

UTILIZAÇÃO PRÁTICA DE UM MODELO DIDÁTICO SIMULANDO IMAGENS DE AUTORADIOGRAFIAS DE GÊIS PARA AVERIGUAÇÃO DAS FREQUÊNCIAS GÊNICAS E GENOTÍPICAS RELACIONADAS À COLORAÇÃO DAS PENAS DE UMA POPULAÇÃO DE PÁSSAROS

Mauro Osvaldo Medeiros ¹

Sueli Maria Alves ¹

Marcelo Teiji Kimura ²

RESUMO: A Genética de Populações envolve tanto a configuração genética dos indivíduos quanto a transferência de genes de uma geração para a seguinte. Assim, o objetivo principal deste estudo foi investigar métodos inovadores para o ensino de genética de populações. Além disso, busca disseminar informações sobre o DNA, enfatizando sua relevância e funcionamento, bem como oferecer uma visão detalhada sobre a identificação de características fenotípicas por meio de imagens de autorradiografias de gel de agarose. Além disso, o estudo enfatiza o uso do teste de DNA para inferir genótipos associados aos padrões de coloração das penas, utilizando as informações obtidas a partir dessas imagens. Por fim, propõe-se o cálculo das frequências relativas dos diferentes genótipos e alelos identificados na população analisada. Com o objetivo de demonstrar uma análise comparativa entre distintos grupos fenotípicos, foi desenvolvido um modelo pedagógico que se concentra na composição genética dos alelos que influenciam a coloração das penas de uma espécie específica de aves. A pesquisa atual demonstrou que a aplicação do modelo didático proposto como ferramenta de ensino foi eficaz ao fornecer um exemplo de prática investigativa fundamentado no uso do teste de DNA para determinar genótipos associados aos padrões de coloração das penas. Para concluir, o modelo didático que utilizou representações visuais de um grupo de pássaros da mesma espécie com quatro fenótipos de coloração das penas distintos provou ser eficaz, de fácil implementação e econômico. Essas características o tornam um recurso fácil de usar para os educadores e uma alternativa viável para inclusão nos planos de ensino da área.

Palavras-chave: Frequências Gênicas e Genotípicas. Alelo. Modelo Didático. Ensino por investigação.

PRACTICAL USE OF A DIDACTIC MODEL SIMULATING GEL AUTORADIOGRAPHY IMAGES TO DETERMINE GENE AND GENOTYPE FREQUENCIES RELATED TO FEATHER COLORATION IN A BIRD POPULATION

ABSTRACT: Population genetics encompasses both the genetic makeup of individuals and the transmission of genes from one generation to the next. Thus, the primary objective of this study was to investigate innovative methods for teaching population genetics. Furthermore, it seeks to disseminate information about DNA—emphasizing its relevance and function—and to provide a detailed overview of identifying phenotypic traits using agarose gel autoradiography images. The study also highlights the use of DNA testing to infer genotypes associated with feather coloration patterns based on the data obtained from these images. Finally, it proposes calculating the relative frequencies of the various genotypes and alleles identified within the analyzed population. To demonstrate a comparative analysis between distinct phenotypic groups, a pedagogical model was developed that focuses on the genetic composition of alleles influencing feather coloration in a specific bird species. The research demonstrated that applying the proposed didactic model as a teaching tool was effective in providing an example of inquiry-based practice grounded in the use of DNA testing to determine genotypes linked to feather coloration patterns. In conclusion, the didactic model—which utilized visual representations of a group of birds of the same species exhibiting four distinct feather coloration phenotypes—proved to be effective, easy to implement, and cost-efficient. These attributes make it a user-friendly resource for educators and a viable alternative for inclusion in curricula within the field.

Keywords: Gene and Genotype Frequencies. Allele. Didactic Model. Inquiry-based teaching.

¹ Professor Associado do Dep. Biologia ICEN/CUR/UFMT: maurosvaldo@bol.com.br; sumalves@yahoo.com.br;

² Biólogo/UFMT/CUR/UFMT - Rondonópolis, MT., marcelokimura99@gmail.com,

INTRODUÇÃO

A Genética de Populações abrange não apenas a estrutura genética dos indivíduos, mas também a passagem de genes de uma geração para outra. Por isso, estudar Genética de Populações não é uma tarefa simples, pois demanda habilidades de abstração. Nesse aspecto, é fundamental conectar os temas aos contextos que sejam mais relevantes para as vivências dos alunos. Assim, conforme apontado pelos autores Medeiros et al. (2021; 2024), o papel do educador no ensino dessa área é crucial, pois ele funciona como um facilitador do aprendizado, criando situações e escolhendo atividades diversificadas que contribuam para o desenvolvimento dos alunos, utilizando metodologias apropriadas. Portanto, é essencial que o professor faça uso de métodos didáticos que sejam de fácil entendimento, para que os estudantes consigam interpretar e absorver todo o conhecimento que lhes é ensinado. Nesse sentido, um dos principais desafios que os educadores enfrentam ao transmitir o conteúdo de genética de populações é a forma de relacionar a teoria à prática, com o objetivo de tornar o processo de ensino-aprendizagem mais acessível e eficaz.

Atualmente, muitos estão discutindo maneiras de melhorar o aprendizado dos alunos na área de Genética de Populações, um segmento da Biologia que aplica cálculos matemáticos para entender como a genética se distribui e se compõe em diferentes populações, além de examinar como mudanças podem afetar essa composição. Este é um campo que pode ser bastante complicado de entender. Nesse sentido, o desenvolvimento de um método educacional focado na análise da composição genética dos alelos que influenciam a coloração das penas de uma determinada espécie de ave se apresenta como uma solução eficaz para o ensino deste tema. Essa abordagem pode tornar mais fáceis noções como hereditariedade, frequências alélicas e variação nas populações ao abordá-las de forma prática. Adicionalmente, o uso de exemplos concretos e materiais visuais que imitam imagens de autorradiografias de géis, como as diferenças nas cores das penas, torna o aprendizado mais cativante e acessível. Essa metodologia cria uma relação direta entre os conceitos teóricos e os fenômenos observáveis no ambiente natural.

Os pesquisadores Nascimento Júnior e Souza (2009); Medeiros, Alves e Kimura (2024) enfatizaram em seus estudos que os modelos pedagógicos podem facilitar a aprendizagem, atuando como complemento às imagens nos livros didáticos e por serem concretos, possibilitando manuseio e visualização, além de destacar suas características estruturais.

Ao analisarmos as populações sob uma perspectiva genética, um dos principais desafios é identificar a frequência de um gene específico dentro dessa população. Com essa informação, é viável calcular as frequências de diferentes alelos, assim como as proporções de indivíduos com genótipos homo e heterozigotos. Isso também possibilita prever as características genéticas das gerações futuras. Os organismos de uma espécie, seja animal ou vegetal, apresentam muitas semelhanças em função da herança de material genético de ancestrais em comum. Contudo, uma análise mais aprofundada de dois ou mais indivíduos revela que eles não são totalmente iguais. Na verdade, notamos uma variedade de diferenças fenotípicas em várias características. Essas variações refletem a diversidade genética dentro da espécie. Para entender melhor essa natureza da variação, é fundamental introduzir alguns conceitos básicos. Um dos mais importantes é o de caráter, que diz respeito às informações que definem e identificam um indivíduo específico. Por exemplo, ao observar uma população de aves, podemos perceber diferentes fenótipos em relação a um caráter específico, como a coloração das penas, que visualmente distingue cada ave. Essas distintas expressões de um mesmo caráter formam o que chamamos de fenótipo.

De acordo com Ramalho e seus colaboradores (2008), uma população consiste em um grupo de organismos da mesma espécie que habitam a mesma área, apresentando continuidade ao longo do tempo e a capacidade de se reproduzirem de forma aleatória, o que permite a troca

de alelos entre eles. Dessa maneira, uma população natural é constituída por um conjunto de organismos de uma espécie que contém várias famílias, cada uma com diferentes genótipos. Assim, a configuração da população é determinada pela prevalência dos alelos que formam os distintos genótipos das várias famílias.

Em um cenário ideal, uma população natural é composta por todos os indivíduos que, ao se reproduzirem entre si, compartilham um reservatório gênico que é o total das informações genéticas que os membros reprodutivos têm em comum.

O DNA está diretamente vinculado ao conceito de individualidade, pois as características e particularidades que diferenciam cada indivíduo são únicas e determinadas por seus genes. Um gene é uma sequência curta de bases nitrogenadas que especifica alguma característica particular do organismo. No caso dos pássaros, por exemplo, existe um gene específico que contém as informações genéticas responsáveis pela cor da plumagem.

Segundo Almeida (2001), esses genes são parte do genoma ou genótipo, que inclui todo o material genético presente nas células. Assim, a investigação do DNA para identificar os genes de uma pessoa baseia-se na singularidade da composição genética de cada indivíduo, a qual determina suas características físicas e fenotípicas. Como observado por Farah (1997), o DNA de uma pessoa é o mesmo em todas as células do corpo, independentemente de ser retirado da raiz de um cabelo, de uma pena, do sangue ou do sêmen. Esses conceitos tornam viável a criação de um perfil molecular exclusivo para cada pessoa a partir de uma amostra de quase qualquer tipo de tecido, já que o DNA carrega informações suficientes para distinguir cada gene dos demais.

A vasta quantidade de informações geradas pelas descobertas recentes em biologia molecular e genética tem transformado e desafiado o ensino de biologia. Muitas vezes, os alunos encontram dificuldades para ligar tópicos como o ciclo celular, a estrutura dos ácidos nucleicos, a dinâmica molecular do DNA e tecnologias avançadas como a engenharia genética. Nesse cenário, os modelos de ensino surgem como ferramentas eficazes, proporcionando apoio prático para lidar com conteúdo complexo, especialmente nas áreas de biologia molecular e genética das populações.

Portanto, este trabalho teve como meta principal explorar métodos inovadores para o ensino de genética de populações. Ademais, procura divulgar informações acerca do DNA, ressaltando sua importância e funcionamento, assim como proporcionar uma visão detalhada sobre a identificação de características fenotípicas através de imagens de autorradiografias de gel de agarose. A pesquisa também destaca a utilização do teste de DNA na inferência de genótipos relacionados aos padrões de coloração das penas, empregando os dados obtidos dessas imagens. Finalmente, sugere calcular as frequências relativas dos diversos genótipos e alelos encontrados na população examinada.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho consistiu em uma pesquisa com abordagens quantitativa e qualitativa, realizada na Universidade Federal de Rondonópolis, localizada no Estado de Mato Grosso. Participaram da pesquisa 28 estudantes do Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas do Instituto de Ciências Exatas e Naturais, dos quais 36% eram do sexo masculino e 64% do sexo feminino, com idades variando entre 18 e 36 anos.

