

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*)

Mauro Osvaldo Medeiros¹ - Sueli Maria Alves¹ - Marcelo Teiji Kimura²

RESUMO: Em aulas sobre genética, é muito comum a utilização de representações gráficas para facilitar o aprendizado e ajudar os estudantes a entenderem melhor um conceito. Exemplos de representação gráfica, empregadas no ensino de genética, são as árvores genealógicas ou heredogramas que servem como ferramentas para representar a descendência ou ascendência de uma família ou de um indivíduo. Este estudo consiste na aplicação de heredogramas representando regiões polimórficas do DNA, para simular características genéticas segregadas de ascendentes para descendentes, com o objetivo de identificar o sexo e a classe genotípica referente a cor da plumagem em pombos (*C. livia*). Para isso, foi utilizado a enzima de restrição TaqI *Thermus aquaticus* que é capaz de reconhecer unidades de repetições TCGA ou AGCT ao longo da sequência de nucleotídeos, permitindo a identificação simbólica dos genes CHD – Z e CHD – W. Concluiu-se que o uso de representações gráficas que ilustram heredogramas simulando a variabilidade genética de características determinadas por genes localizados em cromossomos sexuais, através da sequência de codificação do gene que revela o sexo?? e a fórmula genética com o uso de enzimas de restrição em amostras de DNA, se mostrou uma metodologia eficiente para trabalhar conceitos e relações dentro dos conteúdos de genética. E além da caracterização dos cromossomos sexuais Z e W, reconheceram, quando associaram os genótipos e fenótipos, uma relação de dominância entre os genes, o gene que condiciona a coloração vermelha domina os demais, o gene que determina a coloração azul domina o gene que codifica a coloração marrom. Também, foi observado que os alunos gostaram da experiência e que conseguiram aprender e compreender de maneira prática a interdisciplinaridade de conceitos que envolvem a herança ligada ao sexo das aves, como também suas aplicações na transmissão de informações genéticas.

Palavras-chave: Recursos Didáticos. Genética, Analogias, Genealogias, Cromossomos Z e W, Sequência de DNA.

USE OF PATTERNS THAT USE POLYMORPHIC REGIONS OF DNA TO IDENTIFY SEX AND GENOTYPIC CLASS OF PLUMAGE COLOR AMONG PIGEONS (*Columba livia*)

ABSTRACT: In genetics classes, it is very common to use graphical representations to facilitate learning and help students better understand a concept. Examples of graphical representations used in genetics teaching are family trees or pedigrees, which serve as tools to represent the descendants or ancestry of a family or an individual. This study consists of the application of pedigrees representing polymorphic regions of DNA to simulate genetic characteristics segregated from ancestors to descendants, with the objective of identifying the sex and genotypic class related to plumage color in pigeons (*C. livia*). For this, the restriction enzyme TaqI *Thermus aquaticus* was used, which is capable of recognizing TCGA or AGCT repeat units along the nucleotide sequence, allowing the symbolic identification of the CHD-Z and CHD-W genes. It was concluded that the use of graphic representations that illustrate pedigrees simulating the genetic variability of characteristics determined by genes located in sex chromosomes, through the coding sequence of the gene that reveals the sex and the genetic formula with the use of restriction enzymes in DNA samples, proved to be an efficient methodology for working on concepts and relationships within the contents of genetics. And in addition to the characterization of the sex chromosomes Z and W, they recognized, when associating the genotypes and phenotypes, a relationship of dominance between the genes, the gene that determines the red coloration dominates the others, the gene that determines the blue coloration dominates the gene that codes the brown coloration. It was also observed that the students enjoyed the experience and that they were able to learn and understand in a practical way the interdisciplinarity of concepts that involve the inheritance linked to the sex of birds, as well as their applications in the transmission of genetic information.

Keywords: Teaching Resources. Genetics, Analogies, Genealogies, Z and W chromosomes, DNA sequence.

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

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

INTRODUÇÃO

Em aulas sobre genética, é comum utilizar representação gráfica para facilitar o aprendizado e ajudar os estudantes a entenderem melhor um conceito. Um exemplo de representação gráfica, empregada no ensino de genética, são as árvores genealógicas ou heredogramas que servem como ferramentas para representar a descendência ou ascendência de uma família ou de um indivíduo ou acasalamentos de animais. Para os autores Vestena & Loreto (2016), a árvore genealógica ilustra as origens de um indivíduo ou de uma família.

O Heredograma é uma representação gráfica das relações de parentesco entre indivíduos, apresentando os vínculos e as características genéticas, que estão segregando dos ascendentes para os descendentes. É muito semelhante a uma árvore genealógica. Tem como finalidade facilitar o trabalho de pesquisa quando se estuda as relações de parentesco de um indivíduo. O heredograma é muito útil, pois permite que se represente com um desenho uma quantidade muito grande de informações. Assim, por meio dele, poderemos analisar como funciona o padrão da herança genética de cores da plumagem entre pombos *C. Livia*.

O ensino de genética, por envolver estruturas microscópicas, geralmente apresenta desafios de compreensão para os estudantes. Quando não é ministrado por meio de abordagens diferenciadas, pode levar ao desinteresse pelo tema. Portanto, a adoção de modelos didáticos proporciona aos alunos uma interação inicial com essas estruturas em uma escala ampliada, possibilitando que eles observem, explorem, manipulem e construam seu conhecimento por meio da prática. Autores e pesquisadores como Justina & Ferla (2006); Duso Vilhena et al. (2012); Della & Ferla (2013); Medeiros et al. (2021 e 2022); Medeiros, Alves e Kimura (2022; 2023; 2024; 2025) apontaram esse método como benéfico, pois facilita a assimilação de conteúdos considerados desafiadores. Isso se dá por meio de uma abordagem visual que incentiva a reflexão, o debate e a participação ativa dos alunos no aprendizado, promovendo o raciocínio crítico, a criatividade, a interatividade, a tomada de decisões e o envolvimento em pesquisas.

Dessa forma, fundamentado nas abordagens dos autores e pesquisadores citados, apresentamos uma proposta de modelo didático baseado na coleta de dados em amostras de fragmentos de DNA que simulam uma análise genética molecular sobre características hereditárias relacionadas aos cromossomos sexuais ou alossomos, exemplificando a variação fenotípica que ocorre nas cores da plumagem entre os ascendentes e descendentes de um grupo fictício de pombos *C. Livia*. Além disso, buscou-se demonstrar de forma prática a interdisciplinaridade entre Genética, Biologia Molecular e Matemática, já que esse tema desperta um significativo interesse nos alunos.

Desta forma, Silva & Saraiva (2020) destacaram a importância da realização de atividades de ensino que utilizem metodologias didáticas que tornam o aluno protagonista do processo de aprendizagem. E nessa perspectiva, os autores Lima et al. (2020); Medeiros, Alves e Kimura (2022; 2023; 2024; 2025) observaram que uma sequência de ensino investigativa, envolvendo modelos didáticos, possibilita maior participação dos estudantes, podendo melhorar as relações aluno-aluno e aluno-professor. Assim, os modelos didáticos são instrumentos sugestivos e representativos que podem ser eficazes na prática docente para o ensino de conteúdos abstratos, de forma a facilitar a aprendizagem, principalmente dos assuntos de genética, que são de difícil assimilação pelos discentes (LARENTIS, AMANCIO, GHISI, 2020; MEDEIROS et al., 2021 e 2022; MEDEIROS, ALVES e KIMURA, 2022; 2023; 2024; 2025).

Pelo lado visual, esse tipo de modelo didático permite que o estudante manipule o material, visualizando-o de vários ângulos, melhorando, assim, sua compreensão sobre o conteúdo abordado. Para o desenvolvimento de atitude científica torna-se fundamental o envolvimento dos alunos na planificação e execução de experiências e pesquisas. Assim, foi

oferecido aos alunos a possibilidade de realizarem atividades investigativas que lhes permitiam apropriarem-se dos processos científicos para construir conceitos e ligações entre eles, de forma a compreenderem os fenômenos e os acontecimentos observados.

O pombo (*C. livia*) é uma ave pertencente à ordem Columbiforme e à família Columbidae. Sendo uma espécie que se originou da Eurásia e da África, tendo sido trazida ao Brasil no início da colonização portuguesa. Essa ave possui um comportamento reprodutivo bastante discreto, quase imperceptível aos seres humanos, e é notável por construir seus ninhos em regiões que protegem seus filhotes. Nas áreas urbanas, os pombos costumam se abrigar em viadutos, fendas de concreto, árvores em praças e nos telhados. Geralmente, cada ninhada contém cerca de dois ovos, podendo alcançar um total de seis ninhadas por ano. Ainda, os pombos desempenham um papel crucial na preservação do equilíbrio ecológico, além de serem significativos na cultura, na pesquisa científica e na economia. Eles favorecem a biodiversidade e atuam como sinais da saúde do meio ambiente. Ademais, os pombos têm uma presença marcante na cultura e na mitologia, enriquecendo nossa compreensão e valorização da natureza.

Este estudo consiste na aplicação de heredogramas com regiões polimórficas do DNA para simular características genéticas segregadas de ascendentes para descendentes, com o objetivo de identificar o sexo e a classe genotípica referente a cor da plumagem em pombos (*C. livia*).

MATERIAL E MÉTODOS

Esse estudo foi desenvolvido na Universidade Federal do município de Rondonópolis do Estado de Mato Grosso. Os sujeitos de estudo foram 28 (vinte e oito) alunos do Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas do Instituto de Ciências Exatas e Naturais, sendo 36,0% de sexo masculino e 64,0% de sexo feminino, com faixa etária entre 18 e 36 anos.

Para a realização desse estudo foi elaborado uma sequência didática dividida em duas aulas, de 50 minutos/cada. A atividade de investigação foi organizada em dois momentos, da seguinte forma:

Na primeira aula (50 min) foi composta pela parte introdutória (aula teórica) do tema abordado, de maneira que os alunos pudessem se contextualizar, compreender e se envolver com o tema relacionado.

Na segunda aula, com duração de 50 minutos, foi realizada uma atividade prática que envolveu a simulação de uma análise genética para identificação molecular sexual, genotípica e fenotípica de um grupo fictício de filhotes de pombos, baseada no exame de amostras de segmentos de DNA de cinco cruzamentos. Utilizaram-se enzimas de restrição, também conhecidas como endonucleases, para tornar as sequências de DNA visíveis, permitindo a identificação dos genes CHD-Z e CHD-W, localizados nos cromossomos sexuais ou alossomos das aves e identificação das classes genotípicas apresentadas de acordo com as cores da plumagem entre ascendentes e descendentes dos pombos.

Modelo didático simulando sequências de DNA dos cromossomos sexuais Z e W.

O modelo didático (Figuras 1 a 5) foi elaborado após vários estudos, com representações didáticas e fontes de informações, que fossem, para os Licenciandos em Ciências Biológicas, de fácil acesso, manipulação, confecção e aplicação, possibilitando a oportunidade de desenvolver consciência crítica, responsabilidade e gosto pela pesquisa, qualidades importantes para a formação de um bom estudante.

A estratégia seguida foi baseada na de coleta de dados em amostras de fragmentos de sequências de DNA que simulavam uma análise genética molecular de acasalamentos entre pombos (*C. livia*). Sendo usadas enzimas de restrição ou endonucleases para que as sequências se tornassem visíveis e pudessem ser detectados os genes CHD – Z e CHD – W que estão localizados nos cromossomos sexuais ou alossomos dos ascendentes e descendentes dos pombos (*C. livia*).

Lembrando aos alunos que o gene CHD – W, localiza-se no cromossomo W, somente nas fêmeas, e o gene CHD – Z é encontrado no cromossomo Z, ocorrendo em ambos os sexos.

As Figuras 1 a 5 expõem modelos de genealogias representadas pela estrutura de um heredograma (A, B, C, D, E) identificadas cada uma por duas gerações reproduzindo as sequências de nucleotídeos Cr40, devidamente identificados por 44 letras cada. A letra A correspondia a base Adenina, a letra T a base Timina, a letra C a base Citosina e a letra G a base Guanina e Cr40₁ e Cr40₂ ao par de cromossomos sexuais ou alossomos Z ou W.

Dessa maneira, as Figuras 1, 2, 3, 4 e 5 foram propostas simulando sequências de DNA representando a codificação do gene que expressa as cores vermelha, azul e marrom da plumagem localizado na região não homóloga do cromossomo Z, permitindo identificar o padrão de herança das características, e, ainda, a classe genotípica e o gênero de cada uma das aves.

