visualizar e calcular as probabilidades de herança de forma mais intuitiva, superando a dificuldade com o raciocínio abstrato. Da mesma forma, a discussão sobre a ética da clonagem, terapia gênica e testes genéticos, como proposto por Newman et al. (2021), insere o conteúdo em um contexto de debate e reflexão, indo além do aspecto puramente biológico e preparando os alunos para os desafios do século XXI.

2.2 Modelos Didáticos como Ferramentas Cognitivas

A literatura em educação em ciências aponta, com evidência robusta, que abordagens ativas promovem ganhos superiores em desempenho e retenção em disciplinas de Biologia e STEM em geral (Freeman et al., 2014). Em genética especificamente, estratégias baseadas em modelagem conceitual (*Model-Based Learning*), aprendizagem por investigação e estudos de caso têm se mostrado eficazes para eliciar ideias dos alunos, revelar lacunas conceituais e orientar a construção progressiva de modelos explicativos sobre como genes determinam fenótipos (Reinagel & Bray Speth, 2016; Dewey et al., 2022). É crucial distinguir que o modelo didático (como o quadro de Punnett ou um modelo físico) atua como uma ferramenta cognitiva que suporta o processo de modelagem conceitual, permitindo ao aluno visualizar e manipular as relações entre os conceitos abstratos (alelos, segregação, probabilidade) de forma concreta. Além disso, relatórios recentes sugerem que o uso de contextos autênticos — por exemplo, estudos de caso aplicados a problemas de saúde pública ou investigações forenses simuladas — ajuda a situar os conceitos e a desenvolver competências argumentativas e interpretativas por parte dos estudantes (Teixeira, 2023).

No que concerne à especificidade da Segunda Lei de Mendel e do uso do quadro de Punnett em atividades didáticas, há evidências de que a prática repetida com retornos (ex.: exercícios guiados, Punnett 4×4) aliada à discussão crítica e à modelagem facilita a compreensão de segregação independente e das probabilidades fenotípicas em cruzamentos di-híbridos (Newman et al., 2021; Reinagel & Bray Speth, 2016). Ao mesmo tempo, a literatura crítica adverte contra uma “Mendelização” ingênua que reduz a genética a regras propagadas sem o contexto de desenvolvimento e variação biológica; portanto, propostas didáticas eficazes devem articular cruzamentos simples com discussões sobre limitações, variação e implicações éticas ou sociais (Kampourakis, 2023; Smith & Wood, 2016).

2.3 Metodologias Ativas: Aprendizagem por Investigação (IBL)

Aprendizagem por Investigação (*Inquiry-Based Learning - IBL*) A abordagem pedagógica implementada está centrada na Aprendizagem Baseada em Investigação (IBL), que prioriza o papel ativo do aluno na resolução de problemas, no levantamento de hipóteses e na busca por evidências, em vez da transmissão passiva de informação. O IBL, em sua vertente mais estruturada (investigação guiada), foi mobilizado para a construção e a resolução dos casos forenses, exigindo que os estudantes: (i) analisassem as evidências fenotípicas (dados dos casos); (ii) formulassem hipóteses sobre os genótipos (modelagem no Quadro de Punnett); e (iii) chegassem a uma conclusão probabilística (solução do caso). A prática aqui descrita se ancora, portanto, em abordagens *model-based* e em evidências de eficácia de metodologias ativas (Reinagel & Bray Speth, 2016; Freeman et al., 2014; Dewey et al., 2022). A inovação reside na articulação explícita dos casos forenses simulados, que fornecem o contexto autêntico do IBL,

com o ensino de di-hibridismo no Ensino Médio de forma padronizada e replicável, preenchendo uma lacuna na literatura (Teixeira, 2023).

