

SISTEMAS ABO E RH: UMA ABORDAGEM INVESTIGATIVA E SOCIAL PARA A COMPREENSÃO DE CONCEITOS DE GENÉTICA

ABO AND RH SYSTEMS: AN INVESTIGATIVE AND SOCIAL APPROACH TO UNDERSTANDING THE GENETIC CONCEPTS

SISTEMAS ABO Y RH: UNA APROXIMACIÓN INVESTIGATIVA Y SOCIAL PARA ENTENDER LOS CONCEPTOS GENÉTICOS

Ohana Rafaela Morais Sá

ohanarms@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-6532-4669>

Secretaria Estadual de Educação do Piauí

Thais Yumi Shinya

shinya.thais@cpm.uespi.br

<https://orcid.org/0000-0003-3345-2313>

Universidade Estadual do Piauí

Pedro Marcos de Almeida

pedromarcos@ccs.uespi.br

<https://orcid.org/0000-0001-5431-6818>

Universidade Estadual do Piauí

Francielle Alline Martins

francielle@ccn.uespi.br

<https://orcid.org/0000-0002-0113-8023>

Universidade Estadual do Piauí

RESUMO

O uso de temas relacionados ao cotidiano em atividades de ensino investigativas proporciona uma aprendizagem mais significativa para os alunos, pois os aproxima das suas realidades, tornando o conteúdo mais interessante e relevante. Considerando que os sistemas sanguíneos ABO e Rh são assuntos frequentemente vinculados nos meios de comunicação, pressupõe-se que os estudantes tenham algum conhecimento acerca da temática. Assim, o objetivo desta proposta foi desenvolver atividades investigativas que abordem os sistemas ABO e Rh, com o intuito de facilitar a compreensão dos conceitos-chaves no ensino de genética, conscientizando a comunidade escolar sobre a importância da doação de sangue e relatar a experiência de aplicação das atividades propostas a um grupo de 17 estudantes da rede pública do Piauí. A partir da gravação e transcrição dos momentos de aprendizagem, verificou-se o desenvolvimento de competências conceituais, atitudinais e procedimentais, sendo também notória a conscientização da comunidade escolar acerca da importância da doação de sangue neste processo. Os resultados obtidos corroboram a importância de estratégias pedagógicas inovadoras e contextualizadas para o ensino de genética, ao mesmo tempo que enfatizam a necessidade contínua de atividades que promovam a conscientização e a participação ativa dos estudantes em questões sociais relevantes.

PALAVRAS-CHAVE: Doação de sangue; Herança genética; Protagonismo estudantil; Sistemas sanguíneos.

ABSTRACT

The use of themes related to everyday life in investigative teaching activities provides more meaningful learning for students, as it brings them closer to their realities, making the content more interesting and relevant. Considering that the ABO and Rh blood systems are topics frequently mentioned in the media, it is assumed that students have some knowledge of the subject. Thus, the objective of this proposal was to develop investigative activities that address the ABO and Rh systems, aiming to facilitate the understanding of key concepts in genetics education, raise awareness within the school community about the importance of blood donation, and report the experience of implementing these activities with

a group of 17 students from a public school in Piauí. Through the recording and transcription of learning moments, it was observed the development of conceptual, attitudinal, and procedural competencies, as well as a noticeable increase in the school community's awareness of the importance of blood donation in this process. The results obtained reinforce the importance of innovative and contextualized pedagogical strategies for teaching genetics, while also emphasizing the continuous need for activities that promote awareness and active student participation in relevant social issues.

KEYWORDS: Blood donation; Genetic inheritance; Student protagonism; Blood systems.

RESUMEN

El uso de temas relacionados con la vida cotidiana en actividades de enseñanza investigativa proporciona un aprendizaje más significativo para los estudiantes, ya que los acerca a sus realidades, haciendo el contenido más interesante y relevante. Considerando que los sistemas sanguíneos ABO y Rh son temas frecuentemente vinculados en los medios de comunicación, se presume que los estudiantes tengan algún conocimiento sobre la temática. Así, el objetivo de esta propuesta fue desarrollar actividades investigativas que aborden los sistemas ABO y Rh, con el fin de facilitar la comprensión de los conceptos clave en la enseñanza de la genética, concienciando a la comunidad escolar sobre la importancia de la donación de sangre y relatar la experiencia de la aplicación de las actividades propuestas a un grupo de 17 estudiantes de la red pública de Piauí. A partir de la grabación y transcripción de los momentos de aprendizaje, se verificó el desarrollo de competencias conceptuales, actitudinales y procedimentales, siendo también notoria la concienciación de la comunidad escolar sobre la importancia de la donación de sangre en este proceso. Los resultados obtenidos corroboran la importancia de estrategias pedagógicas innovadoras y contextualizadas para la enseñanza de la genética, al mismo tiempo que enfatizan la necesidad continua de actividades que promuevan la concienciación y la participación activa de los estudiantes en cuestiones sociales relevantes.

PALABRAS CLAVE: Donación de sangre; Herencia genética; Protagonismo estudiantil; Sistemas sanguíneos.