O trabalho do aluno era examinar **no** par de cromossomos 40₁ e 40₂, denominados de ZZ ou ZW a sequência de DNA de um gene hipotético que possui três alelos. E neste caso, a enzima de restrição TaqI *Thermus aquaticus* era capaz de reconhecer ao longo do segmento de DNA que corresponde ao alelo Z, unidades de sequência de nucleotídeos repetidas TCGA, permitindo assim, a identificação simbólica do sexo feminino e as fórmulas genéticas que correspondem ao gene da cor das plumagens citadas (Figura 1 a 5). O resultado da sequência de codificação do gene que revela o sexo e a fórmula genética correspondente a cor de cada ave nos heredograma (A, B, C, D, E) foi representado esquematicamente em Tabelas (3, 4, 5, 6 e 7). Os números 40₁ e 40₂ antes de cada sequência de nucleotídeos na horizontal, representam o par de cromossomos homólogos sexuais ou alossomos.

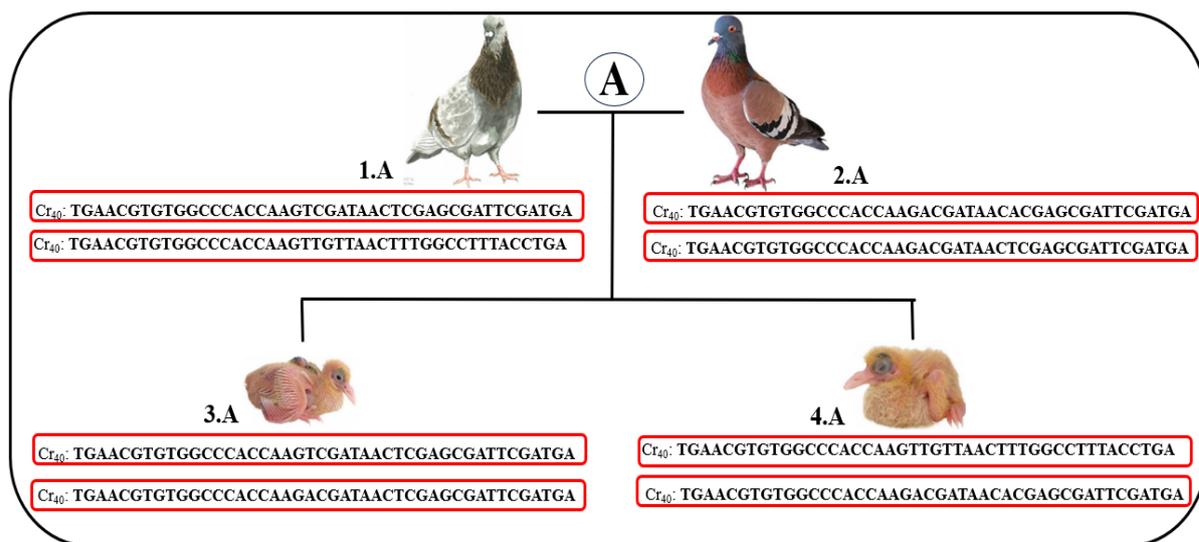


Figura 1. Modelo pedagógico para ampliar o repertório de explicações sobre a distinção de macho e fêmea, bem como sequências nucleotídicas que ilustram a coloração da plumagem resultantes do acasalamento dos pombos domésticos 1.A x 2.A. (Fonte: Os autores).

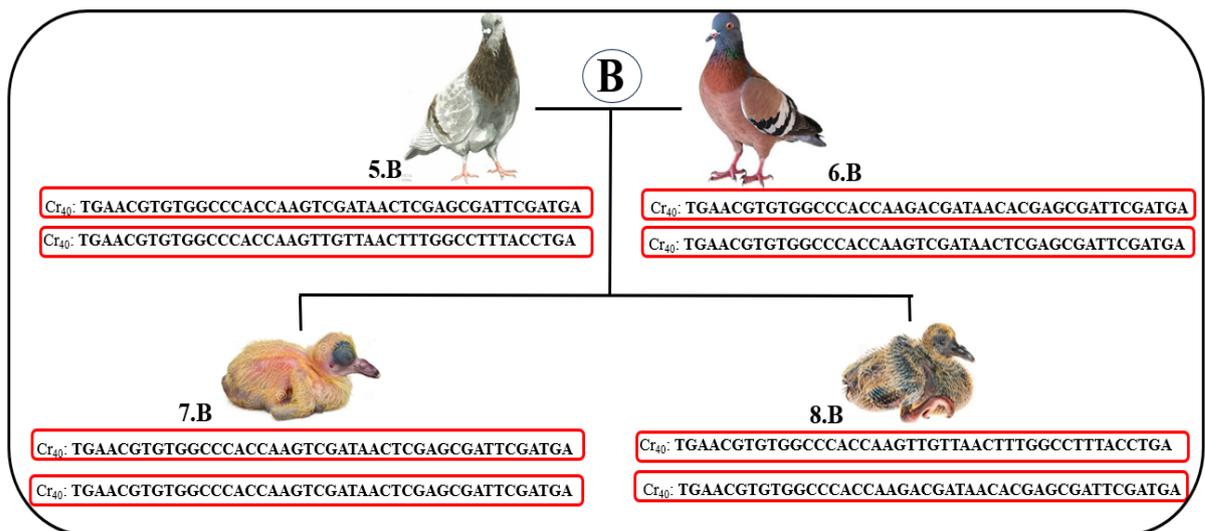


Figura 2. Modelo pedagógico para ampliar o repertório de explicações sobre a distinção de macho e fêmea, bem como seqüências nucleotídicas que ilustram a coloração da plumagem resultantes do acasalamento dos pombos domésticos 5.B x 6.B. (Fonte: Os autores).

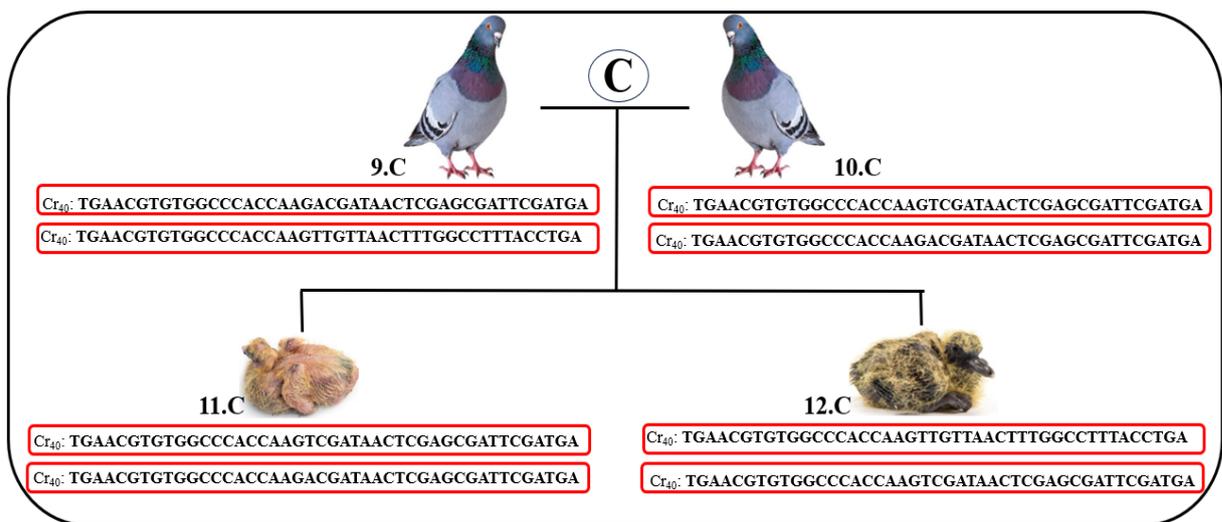


Figura 3. Modelo pedagógico para ampliar o repertório de explicações sobre a distinção de macho e fêmea, bem como seqüências nucleotídicas que ilustram a coloração da plumagem resultantes do acasalamento dos pombos domésticos 9.C x 10.C. (Fonte: Os autores).

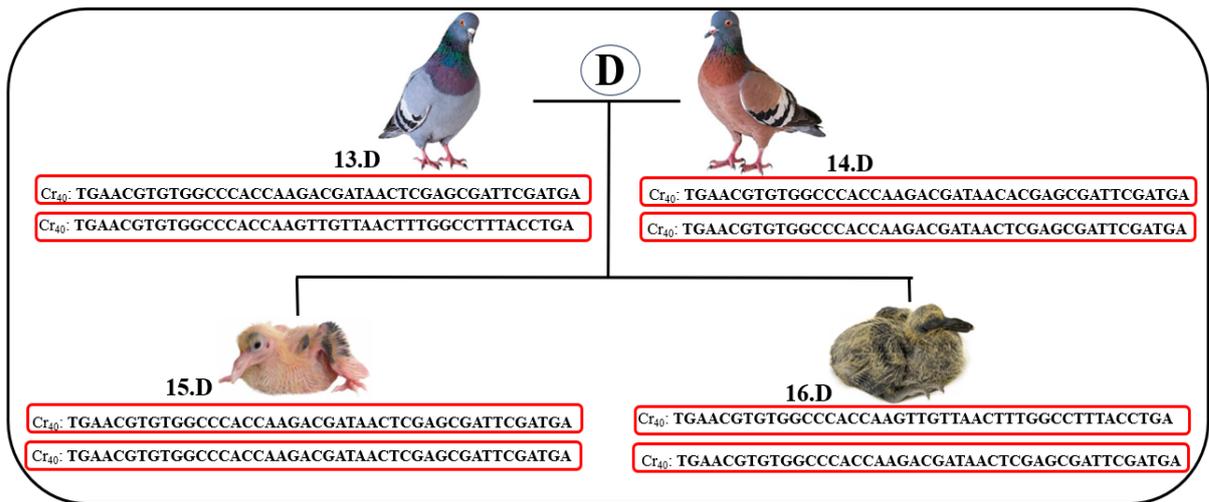


Figura 4. Modelo pedagógico para ampliar o repertório de explicações sobre a distinção de macho e fêmea, bem como sequências nucleotídicas que ilustram a coloração da plumagem resultantes do acasalamento dos pombos domésticos 13.D x 14.D. (Fonte: Os autores).

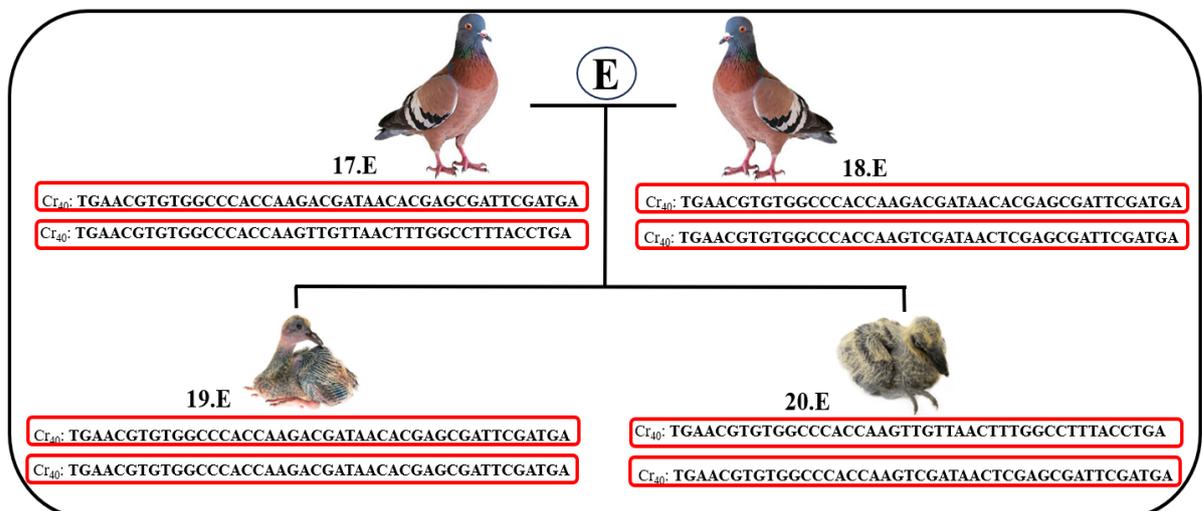


Figura 5. Modelo pedagógico para ampliar o repertório de explicações sobre a distinção de macho e fêmea, bem como sequências nucleotídicas que ilustram a coloração da plumagem resultantes do acasalamento dos pombos domésticos 17.E x 18.E. (Fonte: Os autores).