Foi criado um modelo pedagógico (Tabela 1 e Figura 1) com a finalidade de ilustrar uma análise comparativa entre diferentes grupos fenotípicos, focando na composição genética dos alelos que afetam a coloração das penas em uma espécie específica de aves. Dentro desse esquema, buscou-se reforçar o ensino de genética populacional por meio da interdisciplinaridade, com o intuito de proporcionar aos alunos uma visão mais abrangente da aplicação dos conceitos genéticos em áreas como biotecnologia. Dessa maneira, os alunos

podem entender os processos biológicos e suas aplicações em vários setores. De acordo com Teodoro & Campos (2016), é essencial que educadores utilizem exemplos práticos e atividades concretas, tornando a aprendizagem mais envolvente e dinâmica. Para tal, é vital que os estudantes possuam uma formação robusta em biologia molecular e celular, além de conceitos básicos de matemática. Para a realização da atividade, foi concebida uma sequência didática estruturada em duas aulas de 50 minutos cada. A pesquisa foi dividida em duas fases, organizadas conforme a seguinte descrição:

A primeira sessão, que teve um tempo total de 50 minutos, foi voltada para uma introdução teórica sobre o tema abordado, possibilitando que os alunos se situassem no contexto, entendessem e se engajassem com o tópico. Nessa fase inicial, foi sugerido que os estudantes fizessem conexões entre o aprendizado de genética e outras disciplinas da Biologia, como Biotecnologia, Ecologia e Evolução. A meta era prepará-los para calcular frequências de genes e genótipos, além de interpretar imagens de autorradiografia de géis de agarose. Um enfoque especial foi dado ao estudo do DNA, especialmente no que diz respeito à detecção de genes alelos que se relacionam com padrões fenotípicos.

Na segunda sessão, que também teve 50 minutos, um experimento foi conduzido com um modelo que representava um grupo de 100 aves da mesma espécie ilustrado na Tabela 1 e na Figura 1. Este experimento evidenciou a variação fenotípica na coloração da plumagem de uma espécie de pássaro específica. O objetivo era que os alunos identificassem as classes genotípicas com base nas diferentes tonalidades das plumagens e apresentassem diversos métodos para calcular as frequências de genes e genótipos relativos à identificação genética.

Estratégia do modelo didático proposto

Considere que estamos analisando a variação fenotípica de um conjunto de aves (Tabela 1). Para isso, realizamos uma amostragem dessa população e contamos a quantidade de indivíduos em cada fenótipo. Para alcançar esse objetivo, foram coletadas amostras de 100 indivíduos desse grupo, e o DNA extraído foi amplificado via PCR. Os dados coletados, mostrados na Figura 1, representam a distribuição das características observadas, com quatro tipos fenotípicos reconhecidos (VF. A, VF. B, VF. C e VF. D).

Tabela 1. Relação numérica fenotípica que ocorre na plumagem de uma população de pássaros da mesma espécie: (VF. A, VF. B, VF. C e VF. D). Fonte: Os autores.

Variedades Fenotípicas em estudo			
			
VF. A	VF. B	VF. C	VF. D
36	48	12	4

A Figura 1 foi elaborada para demonstrar os resultados obtidos por meio da eletroforese em gel, servindo como um recurso educacional acessível para os estudantes de biologia. Esse recurso promove a manipulação, criação e aplicação prática do conhecimento, ao mesmo tempo

que proporciona aos alunos a chance de cultivar uma consciência crítica, responsabilidade e curiosidade pela pesquisa, habilidades fundamentais para uma formação acadêmica de qualidade. A abordagem utilizada incluiu a coleta de informações através de um experimento (Figura 2), que examinou as variações fenotípicas em uma população de pássaros da mesma espécie com base na coloração das penas. Os dados coletados foram organizados em tabelas para facilitar a compreensão das várias escolhas feitas pelos alunos durante a atividade. A identificação dos alelos e fenótipos foi realizada por meio de autorradiografia. Nas imagens do gel, as faixas retangulares de cores azul (14 pb), preta (23 pb), amarela (25 pb) e vermelha (31 pb) simbolizam as bandas que representam o DNA ou os alelos. O tamanho das moléculas de DNA, correspondente a essas bandas, é geralmente medido em pares de bases (pb).

O padrão das bandas vistas no gel permite diferenciar se o pássaro é homozigoto ou heterozigoto. Amostras de pássaros homozigotos mostram uma única banda em uma posição determinada, indicando que possuem duas cópias do mesmo alelo. Em contrapartida, amostras de pássaros heterozigotos revelam duas bandas diferentes, relacionadas a alelos de tamanhos variados para o mesmo locus. Na Figura 2, as quatro classes de fenótipos de plumagem resultam da presença de quatro alelos diferentes em um único locus. O gene A é responsável pelas variações fenotípicas VF. A1, VF. A2, VF. A3 e VF. A4. O gene B determina as variantes VF. B1, VF. B2 e VF. B3. Por outro lado, o gene C é fundamental para os fenótipos VF. C1 e VF. C2. Finalmente, o gene D é responsável especificamente pelo fenótipo VF. D1.

Variedades Fenotípicas Amostradas											
Bandas (Pb)		VF. A1	VF. A2	VF. A3	VF. A4	VF. B1	VF. B2	VF. B3	VF. C1	VF. C2	VF. D1
31											
25											
23											
14											
Nº pesquisado		04	16	08	08	16	16	16	04	08	04

Figura 1. Modelo didático confeccionado com perspectivas de utilização no processo de ensino e aprendizagem de genética de populações e biotecnologia, mostrando relação numérica de polimorfismos que ocorrem naturalmente na plumagem de uma população de pássaros da mesma espécie: (VF. A, VF. B, VF. C e VF. D).

Fonte: Os autores.

Cada estudante recebeu com antecedência o material referente à aula, podendo fazer uso dos diagramas e resumos que estavam escritos no quadro. Com isso, os dados do DNA, que mostravam as imagens de uma mesma espécie de aves (Figura 2), foram empregados para realizar a análise do perfil genético da população, a fim de que os alunos pudessem formular uma avaliação com base na dinâmica populacional proposta pelo teorema de Hardy-Weinberg (HARDY, 1908; WEINBERG, 1908 apud BEIGUELMAN, 2008).

Dessa forma, a condução do estudo beneficiou a compreensão das interações entre alelos mendelianos em grupos de indivíduos. Os critérios adotados para caracterizar a população de aves foram:

- Frequências fenotípicas: a incidência relativa dos vários fenótipos;

- Frequências genotípicas: a incidência relativa dos diversos genótipos;
- Frequências gênicas ou alélicas: a incidência relativa dos distintos genes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao estudar as características genéticas de populações, um dos principais desafios é determinar a proporção de um gene particular dentro do grupo. Com esses dados, é viável calcular a frequência dos alelos, assim como a incidência de genótipos homozigotos e heterozigotos, além de realizar projeções sobre gerações futuras.

Na Tabela 2, é possível notar que todas as variedades de aves de uma mesma espécie apresentam traços semelhantes, consequência da transmissão de genes de ancestrais compartilhados. Contudo, ao analisarmos detalhadamente quatro indivíduos dessa espécie, fica evidente que eles não são idênticos; na verdade, há diferenças fenotípicas em diversas características. Essas diferenças são decorrentes de modificações na sequência de nucleotídeos do DNA, que não causam efeitos patológicos diretos e, em geral, o alelo modificado aparece em uma frequência superior a 1% na população.

Para compreendermos melhor a natureza dessa variação, é necessário antes esclarecer alguns conceitos. O principal é o que chamamos de caráter, ou seja, as informações que permitem identificar um pássaro. Como exemplo, ao analisarmos a população de pássaros nas Tabelas 1 e 2, identificamos quatro fenótipos distintos relacionados a uma característica específica, no caso, a cor da plumagem, que distingue cada indivíduo. Essas variações na manifestação de um determinado caráter são conhecidas como fenótipos. Assim, no caso da característica cor da plumagem, os fenótipos podem ser classificados como: VF. A, VF. B, VF. C e VF. D.

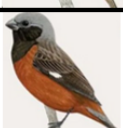
De acordo com Nei (1987); Nei & Kumar (2000); Suzuki, Griffiths e Miller (2002); Beiguelman (2008); Amabis & Martho (2010); Griffiths et al. (2016); Frohlich et al. (2020); Medeiros et al. (2021; 2022); Candeloro & Frohlich (2026) todos os indivíduos de uma mesma espécie compartilham os mesmos caracteres, o que torna a variação observada entre eles uma manifestação da chamada variação fenotípica. Essa variação pode ser atribuída a diferenças no ambiente ao qual esses indivíduos estão expostos ou a distinções em suas constituições genéticas. A variação genética, por sua vez, surge de alterações nas constituições genéticas resultantes de mutações. Esse tipo de variação é um fenômeno universal entre as espécies biológicas e afeta praticamente todas as características de uma espécie. Nesse contexto, foram identificadas diferenças na coloração das plumagens em uma população de pássaros examinada.

A Tabela 2 foi organizada considerando a quantidade de exemplares observados em cada classe genotípica de pássaro, além de apresentar a frequência relativa e o percentual correspondente às variedades fenotípicas VF. A, VF. B, VF. C e VF. D. Assim, na amostra de 100 pássaros analisados, constatou-se que 36 pertenciam à categoria VF. A, 48 à VF. B, 12 à VF. C e 4 à VF. D. O cálculo das frequências fenotípicas a partir do número de pássaros seguiu o seguinte procedimento:

1. A quantidade de aves com plumagem do tipo VF. A foi documentada em 36 indivíduos, o que resulta em uma taxa de 36/100, correspondendo a 0,36 ou 36,0%.
2. Para a plumagem do tipo VF. B, o total alcançou 48 aves, o que representa 48/100, equivalente a 0,48 ou 48,0%
3. Para a plumagem do tipo VF. C, foram notados 12 indivíduos, resultando em uma proporção de 12/100, que corresponde a 0,12 ou 12,0%.
4. Finalmente, em relação à plumagem do tipo VF. D, foram identificados 4 indivíduos, o que representa uma relação de 4/100, ou seja, 0,04 ou 4,0%.

Ao calcular as frequências registradas: $0,36 + 0,48 + 0,12 + 0,04$ resulta em 1. Isso indica que, para os quatro fenótipos que segregam de maneira independente, a soma das frequências é igual a 1 ou 100%. Portanto, foi aplicado o princípio de Hardy-Weinberg para calcular as frequências relativas e percentuais das variedades fenotípicas observadas na amostra. Estes cálculos foram feitos com base nas frequências absolutas observadas na população, que mostraram os seguintes índices: 0,36 para aves da variedade VF. A (36,0%), 0,48 para aves da variedade VF. B (48,0%), 0,12 para aves da variedade VF. C (12,0%) e 0,04 para aves da variedade VF. D (4,0%).