INTRODUÇÃO

Ensinar Biologia, muitas vezes, é uma tarefa complexa que exige que professor e aluno lidem com uma série de palavras desconhecidas, as quais não costumam fazer parte do vocabulário cotidiano da população (Duré, 2018). Nesse sentido, a genética, ramo da biologia que se dedica ao estudo da hereditariedade e que traz conceitos diversos que permeiam todas as áreas das ciências biológicas é encarada como de difícil compreensão pelos estudantes (Temp; Bartholomei-Santos, 2018).

As dificuldades que os estudantes têm em entender vários conceitos em Genética podem ser atribuídas à descontinuidade no processo de ensino e aprendizagem. Pois, muitas vezes, um assunto é abordado em uma série e só será lembrado uma ou duas séries a frente sem que o aluno compreenda a relação entre os ambos. Para que isso seja evitado, Belmiro e Barros (2017) sugerem que o professor identifique e desenvolva o seu planejamento a partir dos conceitos prévios dos estudantes, a fim de que sejam trabalhados como situações-problemas, possibilitando, assim, a construção de ideias científicas corretas.

Nesse sentido, o Ensino Investigativo (EI) apresenta-se como uma abordagem que situa o aluno como protagonista da sua aprendizagem, considerando-o capaz de despertar a relação do objeto de estudo com a sua realidade, assim como pode desenvolver algumas atitudes típicas do fazer científico, como, por exemplo: indagar, refletir, discutir, observar, trocar ideias, argumentar, explicar e relatar suas descobertas (Batista; Silva, 2018). Essas características fazem desta abordagem uma estratégia didática em que os professores deixam de ser apenas transmissores de conhecimentos prontos e os alunos meros receptores (Carvalho, 2013; Scarpa, 2018). Para tanto, as atividades propostas devem contribuir com o desenvolvimento

da capacidade de reflexão dos alunos, de modo que o conhecimento anterior gere um novo e que este tenha significado para a vida dos estudantes (Carvalho, 2013; Sasseron, 2015; Scarpa, 2018).

O papel do professor na abordagem investigativa é extremamente importante, pois ele é o mediador de todo o processo, tendo a função de proporcionar as condições e orientações para que os alunos alcancem objetivos, tais como: formar conceitos; compreender a dinâmica do trabalho científico; desenvolver um pensamento crítico e a capacidade de argumentação; e refletir sobre fenômenos naturais, relacionando-os ao seu contexto de vida (Batista; Silva, 2018; Campus; Scarpa, 2018). Nesse contexto, o uso de temas do dia a dia em atividades investigativas proporciona uma aprendizagem mais significativa para os alunos, pois aproxima o conteúdo do seu universo, tornando-o mais interessante e relevante para eles (Azevedo, 2004).

Considerando que os sistemas sanguíneos ABO e Rh são assuntos a partir dos quais vários conceitos de genética podem ser abordados, como, por exemplo, genótipo, fenótipo, dominância completa, codominância, polialelismo, interação gênica e expressão gênica, entre outros; e que não são completamente desconhecidos pelos estudantes, uma vez que, frequentemente, os meios de comunicação os abordam, principalmente nas campanhas de doação de sangue; pressupõe-se que os estudantes tenham algum conhecimento acerca da temática (Miranda; Torres, 2018).

Assim, entendemos que aliar conceitos de genética ao conhecimento pré-existente sobre grupos sanguíneos é uma forma alternativa de ensino, capaz de dar ao aluno o protagonismo necessário para a sua aprendizagem e promover a aproximação do objeto de estudo com seu cotidiano (Miranda; Torres, 2018). Adicionalmente, o ambiente escolar é o contexto adequado para o desenvolvimento de práticas de impacto social, visto que influencia na aquisição de valores e estimula o exercício da cidadania, fazendo com que o conhecimento construído transcenda o ambiente escolar (Lima *et al.*, 2020). Nesse sentido, trabalhar no ensino temas como a doação de sangue é uma forma de fazer com que o estudante impacte positivamente no meio que está inserido, fazendo-lhe assumir uma postura de cidadão ativo, considerando que doar sangue é um ato voluntário e um compromisso social (Brasil, 2015).

Desta forma, o objetivo desta proposta foi desenvolver e relatar a experiência de aplicação de uma sequência de ensino com atividades investigativas que abordem os sistemas sanguíneos ABO e Rh, com o intuito de facilitar a compreensão dos conceitos-chaves no ensino de genética, relacionando a informação do genótipo com a expressão do fenótipo, bem como os fatores envolvidos no processo de doação de sangue, conscientizando a comunidade escolar sobre a importância deste ato.

METODOLOGIA

Uma sequência de ensino com viés investigativo (SEI) foi elaborada e aplicada com um grupo de 17 estudantes do ensino médio, regularmente matriculados na 3ª série da rede pública de ensino, numa cidade no interior do Piauí, no ano de 2023. A aplicação foi aprovada previamente pelo Comitê de Ética da Universidade Estadual do Piauí de acordo com o Parecer nº 5.797.211.