3. DESCRIÇÃO DA PRÁTICA EDUCATIVA E SUA IMPLEMENTAÇÃO

3.1 Elaboração dos Casos Investigativos e aplicação do questionário prévio.

O desenvolvimento dos casos investigativos utilizados na prática seguiu um processo consciente e articulado com princípios de Pesquisa Baseada em Design (PBD) e de Aprendizagem Baseada em Casos (ABC), com o objetivo de criar cenários instrucionais autênticos e educativos. O projeto foi aprovado pelo CEP/UERN com o CAAE 84014024.4.0000.5294 e parecer de número: 7.187.242. Inicialmente, foram identificadas as necessidades específicas do contexto de uma escola de ensino médio estadual em Mossoró (RN), considerando os objetivos pedagógicos centrados na Segunda Lei de Mendel e na habilidade de análise probabilística com quadro de Punnett. Inspirando-se em *frameworks* de PBD, como o apresentado por Amiel e Reeves (2008), o processo envolveu (a) análise do problema educativo — isolamento conceitual dos alunos em genética; (b) definição clara dos objetivos didáticos; (c) elaboração dos cenários preliminares; (d) refinamento após teste piloto; e (e) avaliação contínua da eficácia. Essa abordagem permitiu iterações na concepção dos casos, com ajustes na apresentação dos dados fenotípicos, clareza do enunciado e articulação entre o material conceitual e o cenário narrativo. Além disso, o uso de legislação investigativa (simulada) e narrativa contextualizada reforçou a motivação e o caráter realista do exercício, conforme sugerido por Kolodner et al. (2003) como essencial para promover engajamento profundo. Cada caso foi estruturado para apresentar uma história plausível, personagens envolventes e dados suficientes para exigir raciocínio crítico — tudo suportado por quadro de Punnett para facilitar a transposição da teoria para a prática.

O questionário diagnóstico prévio foi aplicado individualmente e sem tempo limite formal, na aula anterior à intervenção, para capturar o conhecimento dos alunos sobre genética (incluindo conceitos prévios da Primeira Lei de Mendel) e o quadro de Punnett. A aplicação prévia oferece dados confiáveis e, de acordo com Richland, Kornell e Kao (2009), mesmo tentativas de resposta incorretas — chamadas de pré-testes — podem melhorar significativamente a retenção futura, fenômeno conhecido como *pretesting effect*. Assim, o diagnóstico favoreceu tanto o levantamento inicial quanto a preparação mais eficaz da aula.



CASO 01 – FURTO DO LABORATÓRIO



CENA DO CRIME

Era uma noite chuvosa de quinta-feira. O relógio da empresa marcava 23h17 quando o alarme da sala de ciências foi acionado. Ao chegar, o segurança encontrou a porta arrombada e um rastro de passos molhados indo da entrada até o armário de produtos químicos – que estava aberto e parcialmente saqueado. No chão, entre alguns frascos quebrados e um jaleco abandonado, havia uma meia preta com o interior ainda úmido. O laboratório estava vazio. Mas ao lado do armário, um copo descartável foi encontrado com resquícios de saliva, cuidadosamente coletada pela perícia.

A análise genética revelou um perfil único:



Cabelos ruivos



Sardas



Lóbulos das orelhas livres

SUSPEITOS

Os investigadores coletaram informações não diretamente dos suspeitos, mas dos pais de cada um – uma técnica para dificultar que o culpado se esconda. Agora, cabe à sua equipe de cientistas forenses analisar as pistas e descobrir quem está mentindo.



Suspeito A

Pai: cabelos castanhos (RR), sardas (Ff), lóbulos presos (ll);
Mãe: cabelos ruivos (rr), sem sardas (ff), lóbulos presos (ll);

Cor do cabelo

R₁ = castanho
rr = ruivo



Suspeito B

Pai: cabelos castanhos (Rr), sem sardas (ff), lóbulos livres (Ll);
Mãe: cabelos castanhos (RR), sem sardas (ff), lóbulos presos (ll);

Sardas

F = tem sardas
ff = sem sardas



Suspeito C

Pai: cabelos ruivos (rr), sardas (FF), lóbulos livres (LL);
Mãe: cabelos castanhos (Rr), sem sardas (ff), lóbulos presos (ll);

Lóbulos das orelhas

L = livres
ll = presos

Figura 1 Caso investigativo “Furto do Laboratório”, utilizado como recurso didático para o estudo de herança genética. A atividade envolve análise de fenótipos e genótipos em um contexto forense, com rodízio de casos entre grupos e uso de guilões de exploração didática para orientar a investigação e discussão em sala.

3.2 Aplicação da Atividade em Sala

A atividade foi aplicada com alunos da 3ª série do Ensino Médio, totalizando 10 participantes, em dois blocos consecutivos de 50 minutos, em uma única aula. Antes do início, o professor revisou brevemente os conceitos prévios essenciais (alelos, genótipo/fenótipo e Primeira Lei de Mendel) e orientou a estrutura de trabalho em grupo. Os alunos foram divididos aleatoriamente em seis grupos de aproximadamente três integrantes. O papel do professor durante a atividade foi o de facilitador e moderador, circulando entre os grupos, fazendo perguntas de sondagem e guiando o raciocínio sem fornecer as respostas diretas, conforme a filosofia do IBL. Cada equipe recebeu um envelope contendo um caso forense fictício (Di-hibridismo) para resolver, utilizando conhecimentos sobre a Segunda Lei de Mendel e o quadro de Punnett.