A história apresentada aos alunos

A grande diversidade de plumagem de pombos que conhecemos é o resultado de uma intensa seleção artificial. Muitas são as possibilidades de cores da plumagem dessas aves. O foco deste trabalho pedagógico é ampliar o repertório de explicações sobre como o processo de transmissão das características hereditárias da coloração da plumagem ligada ao cromossomo sexual ocorrem. Assim, foram mostrados cinco cruzamentos (Figuras 1 a 5) produzidos pela atividade de três genes e distintos fenótipos. A coloração da plumagem foi utilizada para ilustrar conceitos de genética clássica, bem como para propor atividades que possibilitem a abordagem do tema de uma forma alternativa e mais próxima da realidade dos alunos.

Nos pombos domésticos, a variação na coloração da plumagem é presumidamente atribuída a três genes alelos associados ao cromossomo sexual Z. Com base nisso, foram expostos aos alunos três fenótipos distintos: vermelho, azul e marrom. No referido contexto, este estudo propõe de maneira interdisciplinar, Brasil (1996, 1997, 1999, 2008, 2013, 2014, 2017 e 2018), focando na implementação de uma sequência didática que favoreça a

compreensão dos alunos acerca da frequência dos alelos que compõem os diversos genótipos resultantes de cinco cruzamentos hipotéticos de pombos.

Considerando três genes vinculados ao cromossomo sexual Z, utiliza-se a transmissão do caráter da coloração da plumagem como exemplo. Esta concepção é ilustrada por meio de representações gráficas, onde cada pombo, ascendente ou descendente, é apresentado com suas características específicas e sua inter-relação, articuladas por sequências nucleotídicas extraídas de um pequeno fragmento cromossômico a partir de amostras de DNA coletadas de material biológico (Figuras 1 a 5).

A Figura 6 exemplifica três fenótipos resultantes da expressão dos alelos situados na região não homóloga do alossomo ou cromossomo sexual Z, com o intuito de que os alunos realizem um teste de correlação entre as variações de coloração da plumagem, especificamente nas tonalidades vermelha, azul e marrom. Isso permitirá a distinção entre as amostras de DNA dos ascendentes e descendentes dos pombos, identificando, assim, as classes genotípicas que caracterizam cada ave.

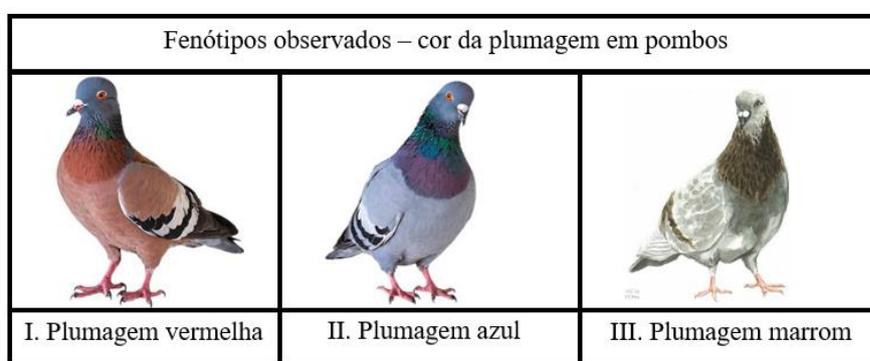


Figura 6. Fenótipos de alterações nas cores vermelha, azul e marrom resultantes da expressão de alelos envolvidos na determinação da cor das penas em pombos (*C. Livia*).

Apresentação e estratégia de resolução da situação-problema

Os pombos (*C. Livia*) de forma geral são monomórficos, ou seja, machos e fêmeas têm a mesma aparência, não sendo possível determinar o sexo apenas pela visualização externa. Os machos e as fêmeas têm o mesmo número cromossômico ($2n = 80$) e diferem somente quanto ao complemento de cromossomos sexuais, sendo que o cromossomo comum aos dois sexos é chamado Z e o cromossomo exclusivo da fêmea é chamado W. Assim, o par de cromossomos sexuais no macho é formado por dois cromossomos iguais, sendo, portanto, homogamético (ZZ). Já o par de cromossomos sexuais da fêmea é formado por um cromossomo Z e um outro, conhecido por W, sendo a fêmea, portanto heterogamética (ZW).

Apesar de serem, esses cromossomos, os principais responsáveis pela determinação do sexo, os cromossomos Z e W apresentam poucas regiões homólogas, o que faz com que certas características sejam completamente influenciadas pelo sexo. Portanto, diferentemente do Z, o W apresenta poucos genes e determina poucas características, haja visto que os machos apresentam apenas cromossomos Z.

Dessa forma, na transmissão da coloração das penas, observa-se o envolvimento de três genes alelos ligados ao cromossomo Z: Z^V , Z^a e Z^m . Esses alelos são responsáveis por garantir que uma pomba apresente o padrão de plumagem, respectivamente, das cores: vermelho, azul ou marrom. O gene CHD – W não determina cor.

Estratégia para o reconhecimento dos Genes CHD – Z e CHD – W

A localização cromossômica de um gene ou marcador genético (segmento de DNA) é denominada *lôcus*. O segmento de DNA que ocupa um mesmo *lôcus* em diferentes cromossomos homólogos pode ser idêntico ou diferente, devido à ocorrência de mutações ao longo do tempo. As possibilidades alternativas de segmento de DNA que ocupam um determinado *lôcus* são denominadas alelos. Considerando que uma ave apresenta um par de cada cromossomo autossômico (um deles de origem paterna e o outro de origem materna), ela apresentará dois alelos em cada *lôcus*, o que determinará o seu genótipo. O termo heterozigose está relacionado à presença de dois alelos distintos (genótipo heterozigoto), enquanto que homozigose se refere à ocorrência de dois alelos idênticos (genótipo homozigoto).

Nas Figuras 1 a 5, observa-se a representação esquemática das sequências nucleotídicas de um pequeno fragmento cromossômico (Cr40) obtido a partir de amostras de DNA extraídas de material biológico encontrado entre ascendentes e descendentes de pombos. Destaca-se a presença de unidades de repetições TCGA ao longo da sequência de nucleotídeos reconhecidas pela enzima de restrição TaqI *Thermus aquaticus*.

Os Genes CHD – Z e CHD – W apresentam diferenças influenciadas pela presença ou pela ausência de unidades de repetições TCGA ao longo da sequência de nucleotídeos (Figuras 1 a 5) reconhecidas pela enzima de restrição TaqI *Thermus aquaticus*.

Assim, para a realização da atividade dispomos aos estudantes uma representação figural/simbólica/numérica de amostras fenotípicas de DNA de pombos (A.1, A.2, A.3 e A.4); (B.5, B.6, B.7 e B.8); (C.9, C.10, C.11 e C.12); (D.13, D.14, D.15 e D.16); (E.17, E.18, E.19 e E.20); respectivamente, Figuras 1, 2, 3, 4 e 5, demonstrando sequências de nucleotídeos com as variantes TCGA, como representação didática e fonte de informação.

A coleta de dados analisando as informações dos cromossomos sexuais (Cr₄₀), foi representado esquematicamente nas Tabelas (3, 4, 5, 6 e 7).

Análise do caráter

Na investigação dos genes que expressam a condição fenotípica e genotípica que estão sendo herdadas por cada descendente *C. livia* (Figuras 1, 2, 3, 4 e 5), observou-se o perfil genético com as variantes TCGA reconhecidas pela enzima de restrição TaqI *Thermus aquaticus* ao longo da sequência de nucleotídeos de DNA que permitem identificar através do cromossomo sexual Z, pombos machos portadores de plumagem de constituição homozigotas e heterozigotas e fêmeas portadoras de plumagem de constituição hemizigotas. Desse modo, observou-se que cada fenótipo tem uma combinação genética exclusiva, o que permitiu uma diferenciação entre eles.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em pombos (*C. Livia*) os sexos aparentemente não diferem quanto às características morfológicas externas. Os machos e as fêmeas têm o mesmo número cromossômico ($2n = 80$) e diferem somente quanto ao complemento de cromossomos sexuais, sendo que o cromossomo comum aos dois sexos é chamado Z e o cromossomo exclusivo da fêmea é chamado W. Assim, o par de cromossomos sexuais no macho é formado por dois cromossomos iguais, sendo, portanto, homogamético (ZZ). Já o par de cromossomos sexuais da fêmea é formado por um cromossomo Z e um outro, conhecido por W, sendo a fêmea, portanto heterogamética (ZW).

Cada espécie de ave é caracterizada por um conjunto numérico específico de cromossomos com morfologias e sequências gênicas distintas. Este conjunto recebe o nome de

cariótipo e é formado por cromossomos autossômicos aos pares e dois cromossomos sexuais ou alossomos. Tanto os machos quanto as fêmeas de uma mesma espécie possuem número diplóide ($2n$) igual de cromossomos, porém, são diferenciados quanto ao tipo de cromossomo sexual: no caso do macho, são dois cromossomos sexuais do tipo Z; e no caso na fêmea, é um cromossomo sexual do tipo Z e outro cromossomo sexual do tipo W.

Normalmente cada ave descendente herda um conjunto completo de cromossomos de cada uma das aves ascendentes. No caso, a Tabela 1, ilustra que os pombos (*C. Livia*) possuem em suas células somáticas, 80 cromossomos no total, dispostos em 40 pares, sobre os quais seus genes são conservados ou mantidos; 40 cromossomos são provenientes do ascendente masculino, e o par semelhante a este, com 40 cromossomos, é proveniente da ascendente feminina. Então, quando o pombo for do sexo masculino, será indicado por dois cromossomos sexuais do tipo Z e no caso se for do sexo feminino por um cromossomo sexual do tipo Z e outro cromossomo sexual do tipo W.

Assim, são as fêmeas heterogaméticas, quem vão formar gametas distintos e determinar o sexo dos descendentes (Tabela 1). Portanto, no Sistema ZW/ZZ, as fêmeas formam gametas contendo ou o cromossomo Z, que determinará a formação de um macho, ou o cromossomo W, que determina a formação de uma fêmea. Os machos formam apenas gametas portadores do cromossomo Z, além do lote de autossomos. Portanto, nas células somáticas da espécie *C. livia* existem 40 pares de cromossomos, dos quais 39 pares não apresentam diferenças entre machos e fêmeas, sendo chamados de autossomos. Os dois outros cromossomos, chamados de alossomos, heterossomos ou cromossomos sexuais apresentam diferenças: enquanto os machos apresentam dois cromossomos sexuais perfeitamente homólogos, que foram denominados ZZ, as fêmeas possuem um cromossomo Z e um outro, não totalmente homólogo denominado W. Todos os gametas (espermatozóides) formados por meiose em um macho possuem o cromossomo Z, enquanto as fêmeas podem formar gametas (óvulos) que apresentam o cromossomo Z e outros, que apresentam o cromossomo W.

Os cromossomos sexuais Z e W são considerados parcialmente homólogos. Apresentam tamanhos diferentes, sendo o Z maior que o W. Durante a meiose, divisão celular de células sexuais, ocorre o pareamento apenas de uma parte desses cromossomos, por esse motivo são considerados como cromossomos parcialmente homólogos.

A divisão celular se dá por dois processos, a mitose e a meiose. A mitose ocorre nas células somáticas ou diplóides do organismo das pombas. Nesse processo é feita uma cópia exata de cada cromossomo e depois há uma distribuição equitativa e conservativa, de modo que gere dois produtos idênticos, ou seja, duas células com 80 cromossomos cada.

A meiose ocorre para que haja a formação das células sexuais ou haplóides (n) do organismo das pombas. Através da meiose os gametas ficam com o número de cromossomos reduzidos à metade ($n = 40$ cromossomos), ou seja, a célula deixa de ser diplóide ($2n = 80$ cromossomos) e passa a ser haplóide ($n = 40$ cromossomos). Quando o gameta de origem materna (40 cromossomos) se une ao gameta de origem paterna (40 cromossomos) o número de cromossomos característico da espécie é restabelecido ($40 + 40 = 80$ cromossomos).

Os pares de cromossomos autossômicos constam de cópias materna e paterna, sendo morfológicamente semelhantes. Desses pares, os primeiros 39 são chamados de cromossomos autossômicos e são idênticos nos indivíduos de ambos os sexos. Os genes localizados nesses cromossomos não estão relacionados a características sexuais, mas desempenham um papel na determinação de outras características.