Tabela 2. Frequências de ocorrências absolutas, relativas e percentuais de polimorfismos que ocorrem naturalmente na plumagem de uma população de pássaros da mesma espécie: (VF. A, VF. B, VF. C e VF. D). Fonte: Os autores.

Variedades	Identificações	Frequência absoluta	Frequência relativa	%
	VF. A	36	0,36	36,0
	VF. B	48	0,48	48,0
	VF. C	12	0,12	12,0
	VF. D	4	0,04	4,0
Total		100	1,00	100,0

A Figura 2 demonstra a configuração de uma eletroforese utilizando gel de agarose, onde cada banda (pb) é indicada por traços marcados com retângulos em cores específicas: azul para 14 pb, preto para 23 pb, amarelo para 25 pb e vermelho para 31 pb. Este arranjo de bandas no gel sugere que os perfis genéticos examinados podem ser tanto homozigotos quanto heterozigotos. Indivíduos homozigotos possuem uma única banda situada em um ponto determinado, o que evidencia a existência de duas cópias idênticas do mesmo alelo. Por outro lado, indivíduos heterozigotos mostram duas bandas distintas em cores, representando alelos variados no mesmo locus.

Na avaliação dos padrões de bandas 23 pb, 25 pb e 31 pb realizada neste trabalho, foi notada uma correlação entre certas bandas e as características das plumagens das aves. As aves com plumagem VF. A foram reconhecidas pela banda de 14 pb (marca azul). Aquelas com plumagem VF. B apresentaram a banda de 23 pb (marca preta). A banda de 25 pb (marca amarela) foi relacionada às aves de plumagem VF. C. Finalmente, aves com plumagem VF. D demonstraram a banda de 31 pb (marca vermelha).

Nota-se que o padrão das bandas de 14 pb, 23 pb, 25 pb e 31 pb é exclusivo para cada uma das variedades fenotípicas estudadas: VF. B, VF. C e VF. D, respectivamente. Ao avaliar os resultados do teste de DNA, observou-se que quatro bandas de 14 pb (indicadas por retângulos azuis) se sobrepõem nas variedades fenotípicas VF. A1, VF. A2, VF. A3 e VF. A4.

Em contraste, três entre quatro bandas de 23 pb (retângulos pretos) são idênticas nas variedades VF. B1, VF. B2 e VF. B3; duas entre quatro bandas de 25 pb (retângulos amarelos) são compartilhadas pelas variedades fenótípicas VF. C1 e VF. C2; e somente uma banda de 31 pb (retângulo vermelho) é comum à variedade fenotípica VF. D1.

Nesse cenário, a banda de 14 pb (azul) atuou como dominante, representando o gene A, enquanto estava acompanhada pela banda de 23 pb (preta) que corresponde ao gene B, a banda de 25 pb (amarela) que se relaciona ao gene C e a banda de 31 pb (vermelha) identificada como gene D, todos demonstrando seus respectivos fenótipos. Por outro lado, a banda de 23 pb (preta), correspondente ao gene B, demonstrou maior dominância em relação à banda de 25 pb (amarela), que representa o gene C, e à banda de 31 pb (vermelha), que é o gene D, evidenciando seus fenótipos. A banda de 25 pb (amarela), que se refere ao gene C, se comportou como dominante ao se associar à banda de 31 pb (vermelha), que é o gene D, expressando o fenótipo. Em contraste, a banda de 31 pb (vermelha), que representa o gene D, foi recessiva, não apresentando seu fenótipo na presença dos genes dominantes A, B e C.

297 Palavra

A variação genética que determina a coloração da plumagem nesta espécie de aves é controlada por um único gene, que possui quatro variantes, organizadas em uma hierarquia de dominância que se segue: $14 > 23 > 25 > 31$. Os alelos correspondem aos genes A, B, C e D, respectivamente. Conforme observado por Almeida (2001), o DNA está vinculado ao conceito de individualidade, pois as características e os traços que diferem entre os indivíduos são únicos para cada um e definidos por seus genes. Esses genes estão localizados no genoma ou genótipo, que abrange todo o material genético contido nas células do organismo. Os alelos estão situados em cromossomos homólogos, que se organizam em pares nas células diploides. A presença de alelos exige a homologia dos cromossomos, com um cromossomo derivado do pai e o outro da mãe. No caso dessa espécie, como apresentado nas Tabelas 1 e na Figura 1, os indivíduos diploides possuem dez possíveis arranjos genéticos: 14/14, 14/23, 14/25, 14/31, 23/23, 23/25, 23/31, 25/25, 25/31 e 31/31. Essas combinações resultam em quatro grupos de fenótipos diferentes: VF. A, VF. B, VF. C e VF. D (ver Tabela 1 e Figura 2).

Cada combinação de genes possibilita que os seres vivos criem dois formatos de gametas, assegurando a herança genética da espécie por meio da reprodução sexual. As alterações nas sequências genéticas que são comuns entre indivíduos da mesma espécie são chamadas de polimorfismos genéticos. A estrutura genética de um grupo específico de aves é determinada pela quantidade de genótipos e alelos presentes entre os indivíduos. Geneticamente, isso é descrito pelas combinações de genótipos possíveis: AA, AB, AC, AD, BB, BC, BD, CC, CD e DD. Os padrões de bandas observados no gel oferecem dados sobre os genótipos das aves analisadas. Se o perfil molecular mostra apenas uma banda em uma posição específica, isso indica que o indivíduo possui duas cópias do mesmo alelo, sendo classificado como homozigoto: AA (14/14), BB (23/23), CC (25/25) e DD (31/31). Por outro lado, se forem vistas duas bandas diferentes, representando alelos de tamanhos variados para o mesmo locus, a ave é considerada heterozigoto: AB (14/23), AC (14/25), AD (14/31), BC (23/25), BD (23/31) e CD (25/31). Em detalhes, entre os 100 pássaros examinados neste estudo, foi possível notar a seguinte distribuição genotípica: 4 aves com o genótipo AA, 16 com AB, 8 com AC, 8 com AD, 16 com BB, 16 com BC, 16 com BD, 4 com CC, 8 com CD e 4 com DD. A partir da amostra total, foram reconhecidos 28 indivíduos homozigotos (4 AA, 16 BB, 4 CC e 4 DD) e 72 heterozigotos (16 AB, 8 AC, 8 AD, 16 BC, 16 BD e 8 CD). Finalmente, conforme as propriedades de dominância genética desses alelos, as bandas detectadas podem estar diretamente ligadas a fenótipos visíveis na população.

O conceito de heterozigosidade refere-se a uma avaliação da diversidade genética dentro de uma população, levando em conta um locus específico. Essa medida revela a quantidade de indivíduos que são heterozigotos para esse locus e é comumente aplicada para estudar a

variabilidade genética em populações silvestres. No caso desta espécie em particular, que foi examinada em um grupo composto por 100 aves (como demonstrado na Tabela 1 e na Figura 2), constatou-se que 72 aves foram classificadas como heterozigotas, resultando em uma heterozigosidade observada de 72,0%.

Figura 2: Relação entre o número de pássaros observados na população da Figura 1 e variedades de fenótipos (VF. A, VF. B, VF. C e VF. D) e fórmulas genéticas.

Variedades Fenotípicas Amostradas											
Bandas (Pb)		VF. A1	VF. A2	VF. A3	VF. A4	VF. B1	VF. B2	VF. B3	VF. C1	VF. C2	VF. D1
31											
25											
23											
14											
Nº pesquisado		04	16	08	08	16	16	16	04	08	04
Formula genética		14/14	14/23	14/25	14/31	23/23	23/25	23/31	25/25	25/31	31/31
Classes genotípicas		A/A	A/B	A/C	A/D	B/B	B/C	B/D	C/C	C/D	D/D

A tabela 3 foi criada a partir do número de registros de cada tipo genotípico de aves, possibilitando a visualização da frequência relativa e da porcentagem das várias formas fenotípicas vinculadas às combinações genéticas: 14/14, 14/23, 14/25, 14/31, 23/23, 23/25, 23/31, 25/25, 25/31 e 31/31. As categorias fenotípicas foram organizadas da seguinte maneira: VF. A (dividida em VF. A1, VF. A2, VF. A3 e VF. A4), VF. B (que inclui VF. B1, VF. B2 e VF. B3), VF. C (formada por VF. C1 e VF. C2) e VF. D (contempla VF. D1). Para calcular as frequências genotípicas de cada categoria fenotípica conforme a quantidade de aves vistas, utilizamos o método a seguir:

1. De acordo com as informações mostradas na Figura 2, constatou-se que existiam 4 aves com o fenótipo VF. A1 e o genótipo AA, o que equivale a 4% do total.
2. Na avaliação da Figura 2, notou-se que a quantidade de aves apresentando o fenótipo VF. A2 e o genótipo AB era de 16, representando 16% do total analisado.
3. Conforme indicado na Figura 2, foram encontrados 8 pássaros categorizados como VF. A3, com o genótipo AC, o que resulta em 8% do total.
4. A partir da Figura 2, foi verificado que o número de pássaros com o fenótipo VF. A4 e genótipo AD também se igualou a 8, totalizando 8% da amostra.
5. Segundo as informações da Figura 2, a variedade fenotípica VF. B1 com o genótipo BB apresentou um total de 16 indivíduos, correspondendo a 16% da amostra.
6. Segundo a análise da Figura 2, observou-se que havia 16 pássaros na categoria VF. B2 com o genótipo BC, resultando em uma proporção de 16% do total.
7. Consoante à identificação apresentada na Figura 2, a variedade fenotípica VF. B3 com genótipo BD registrou 16 indivíduos, o que representa 16% da amostra total.
8. A análise da Figura 2 revela que tiveram 4 pássaros da variedade fenotípica VF. C1 e genótipo CC, correspondendo a 4% da totalidade.

9. Conforme os dados da Figura 2, foram documentados 8 pássaros do fenótipo VF. C2 e genótipo CD, totalizando uma proporção de 8% da amostra.

10. Finalmente, segundo as informações na Figura 2, reconheceu-se que 4 indivíduos pertenciam à variedade fenotípica VF. D1 e genótipo DD, o que equivale a 4% do total.

Foi possível evidenciar que, entre os 100 pássaros estudados, 28 têm uma constituição genética homozigota, distribuídos da seguinte maneira: 4 AA, 16 BB, 4 CC e 4 DD. Em contrapartida, 72 pássaros mostram genótipos heterozigotos, com as combinações genéticas assim divididas: 16 AB, 8 AC, 8 AD, 16 BC, 16 BD e 8 CD. É importante notar que o fenótipo recessivo VF. D1 está vinculado exclusivamente ao genótipo DD.