Como pode ser visto na figura 1 os casos apresentavam o Guião de Exploração Didática, que incluía detalhes do cenário do crime, a descrição fenotípica dos suspeitos e dos pais dos mesmos. Para ampliar a experiência e expor os alunos a diferentes cenários, foi realizado um rodízio de casos: após concluírem a primeira análise, os grupos trocavam seus casos com outras equipes, promovendo a troca de estratégias e perspectivas. Essa dinâmica reforça a aprendizagem colaborativa e a adaptação ao raciocínio diverso, conforme práticas de Aprendizagem Baseada em Casos, como pode ser visto na Figura 2, que favorecem a construção coletiva e a articulação entre teoria e prática (Wright et al., 2024). Após a conclusão da atividade e a discussão em plenária da resolução dos casos, foi aplicado um questionário diagnóstico pós-prática, estruturalmente similar ao pré-teste com itens sobre segregação independente, probabilidades e coleta da opinião dos alunos acerca da prática. Esse instrumento teve a função de avaliar a eficácia do método e mensurar ganhos de compreensão.



Figura 2 Alunos trabalhando em equipe para resolução dos casos forenses.

4. RESULTADOS

A análise da literatura sobre o ensino de genética revela uma tendência clara e urgente: a necessidade de romper com a abordagem tradicional baseada em memorização e adotar métodos que promovam a compreensão e a aplicação prática, o que motivou a presente intervenção.

4.1 Avaliação da aprendizagem

A avaliação baseou-se numa combinação de instrumentos: (i) um questionário objetivo aplicado um dia antes da intervenção (pré-teste) para mapear conhecimentos prévios; (ii) execução da prática em grupos com casos investigativos e rodízio; (iii) um questionário estruturalmente paralelo aplicado logo após a prática (pós-teste) para aferir ganhos; e (iv) perguntas de opinião e questões abertas para captar percepções dos alunos.

Tabela 1- Distribuição de respostas — Qual a probabilidade de um casal, $AaBb \times AaBB$ de ter um filho $AaBB$. (pré vs. pós)

Item / Alternativa	Pré — n (%)	Pós — n(%)
Pré: N = 17; Pós: N = 10		
1/2	6 (35,3%)	2 (20,0%)
1/8	3 (17,6%)	1 (10,0%)
1/4 (correta)	8 (47,1%)	7 (70,0%)

Fonte: autores (2025)

A Tabela 1 sumariza a distribuição de respostas para o item de conhecimento sobre o cruzamento $AaBb \times AaBB$ para $AaBB$ nos momentos pré-intervenção (N = 17) e pós-intervenção (N = 10). A diferença amostral entre o pré-teste (N=17) e o pós-teste (N=10) deve-se à ausência de alguns alunos no dia da coleta pós-intervenção ou à entrega incompleta da segunda etapa do teste. Isso inviabiliza uma análise pareada (teste t emparelhado ou teste de Wilcoxon). Dada a amostra reduzida (N < 20 no pós-teste) e a natureza categórica dos dados (acerto vs. erro), optou-se pela utilização do Teste Exato de Fisher software R (R Core Team, 2025), versão 4.4.0, por meio do ambiente de desenvolvimento *RStudio* (versão 2025.05.1+513 “Mariposa Orchid”; Posit Software, 2025). para avaliar a associação entre o momento da aplicação (pré vs. pós) e a resposta correta, uma abordagem estatisticamente robusta para essas condições.

Os dados revelam um aumento na proporção de acertos, passando de 47,1% no pré-teste para 70,0% no pós-teste. Embora a mudança percentual de 22,9 pontos sugira um ganho conceitual, a análise estatística com o teste exato de Fisher ($p = 0,424$) não indicou significância. Esse resultado, no entanto, deve ser interpretado com cautela devido ao tamanho amostral reduzido no pós-teste e à ausência de pareamento completo dos participantes.