O 40º par é constituído pelos cromossomos sexuais, que determinam as características sexuais de um pombo. Quando ele consiste em dois cromossomos Z (ZZ), o indivíduo é classificado como do sexo masculino, enquanto a combinação de um cromossomo Z com um W (ZW) resulta nas características femininas.

Os gametas, também são conhecidos como células germinativas e, possuem apenas um conjunto de cromossomos, totalizando 40 cromossomos por célula, incluindo o cromossomo sexual. No caso dos ovócitos secundários, o cromossomo na posição 40 pode ser um Z ou um W, enquanto os espermatozóides sempre carregam um cromossomo Z.

Os cromossomos homólogos são aqueles que fazem par com outros cromossomos. Eles são iguais em tamanho, têm o centrômero posicionado no mesmo lugar e a mesma posição de genes, ou seja, são muito parecidos em termos genéticos. Os cromossomos homólogos estão presentes nas células diploides ($2n = 80$). O seu emparelhamento acontece na meiose, o processo de divisão celular que forma células sexuais.

Os pombos machos recebem um cromossomo Z de ambos os ascendentes (ZZ); a fêmea recebe um cromossomo Z do seu ascendente masculino e um cromossomo W do seu ascendente feminino (ZW).

Tabela 1. Representação esquemática dos tipos de células encontradas nos pombos (*C. Livia*) com os respectivos números de cromossomos autossomos e sexuais ou alossomos.

Tipos células	Somáticas	Reprodutoras
♂	78 autossomos + ZZ	39 autossomos + Z
♀	78 autossomos + ZW	39 autossomos + Z ou 39 autossomos + W

A molécula de DNA, que é formada por milhões de nucleotídeos em cadeia, sofre às vezes alterações, chamadas mutações, com a substituição de certos nucleotídeos por outros diferentes. Desse modo, às vezes, essas mutações tornam-se estáveis, sendo transmitidas aos descendentes. Como é muito grande a variação no número e no tipo de mutações estáveis do DNA, esse fenômeno é conhecido como polimorfismo genético. Assim, é possível identificar o padrão de cores de uma pomba com base no seu polimorfismo.

Para reconhecer os lócus (sítios) onde ocorrem essas mutações, existe o método que usa as chamadas enzimas de restrição, que reconhecem o DNA apenas onde existem certas sequências específicas de nucleotídeos, designadas pelas letras iniciais dos nomes das bases que os formam: adenina [A], citosina [C], guanina [G] e timina [T]. A enzima de restrição TaqI *Thermus aquaticus* (Figura 11), no exemplo, só reconhece na cadeia de DNA o sítio correspondente à sequência de nucleotídeos com as variantes TCGA. Neste caso, a mutação substitui T por A, eliminando um sítio de restrição e assumindo após algum tempo posições variáveis, o que constitui o padrão de polimorfismo.

A Tabela 2 apresenta de maneira hipotética as sequências nucleotídicas de um pequeno fragmento cromossômico (Cr40), derivado de amostras de DNA isoladas de material biológico de aves com plumagens nas cores vermelha, azul e marrom. As funções de cada gene e de seus alelos foram analisadas, assim como os resultados fenotípicos decorrentes de suas expressões. Serviu como uma introdução preliminar ao tema da determinação genética da coloração da plumagem e do sexo de cada amostra de pombo. É importante salientar que a enzima de restrição TaqI, proveniente de *Thermus aquaticus*, identificou unidades de repetições TACG em vermelho, exclusivas do alossomo Z, as quais são responsáveis pela manifestação das cores vermelha, azul e marrom na plumagem dos pombos, evidenciando as variações alélicas Z^v , Z^a e Z^m . No alossomo W, verifica-se a ausência de sequências de nucleotídeos contendo as unidades repetitivas TCGA.

A análise das amostras foi realizada em conformidade com o genótipo das pombas fêmeas, que são heterogaméticas e, conseqüentemente, expressam apenas um dos dois alelos. Assim, à semelhança dos genes que obedecem ao padrão de herança vinculada ao cromossomo Z, observou-se que o gene Z^V se expressa na presença de apenas um sítio de restrição portador da variante TCGA. O gene Z^a manifesta-se na presença de dois sítios de restrição associados às variantes TCGA. O gene Z^m manifesta sua expressão na presença de três repetições do sítio de restrição com as variantes TCGA. Ao contrário do cromossomo Z, o cromossomo W não exibiu sítios de restrição correspondentes às variantes TCGA, possibilitando, dessa forma, a identificação inequívoca do sexo feminino.

Tabela 2. Representação figural/simbólica dos cromossomos Z e W, destacando as regiões de homologia com as variantes TCGA e região não homóloga que permite a identificação do sexo e dos genes que expressam as cores da plumagem em pombos (*C. Livia*). (Fonte: Os autores).

Fenótipos observados	Sequência de codificação na região não homóloga dos cromossomos Alossomos ZW, (Par Nº 40) expressando mutações que condicionam as cores da plumagem	Gene alelo codificados (Gametas)
Plumagem vermelha	Cr ₄₀ : TGAACGTGTGGCCACCAAGACGATAACACGAGCGAT TCGA TGA	Z^V
Plumagem azul	Cr ₄₀ : TGAACGTGTGGCCACCAAGACGATAAC TCGA GCGAT TCGA TGA	Z^a
Plumagem marrom	Cr ₄₀ : TGAACGTGTGGCCACCAAG TCGA TAAAC TCGA GCGAT TCGA TGA	Z^m
Sem expressão de cor	Cr ₄₀ : TGAACGTGTGGCCACCAAGTTGTTAACTTTGGCCTTACCTGA	W

A identificação de modificações em sequências de DNA reveste-se de significativa importância tanto para a detecção de mutações quanto para a revelação de polimorfismos de DNA. A maior parte das variações genéticas decorre das alterações ocasionadas pela mutação nas bases da sequência de DNA. Dessa forma, a adoção de técnicas que possibilitam a detecção de substituições de bases na busca por mutações e sequências polimórficas representa um significativo avanço tecnológico na investigação dessas variações.

A técnica possibilitou que, sempre que for viável observar nos dois segmentos de DNA do par de cromossomos Cr40 combinações de nucleotídeos TCGA, se tenha a certeza de que se tratam de pombos do sexo masculino. Assim, quando não for viável observar as combinações de nucleotídeos TCGA no segmento de bases, é seguro afirmar que se refere ao cromossomo W, exclusividade do sexo feminino. Assim, quando se trata do sexo masculino dos pombos, a indicação será feita por dois cromossomos sexuais do tipo Z, enquanto que, no caso do sexo feminino, será representado por um cromossomo do tipo Z e outro do tipo W.

As enzimas de restrição, também chamadas de endonucleases, são proteínas bacterianas que reconhecem uma sequência específica de nucleotídeos, no nosso caso a *TaqI* é uma enzima de restrição que foi isolada a partir da bactéria *Thermus aquaticus*, no ano de 1978. A sua sequência de reconhecimento é 5'TCGA: 3'AGCT (SATO, 1978).

No nosso cenário hipotético, a sequência de nucleotídeos do par de cromossomos (Cr40), que possui três sítios de restrição associados a pombos de plumagem marrom, originará quatro fragmentos de DNA. As sequências de nucleotídeos do par de cromossomos (Cr40), que apresenta dois sítios de restrição associados à plumagem azul em pombos, gerarão três fragmentos de DNA. As sequências de nucleotídeos do par cromossômico (Cr40), que apresenta um único sítio de restrição, demonstraram estar correlacionadas a pombos de plumagem vermelha, resultando na formação de dois fragmentos de DNA. Os fragmentos obtidos são quantificados em pares de bases (pb).

Na genética aviária, a herança ligada ao sexo refere-se àquela influenciada por genes localizados na região heteróloga do cromossomo sexual Z. Em outras palavras, trata-se de uma característica cujo determinante reside unicamente nos alelos presentes no cromossomo Z. Assim, aves do sexo biológico masculino possuem dois alelos, um em cada cromossomo alossômicos, o que possibilita a formação de seis combinações genotípicas. Em contrapartida, os indivíduos do sexo biológico feminino possuem um único alelo localizado exclusivamente no cromossomo Z, resultando em apenas três tipos de genótipos; devido à presença de apenas um cromossomo Z, são denominados hemizigóticos.

Neste exemplo pedagógico, a distribuição dos genótipos em pombos de ambos os sexos é elucidada como uma característica condicionada por três alelos (Z^V , Z^a ou Z^m) localizados na região heteróloga do cromossomo Z. As pombas do sexo biológico feminino podem apresentar genótipos Z^VW , Z^aW e Z^mW , totalizando três variantes, enquanto os pombos do sexo biológico masculino exibem genótipos Z^VZ^V , Z^aZ^a , Z^mZ^m , Z^VZ^a , Z^VZ^m , Z^aZ^m , somando assim seis diferentes tipos.

Os heredogramas (Figuras 11 a 15) possibilitam a avaliação de como a herança está relacionada às cores da plumagem dos descendentes. Para entender a maneira correta de realizar a análise, será necessário examinar os dois segmentos formados pelas 44 bases de nucleotídeos presentes em cada par do cromossomo sexual Z, assim como o número de variantes TCGA e seu fenótipo. Com isso, poderemos identificar se o alelo que determina esse fenótipo é oriundo de genes dominantes ou recessivos, e verificar se estes se encontram ou não nos cromossomos sexuais.

No heredograma (Figura 12), analisou-se a disposição e a organização das 44 bases de nucleotídeos nos dois segmentos de cada par de cromossomo sexual Z do ascendente masculino 6.B (ZZ). Observou-se que o fenótipo da plumagem vermelha (Z^V), causado por uma variante TCGA, é dominante em relação ao fenótipo da plumagem marrom (Z^m), que é decorrente de três variantes TCGA. No heredograma (Figura 13), foi possível perceber, através da organização, disposição e sequência das 44 bases de nucleotídeos nos dois segmentos de cada par de cromossomos sexuais Z, do ascendente 10.C do sexo masculino (ZZ), que a plumagem azul (Z^a), que apresenta duas variantes TCGA, é dominante em relação à plumagem marrom (Z^m), que possui três variantes TCGA. Por outro lado, no heredograma (Figura 14), também se analisou a organização, disposição e ordem das 44 bases de nucleotídeos nos dois segmentos de cada par de cromossomos sexuais Z, do ascendente 14.D do sexo masculino (ZZ). Nesse caso, verificou-se que a plumagem vermelha (Z^V), que expressa uma variante TCGA, é dominante quando comparada à plumagem azul (Z^a), que exibe duas variantes TCGA.

Portanto, ao analisar a prole dos pares 1.A e 2.A (Figura 11), que além dos fenótipos de plumagem marrom e vermelha também apresentavam os genótipos hemizigoto Z^mW e heterozigoto Z^VZ^a , constatou-se que o descendente 3.A exibiu três variantes de TCGA no cromossomo Cr40₁ e duas variantes no cromossomo Cr40₂, possui genótipo Z^aZ^m e terá fenótipo plumagem azul e sexo masculino. A descendente 4.A é classificada como feminina e possui apenas um cromossomo sexual Z carregando uma única cópia da variante TCGA, portanto, seu genótipo é Z^VW e seu fenótipo será plumagem vermelha.

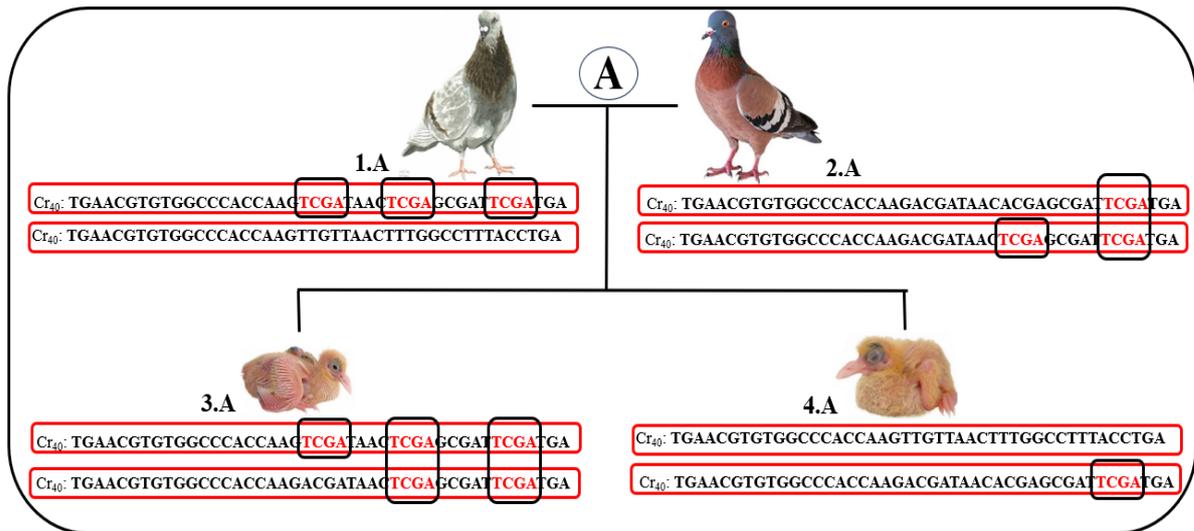


Figura 11. Heredograma ilustrando os cromossomos Z e W de pombos (*C. Livia*), evidenciando as áreas de homologia e a região não homóloga.