Na avaliação dessa espécie particular, constatou-se que, entre os 100 pássaros analisados, 72 foram identificados como heterozigotos, levando a uma taxa de heterozigosidade observada de 72,0%.

Com base nos fundamentos da lei de Hardy-Weinberg, para que uma população se mantenha em equilíbrio genético, são necessárias as seguintes condições:

1. A população precisa ser panmítica, ou seja, deve ser suficientemente grande para que ocorra cruzamento aleatório.
2. Deve ser formada por indivíduos da mesma espécie, que se reproduzam sexualmente e vivam dentro de limites geográficos definidos, permitindo a livre intercruzamento.
3. Não deve sofrer influência de fatores evolutivos externos que possam modificar suas frequências genéticas.

Tabela 3. Frequências de ocorrência absoluta e relativa dos diferentes genótipos de plumagem de pássaros estimados de acordo com a variabilidade fenotípica indicada pela eletroforese (Figura 2).

Fenótipos	Variabilidade	Formulas genotípicas	Genótipos	Frequência absoluta	Frequência relativa	%
	VF. A1	14/14	AA	04	0,04	4,0
	VF. A2	14/23	AB	16	0,16	16,0
	VF. A3	14/25	AC	08	0,08	8,0
	VF. A4	14/31	AD	08	0,08	8,0
	VF. B1	23/23	BB	16	0,16	16,0
	VF. B2	23/25	BC	16	0,16	16,0
	VF. B3	23/31	BD	16	0,16	16,0
	VF. C1	25/25	CC	04	0,04	4,0
	VF. C2	25/31	CD	08	0,08	8,0
	VF. D1	31/31	DD	04	0,4	4,0
Total	04	10	10	100	1,00	100,0

A Tabela 4 apresenta a avaliação dos totais projetados de alelos no grupo gênico que determina as cores da plumagem em uma amostra de 100 aves. O estudo examina informações populacionais relacionadas aos quatro alelos A, B, C e D, mostrados nos indivíduos nas Figuras 1 e 2. O propósito desta análise é contribuir para a identificação das frequências estimadas de presença relativa, percentual e do total global de alelos no grupo gênico responsável pela coloração das penas.

Na população analisada, que é composta por 100 aves, há um total de 200 genes disponíveis (dois genes por ave). A distribuição dos alelos é a seguinte:

- Para o alelo A: a quantidade é determinada por $4 \times 2 = 8$ nos indivíduos AA, $16 \times 1 = 16$ nos indivíduos AB, $8 \times 1 = 8$ nos indivíduos AC e $8 \times 1 = 8$ nos indivíduos AD, resultando em um total de 40 genes A. Com um total de 200 genes, a frequência do alelo A é de 20%.

- Para o alelo B: existem $16 \times 2 = 32$ genes nos indivíduos BB, $16 \times 1 = 16$ nos indivíduos AB, $16 \times 1 = 16$ nos indivíduos BC e $16 \times 1 = 16$ nos indivíduos BD. O total de genes B chega a 80. Assim, a frequência do alelo B no grupo gênico é de 40%.

- Com relação ao alelo C: foram identificados $4 \times 2 = 8$ genes em indivíduos do tipo CC, $8 \times 1 = 8$ em pessoas do tipo AC, $16 \times 1 = 16$ em indivíduos do tipo BC e $8 \times 1 = 8$ nos do tipo CD. O total de genes C também é de 40, resultando em uma frequência relativa de 20%.

- Concernente ao alelo D: a distribuição é de $4 \times 2 = 8$ genes para indivíduos DD, $8 \times 1 = 8$ para indivíduos AD, $16 \times 1 = 16$ para indivíduos BD e, mais uma vez, $8 \times 1 = 8$ para indivíduos CD. Isso leva a um total de 40 genes D, com uma frequência de 20%.

Entre os quatro alelos estudados, embora a ordem de dominância seja definida como $A > B > C > D$, o alelo B demonstrou a maior frequência na população, totalizando 80 genes, o que equivale a uma frequência de 40%. Os outros alelos (A, C e D) mostraram quantidades iguais, cada um atingindo 40 genes e uma frequência correspondente de 20% no total avaliado.

Tabela 4. Frequências de ocorrências absolutas dos diferentes genes alelos que condicionam as cores da plumagem do grupo de pássaros conforme informações coletadas na população (Figuras 1 e 2).

Fenótipo	Variabilidade	Formulas genéticas	Genótipos	Nº Aves	Nº estimado de genes alelos			
					14 (A)	23 (B)	25 (C)	31 (D)
	VF. A1	14/14	AA	04	8			
	VF. A2	14/23	AB	16	16	16		
	VF. A3	14/25	AC	08	8		8	
	VF. A4	14/31	AD	08	8			8
	VF. B1	23/23	BB	16		32		
	VF. B2	23/25	BC	16		16	16	
	VF. B3	23/31	BD	16		16		16
	VF. C1	25/25	CC	04			8	
	VF. C2	25/31	CD	08			8	8
	VF. D1	31/31	DD	04				8
Total	04	10	10	100	40	80	40	40

A análise da população, conforme exposta nas Tabelas 1 a 4, envolve 100 aves, resultando em 200 genes (dois genes por ave). Para calcular as frequências alélicas dos genes A, B, C e D, é preciso determinar a frequência de cada fenótipo: VF. A, VF. B, VF. C e VF. D, que estão sendo demonstradas na Figura 2, divididas em genótipos: fenótipo VF. A (VF. A1, VF. A2, VF. A3 e VF. A4), fenótipo VF. B (VF. B1, VF. B2 e VF. B3), fenótipo VF. C (VF. C1 e VF. C2), e fenótipo VF. D (VF. D1).

Dessa forma, com base nos genótipos obtidos pela eletroforese (Figura 2), foram registrados os totais absolutos dos genótipos que pertencem a cada categoria fenotípica: VF. A1 (AA = 4), VF. A2 (AB = 16), VF. A3 (AC = 8), VF. A4 (AD = 8), VF. B1 (BB = 16), VF. B2 (BC = 16), VF. B3 (BD = 16), VF. C1 (CC = 4), VF. C2 (CD = 8) e VF. D1 (DD = 4), conforme apresentado também na Tabela 3. Com esses dados, foram calculadas as frequências relativas dos alelos presentes na população.

O número de genes A é calculado como $4 \times 2 = 8$ nos indivíduos do tipo AA, $16 \times 1 = 16$ nos indivíduos do tipo AB, $8 \times 1 = 8$ nos indivíduos do tipo AC e $8 \times 1 = 8$ nos indivíduos do tipo AD. Assim, a soma total dos genes A resulta em $8 + 16 + 8 + 8 = 40$. Com um total de 200 genes, a proporção de A é $40/200$, que equivale a 0,2 ou 20%.

A quantidade total de genes B é $16 \times 2 = 32$ nos indivíduos do tipo BB, $16 \times 1 = 16$ nos indivíduos do tipo BC, $16 \times 1 = 16$ nos indivíduos do tipo BD e $16 \times 1 = 16$ nos indivíduos do tipo AB. Portanto, a soma dos genes B totaliza $32 + 16 + 16 + 16 = 80$. Com um total de 200 genes, a proporção de B é $80/200$, ou seja, 0,4 ou 40%.

A quantidade de genes C é $4 \times 2 = 8$ nos indivíduos CC, $8 \times 1 = 8$ nos indivíduos CD, $8 \times 1 = 8$ nos indivíduos AC e $16 \times 1 = 16$ nos indivíduos BC. Portanto, a soma total de genes C é $8 + 8 + 8 + 16 = 40$. Como existem 200 genes ao todo, a proporção de C é $40/200$, que corresponde a 0,2 ou 20%.

O número de genes D é $4 \times 2 = 8$ nos indivíduos DD, $8 \times 1 = 8$ nos indivíduos AD, $16 \times 1 = 16$ nos indivíduos BD e $8 \times 1 = 8$ nos indivíduos CD. Assim, a soma total dos genes D resulta em $8 + 8 + 16 + 8 = 40$. Com 200 genes no total, a proporção de D é $40/200$, ou seja, 0,2 ou 20%.

Na Tabela 4, a quantidade total de genes encontrados nos gametas dos 100 pássaros analisados e ilustrada na Figura 1 é chamada de pool genético. Cada ave possui dois genes ligados à cor da plumagem, totalizando 200 genes localizados nesses loci. Especificamente, foram encontrados 40 genes A, 80 genes B, 40 genes C e 40 genes D, cada um desempenhando um papel nas plumagens na seguinte hierarquia de dominância VF. $A > VF$. $B > VF$. $C > VF$. D . Com esses dados, é possível calcular a frequência relativa dos alelos, com a condição $A + B + C + D = 1$ sendo satisfeita.

Ao fazer uma análise separada dos 200 alelos, o alelo B se destacou como o mais comum, representando 40,0% ou uma frequência relativa de 0,4 (calculada como $80/200$). Os alelos A, C e D, por outro lado, apresentaram frequências menores e equivalentes, cada um correspondendo a 20,0% ou uma frequência relativa de 0,2 (calculadas como $40/200$ cada). Se essa amostra refletisse uma população em equilíbrio de Hardy-Weinberg, teríamos a equação $(A + B + C + D)^2 = 1$, onde A, B, C e D representam as frequências dos quatro alelos. Esta informação é relevante para avaliar os resultados dos programas de reintrodução na natureza de indivíduos que foram criados em cativeiro, visando minimizar a perda de diversidade biológica devido ao desmatamento em extensas áreas.

Com base na referida fórmula, é viável calcular a frequência de um genótipo particular a partir da frequência de um alelo, ou vice-versa, contanto que a população permaneça em equilíbrio. Conforme destacado por Medeiros, Alves e Kimura (2022), uma população que está em equilíbrio de Hardy-Weinberg conserva suas frequências alélicas sem alterações ao longo do tempo. Ademais, as proporções genotípicas tenderão a um padrão fixo com uma relação estável entre os diferentes genótipos.

No campo da genética de populações, as frequências dos alelos A, B, C e D são comumente expressas como p, q, r e s, respectivamente. De acordo com os fundamentos do equilíbrio de Hardy-Weinberg, a reprodução neste grupo ocorre de maneira aleatória, resultando em gametas que contêm os genes A, B, C e D em quantidades constantes. Isso garante que as frequências dos genótipos AA, AB, AC, AD, BB, BC, BD, CC, CD e DD se mantenham constantes através das gerações.

A Tabela 5 a seguir ilustra a variação das frequências dos genes A, B, C e D, que são responsáveis pela distribuição dos fenótipos VF. A, VF. B, VF. C e VF. D, conforme é apresentado na Figura 2.