Apesar da não significância estatística, a magnitude da mudança observada no percentual de acertos é um indicativo importante da eficácia potencial da intervenção. O aumento de 22,9% na proporção de respostas corretas, mesmo com uma amostra pequena, sugere que as metodologias ativas e a contextualização de problemas têm impacto positivo na compreensão do

raciocínio probabilístico em genética. Este resultado converge com a literatura que defende a superação dos desafios conceituais no ensino de genética por meio de abordagens que vão além da memorização de leis (Smith & Wood, 2016; Newman et al., 2021). A aplicação da prática investigativa, que exigiu a manipulação de conceitos em um cenário de problema, pode ter facilitado a abstração e a aplicação do conhecimento, um desafio comum relatado por Dewey et al. (2022).

Tabela 2- Percepção / opinião dos alunos — pós-prática

Pergunta	Alternativa	n(%)
Você achou a atividade interessante?	Sim, muito interessante	10 (100,0%)
A atividade te ajudou a entender melhor como funciona a genética?	Sim, ajudou bastante	5 (50,0%)
	Aprendi parcialmente, mas ainda tenho dúvidas	5 (50,0%)

Fonte: autores (2025)

A Tabela 2 apresenta um resumo das respostas atitudinais coletadas no pós-teste, com N=10, que representa a totalidade dos alunos que participaram da atividade e responderam à seção de opinião do questionário. Os dados qualitativos revelaram uma recepção extremamente positiva à intervenção, com 100% dos participantes avaliando a atividade como "muito interessante". Esse resultado indica um alto nível de engajamento e aceitação da proposta pedagógica.

Embora a totalidade dos alunos tenha apreciado a atividade, a percepção sobre a aquisição de conhecimento foi dividida: 50% dos participantes relataram que a atividade "ajudou bastante" na sua compreensão, enquanto os outros 50% indicaram ter "aprendido parcialmente, mas ainda ter dúvidas". Esses achados, embora não sejam quantitativos no sentido de ganho de conhecimento, oferecem dados valiosos sobre a experiência de aprendizagem.

Essa divisão de percepções está alinhada com a literatura que aborda a complexidade do ensino de genética. Embora estudos (como Freeman et al., 2014, citados na seção 2.2) apontem que abordagens ativas promovam ganhos superiores em desempenho e retenção em comparação com métodos tradicionais, Smith & Wood (2016) e Reinagel & Bray Speth (2016) destacam que metodologias ativas e baseadas em problemas raramente resultam em uma compreensão completa e imediata do conteúdo para todos os alunos, mas servem como um ponto de partida para a construção do conhecimento, promovendo a reflexão e a identificação de lacunas. O fato de metade da turma ainda ter dúvidas após a atividade sugere que a intervenção funcionou como um catalisador para a aprendizagem, e não como um fim em si mesma. O papel da atividade, portanto, é menos o de automatizar procedimentos e mais o de iniciar um processo contínuo de construção de conhecimento, o que pode ser um resultado positivo de acordo com a visão pedagógica de Dewey et al. (2022). A alta taxa de engajamento, por sua vez, corrobora a eficácia de abordagens contextualizadas para motivar os alunos,

conforme sugerido por Newman et al. (2021), criando um ambiente propício para que a aprendizagem continue a se desenvolver mesmo após a finalização da atividade.

4.2 Resultados atitudinais e percepções (qualitativo)

As análises qualitativas das respostas abertas e comentários dos alunos no pós-teste revelaram a emergência de três temas centrais, que se alinham com os resultados atitudinais e quantitativos discutidos anteriormente: (1) motivação e engajamento, (2) imersão contextual dos casos investigativos e (3) o valor do trabalho em grupo. esses temas corroboram a eficácia da abordagem pedagógica adotada. a alta taxa de engajamento (100% de aceitação, conforme tabela 2) é confirmada pelas percepções dos alunos. a atividade foi descrita como uma forma "divertida" e "motivadora" de aprender. Isso está em consonância com o que Newman et al. (2021) apontam em suas pesquisas, nas quais o uso de problemas autênticos e exemplos do cotidiano aumenta a motivação e o interesse dos estudantes por temas complexos da biologia. a contextualização de conceitos abstratos, como os de genética, em cenários do dia a dia, faz com que o aprendizado se torne mais significativo e menos um exercício de memorização.