A Tabela 3, apresenta o comportamento dos três alelos (Z^V , Z^a e Z^m) demonstrados na representação gráfica (Figura 11), que se situam na região heteróloga do cromossomo Z. Nela estão incluídas duas pombas fêmeas, identificadas como 1.A e 2.A, cujos genótipos são Z^mW e Z^VW , resultando nos fenótipos de plumagem marrom e vermelha. Também estão presentes dois pombos machos, designados como 2.A e 3.A, que possuem genótipos heterozigotos: Z^VZ^a e Z^aZ^m , com fenótipos de plumagem vermelho e azul. Na segunda geração, os indivíduos descendentes são 3.A e 4.A, apresentando, respectivamente, os genótipos heterozigoto Z^aZ^m e hemizigoto Z^VW , cujos fenótipos corresponderão a plumagem azul e vermelha.

Observou-se também, que o fenótipo que se manifesta em heterozigose (2.A), representa a plumagem cor vermelha (Z^VZ^a), ou seja, estamos trabalhando com um problema de dominância completa. É fácil verificar que todos os descendentes machos serão heterozigotos (Z^VZ^m ou Z^aZ^m), respectivamente, plumagem vermelha ou azul e que todos as descendentes fêmeas, por serem hemizigotos em relação aos alelos do ascendente macho Z^VZ^a , serão das cores vermelha (Z^VW) ou azul (Z^aW).

Tabela 3. As combinações genéticas (Z^V , Z^a e Z^m) derivadas do acasalamento da descendência obtida no cruzamento A, conforme ilustrado na Figura 11, salientam as características de sexo, genótipo e fenótipo.

Observação	Ascendentes		Descendentes	
Cruzamento A				
Identificação	1.A	2.A	3.A	4.A
Sexo	♀	♂	♂	♀
Genótipo	Z^mW	Z^VZ^a	Z^aZ^m	Z^VW
Fenótipo (plumagem)	Marrom	Vermelho	Azul	Vermelho

No cruzamento do casal 5.B e 6.B (Figura 12), que possuem, respectivamente, os genótipos hemizigoto Z^mW e heterozigoto Z^VZ^m , além dos fenótipos de plumagem marrom e vermelha, constatou-se que o descendente 7.B apresenta três variantes TCGA, localizadas em cada par do cromossomo alossomo Cr40. Esse descendente possui o genótipo Z^mZ^m e exibe plumagem marrom, sendo do sexo masculino. Em contraste, o descendente 8.B é do sexo feminino e possui apenas um cromossomo sexual Z, que contém uma única cópia da variante TCGA, resultando em um genótipo Z^VW que resultara em fenótipo com plumagem vermelha.

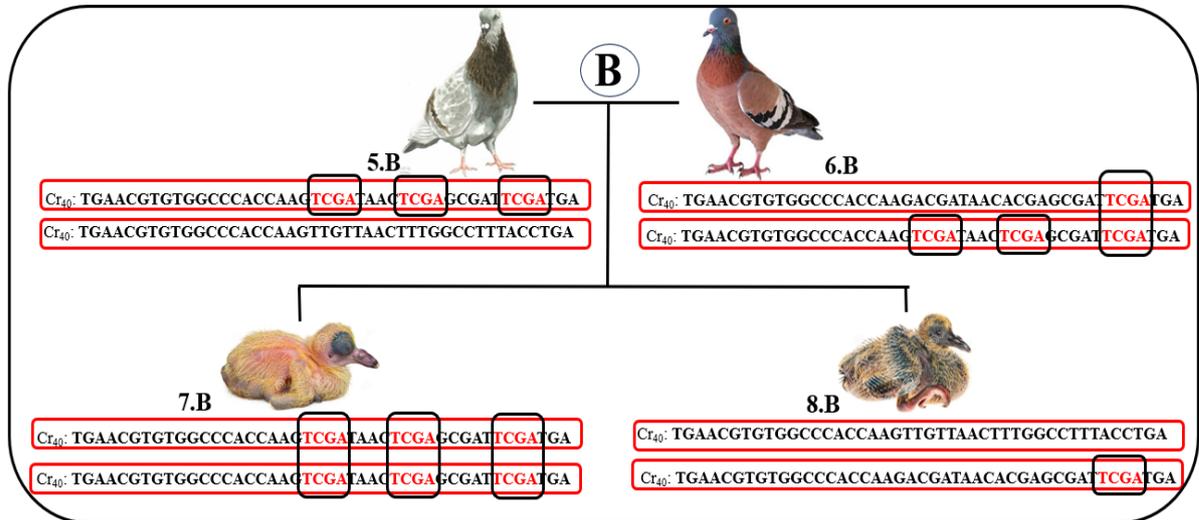


Figura 12. Heredograma ilustrando os cromossomos Z e W de pombos (*C. Livia*), evidenciando as áreas de homologia e a região não homóloga.

A Tabela 4 apresenta a dinâmica dos três alelos (Z^V , Z^a ou Z^m) conforme mostrado na representação gráfica (Figura 12), os quais se encontram situados na região heteróloga do cromossomo Z. No contexto observado, encontram-se duas fêmeas de pombo, 5.B e 7.B, portadoras dos genótipos Z^mW e Z^VW , cujos fenótipos se manifestam como plumagens marrom e vermelha, respectivamente. Adicionalmente, existem dois machos, 6.B e 8.B, os quais exibem genótipos heterozigotos: Z^VZ^m e Z^mZ^m , manifestando fenótipos correspondentes de plumagem vermelha e marrom, respectivamente. Os indivíduos da segunda geração, designados como 7.B e 8.B, possuem genótipos homozigoto Z^mZ^m e hemizigoto Z^VW , o que se traduz nos fenótipos de plumagem marrom e vermelha, respectivamente.

Também se verificou que o fenótipo que se manifesta em heterozigose (6.B), representa a plumagem cor vermelha (Z^VZ^m), ou seja, estamos trabalhando com um problema de dominância completa. Assim, é fácil verificar que todos os descendentes machos poderão ser homozigotos (Z^mZ^m) ou heterozigotos (Z^VZ^m), respectivamente, plumagem marrom ou vermelha e que todos as descendentes fêmeas, por serem hemizigotos em relação aos alelos do ascendente macho Z^VZ^m , serão das cores vermelha (Z^VW) ou marrom (Z^mW).

Tabela 4. As combinações genéticas (Z^v , Z^a e Z^m) derivadas do acasalamento da descendência obtida no cruzamento B, conforme ilustrado na Figura 12, salientam as características de sexo, genótipo e fenótipo.

Observação	Ascendentes		Descendentes	
Cruzamento B				
Identificação	5.B	6.B	7.B	8.B
Sexo	♀	♂	♀	♂
Genótipo	Z^mW	Z^vZ^m	Z^mZ^m	Z^vW
Fenótipo (plumagem)	Marrom	Vermelho	Marrom	Vermelho

No caso do cruzamento do casal 9.C e 10.C (Figura 13), correspondendo, respectivamente, aos genótipos hemizigoto Z^aW e heterozigoto Z^aZ^m e fenótipo de plumagem azul, observou-se que o descendente 11.C apresenta três variantes TCGA e duas variantes no par do cromossomo alossomo Cr40, expressando o genótipo Z^aZ^m . Assim, seu fenótipo será plumagem azul e sexo masculino. Por outro lado, o descendente 12.C foi classificado como do sexo feminino, possuindo apenas um cromossomo sexual Z, que expressa três cópias da variante TCGA. Dessa forma, seu genótipo é Z^mW e seu fenótipo será plumagem marrom.

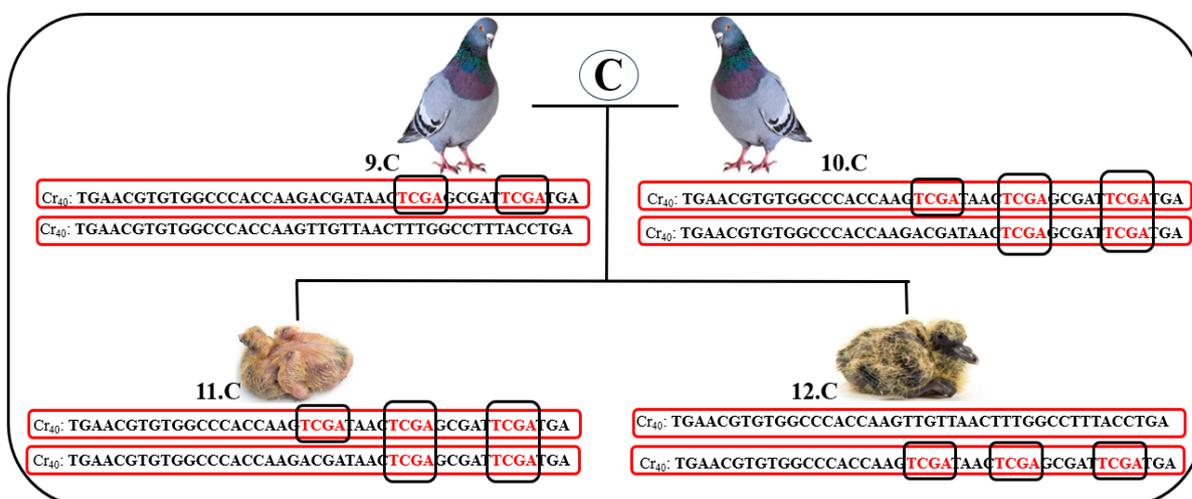


Figura 13. Heredograma ilustrando os cromossomos Z e W de pombos (*C. Livia*), evidenciando as áreas de homologia e a região não homóloga.

A Tabela 5 descreve a conduta relacionada aos três alelos (Z^v , Z^a e Z^m) identificados na representação gráfica apresentada na Figura 13, localizados na região heteróloga do cromossomo Z. Neste cenário, duas pombas fêmeas são identificadas (9.C e 12.C) com genótipos Z^aW e Z^mW , respectivamente. Dessa forma, o genótipo do filhote 12.C exibira o fenótipo plumagem marrom. Ademais, existem dois pombos machos, 10.C e 11.C, cujos genótipos são heterozigotos Z^aZ^m . O filhote 11.C exibirá a característica de plumagem azul.

Observou-se também, que o fenótipo que se manifesta em heterozigose (10.C), representa a plumagem cor azul (Z^aZ^m), ou seja, estamos trabalhando com um problema de dominância completa. Portanto, é fácil verificar que todos os descendentes machos poderão ser homozigotos (Z^aZ^a) ou heterozigotos (Z^aZ^m), respectivamente, plumagem azul e que todos as descendentes fêmeas, por serem hemizigotos em relação aos alelos do ascendente macho Z^aZ^m , poderão ser das cores azul (Z^aW) ou marrom (Z^mW).

Tabela 5. As combinações genéticas (Z^v , Z^a e Z^m) derivadas do acasalamento da descendência obtida no cruzamento C, conforme ilustrado na Figura 13, salientam as características de sexo, genótipo e fenótipo.