Assim, neste contexto do equilíbrio de Hardy-Weinberg para a amostra analisada, a relação pela fórmula $(A + B + C + D)^2 = 1$ é reafirmada, na qual 0,2 representa a frequência do

alelo A, 0,4 corresponde à frequência do alelo B, 0,2 é a frequência do alelo C e 0,2 refere-se à frequência do alelo D (Tabela 5).

Diante disso, levando em conta as frequências alélicas apresentadas, podemos entender a formação de pássaros nesta população com as combinações genóticas: AA, AB, AC, AD, BB, BC, BD, CC, CD e DD, considerando que essa população está isenta de interações evolutivas, é panmítica e encontra-se em equilíbrio de Hardy-Weinberg.

Tabela 5. Frequências absolutas e relativas estimadas de genes alelos de acordo com o fenótipo.

Variedades	Identificação = Banda	Gene determinante	Frequência absoluta	Frequência relativa	%
	VF. A = banda 14	Banda 14 = gene A	Gene A = 40	Gene A = 0,2	20,0
	VF. B = banda 23	Banda 23 = gene B	Gene B = 80	Gene B = 0,4	40,0
	VF. C = banda 25	Banda 25 = gene C	Gene C = 40	Gene C = 0,2	20,0
	VF. D = banda 31	Banda 31 = gene D	Gene D = 40	Gene D = 0,2	20,0
Total	4 bandas	4 genes	200 genes	1,00	100,0

Conforme autores como Griffiths et al. (2006; 2008; 2013); Beiguelman (2008); Amabis & Martho (2010); Borges-Osório; Robinson (2013), o modelo de Hardy-Weinberg sugere que a reprodução sexual preserva a variação genética de forma inalterada a cada nova geração, na qual não existem forças evolutivas atuando além daquelas oriundas da própria reprodução.

Dessa forma, o modelo de Hardy-Weinberg atua como um recurso para determinar se uma população está evoluindo ou não. Para uma melhor compreensão, pense na presença de quatro alelos referentes ao locus que define a cor das penas (VF. A, VF. B, VF. C e VF. D) dentro de um grupo de pássaros da mesma espécie (Figura 1). Dentre as quatro classes fenotípicas avaliadas, a hierarquia de dominância dos alelos foi estabelecida como $A > B > C > D$.

O alelo A será simbolizado por (p), o alelo B por (q), o alelo C por (r) e o alelo D por (s). A soma das frequências desses quatro alelos deve resultar em 100%, portanto: $p + q + r + s = 1$.

Para a característica em questão, temos os seguintes genótipos: AA, AB, AC, AD, BB, BC, BD, CC, CD e DD. Para que um pássaro apresentasse o genótipo (AA), seria preciso um óvulo (A) unido a um espermatozoide (A). Assim, a proporção do genótipo (AA) será p multiplicado por p, o que resulta em p ao quadrado. O mesmo raciocínio se aplica ao genótipo (BB), cuja proporção será q multiplicado por q, resultando em q ao quadrado. Para o genótipo (CC), a proporção será r multiplicado por r, ou seja, r ao quadrado. Igualmente, para o genótipo (DD) a proporção será s multiplicado por s, resultando em s ao quadrado.

Por outro lado, para o pássaro heterozigoto (AB), este resultará da união de um espermatozoide (A) com um óvulo (D), ou vice-versa. A probabilidade de ocorrer essa

combinação é expressa por: 2 vezes p vezes q, ou seja, $2pq$. Constatamos, portanto, as seguintes proporções para os genótipos heterozigotos: $(AB) = 2pq$, $(AC) = 2pr$, $(AD) = 2ps$, $(BC) = 2qr$, $(BD) = 2qs$, e $(CD) = 2rs$.

Dessa forma, estima-se que a soma das frequências alélicas ($p + q + r + s$) deve totalizar 1, assim como a soma das frequências genotípicas, definida pela equação derivada do polinômio: $(p^2 + 2pq + 2pr + 2ps + q^2 + 2qr + 2qs + r^2 + 2rs + s^2)$ também deve ser igual a 1, indicando a viabilidade dos indivíduos com os alelos em análise. Nesta fórmula, p, q, r e s correspondem às proporções dos quatro alelos (A, B, C e D), baseado no total de 100 aves observadas e classificadas, como demonstrado nas Figuras 1 e 2.

A Tabela 6 ilustra as correlações entre as proporções dos alelos A, B, C e D, e as frequências genotípicas AA, AB, AC, AD, BB, BC, BD, CC, CD e DD nesta população.

De acordo com a teoria do equilíbrio de Hardy-Weinberg, é esperado que essa população se reproduza de forma aleatória, assegurando que os gametas que possuem os alelos A, B, C e D sejam produzidos proporcionalmente. Isso garante a conservação das frequências genotípicas para cada combinação viável dos alelos: AA, AB, AC, AD, BB, BC, BD, CC, CD e DD através das gerações.

Durante a herança genética, os genótipos parentais são separados na formação dos gametas, os quais contêm os alelos de cada locus para criar novas combinações genéticas nos descendentes. A diversidade genética de uma população é expressa pela frequência gênica, que indica a proporção dos vários alelos em cada locus. Isso nos ajuda a compreender a herança genética da população e a avaliar sua composição.

Ao examinar a distribuição das frequências dos quatro alelos ($A = p$, $B = q$, $C = r$, $D = s$) nos 100 pássaros fenotipados analisados neste experimento, observou-se que as frequências genotípicas em cada categoria fenotípica são dadas por VF. A (dividida em VF. A1, VF. A2, VF. A3 e VF. A4), VF. B (dividida em VF. B1, VF. B2 e VF. B3), VF. C (composta por VF. C1 e VF. C2) e VF. D (exclusivamente VF. D1), seguem a regra da Lei de Hardy-Weinberg. Esta lei pode ser expressa pela soma dos elementos do polinômio expandido $(p + q + r + s)^2 = 1$, resultando na fórmula algébrica: $(p^2 + 2pq + 2pr + 2ps + q^2 + 2qr + 2qs + r^2 + 2rs + s^2) = 1$. Neste contexto, p, q, r e s representam as frequências de cada um dos quatro alelos.

Essa fórmula reflete a distribuição das combinações alélicas ($A = p$, $B = q$, $C = r$, $D = s$) resultantes da segregação genética e será utilizada para calcular cada um dos coeficientes mencionados, através de uma análise detalhada de cada termo e sua relação com os genótipos previstos: $(AA) = p^2$, $(BB) = q^2$, $(CC) = r^2$, $(DD) = s^2$, $(AB) = 2pq$, $(AC) = 2pr$, $(AD) = 2ps$, $(BC) = 2qr$, $(BD) = 2qs$ e $(CD) = 2rs$. Assim:

1. Na análise da variedade fenotípica VF. A1, observou-se que os pássaros apresentam o genótipo AA, o qual é quantificado pelo coeficiente p^2 . A frequência esperada para este genótipo é de $(0,2)^2$, resultando em uma proporção de 0,04, ou 4,0%.

2. Em relação à variedade fenotípica VF. A2, verificou-se que os pássaros possuem o genótipo AB, representado pelo coeficiente $2pq$. A frequência esperada neste caso é calculada como $2 \times 0,2 \times 0,4$, o que corresponde a uma proporção de 0,16, ou 16,0%.

3. Na variedade fenotípica VF. A3, constatou-se que os pássaros exibem o genótipo AC, identificado pelo coeficiente $2pr$. A frequência esperada para esta combinação é de $2 \times 0,2 \times 0,2$, resultando em uma proporção de 0,08, equivalente a 8,0%.

4. Para a variedade fenotípica VF. A4, a análise indicou que os pássaros contêm o genótipo AD, expresso pelo coeficiente $2ps$. A frequência esperada é de $2 \times 0,2 \times 0,2$, o que totaliza uma proporção de 0,08, ou 8,0%.

5. Na análise da variedade fenotípica VF. B1, foi identificado que os pássaros possuem o genótipo BB, representado pelo coeficiente q^2 . Com base nos dados fornecidos, a frequência esperada foi de 16 indivíduos, o que representa uma proporção de 16/100, ou 0,16, correspondendo a 16,0%.

6. A análise da variedade fenotípica VF. B2 revelou que os pássaros possuem o genótipo BC, com frequência esperada de 0,16 ou 16,0%, calculada como $2qr$ ($2 \times 0,4 \times 0,2$).

7. Para a variedade fenotípica VF. B3, constatou-se que os pássaros exibem o genótipo BD, representado por $2qs$. A frequência esperada foi de 16 indivíduos, resultando em uma proporção de 0,16 ou 16,0%.

8. Na variedade fenotípica VF. C1, os pássaros apresentaram o genótipo CC, com frequência esperada de 0,04 ou 4,0%, obtida pela fórmula r^2 ($0,2$)².

9. A análise da variedade fenotípica VF. C2 indicou que os pássaros possuem o genótipo CD. A frequência esperada, calculada como $2rs$ ($2 \times 0,2 \times 0,2$), foi de 0,08 ou 8,0%.

10. Para a variedade fenotípica VF. D1, observou-se que os pássaros exibem o genótipo DD. A frequência esperada, representada por s^2 , foi de ($0,2$)² ou 0,04, correspondendo a 4,0%.

Ao examinar a distribuição das frequências dos quatro alelos ($A = p$, $B = q$, $C = r$, $D = s$) nos 100 pássaros estudados, constatou-se que as frequências genotípicas estão em conformidade com a Lei de Hardy-Weinberg. Esta lei é expressa pela expansão do polinômio $(p + q + r + s)^2 = 1$, resultando na fórmula algébrica $(p^2 + 2pq + 2pr + 2ps + q^2 + 2qr + 2qs + r^2 + 2rs + s^2) = 1$. Neste contexto, p , q , r e s representam as frequências de cada um dos quatro alelos identificados.

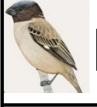
Em relação às combinações genotípicas, as classes AB ($2pq$), BB (q^2) e BC ($2qr$) demonstraram ser as mais frequentes, representando 64% dos pássaros estudados, como evidenciado na Tabela 4. Em contrapartida, a soma das frequências dos genótipos homozigotos ($AA = p^2$, $BB = q^2$, $CC = r^2$ e $DD = s^2$) alcançou apenas 28%. Os genótipos heterozigotos, por sua vez, apresentaram uma predominância significativa, totalizando 72% ($AB = 2pq$, $AC = 2pr$, $AD = 2ps$, $BC = 2qr$, $BD = 2qs$ e $CD = 2rs$).