A imersão contextual foi um fator-chave para a compreensão do conteúdo, como demonstrado pelas falas dos participantes. o aluno a, por exemplo, comentou que a atividade foi "uma forma mais divertida e motivadora" de aprender, o que reforça a ligação entre a contextualização e o engajamento. já o aluno b ressaltou que a prática permitiu "aprender enquanto se diverte", destacando a importância do formato interativo na absorção de um assunto complexo. a dificuldade inerente aos conceitos de genética, amplamente documentada na literatura (Smith & Wood, 2016), pode ser mitigada com esse tipo de abordagem que transforma a abstração em uma experiência tangível. O trabalho em grupo também emergiu como um pilar fundamental da experiência. o aluno c destacou que "a atividade em grupo foi muito boa", reforçando que a colaboração entre os pares potencializa a aprendizagem. a literatura, incluindo o trabalho de Reinagel & Bray Speth (2016), defende que o aprendizado colaborativo e a argumentação científica em grupo são essenciais para a construção do conhecimento.

Ao discutir e resolver os casos investigativos em conjunto, os alunos desenvolveram habilidades de pensamento crítico e de comunicação, o que vai além da simples memorização de conteúdo e contribui para uma formação mais completa. conjuntando evidências objetivas e subjetivas, a intervenção apresenta sinais promissores: houve ganho observável em pelo menos uma medida conceitual específica (probabilidade em di-hibridismo) e forte aceitação discente. Ao mesmo tempo, a autoavaliação dos estudantes indica que a consolidação do procedimento de montagem e interpretação de quadros de Punnett ainda requer reforço, o que é coerente com estudos que apontam que metodologias ativas favorecem compreensão conceitual, mas que a automatização de rotinas exige prática repetida (Freeman et al., 2014; Reinagel & Bray Speth, 2016). Assim, a prática mostrou potencial para melhorar entendimento e motivação, apontando para a necessidade de integrar sessões de treino adicional para fortalecer a dimensão processual.

5. CONCLUSÕES E IMPLICAÇÕES

A prática educativa descrita neste estudo, que combina casos investigativos, modelagem genética e trabalho em grupo, mostrou-se uma estratégia promissora para o ensino de genética no Ensino Médio. A abordagem resultou em um ganho conceitual na proporção de acertos, embora não estatisticamente significativo, especialmente na interpretação de probabilidades mendelianas. Mais importante, o estudo demonstrou que a abordagem é um potente catalisador para o aprendizado, com 100% dos alunos reportando alto interesse e engajamento. A forte aceitação por parte dos alunos, que a classificaram como motivadora, imersiva e colaborativa, sugere que a prática contribui para a dimensão atitudinal e inicia um processo de construção de conhecimento, conforme o referencial teórico. Embora 50% dos alunos ainda indicassem dúvidas após a intervenção, o alto engajamento obtido estabelece um ambiente propício para que o professor prossiga com a consolidação do conteúdo. Para a comunidade de educadores em Ciências, Matemática e Tecnologia, esta proposta é particularmente valiosa devido à sua replicabilidade e acessibilidade. Trata-se de uma intervenção de baixo custo que pode ser implementada em uma única aula com materiais simples, como envelopes e roteiros de casos. Ao oferecer uma solução para a dificuldade comum dos alunos em articular o raciocínio probabilístico com os modelos mendelianos, o protocolo representa um caminho viável para integrar metodologias ativas em redes públicas de ensino. Do ponto de vista de políticas educacionais, a prática reforça a importância de apoiar estratégias investigativas, contextualizadas e cooperativas para fortalecer a aprendizagem em áreas abstratas como a genética. Sugere-se que em estudos futuros sejam incluídos mecanismos para garantir a presença dos alunos em ambas as etapas da avaliação, permitindo o uso de testes estatísticos pareados, que oferecem maior poder para amostras pequenas.

REFERÊNCIAS

- Amiel, T., & Reeves, T. C. (2008). Design-Based Research and the Higher Education Context. *Journal of Computing in Higher Education*, 20(2), 162–179.
- Bolger, M. S., Wiedenhoeft, M. J., & Cooper, M. M. (2021). Supporting scientific practice through model-based inquiry. *CBE—Life Sciences Education*, 20(3), ar45. <https://doi.org/10.1187/cbe.21-05-0128>
- Dewey, J., Hicks, J., Schuchardt, A., et al. (2022). Improving students' understanding of biological variation in experimental design and analysis through a short model-based curricular intervention. *CBE—Life Sciences Education*, 21(1), ar11. <https://doi.org/10.1187/cbe.21-03-0062>
- Fontenele, M. dos S., & Campos, F. L. (2017). Proposta de modelo didático como facilitador do ensino da estrutura do DNA em uma escola pública. *Revista ESPACIOS*, 38(45). <https://www.revistaespacios.com/a17v38n45/17384521.html>
- Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H., & Wenderoth, M. P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(23), 8410–8415. <https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111>
- Gomes, P. R. B., Melo, M. V. R., & Rodrigues, N. F. M. (2024). Inserção de modelos didáticos no ensino de biologia em uma escola do ensino médio em Pinheiro, Maranhão. *Revista Univap*, 30(65). Disponível em: <https://revista.univap.br/index.php/revistaunivap/article/download/4508/2333/16016>
- Kolodner, J. L., Camp, P. J., Crismond, D., Fasse, B. B., Gray, J., Holbrook, J., ... & Ryan, M. (2003). Problem-based learning meets case-based reasoning in the middle-school science classroom: Putting *Learning by Design™* into practice. *Journal of the Learning Sciences*, 12(4), 495–547. https://doi.org/10.1207/S15327809JLS1204_2