Observação	Ascendentes		Descendentes	
Cruzamento 				
Identificação	9.C	10.C	11.C	12.C
Sexo	♀	♂	♂	♀
Genótipo	Z^aW	Z^aZ^m	Z^aZ^m	Z^mW
Fenótipo (plumagem)	Azul	Azul	Azul	Marrom

No cruzamento do casal 13.D e 14.D. (Figura 14), que têm os genótipos hemizigoto Z^aW e heterozigoto Z^vZ^a e os fenótipos de plumagem azul e vermelha, foi observado que no descendente 15.D cada par do cromossomo alossomo Cr40, apresenta duas variações TCGA. Assim, o genótipo é Z^aZ^a e o seu fenótipo será de plumagem azul e do sexo masculino. Por outro lado, o descendente 16.D foi classificada como fêmea, possuindo um único cromossomo sexual Z que expressa duas cópias da variação TCGA. Isso sugere que seu genótipo é Z^aW e seu fenótipo de plumagem será azul.

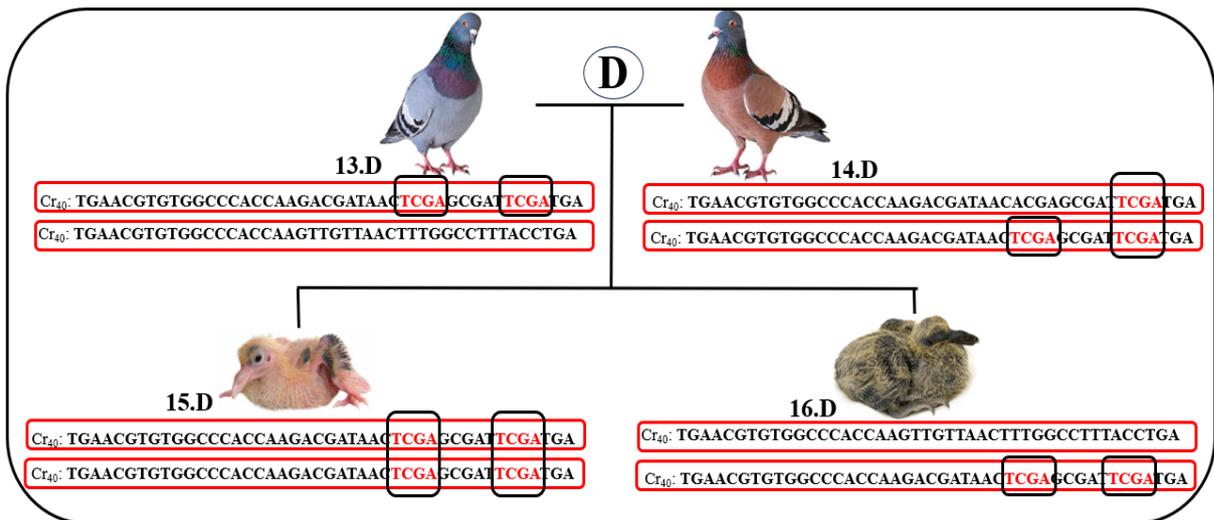


Figura 14. Heredograma ilustrando os cromossomos Z e W de pombos (*C. Livia*), evidenciando as áreas de homologia e a região não homóloga.

A Tabela 6 demonstra o comportamento atribuído aos três alelos (Z^V , Z^a e Z^m) evidenciados na representação gráfica (Figura 14), situados na zona heteróloga do cromossomo Z. No contexto, observam-se duas pombas do sexo feminino, identificadas como 13.D e 15.D, cujos genótipos são, respectivamente, Z^aW e Z^aW , apresentando fenótipos de plumagem azul. São dois pombos machos, denominados 14.D e 16.D, que apresentam genótipos heterozigotos: Z^VZ^a e Z^aZ^a , com fenótipos correspondentes de plumagem nas cores vermelha e azul.

Observou-se também, que o fenótipo que se manifesta em heterozigose (14.D), representa a plumagem cor vermelha (Z^VZ^a), ou seja, estamos trabalhando com um problema de dominância completa. Portanto, é fácil verificar que todos os descendentes machos poderão ser homozigotos (Z^aZ^a) ou heterozigoto (Z^VZ^a), respectivamente, plumagem azul ou vermelha e que todos as descendentes fêmeas, por serem hemizigotos em relação aos alelos do ascendente macho Z^VZ^a , poderão ser das cores azul (Z^aW) ou vermelha (Z^VW).

Tabela 6. As combinações genéticas (Z^V , Z^a e Z^m) derivadas do acasalamento da descendência obtida no cruzamento D, conforme ilustrado na Figura 14, salientam as características de sexo, genótipo e fenótipo.

Observação	Ascendentes		Descendentes	
Cruzamento D				
Identificação	13.D	14.D	15.D	16.D
Sexo	♀	♂	♀	♂
Genótipo	Z^aW	Z^VZ^a	Z^aZ^a	Z^aW
Fenótipo (plumagem)	Azul	Vermelho	Azul	Azul

No cruzamento do casal 17.E e 18.E (Figura 15), caracterizados pelos genótipos hemizigoto Z^VW e heterozigoto Z^VZ^m e pelos fenótipos plumagem vermelha, observou-se que no descendente 19.E apenas uma variante TCGA é expressa, em cada par do cromossomo alossomo Cr40, uma característica determinada pelo genótipo homozigoto Z^VZ^V e manifestada pelo fenótipo plumagem vermelha e sexo masculino. O descendente 20.E foi identificado como do sexo feminino, com apenas um cromossomo sexual Z que carrega três cópias da variante TCGA. Portanto, o seu genótipo é hemizigoto Z^mW e o seu fenótipo será plumagem marrom.

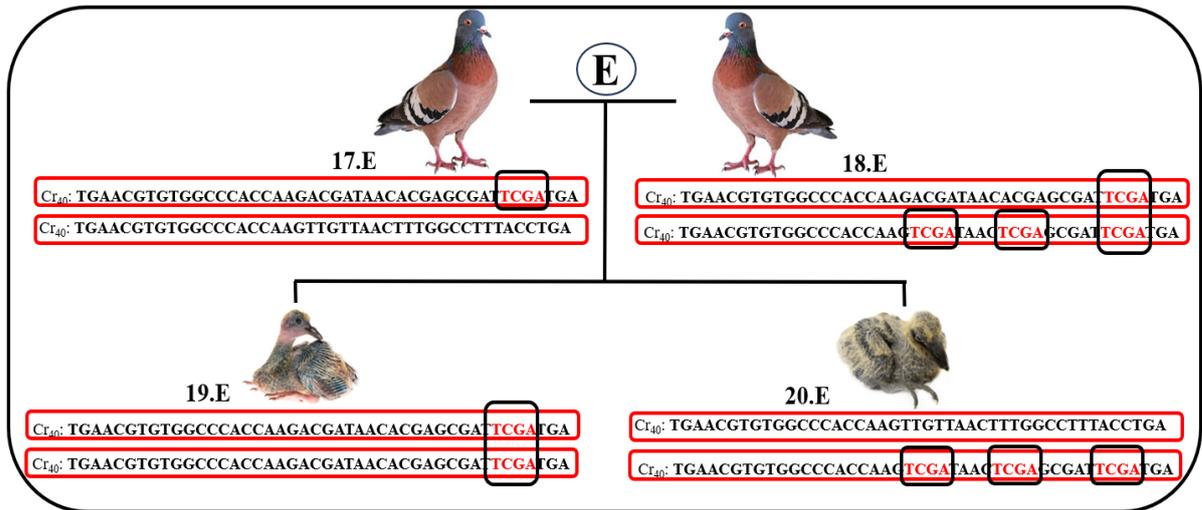


Figura 15. Heredograma ilustrando os cromossomos Z e W de pombos (*C. Livia*), evidenciando as áreas de homologia e a região não homóloga.

A Tabela 7, demonstra o comportamento influenciado pelos três alelos (Z^V , Z^a e Z^m) destacados na representação gráfica (Figura 15), situados na região heteróloga do cromossomo Z. Nesta, duas pombas são do sexo feminino 17.E e 20.E, cujos genótipos são, respectivamente, Z^VW e Z^mW com fenótipos de plumagem vermelha e marrom. E dois pombos do sexo masculino 18.E e 19.E, respectivamente, de genótipos heterozigotos: Z^VZ^m e Z^VZ^V com fenótipos de plumagem vermelha.

Observou-se também, que o fenótipo que se manifesta em heterozigose (18.M), representa a plumagem cor vermelha (Z^VZ^m), ou seja, estamos trabalhando com um problema de dominância completa. Portanto, é fácil verificar que todos os descendentes machos poderão ser homozigotos (Z^VZ^V) ou heterozigoto (Z^VZ^m), respectivamente, plumagem vermelha e que todos as descendentes fêmeas, por serem hemizigotos em relação aos alelos do ascendente macho Z^VZ^m , poderão ser das cores vermelha (Z^VW) ou marrom (Z^mW).

Tabela 7. As combinações genéticas (Z^V , Z^a e Z^m) derivadas do acasalamento da descendência obtida no cruzamento E, conforme ilustrado na Figura 15, salientam as características de sexo, genótipo e fenótipo.

Observação	Ascendentes		Descendentes	
Cruzamento 				
Identificação	17.E	18.E	19.E	20.E
Sexo				
Genótipo	Z^VW	Z^VZ^m	Z^VZ^V	Z^mW
Fenótipo (plumagem)	Vermelho	Vermelho	Vermelho	Marrom

CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com Silva (2015) os alunos aprendem mais quando se utilizam imagens e sons, pois, relacionam, por meio desses artefatos tecnológicos, certos conteúdos curriculares ou situações de aprendizagem com sons ou imagens. Assim, durante o desenvolvimento dessa metodologia, os alunos tiveram a oportunidade de observar o uso de várias ferramentas apresentadas em heredogramas (Figuras 1, 2, 3, 4 e 5). Com isso, eles puderam comparar a sequência de codificação do gene/?? que determina o sexo e a classe genotípica de cada ave, analisando a variabilidade genética das características que são influenciadas por genes localizados em cromossomos sexuais ou alossomos das aves.

Os machos têm dois cromossomos Z, e a troca de material genético entre esses cromossomos pode resultar em novas combinações de cores e alelos. Assim, alguns descendentes podem herdar a mesma combinação de alelos que o pai macho. Por outro lado, as fêmeas possuem apenas um cromossomo Z e um cromossomo W, que não contém a informação genética para a cor das penas. Isso significa que as fêmeas têm apenas uma cópia do gene responsável pela cor, enquanto os machos têm duas cópias.

Devido à sua localização em um cromossomo sexual, afirma-se que o gene da cor está associado ao gênero. Os genes associados ao sexo apresentam padrões de herança distintos em aves machos e fêmeas. Existem dois alelos de cor nos machos. Com base nos genótipos e fenótipos apresentados, estabeleceu-se uma relação de dominância total entre os genes responsáveis pela coloração dos pombos ($Z^V > Z^a > Z^m$): o gene para a coloração "vermelha" prevalece sobre os demais, enquanto o gene para a coloração "azul" prevalece sobre o gene para a coloração "marrom".

As fêmeas possuem somente um gene de cor. Qualquer alelo que reproduz determina a ??? tonalidade da pena. Os machos recebem um alelo de cor de cada progenitor e transmite um ou outro alelo aos seus descendentes, tanto machos quanto fêmeas. As fêmeas herdam sempre seu alelo de cor de seus progenitores, passando-o sempre para os seus descendentes. O cromossomo W, que não possui alelo de cor, sempre é transmitido da mãe para a filha.

Foram identificadas as classes genotípicas para os descendentes biológicos dos acasalamentos (A, B, C, D, E) através da combinação de três variações distintas de genes: Z^V , Z^a e Z^m . O gene Z^V induz uma distribuição de pigmento que leva ao fenótipo "vermelho"; o

gene Z^a leva ao "azul" e o gene Z^m ao "marrom". Estes genes se encontram na região não-homóloga do cromossomo Z. Neste contexto, por estar situado em um cromossomo sexual, podemos afirmar que o gene que condiciona essas tonalidades de plumagem está ligado ao sexo ou à herança ligada ao cromossomo Z.

Especialmente, os pombos machos possuem dois cromossomos Z que estão perfeitamente alinhados. Assim, quando as duas cópias do mesmo gene responsável pela cor da plumagem nesse locus são idênticas, são chamadas de homozigotos. Por outro lado, quando são diferentes do mesmo gene, são chamadas de heterozigotos. Portanto, nesta forma de herança genética, pombos machos apresentaram genótipos homozigotos Z^vZ^v , Z^aZ^a , Z^mZ^m , além de genótipos heterozigotos Z^vZ^a , Z^vZ^m , Z^aZ^m . As fêmeas apresentaram os genótipos hemizigotos Z^vW , Z^aW , Z^mW .