A frequência de heterozigotos para o locus A ($AB = 2pq$, $AC = 2pr$, $AD = 2ps$) correspondeu a 32% da população total, um valor derivado dos termos do polinômio expandido $(p + q + r + s)^2 = 1$. Para o locus B ($BC = 2qr$, $BD = 2qs$), a frequência foi de 32%, e para o locus C ($CD = 2rs$), foi de 8%.

Notavelmente, a frequência de heterozigotos para os locos A e B foi consideravelmente superior à do locus C, situando-se em 0,125 ou 12,5%. Essa diferença pode ser atribuída à maior dominância dos genes A e B em relação ao gene C.

Ao analisar as combinações alélicas A, B, C e D entre os 100 pássaros avaliados (Figura 2), foram identificadas dez classes genotípicas distintas: AA, AB, AC, AD, BB, BC, BD, CC, CD e DD. Estas classes, fundamentadas na dinâmica populacional descrita pelo teorema do equilíbrio de Hardy-Weinberg (HARDY, 1908; WEINBERG, 1908 apud BEIGUELMAN, 2008), foram apresentadas na Tabela 6, detalhando tanto os números absolutos quanto as porcentagens. Essa apresentação oferece uma visão clara e detalhada da prevalência relativa de cada combinação genotípica no grupo estudado, facilitando a comparação entre elas.

Tabela 6. Frequências esperadas de ocorrência dos diferentes genótipos e números estimados de aves de acordo com o fenótipo que são esperados em populações em equilíbrio genético estável, conforme a equação: $(p + q + r + s)^2 = 1$, sendo p, q, r e s as frequências dos genes A, B, C e D.

Fenótipo	Variabilidade	Formulas genéticas	Genótipos	Frequência esperada	Frequência com Nº estimada da variabilidade	Nº estimado de fenótipos
	VF. A1	14/14	AA	p^2	$(0,2)^2 = 0,04.100 = 4$	$(p^2 + 2pq + 2pr + 2ps) =$ $4 + 16 + 8 + 8 = 36$
	VF. A2	14/23	AB	$2pq$	$2(0,2.0,4) = 0,16.100 = 16$	
	VF. A3	14/25	AC	$2pr$	$2(0,2.0,2) = 0,08.100 = 8$	
	VF. A4	14/31	AD	$2ps$	$2(0,2.0,2) = 0,08.100 = 8$	
	VF. B1	23/23	BB	q^2	$(0,4)^2 = 0,16.100 = 16$	$q^2 + 2qr + 2qs =$ $16 + 16 + 16 = 48$
	VF. B2	23/25	BC	$2qr$	$2(0,4.0,2) = 0,16.100 = 16$	
	VF. B3	23/31	BD	$2qs$	$2(0,4.0,2) = 0,16.100 = 16$	
	VF. C1	25/25	CC	r^2	$(0,2)^2 = 0,04.100 = 4$	$r^2 + 2rs =$ $4 + 8 = 12$
	VF. C2	25/31	CD	$2rs$	$2(0,2.0,2) = 0,08.100 = 8$	
	VF. D1	31/31	DD	s^2	$(0,2)^2 = 0,04.100 = 4$	$S^2 =$ 4
Total	04	10	10	$(p + q + r + s)^2 = 1$	100	$(p^2 + 2pq + 2pr + 2ps + q^2 + 2qr + 2qs + r^2 + 2rs + 2rs + s^2) = 1$

Em genética, uma população ultrapassa a simples concentração de indivíduos; ela é caracterizada como um grupo de parceiros ou pares. A Genética de Populações não se limita a examinar a composição genética dos indivíduos, mas também inclui as interações da transmissão de genes entre gerações. Durante esse processo, os genótipos dos progenitores são fragmentados, pois cada um contribui com um de seus alelos, por meio de seus gametas, para a descendência, levando à formação de um novo conjunto de genótipos nos filhos. Dessa forma, embora os genes de uma população mantenham sua continuidade ao longo das gerações, os genótipos por meio dos quais esses genes se expressam não permanecem os mesmos. Assim, entender as dinâmicas genéticas e suas interações em populações é essencial para o desenvolvimento em áreas como Evolução, Biotecnologia, Matemática e Genética em geral. Embora os conceitos da Genética de Populações sejam relativamente simples, a implementação prática pode enfrentar dificuldades, especialmente por causa do intervalo entre gerações. Portanto, é crucial que os educadores considerem o processo de ensino-aprendizagem dessa área, procurando responder de maneira eficaz às questões: o que ensinar, por que ensinar e como aprimorar a aprendizagem.

Conforme observado por Pavan et al (1998); Campos et al (2008); Dias (2008); Valadares & Resende (2009); Agamme (2010); Bezerra et al (2010); Corrêa & Silva Junior (2010); Temp (2011); Mendonça & Santos (2011); Duso (2012); Guilherme et al (2012); Hermann & Araújo (2013); Calderano et al (2014); Klauberg (2015); Lima & Camarotti (2015); Pereira et al (2015); Medeiros et al (2021. 2022) e Medeiros, Alves & Kimura (2022), o uso de modelos didáticos em sala de aula é uma ferramenta eficaz para combinar teoria e prática. Essa abordagem oferece aos alunos a oportunidade de participar ativamente das aulas, interagir em grupos e, o mais importante, compreender processos que envolvem conceitos abstratos. Além disso, ajuda a compreender a ligação entre o conhecimento científico e a vida cotidiana, uma vez que Giordan e Vecchi (1996) observam que os modelos servem como ferramentas úteis para os professores navegarem nos desafios da conceptualização complexa.

Matos e Cols (2009), enfatizam a necessidade de promover métodos de ensino alternativos que conectem o conteúdo com atividades práticas, aumentando assim o envolvimento dos alunos, fomentando o trabalho em equipe e incentivando a criatividade, enquanto Griffiths et al (2000), sublinham a importância de fornecer aos professores estratégias

eficazes e recursos adaptáveis para lidar com as restrições da sala de aula, todos destinados a superar os desafios do ensino e da compreensão da Genética, particularmente da Genética Populacional.

Estudos conduzidos por Medeiros, Alves e Kimura (2022; 2023; 2024; 2025; 2026) enfatizam a importância de métodos pedagógicos que englobam diferentes tipos de interação, favorecendo a construção do conhecimento pelos alunos. Essas abordagens consideram as vivências pessoais, percepções únicas, saberes prévios e as maneiras específicas de entender as informações. Nesse contexto, a pesquisa atual propôs uma sequência de ensino mais envolvente e dinâmica, com o objetivo de ajudar os alunos a perceberem a relação entre biotecnologia e a genética das populações. Além disso, busca capacitá-los a explorar as conexões entre Biologia e Matemática, promovendo a união entre genética das populações e frequências, ao mesmo tempo que incentiva uma abordagem interdisciplinar enriquecedora.

Os modelos didáticos desempenham um papel importante no auxílio aos professores, principalmente quando se trata de conteúdos que os alunos geralmente consideram difíceis, como temas de genética abordados em biologia. Nesse cenário, conforme apontado por Temp & Bartholomei-Santos (2014; 2018); Medeiros, Alves e Kimura (2025; 2026), é responsabilidade do professor criar oportunidades de melhoria por meio de pesquisas conceituais aprofundadas na escolha de um modelo de ensino. Esta metodologia visa melhorar o processo pedagógico, utilizando o modelo para esclarecer fenômenos ou processos específicos e assim facilitar a construção do conhecimento em todo o processo de ensino e aprendizagem.

Baptista (2003) destaca a importância de guiar os futuros professores de Ciências Biológicas com base em suas experiências e ideias prévias. O objetivo é expandir suas estratégias de ensino e melhorar os materiais didáticos utilizados. Nesse contexto, Carvalho e Gil-Pérez (2001) enfatizam a relevância de incentivar atividades que fomentem a aprendizagem significativa. Essas práticas devem se concentrar na resolução de problemas e no aprimoramento de uma compreensão mais abrangente dos processos educacionais, contribuindo para fortalecer a construção do conhecimento científico.

A execução dessa tarefa enfatizou a importância de utilizar o modelo didático como um complemento à aula teórica. A criação das Tabelas 1, 2, 3 e 4 ajudou os estudantes a compreender melhor os resultados obtidos, o que contribuiu para o aprimoramento do raciocínio matemático ligado ao tema estudado. As respostas relacionadas à análise mostrada na Figura 2 evidenciam essa constatação. Barradas et al. (2002) e Medeiros, Alves e Kimura (2022) afirmam que o modelo didático é um sistema figurativo que representa a realidade de forma esquematizada e concreta, facilitando a compreensão dos alunos. Trata-se de uma construção que funciona como um referencial, uma estrutura que possibilita a concretização de ideias ou conceitos, tornando-os mais fáceis de serem compreendidos.

Durante a dinâmica, ficou evidente o envolvimento dos participantes, que mostraram atenção às instruções para a montagem do modelo didático. O engajamento dos licenciandos no processo de aprendizagem foi notável, com uma melhoria clara na habilidade de tomar decisões coletivas e no fortalecimento das relações interpessoais. Os resultados obtidos indicam que a utilização desse modelo didático foi eficiente, possibilitando que os alunos entendessem que toda população possui um reservatório gênico exclusivo, que a distingue, e que esse reservatório é transmitido ao longo das gerações. Ademais, eles notaram que, no âmbito de uma população, o indivíduo possui uma relevância passageira, sendo os genes alelos que ele carrega e transmite às gerações futuras o componente de maior importância.

Com essa atividade, os estudantes reforçaram os conceitos teóricos a respeito da polialelia, também denominado de alelos múltiplos, e entenderam que os genes que determinam características hereditárias específicas podem apresentar diferentes estados ou formas alternativas, conhecidas como alelos. No exemplo analisado, a sequência genética responsável

pela cor da plumagem no grupo de pássaros (Figura 2) era formada por quatro alelos organizados em ordem decrescente: $A > B > C > D$. O gene A determinava as variedades (VF. A1, VF. A2, VF. A3 e VF. A4), o gene B afetava as variedades (VF. B1, VF. B2 e VF. B3), o gene C determinava a plumagem das variedades (VF. C1 e VF. C2), ao passo que o gene D resultava no fenótipo (VF. D1).

Para caracterizar a composição genética do grupo de pássaros, os licenciandos identificaram e detalharam os genótipos homozigotos (4 AA, 16 BB, 4 CC e 4 DD) e os genótipos heterozigotos (16 AB, 8 AC, 8 AD, 16 BC, 16 BD, 8 CD), bem como os fenótipos correspondentes a esses genótipos (conforme ilustrado nas Tabelas 2, 3 e 4). Com essa metodologia, os estudantes puderam ver as conexões entre alelos, genótipos e fenótipos de uma maneira diferente.