- Kampourakis, K. (2023). Teaching School Genetics in the 2020s: Why “Naive” Mendelian Genetics Has to Go. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*.
- Moraes, C. S. (2023). *A genética no ensino de biologia: sua história, importância, desafios e adaptações metodológicas em consonância com a revolução digital* [Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal de São Carlos, Câmpus Araras]. Repositório da UFSCar. <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/17803>
- Nascimento, J. A. S. do, Mendonça, N. A., Vieira, M. M., & Cardoso, J. S. (2023). Práticas pedagógicas e desafios no ensino de genética antes, durante e após a pandemia: revisão de literatura. In *Pesquisas e Avanços em Genética e Biologia Molecular* (pp. 289–XXX). Agron Science. <https://doi.org/10.53934/9786599965807>
- Newman, D. L., Coakley, A., Link, A., Mills, K., & Wright, L. K. (2021). Punnett squares or protein production? The expert–novice divide for conceptions of genes and gene expression. *CBE—Life Sciences Education*, 20(4), ar53. <https://doi.org/10.1187/cbe.21-01-0004>
- Pereira, F. P. (2019). *O ensino de genética na educação básica: revisão bibliográfica e produção de modelos didáticos* [Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual do Piauí]. Repositório UESPI. <https://sistemas2.uespi.br/handle/tede/234>
- Posit Software, PBC. (2025). *RStudio: Integrated development environment for R* (Version 2025.05.1+513 “Mariposa Orchid”) [Computer software]. <https://posit.co/>
- R Core Team. (2025). *R: A language and environment for statistical computing* (Version 4.4.0) [Computer software]. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Reinagel, A., & Bray Speth, E. (2016). Beyond the central dogma: Model-based learning of how genes determine phenotypes. *CBE—Life Sciences Education*, 15(1), ar4. <https://doi.org/10.1187/cbe.15-04-0105>
- Richland, L. E., Kornell, N., & Kao, S. L. (2009). The pretesting effect: Do unsuccessful retrieval attempts enhance learning? *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 15(3), 243–257. <https://doi.org/10.1037/a0016496>
- Rodrigues, L. B., Silva, L. M., Costa, F. J., & Bruckner, F. P. (2022). Analysis of didactic strategies proposed by a Brazilian journal for teaching genetics. *Revista Genética na Escola. REVES*. <https://periodicos.ufv.br/reves/article/view/15056>
- Sam, R. (2024). *Systematic review of inquiry-based learning: assessing impact and best practices in education*. *F1000Research*, 13, 1045. <https://doi.org/10.12688/f1000research.155367.1>
- Silva, E. M. da, & Reis, P. G. R. dos. (2025). Letramento científico voltado ao ativismo: contextos e processos indutivos à construção de elementos políticos. *APeDuC Journal*, 6(1), 17–40. <https://doi.org/10.58152/APeDuCJournal.594>
- Smith, M. K., & Wood, W. B. (2016). Teaching genetics: Past, present, and future. *Genetics*, 204(1), 5–10. <https://doi.org/10.1534/genetics.116.187138>
- Teixeira, A. (2023). Involving forensic students in integrative learning—A project proposal. *Forensic Sciences (MDPI)*, 3(1), 7. <https://www.mdpi.com/2673-6756/3/1/7>
- Wright, A. L., Irving, G. L., Pereira, S., & Staggs, J. (2024). An instructional innovation that embeds group learning in case teaching: The TaBLE Case Method. *Journal of Management Education*. [Advance online publication]. <https://doi.org/10.1177/10525629231216642>