É importante salientar que a enzima de restrição TaqI, proveniente de *Thermus aquaticus*, identificou unidades (TCGA) em vermelho, exclusivas do alossomo Z, as quais são responsáveis pela manifestação das cores vermelha, azul e marrom na plumagem dos pombos, evidenciando as variações alélicas Z^v , Z^a e Z^m . No alossomo W, verificou-se a ausência de sequências de nucleotídeos contendo as unidades repetitivas TCGA.

A análise das amostras foi realizada em conformidade com o genótipo das pombas fêmeas, que são heterogaméticas e, conseqüentemente, expressam apenas um dos dois alelos. Assim, à semelhança dos genes que obedecem ao padrão de herança vinculada ao cromossomo Z, observou-se que o gene Z^v se expressa na presença de apenas um sítio de restrição portador da variante TCGA. O gene Z^a manifesta-se na presença de dois sítios de restrição associados às variantes TCGA. O gene Z^m manifesta sua expressão na presença de três repetições do sítio de restrição com as variantes TCGA. Ao contrário do cromossomo Z, o cromossomo W não exibiu sítios de restrição correspondentes às variantes TCGA, possibilitando, dessa forma, a identificação inequívoca do sexo feminino.

Segundo os autores Snustad & Simmons (2013); Pierce (2016); Griffiths et al. (2016); a mutação genética é definida por mudanças no código genético, resultando em novas versões dos genes. Esta circunstância pode resultar em características inéditas nos indivíduos portadores da mutação. Assim, a detecção de alterações nas duas sequências compostas por 44 bases de nucleotídeos de DNA em cada par do cromossomo sexual Z (Figuras 11 a 15) foi de grande relevância tanto na detecção de mutações quanto na descoberta de polimorfismos genéticos.

Para Jeronimo (2016), a sexagem molecular é uma ferramenta de extrema importância para a identificação de machos e fêmeas de aves monomórficas, utilizada nas mais diversas áreas de pesquisa, como conservação biológica, genética, evolução e comportamento. Dessa forma, a identificação molecular do sexo de animais adultos é realizada tanto para as espécies que apresentam dimorfismo sexual aparente, como para aquelas que não apresentam diferenças morfológicas ou que possuem distinções discretas entre os dois sexos.

De acordo com os autores Raso & Werther (2004) a identificação dos sexos, oriunda da sexagem molecular, em aves monomórficas, é de extrema importância quando comparado ao sucesso da reprodução de matrizes selvagens. Logo, passa a ser uma ferramenta relevante para a realização de estudos comportamentais e populacionais em pássaros que não apresentam dimorfismo sexual aparente (FARIA; CARRARA; RODRIGUES, 2007).

Os autores De Antônio; Fraga; Tomazi (2021) relataram que para a realização de PCR em aves, fazem-se necessários alguns procedimentos, tais como a imobilização física do animal, a coleta do material genético, a extração do DNA e posteriormente, os genes são amplificados para que seja possível observar as bandas geradas por eletroforese. Dessa forma, realiza-se a classificação dos genes Z e W e assim a sexagem da ave. Logo, esses fatores facilitam, em rotina de zoológicos e centros de triagem, a identificação dos sexos para catalogação de espécimes fêmeas e machos recém chegados nesses locais.

Considerando a diversidade de alunos da turma de Licenciatura em Ciências Biológicas e que cada estudante adquire o conhecimento de maneira diferente e no seu tempo, a utilização de diferentes metodologias é uma alternativa para melhorar a compreensão dos conteúdos.

Foi observado que a utilização dessa simulação promoveu maior aprendizagem do conteúdo, além de possibilitar uma maior socialização dos estudantes, além de permitir relacionar o saber científico ao saber cotidiano, demonstrando a importância da utilização de metodologias alternativas na aprendizagem de Genética Molecular.

As análises das ilustrações nos cinco heredogramas (Figuras 1, 2, 3, 4 e 5) da atividade proposta permitiram observar um desempenho semelhante ao das aulas práticas, sendo indicativo de que a substituição é possível por esse modelo alternativo que foi usado.

A utilização desse modelo em sala de aula, unindo teoria e prática aumentou o interesse pela disciplina estimulando os estudantes a participarem ativamente da aula, saindo do modelo tradicional e inserindo novas ferramentas de ensino. Logo o conteúdo foi apresentado de uma forma mais prática, ou seja, é possível que os estudantes tenham tido maior desenvolvimento neste conteúdo da Genética devido a sua metodologia de apresentação.

Segundo Orlando et al. (2009), uma alternativa para substituir a falta de laboratórios com equipamentos de alto custo nas Instituições de Ensino seria a produção de laboratórios equipados com modelos didáticos construídos, trazendo uma visão mais aproximada do mundo abstrato aos estudantes.

Freire (2015) afirma que é necessário, na formação de docentes, que o professor não fique parado no tempo, sendo imprescindível a busca por metodologias que permitam que as aulas sejam mais proativas, com materiais não convencionais e tentativas de discussão de técnicas, aguçando a curiosidade do ser humano, fazendo com que ele se questione, seja um investigador ativo.

Setúval (2009); Medeiros et al. (2021); Medeiros, Alves, Kimura (2021; 2022; 2023; 2024; 2025) afirmam que após a produção de modelos didáticos para apoio pedagógico em sala de aula, foi observado aulas mais dinâmicas com fixação dos conteúdos, promovendo novas perspectivas aos discentes. Portanto, permitindo a criatividade e socialização dos conhecimentos pelos alunos, ao utilizar estas ferramentas na construção do conhecimento (Tabelas 3, 4, 5, 6 e 7).

De acordo com Krasilchick (2012); Medeiros, Alves, Kimura (2021; 2022; 2023; 2024), as atividades práticas visam criar um espaço em que é possível proporcionar ao aluno maior interesse no assunto a ser compreendido, envolvendo-o em uma investigação de caráter científico e na resolução de problemas.

Os autores Berbel (1995); Pozo (1998); Medeiros, Alves, Kimura (2021; 2022; 2023; 2024; 2025), destacaram que a resolução de problemas de natureza investigativa, a partir de atividades práticas, pode permitir a associação entre o conhecimento trazido pelos alunos e o conhecimento científico.

Vários estudos que avaliam a utilização de modelos representativos já foram realizados no ensino fundamental, médio e superior. Além dos estudos que buscavam aumentar o interesse e aprendizado dos alunos, também existem trabalhos que tiveram como objetivo construir modelos alternativos para auxiliar o professor que aceite utilizá-lo em aulas. Outros estudos visaram trabalhar a construção/utilização de modelos com os estudantes da licenciatura em biologia, de tal forma que estes futuros professores possam utilizá-los como material didático quando se formarem. Dentre os estudos em que estão ilustrados os modelos representativos em sala de aula Matos et al. (2009); Orlando et al. (2009); Mendonça & Santos (2011); Souza & Faria (2011); Temp (2011); Duso (2012); Krause (2012); Oliveira et al. (2012); Duso et al. (2013); Ferreira et al. (2013); Reis et al. (2013); Olmo et al. (2014); Vinholi Júnior & Princival (2014); Madureira (2016); Medeiros et al. (2021); Medeiros, Alves, Kimura (2021; 2022; 2023; 2024; 2025) relataram de forma geral, o envolvimento dos alunos do início ao fim da atividade;

maior facilidade na reflexão do conteúdo; a promoção de um aprendizado significativo em relação a conceitos que os alunos possuíam muita dificuldade em assimilar; curiosidade, entusiasmo, interesse, interação e maior facilidade no desenvolvimento de competências e habilidades por parte dos alunos; desenvolvimento da criatividade e do espírito de equipe entre os alunos.

A partir do modelo simulado (Figura 1, 2, 3, 4 e 5) foi possível explicar de acordo com Dolinsky et al (2007); Snustad & Simmons (2013); Candeloro et al. (2019); Frohlich et al. (2020); Medeiros et al. (2021); Medeiros, Alves, Kimura (2021; 2022; 2023; 2024; 2025) que cada indivíduo possui em seu DNA, uma sequência repetida de nucleotídeos. E que essa sequência é exclusiva de cada descendente e que ele herda essas sequências (Cr40) de seus genitores de acordo com os padrões de herança mendeliana, sendo 50,0% do pai e 50,0% da mãe.

O modelo didático proposto também permitiu demonstrar no nosso cenário hipotético, (Figura 1, 2, 3, 4 e 5) que na sequência de nucleotídeos do par de cromossomos (Cr40), destaca-se a presença de unidades de repetições TCGA ao longo da sequência de nucleotídeos reconhecidas pela enzima de restrição TaqI *Thermus aquaticus* que apresentam diferenças fenotípicas influenciadas pela presença ou pela ausência de unidades de repetições TCGA ao longo da sequência de nucleotídeos (Figuras 1 a 5) indicando as formas alternativas dos genes Z^V , Z^a e Z^m e que ocupam uma mesma posição relativa no cromossomo Z. Assim, quando se tratou do sexo masculino dos pombos, a indicação foi feita por dois cromossomos sexuais do tipo Z, enquanto que, no caso do sexo feminino, foi representado por um cromossomo do tipo Z e outro do tipo W.

A representação dos genes em cromossomos (Cr40) destacando as várias combinações das bases: adenina, timina, guanina e citosina, retratadas por heredogramas (Figuras 1 a 5) permitiram que fossem trabalhados conceitos como alelos, lócus, homocigoto e heterocigoto, termos estes tão importantes para a compreensão das bases da genética (TEMP, 2011). E, conforme destacaram Sousa, Spósito e Marisco (2013); Medeiros et al. (2021), a compreensão de conceitos específicos da área de Genética é muito importante para a aprendizagem do aluno, que deve ser capaz de compreender os processos biológicos e suas estruturas, bem como estabelecer correlações e inter-relações entre os diferentes processos celulares com os mecanismos genéticos. Portanto, o perfil genético de cada pombo, foi baseado na combinação das quatro bases de nucleotídeos de DNA que são herdadas de seus ascendentes. Essas combinações de nucleotídeos geraram as diferentes cores de plumagem entre os pombos. Dessa forma, na transmissão da coloração das penas, observou-se nos acasalamentos A, B, C, D, E (Figuras 1 a 5) o envolvimento de três genes alelos ligados ao cromossomo Z: Z^V , Z^a e Z^m . Esses alelos são responsáveis por garantir que uma pomba apresente o padrão de plumagem, respectivamente, das cores: vermelho, azul ou marrom. O gene CHD – W não apresenta cor.

Conceitualmente, GARDNER & SNUSTAD (1986); Griffiths et al. (2016); Amabis & Martho (2010); Alberts et al. (2010) destacaram que as várias combinações das bases: adenina, timina, guanina e citosina, produzem as diferenças biológicas entre os indivíduos, sendo que tais informações genéticas são passadas de uma geração para a outra, no momento da concepção.

Segundo Borges & Lima (2007) e Durban et al. (2008), boa parcela dos estudantes brasileiros sai do ensino médio entendendo, por exemplo, que as leis de Mendel são apenas “letras” que se combinam em um cruzamento, não conseguindo fazer a associação de que essas “letras” como AA, Aa ou aa, que são apenas símbolos, que representam os genes, e estão localizadas nos cromossomos, se segregando durante a meiose para a formação dos gametas.

O modelo didático desenvolvido neste trabalho proporcionou aos estudantes de licenciatura em biologia, mais uma ferramenta metodológica a ser reproduzida, a ser usada durante as aulas de genética na parte em que aborda assuntos relacionados a variabilidade

genética das pombas, evidenciando as possíveis distribuições genotípicas e as fenotípicas dos descendentes resultantes da origem da combinação de diferentes ascendentes genitores. Para isso houve a preocupação de se utilizar materiais de fácil aquisição e de baixo custo, além de ser de fácil construção para aplicação. Portanto, como descrito por Guimarães & Ferreira (2006); Justina & Ferla (2006); Cavalcante e Silva (2008); Temp & Bartholomei-Santos (2013); Medeiros et al. (2021); Medeiros, Alves, Kimura (2021; 2022; 2023; 2024; 2025) este tipo de recurso de ensino é considerado uma ferramenta valiosa de aprendizagem, tornando a aula mais diversificada, dinâmica e atrativa, ao mesmo tempo em que auxiliam o professor na execução de diferentes conteúdos em suas aulas.