O parâmetro da frequência de alelos diz respeito à participação relativa de um alelo particular em uma população. De acordo com autores como Nei (1987), Nei & Kumar (2000), Suzuki, Griffiths e Miller (2002), Sérgio Sobrinho (2003); Ringo (2005); Beiguelman (2008), Amabis & Martho (2010), Linhares & Gewandszajder (2010); Pierce (2012); Borges-Osório; Robinson (2013); Griffiths et al. (2016) e Medeiros et al. (2021; 2022), os genótipos são resultado da combinação aleatória de gametas masculinos e femininos no processo reprodutivo. Assim, as frequências genotípicas refletem a frequência relativa desses genótipos em uma população específica.

As frequências relativas dos alelos e das classes genotípicas foram calculadas utilizando fórmulas matemáticas de probabilidade, conhecidas na biologia como equações baseadas no Princípio do Equilíbrio de Hardy-Weinberg. Nesse cenário, ideias interdisciplinares, como a utilização do polinômio $(A + B + C + D)^2 = 1$, tiveram um papel facilitador no processo de aprendizado, tornando as aulas mais interativas e atraentes. Essa metodologia ajudou a esclarecer como calcular as frequências relativas de cada alelo, genótipo ou fenótipo, como demonstrado nas Tabelas 3 e 4.

Durante a aplicação do modelo didático sugerido, foram evidentes o entusiasmo e o interesse crescente dos participantes, especialmente ao identificarem a ligação entre biotecnologia, biologia e matemática. Essa integração possibilitou a visualização da distribuição polinomial como um instrumento fundamental para prever as frequências genotípicas de homozigotos e heterozigotos, utilizando as frequências alélicas obtidas em amostras populacionais de aves (Figura 1). Essas previsões são muito importantes para os estudos em genética de populações, pois ajudam a entender como os genes se comportam dentro desses grupos de organismos.

Conforme afirmam Medeiros, Alves e Kimura (2026), a implementação de modelos educacionais na escola contribui para que as aulas sejam mais interessantes e agradáveis, promovendo uma união entre aprendizado e diversão. Essa harmonia transforma a escola em um espaço mais acolhedor e estimulante para os alunos. Com isso, os estudantes passam a se sentir mais satisfeitos ao ir à escola, enquanto absorvem e trocam seus saberes com os colegas. Nesse contexto, a livre expressão e o aprimoramento de competências são estimulados, utilizando recursos visuais que facilitam o processo de aprendizado.

CONCLUSÕES

O estudo atual mostrou que o uso do modelo didático sugerido como instrumento de ensino foi eficiente ao apresentar um exemplo de prática investigativa baseado na utilização do teste de DNA para inferir genótipos ligados aos padrões de coloração das penas.

Além de tornar o processo de ensino-aprendizagem mais fácil, a atividade provou ser eficaz ao despertar a curiosidade, estimular a criatividade e motivar os alunos a procurar mais

informações. Eles conseguiram determinar que os quatro fenótipos distintos eram resultado de quatro alelos distintos em um mesmo locus, o que gerou 10 combinações genotípicas possíveis.

Durante a experiência em sala de aula, observou-se que os alunos estavam muito envolvidos e motivados ao trabalhar com seus próprios dados coletados. Eles foram desafiados a trabalhar com esses dados para calcular as frequências gênicas e alélicas e determinar a probabilidade de ocorrência dessas frequências.

Além disso, a metodologia utilizada destacou a relevância de atividades interdisciplinares que unam biologia, biotecnologia e matemática para fomentar o crescimento tanto cognitivo quanto pessoal dos alunos. Esse tipo de abordagem requer pensamento crítico, raciocínio lógico, interpretação e, ao final do processo investigativo, habilidade para apresentar os resultados de forma clara e fundamentada.

Acredita-se que essa abordagem tenha favorecido tanto a compreensão dos conceitos abordados quanto a promoção da interdisciplinaridade no ensino, especialmente ao utilizar conteúdos estatísticos focados na genética de populações por meio do modelo didático sugerido.

Assim, espera-se que metodologias semelhantes sejam progressivamente mais implementadas e aprimoradas nos contextos educacionais. Elas podem tornar o ensino da genética de populações mais envolvente, interessante e motivador, despertando mais curiosidade nos alunos e incentivando sua participação ativa em sala de aula.

Em conclusão, o modelo didático, que empregou representações visuais de um grupo de pássaros da mesma espécie com quatro fenótipos de coloração das penas diferentes, mostrou-se eficiente, de fácil aplicação e econômico. Essas qualidades fazem dele um recurso acessível para educadores e uma opção viável para inclusão nos planos de ensino da área.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGAMME, A. L. D. A. O lúdico no ensino de genética: a utilização de um jogo para entender a meiose. 2010 80f. Monografia (Graduação) Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2010.
- ALMEIDA, M. C. Investigação de paternidade e DNA: aspectos polêmicos. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2001. p. 63.
- AMABIS, J. M.; MARTHO, G. R. Biologia: Biologia das Populações. v. 3. São Paulo. Moderna, 2010.
- BAPTISTA, G. C. S. A Importância da Reflexão sobre a Prática de Ensino para a Formação Docente Inicial em Ciências Biológicas. In: *Ensaio: Pesquisa em educação em ciências*, Vol. 5, no 2. FaE, UFMG, Belo Horizonte, MG, outubro, 2003.
- BARRADAS, C. M.; RIPPEL, J. L.; JUSTINA, L. A. D. O uso de modelos didáticos como facilitador do ensino de Genética. In XII Semana de Biologia, Cascavel, 2002.
- BEIGUELMAN, B. A Interpretação Genética da Variabilidade Humana. Ribeirão Preto, SP: Editora SBG (Sociedade Brasileira de Genética), 2008. 152 p.
- BEZERRA, N.P. A. et al. Elaboração, Utilização e Avaliação de Jogos Didáticos para o Ensino da Genética aos Alunos do Ensino Médio. In: X Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão – JEPEX. Recife, out. 2010.
- BORGES-OSÓRIO, M. R.; ROBINSON, W. M. Genética humana. 3. ed. Porto Alegre: Artes Médicas, 2013. viii, 775p.
- CALDERANO, C. M. et al. Confecção e utilização de modelos didáticos como ferramenta para o ensino de citologia. In: II CONGRESSO NACIONAL DE FORMAÇÃO DE PROFESSORES E XII CONGRESSO ESTADUAL PAULISTA SOBRE FORMAÇÃO DE EDUCADORES, 2., 12., 2014, Águas de Lindóia. *Anais...* São Paulo, 2014. p. 10543-10553.
- CAMPOS, I. M. I.; BORTOLOTO, T. M.; FELICIO, A. K. C. A produção de jogos didáticos para o ensino de ciências e biologia: uma proposta para favorecer a aprendizagem. UNESP – SP, 2008.
- CANDELORO, M. M.; FROHLICH, P. B. M. Avaliação estatística do índice de ligação genética como prova científica no contexto jurídico para demonstrar a conexão hereditária biológica entre mãe, filho e o suposto pai, fundamentada em pesquisa por eletroforese. *Revista Biodiversidade – ISSN 2177-1332*, v.25, n.2, 2026 - pág. 143 – 165.
- CARVALHO, A. M. P. de & GIL-PÉREZ, D. *Formação de professores de ciências*. 5ªed. Edit. Cortez, São Paulo, 2001.
- CORRÊA, D. M. V. B.; SILVA JUNIOR, E. F. Ciência vai à escola: o Lúdico na Educação em Ciências. Universidade Federal do Paraná – Museu de Ciências Naturais, 2010.
- DIAS, M. A. S. Dificuldades na aprendizagem dos conteúdos de biologia: Evidências a partir das provas de múltipla escolha do vestibular da UFRN (2001- 2008). 2008. 275p Tese (Tese de

Doutorado em Educação) Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, 2008.

DUSO, L. O uso de modelos no ensino de biologia. Encontro Nacional de Didática e Práticas de Ensino, v. 16, p. 432-441, 2012. UNICAMP - Campinas – 2012.

GIORDAN, A.; DE VECCHI, G. As origens do saber: das concepções dos aprendentes aos conceitos científicos. Trad. Bruno Charles Magne. 2. ed. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996.

GRIFFITHS, A. J. F.; WESSLER, S. R.; LEWONTIN, R. C.; CARROLL, S. B.; DOEBLEY, J. Introdução a genética. 10ª edição. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013.

GRIFFITHS, A. J.F; WESSLER, S. R; LEWONTIN, R. C.; CARROLL, S. B. **Introdução à Genética**. 11. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.

GUILHERME, B. C. et al. Análise de propostas de ensino de genética através do uso de modelos didáticos. In: VI CÓLOQUIO INTERNACIONAL EDUCAÇÃO E CONTEMPORANEIDADE, 6., 2012, São Cristóvão. **Anais...** Sergipe: UFS, 2012.

FARAH, S. B. **DNA: segredos e mistérios**. São Paulo: Sarvier, 1997.

FROHLICH, P. B. M.; CANDELORO, M. M.; KIMURA, M. T.; MEDEIROS, M. O. O DNA como ferramenta de identificação humana e a sua relevância para a atuação jurídica. Biodiversidade - v.19, n.1, p. 150-161, 2020a.

FROHLICH, P. B. M.; CANDELORO, M. M.; BASOLI, L. P.; BASOLI, C. B. M.; KIMURA, M. T.; MEDEIROS, M. O. A tecnologia do DNA e sua importância prática e jurídica para contestar a ascendência clandestina de aves silvestres reproduzidas em cativeiro com finalidade comercial. Biodiversidade - v.19, n.3, pág. 220-239. 2020b.

HARDY G. H. Mendelian proportions in a mixed population. Science 28:49-50. 1908.

HERMANN, F. B.; ARAÚJO, M. C. P de. Os jogos didáticos no ensino de genética como estratégias partilhadas nos artigos da revista genética na escola. In: ENCONTRO REGIONAL SUL DE ENSINO DE BIOLOGIA, 6., 2013, Santo Ângelo. **Anais...** Rio Grande do Sul: EREBIOSUL, 2013.

KLAUBERG, S. D. W. O Lúdico no Ensino da biologia uso de um modelo didático para ensino da divisão celular mitótica. 2015. 21 f. Monografia (Especialização em Genética para Professores do Ensino Médio) - Universidade Federal do Paraná, Nova Londrina, 2015.

LIMA, J. P. de; CAMAROTTI, M. F. Ensino de ciências e biologia: o uso de modelos didáticos em porcelana fria para o ensino, sensibilização e prevenção das parasitoses intestinais. In: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, 2., Campina Grande, 2015. **Anais...** Paraíba: CONEDU, 2015.

LINHARES, S.; GEWANDSZNAFDER, F. *Biologia hoje*. 2.ed. v. 3. São Paulo: Ática, 2010.