CONCLUSÃO

Conclui-se que o uso de representações gráficas que ilustram heredogramas simulando a variabilidade genética de características determinadas por genes localizados em cromossomos sexuais ou alossomos de aves, através da sequência de codificação do gene que revela o sexo e a fórmula genética com o uso de enzimas de restrição em amostras de DNA, valorizou a aprendizagem vivenciada pelos alunos nas diversas modalidades de estratégias didáticas apresentadas. Se mostrou uma metodologia eficiente para trabalhar conceitos e relações dentro do conteúdo de genética. E além da caracterização dos cromossomos sexuais ZW, os alunos reconheceram que os genes que condicionavam as três variedades de cores da plumagem, estavam localizados no cromossomo Z e ocupavam uma mesma posição e que existe uma relação de dominância entre os tons de cores das plumagens nos pombos quando examinamos nos dois segmentos formado pelas 44 bases de nucleotídeos, de cada par do cromossomo sexual Z, a existência de variantes TCGA que demonstrou as formas alternativas dos genes Z^v , Z^a e Z^m e que ocupam uma mesma posição relativa no cromossomo Z. Os estudantes puderam notar, quando associaram os genótipos e fenótipos, uma relação de dominância entre os genes responsáveis pela coloração da plumagem; o gene para coloração vermelha domina os demais, e o gene para coloração azul domina o gene para coloração marrom.

Notaram que os pombos do sexo masculino, apresentam seis tipos de genótipos: Z^vZ^v , Z^aZ^a , Z^mZ^m , Z^vZ^a , Z^vZ^m ou Z^aZ^m , e do sexo feminino, três: Z^vW , Z^aW ou Z^mW .

Cabe também destacar que o emprego dessa metodologia promoveu um estudo interdisciplinar entre a genética, biologia molecular e a matemática, podendo contribuir para o desenvolvimento pessoal e cognitivo do aluno, visto que eles precisam pensar, raciocinar, interpretar e, ao final da investigação, relatar os resultados encontrados.

Também, foi observado que os alunos gostaram da experiência e que conseguiram aprender e compreender de maneira prática a interdisciplinaridade de conceitos que envolvem a herança ligada ao sexo nas aves, como também suas aplicações na transmissão de informações genéticas. Assim, o uso do modelo proposto se mostrou uma metodologia eficiente para trabalhar conceitos e relações dentro do conteúdo de genética.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBERTS, B, JOHNSON, A., LEWIS, J.; RAFF, M.; ROBERTS, K.; WALTER, P. *Biologia molecular da célula*. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.
- AMABIS, J. M.; MARTHO, G. R. *Biologia: Biologia das Populações*. v. 3. São Paulo. Moderna, 2010.
- BORGES, R. M. R; LIMA, V. M. R. Tendências contemporâneas do ensino de biologia no Brasil. *Revista Eletrônica de Enseñanza de las Ciencias*, Chile, v. 6, n. 2, p. 299-309, 2007.
- BRASIL. Conselho Nacional de Educação. Lei n. 9.394 de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as Diretrizes e Bases da Educação Nacional. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*. Brasília, DF, 23 dez. 1996.
- BRASIL. Secretaria de Educação Fundamental. *Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências Naturais*. Secretaria de Educação Fundamental. Brasília: MEC/SEF, 1997.
- BRASIL. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *Parâmetros curriculares nacionais: Ensino Médio*. Brasília: MEC/SEM, 1999.
- BRASIL, Secretaria da Educação Básica. *Guia de Livros didáticos: Programa Nacional do Livro Didático (PNLD)*. Brasília: MEC/SEF, 2008.
- BRASIL, Secretaria da Educação Média e Tecnológica. *Diretrizes curriculares para o Ensino Médio*. Brasília: MEC/SEM, 2013.
- BRASIL. Secretaria de Educação Básica. *Formação de professores do ensino médio: áreas de conhecimento e integração curricular*. Curitiba UFPR/Setor de Educação, 2013.
- BRASIL, Secretaria da Educação Básica. *Formação de professores do ensino médio: Ciências da Natureza*. Curitiba UFPR/Setor de Educação, 2014.
- BRASIL. Base Nacional Comum Curricular (BNCC). *Educação é a Base*. Brasília, MEC/CONSED/UNDIME. 2017.
- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria Executiva. Secretaria de Educação Básica. Conselho Nacional de Educação. *Base Nacional Comum Curricular: Educação é a base*. Brasília: MEC. 2018
- CANDELORO, M. M.; FROHLICH, P. B. M.; MEDEIROS, M. O. A tecnologia do DNA e sua importância prática e jurídica na comprovação da paternidade. *Biodiversidade* - n.18, v.3, 2019 - pág. 190 – 202.
- CAVALCANTE, D. D. & SILVA, A. de F. A. de. **Modelos didáticos e professores: concepções de ensino-aprendizagem e experimentações**. In: XIV Encontro Nacional de Ensino de Química, Curitiba, UFPR, Julho de 2008.
- DE ANTÔNIO, E. S.; FRAGA, R. E.; TOMAZI, L. Sexagem molecular em araras vermelhas e Centros de Triagem de Animais Silvestres: Revisão. *PUBVET*, v. 15, p. 180, 2021.

DELLA, L. A. J.; FERLA, M. R. A utilização de modelos didáticos no ensino de genética- exemplo de representação de compactação do DNA eucarioto. *Arquivos do Museu Dinâmico Interdisciplinar*, v. 10, n. 2, p. 35-40, 2013.

DURBANO, J. P. M.; PADILHA, I. Q. M.; RÊGO, T. G.; RODRIGUES, P. A. L.; ARAÚJO, D. A. M. Percepção do conhecimento dos alunos de ensino médio do município de João Pessoa sobre temas emergentes em biotecnologia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GENÉTICA, 54., 2008, Salvador. Anais... Salvador: SBG, 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.

DUSO, L.; CLEMENT, L.; PEREIRA, P. B.; FILHO, J. P. A. Modelização: Uma Possibilidade no Ensino de Biologia. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, 15(2), 29-44. (2013).

FARIA, L. P.; CARRARA, L. A.; RODRIGUES, M. Sexual size dimorphism in henna-capped folige-gleaner *Hylocryptus rectirostris* (Wied) (Aves, Furnariidae). *Revista Brasileira de Zoologia*, v.24, 207-212, 2007.

FREIRE, P. *Pedagogia da Autonomia. Saberes necessários à prática educativa*. 51ed. São Paulo: Paz e terra, 2015.

FERREIRA, J. C.; ALMEIDA, S. A. O pensar e o fazer modelos didáticos por alunos de licenciatura em Biologia. *Atas do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – IX ENPEC*, p. 1-8, 2013.

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, 2020 - pág. 150 – 161.

GARDNER, E. J.; SNUSTAD, D. P. *Genética*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1986.

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

GUIMARÃES, E. M.; FERREIRA L. B. M. O uso de modelos na formação de professores de Ciências. 2º ENCONTRO REGIONAL SUL DE ENSINO DE BIOLOGIA, 3ª JORNADA DE LICENCIATURA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS DA UFSC. Anais... Florianópolis, novembro de 2006.

JERONIMO, B. C. Caracterização da região MHM em aves: padrões diferenciais de metilação em machos e fêmeas. *Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas (Genética) — Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, SP, 2016.*

JUSTINA, L. A. D.; FERLA, M. R. A utilização de modelos didáticos no Ensino de Genética: exemplo de representação de compactação do DNA eucarioto. *Arquivos 83 do Museu Dinâmico Interdisciplinar, Maringá*, v.10, n.2, p.35-40, 2006.

KRASILCHIK, M. Prática de Ensino de Biologia. USP, São Paulo, 2012.

KRAUSE, F. C. Modelos Tridimensionais em Biologia e Aprendizagem Significativa na Educação de Jovens e Adultos (EJA) no Ensino Médio. 186 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade de Brasília, Faculdade de Educação, Brasília, DF, 2012.

LARENTIS, L. T.; AMANCIO, J. S.; GHISI, N. C. Uma abordagem prática para o ensino de genética: mapas genéticos. Arquivos do Mudi, 24(1), 96-106. (2020).

LIMA, M. M. O. et al. Practical Biology activities: an investigative teaching sequence about the cell cycle. Research, Society and Development, 9(9), 1-22. (2020).

MADUREIRA, H. C. et al. O uso de modelagens representativas como estratégia didática no ensino da biologia molecular: entendendo a transcrição do DNA. Revista Científica Interdisciplinar. V. 3, n. 1, p. 17-25, jan/mar. 2016.

MATOS, C. H. C.; OLIVEIRA, C. R. F.; SANTOS, M. P. F. e FERRAZ, C. S. Utilização de Modelos Didáticos no Ensino de Entomologia. Revista de Biologia e Ciências da Terra, v. 9, n. 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.

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.

OLIVEIRA, M. S.; KERBAUY, M. N.; FERREIRA, C. N. M.; SCHIAVÃO, L. J. V.; ANDRADE, R. F. A.; SPADELLAI, M. A. Uso de material didático sobre Embriologia do Sistema Nervoso: Avaliação dos Estudantes. Revista Brasileira de Educação Médica, v. 36, n. 1, p. 83-92, 2012.

OLMO, F. J. V.; MARINATO, C. S.; GADIOLI, A. O.; SILVA, R. V. Construção de modelo didático para o ensino de biologia: meiose e variabilidade genética. Enciclopédia Biosfera, Goiânia, v. 10, nº 18, 2014.

ORLANDO, T. C.; LIMA, A. R.; SILVA, A. M.; FUZISSAKI, C. N.; RAMOS, C. L.; MACHADO, D.; FERNANDES, F. F.; LORENZI, J. C. C.; LIMA, M. A.; GARDIM, S.; BARBOSA, V. C.; TRÉZ, T. A. Planejamento, montagem e aplicação de modelos didáticos para abordagem de Biologia Celular e Molecular no Ensino Médio por graduandos de Ciências Biológicas. *Revista Brasileira de Ensino de Bioquímica e Biologia Molecular*, n. 1, p. 1 – 17, 2009.

PIERCE, B. A. *Genética: um enfoque conceitual*. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2017. 760p.

RASO, T. F.; WERTHER, K. Sexagem cirúrgica em aves silvestres. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v.56, n.2, p.187-192, 2004.

REIS, I. A.; NASCIMENTO, G. S. V.; GUIMARÃES, D. M.; BEZERRA, G. L. S.; NASCIMENTO, S. B. M.; ALENCAR, I. C. C. e AMADO, M. V. O ensino de Biologia sob uma perspectiva CTSA: análise de uma proposta pedagógica de uso de modelos didáticos da divisão celular. *Atas do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – IX ENPEC*, p. 1-8, 2013.

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.

SILVA, I. P. *Estilos de aprendizagem e materiais didáticos digitais nos cursos de licenciatura em matemática a distância*. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia. (2015).

SILVA, J. S.; SARAIVA, E. S. The importance of didactic sequence (SD) in environmental education: an experience report at the Monsenhor Boson Full-Time Education Center. *Research, Society and Development*, 9(6), 1-14. (2020).

SNUSTAD, D. P; SIMMONS, M. J. *Fundamentos da Genética*. Cláudia Lúcia Caetano de Araújo [tradução]. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. (2013).

SOUZA, P. F.; FARIA, J. C. N. M. A. Construção e avaliação de modelos didáticos para o ensino de ciências morfológicas - uma proposta inclusiva e interativa. *Enciclopédia Biosfera*, v.7, n.13, p.1550- 1561, 2011.

SOUSA, T. A.; SPÓSITO, R. C. A.; MARISCO, G. A importância de aulas experimentais no entendimento da genética: sistema sanguíneo ABO e fator RH. In: *4 EREBIONE*, 2013, UFRN. *Anais... Rio Grande do Norte*, 2013.

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. Desenvolvimento e uso de um modelo didático para facilitar a correlação genótipo-fenótipo. *Revista Electrónica de Investigación em Educación en Ciencias-REIEC*. V. 8 N .2. 2013.

VESTENA, R. F. & LORETO, E. L. S. Representações familiares nos anos iniciais do ensino fundamental: desenhos, genealogias e heredogramas. RBECT-Revista brasileira de ensino de ciências e tecnologia. 9(3), p.1-18. Recuperado de <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbect>. (2016).

VINHOLI JÚNIOR, A. J.; PRINCIVAL, G. C. Modelos Didáticos e Mapas Conceituais: Biologia Celular e as Interfaces com a Informática Em Cursos Técnicos do IFMS. HOLOS. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso do Sul, Ano 30, v. 2, p. 110-122, 2014.