MATOS, C. H. C., OLIVEIRA, C. R. F., SANTOS, M. P. F., Ferraz, C.S. Utilização de Modelos Didáticos no Ensino de Entomologia. Revista de Biologia e Ciências da Terra 9(1), 2009.

MEDEIROS, M. O.; ALVES, S. M.; KIMURA, M. T.; SOUZA, E. A. Proposta de modelo didático como facilitador do ensino de genética de populações no Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas da UFR/MT. *Biodiversidade* - v.20, n.2, 2021 - pág. 215 – 235.

MEDEIROS, M. O.; ALVES, S. M.; KIMURA, M. T.; SOUZA, E. A. Utilização prática de um modelo didático simulando uma técnica de bandas do DNA para estudo comparativo do vínculo genético humano aplicado aos estudantes de Licenciatura em Ciências Biológicas da UFR/MT. *Revista Biodiversidade* - v.20, n.3, 2021 - pág. 49 - 71.

MEDEIROS, M. O.; ALVES, S. M.; KIMURA, M. T.; SOUZA, E. A. O uso de modelo representativo aplicado no curso de Licenciatura em Ciências Biológicas da UFR/MT de como a seleção natural age sobre as variações genéticas do inseto após o uso de inseticida. *Revista Biodiversidade* - v.21, n.1, 2022 - pág. 182 – 207.

MEDEIROS, M. O.; ALVES, S. M.; KIMURA, M. T. O uso de representações didáticas como suporte a aprendizagem de probabilidades aplicadas ao estudo da genética no curso de Licenciatura em Ciências Biológicas da UFR/MT. *Revista Biodiversidade* - v.21, n.2, 2022 - pág. 83 – 109.

MEDEIROS, M. O.; ALVES, S. M.; KIMURA, M. T. Modelo didático aplicado no curso de Licenciatura em Ciências Biológicas da UFR/MT para a compreensão da interação entre a análise combinatória e o estudo genético de uma ninhada de *Athene cunicularia* (coruja-buraqueira). *Revista Biodiversidade* - v.21, n.3, 2022 - pág. 2 – 25.

MEDEIROS, M. O.; ALVES, S. M.; KIMURA, M. T. Modelo didático aplicado no curso de Licenciatura em Ciências Biológicas da UFR/MT para o estudo de genética de populações ligado ao caso de alelismo múltiplo que envolve a cor da pelagem em coelhos – *Oryctolagus cuniculus*. *Revista Biodiversidade* - v.21, n.4, 2022 - pág. 2 – 23.

MEDEIROS, M. O.; ALVES, S. M.; KIMURA, M. T. Modelo didático aplicado no curso de Licenciatura em Ciências Biológicas da UFR/MT para interpretação genotípica do tipo sanguíneo deduzido pela sequência hipotética de DNA. *Revista Biodiversidade* - v.22, n.1, 2023 - pág. 33 – 52.

MEDEIROS, M. O.; ALVES, S. M.; KIMURA, M. T. Aplicação de modelo didático para identificação genética do sexo em tucanos com a utilização de enzima de restrição na análise de sequenciamento de DNA. *Revista Biodiversidade* - v.22, n.2, 2023 - pág. 80 – 94.

MEDEIROS, M. O.; ALVES, S. M.; KIMURA, M. T. Utilização prática de um modelo didático simulando aplicações do sequenciamento de DNA e sua importância no reconhecimento das relações de parentesco entre bebês recém-nascidos e parturientes. *Revista Biodiversidade* - v.22, n.4, 2023 - pág. 65 – 86.

MEDEIROS, M. O.; ALVES, S. M.; KIMURA, M. T. Aplicação de modelo didático simulando uma análise de DNA para Investigação da ocorrência da anemia falciforme em um grupo familiar. *Revista Biodiversidade* - v.23, n.1, 2024 - pág. 63 – 86.

MEDEIROS, M. O.; ALVES, S. M.; KIMURA, M. T. Imagens de autorradiografias dos géis de agarose simulando diagnósticos clínico-moleculares que podem ser aplicados em forma de

um modelo didático para contextualizar a influência genética nos fenótipos da visão. Revista Biodiversidade - v.23, n.2, 2024 - pág. 138 – 157.

MEDEIROS, M. O.; ALVES, S. M.; KIMURA, M. T. Aplicação de uma representação gráfica simulando um heredograma com recorrência da alopecia genética para entendimento da herança autossômica influenciada pelo sexo. Revista Biodiversidade - v.23, n.3, 2024 - pág. 119 – 145.

MEDEIROS, M. O.; ALVES, S. M.; KIMURA, M. T. Utilização prática de um modelo didático para estudo de polimorfismos da cor da pelagem de uma população de cães domésticos considerando dois loci. Revista Biodiversidade - v.23, n.4, 2024 - pág. 168 – 194.

MEDEIROS, M. O.; ALVES, S. M.; KIMURA, M. T. Aplicação de um modelo didático que reproduz a análise do DNA para avaliar a variação genética responsável pelas cores das plumas na população de pombos (*Columba livia*). Revista Biodiversidade - v.24, n.1, 2025 - pág. 197 – 219.

MEDEIROS, M. O.; ALVES, S. M.; KIMURA, M. T. Utilização de heredogramas que utilizam regiões polimórficas do DNA para identificar o sexo e a classe genotípica da cor da plumagem entre pombos (*Columba livia*). Revista Biodiversidade - v.24, n.2, 2025 - pág. 186 – 214.

MEDEIROS, M. O.; ALVES, S. M.; KIMURA, M. T. Modelo didático que simula imagens de autorradiografias dos géis de agarose para caracterização genética dos alelos responsáveis pelo padrão de plumagem nas asas em pombos (*Columba livia*). Revista Biodiversidade - v.24, n.3, pág. 122 –152. (2025).

MEDEIROS, M. O.; ALVES, S. M.; KIMURA, M. T. Aplicação do binômio de newton para o ensino de genética quantitativa, utilizando um modelo didático que considera a representação de cores da íris dos olhos na espécie humana. Revista Biodiversidade - v.24, n.3, pág. 274 – 297. (2025).

MEDEIROS, M. O.; ALVES, S. M.; KIMURA, M. T. Aplicação prática do diagrama da árvore de possibilidades para definir as combinações genotípicas, considerando as tonalidades da íris do olho humano entre gerações familiares. Revista Biodiversidade - v.25, n.1, pág. 169 – 192. (2026)

MEDEIROS, M. O.; ALVES, S. M.; KIMURA, M. T. Aplicação prática da metodologia de análise combinatória usando o triângulo de Pascal para descrever e caracterizar as diferenças de valores métricos progressivos da altura humana. Revista Biodiversidade–ISSN 2177-1332, v.25, n.2, 2026 - pág. 183 – 217.

MENDONÇA, C. O.; SANTOS, M. W. O. Modelos didáticos para o ensino de Ciências e Biologia: aparelho reprodutor feminino da fecundação à nidação. Anais do V Colóquio Internacional "Educação e Contemporaneidade", v. 5, p. 1-11, 2011.

NASCIMENTO JÚNIOR, A. F.; SOUZA, D. C. A Confecção e Apresentação de Material Didático-Pedagógico na Formação de Professores de Biologia: O que diz a Produção Escrita? VII Encontro Nacional de pesquisa em Educação em Ciências. Florianópolis, 2009.

NEI, M. Molecular Evolutionary Genetics. 1. ed. New York: Columbia University, 1987.

NEI, M.; KUMAR, S. Molecular Evolution and Phylogenetics. 1. ed. New York: Oxford University, 2000.

PAVAN, O. H. O.; SUMAIO, D. S.; CÂNDIDO, F. F. B. S.; OLIVEIRA, R. M. Evoluindo Genética: Um jogo educativo. Ed. UNICAMP. Campinas, São Paulo, 1998.

PEREIRA, M. S. et al. Avaliação dos modelos didáticos no ensino de ciências da escola municipal Casimiro Gomes – Coronel Ezequiel/RN. In: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, 2., Campina Grande, 2015. **Anais...** Paraíba: CONEDU, 2015.

PEREIRA, F. P. O ensino de genética na educação básica: Revisão Bibliográfica e Produção de Modelos Didáticos. 2019. 55p. Trabalho de Conclusão de Mestrado (Mestrado em Ensino de Biologia) – Universidade Estadual do Piauí. Teresina.

PIERCE, B. A. *Genética essencial: conceitos e conexões*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2012.

RAMALHO, M.A.P.; SANTOS J.B.; PINTO, C.A.B.P. Genética na agropecuária. Lavras: Ed. UFLA. 2008. p.464.

RINGO, J. *Genética básica*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2005.

SÉRGIO SOBRINHO, Mário. A identificação criminal. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2003. p. 36.

SETÚVAL, F. A. R.; BEJARANO, N. R. R. Modelos didáticos com conteúdo de genética e a sua importância na formação inicial de professores para o ensino de ciências e biologia. In: Encontro Nacional de pesquisa em Educação em Ciências, 7, 2009, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ABRAPEC, 2009.

SOARES, R. M.; BAIOTTO, C. R. Aulas práticas de Biologia: suas aplicações e o contraponto desta prática. *Revista Dialogus*, v. 4, n.2, 2015.

SUZUKI, D.T., GRIFFITHS, A. J. F., MILLER, J. H. Introdução à Genética. 7ed., Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2002, 633p.

TEMP, D. S. Facilitando a Aprendizagem de Genética: Uso de um Modelo Didático e Análise dos Recursos Presentes em Livros de Biologia. Dissertação (Mestrado) -Universidade Federal de Santa Maria -UFSM, Rio Grande do Sul -RS, 2011. 85 P.

TEMP, D. S; BARTHOLOMEI-SANTOS M. L. Genética e suas aplicações: identificando o conhecimento presente entre concluintes do ensino médio. *Ciência e Natura*, v. 36, n. 2, p. 358 –372. 2014.

TEMP, D. S.; BARTHOLOMEI-SANTOS, M. L. O ensino de Genética: a visão de professores de Biologia. *Revista Científica Schola*, v. 2, n. 1, p. 83-95, 2018.

TEODORO, N. C. CAMPOS, L. M. L. O professor de biologia e dificuldades com os conteúdos de ensino. *Revista SBEnBio*, n. 9, p. 5390-5401, 2016.

VALADARES, L.B.L.; RESENDE, R.O. “Na trilha do Sangue”: o jogo dos grupos sanguíneos genética na escola, v. 1, n.4, p. 10-16, 2009.

WEINBERG W. Ueber den Nachweis der Vererbung beim Menschen. Jh. Ver. vaterl. Naturk. Wuerttemb. 64:369–382. Xxx 1908.