Os estudantes foram avaliados de forma qualitativa quanto ao desenvolvimento de competências conceituais, atitudinais (posicionamento crítico e investigativo perante à situação-problema; trabalhar em grupo de forma colaborativa; buscar o diálogo entre os estudantes respeitando as diferenças) e procedimentais (estruturar ideias por meio de

desenho, linguagem escrita ou oral, compreensão e organização conceitual da informação; interpretar ideias estruturadas e executar procedimentos; elaborar e testar hipóteses e realizar exposição oral) de acordo com Barcellos e Coelho (2019).

Durante o período de aplicação das atividades na escola, todas as aulas foram gravadas com um *smartphone* e transcritas pela pesquisadora para uma análise mais completa da situação desenvolvida, bem como da postura tomada pela professora e dos estudantes. Esta gravação foi utilizada para a análise do contexto verbal e não-verbal construído em sala de aula e os dados observados foram tabulados. Na transcrição das falas, os alunos foram identificados com letras do alfabeto, as equipes por algarismos romanos e a docente foi identificada como professora.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para compor a SEI, duas atividades didáticas foram elaboradas com o tema sistemas sanguíneos ABO e Rh. Ambas as atividades planejadas buscaram a construção do conhecimento estimulando o protagonismo e promovendo a alfabetização científica dos estudantes. As atividades iniciaram com uma breve contextualização, que levou a uma questão-problema. Com base nas discussões iniciais e em seus conhecimentos prévios, os alunos foram convidados a levantar hipóteses acerca da situação apresentada. E, para isso, os alunos receberam instruções para a coleta de dados e, ao final, apresentaram o desfecho das suas descobertas.

Atividade 1 – “Do genótipo ao fenótipo”

A primeira atividade proposta teve como objetivos relacionar os processos de transcrição e tradução do RNA, frequentemente estudados no 1º ano do ensino médio, à expressão do genótipo em fenótipo, abordada no 3º ano deste nível de ensino. Os assuntos foram trabalhados de forma integrada, visando a compreensão da natureza molecular do fenótipo, conceito abordado em genética, como produto da expressão gênica, o qual nem sempre é compreendido como resultado dos processos de transcrição e tradução que foram estudados na primeira série e na maior parte das vezes já foram esquecidos pelos alunos que na terceira série. Para isso a atividade proposta abordou os conceitos: genes¹, alelos², interações alélicas³, polialelia⁴, dentre outros comumente abordados nos livros de ensino médio nos capítulos relacionados a genética. Para realizar a atividade é necessário que os alunos já conheçam os processos de transcrição e tradução. O tempo estimado para aplicação foi de 4 h/aula.

Momento 1: Contextualização

A professora iniciou um diálogo com os estudantes, retomando conceitos aprendidos com a 1ª Lei de Mendel, para que os estudantes pudessem correlacionar o conhecimento prévio com os que seriam construídos posteriormente. Alguns questionamentos foram feitos aos estudantes, com a Professora perguntando: “Pessoal nós já estudamos vários conceitos dentro da área da genética, vocês lembram e conseguem nos trazer alguns?”. Os estudantes, no primeiro momento ficaram em silêncio, então, a professora continuou: “Lembram o que é

¹ Genes são unidades físicas e funcionais da hereditariedade. Um segmento de DNA composto de uma região capaz de ser transcrita.

² Alelos são formas alternativas de um gene.

³ As interações alélicas se diferenciam quanto ao fenótipo heterozigoto, se dominância completa, o fenótipo do heterozigoto é igual ao fenótipo de um dos homozigotos; se codominância, o fenótipo do heterozigoto é igual a expressão do fenótipo de ambos homozigotos; se dominância incompleta, o fenótipo do heterozigoto é intermediário ao fenótipo dos homozigotos.

⁴ Polialelia, ou alelismo múltiplo, refere-se a genes que apresentam 3 ou mais formas alélicas na população.

genótipo, fenótipo e a diferença entre eles?”. Alguns alunos, timidamente, responderam, com o Aluno A apontando: “Genótipo é a determinação da característica pelo DNA e o fenótipo a característica que a gente vê”. A professora insistiu: “Vamos lá, quais outros conceitos?”. A Aluna B respondeu: “Dominante, recessivo”. A professora continuou: “E gene, alelos, lembram o que são?”.

Dessa forma, a docente rememorou os principais conceitos com os estudantes, a fim de que eles recordassem para receber novos questionamentos, considerados como mais complexos, os quais nem sempre são compreendidos. Em dado momento da conversa, a professora questionou: “Então gente, depois de lembrarmos os conceitos de gene, alelo, dominante, recessivo, genótipo e fenótipo..., fazendo analogia ao que aprendemos com Mendel e as ervilhas, como explicar a diversidade de fenótipos encontrada na natureza para o grupo sanguíneo ABO? Onde e quantos fatores mendelianos estão envolvidos na herança do sistema ABO?”. Os estudantes citaram os alelos diferentes que determinavam “opções para uma mesma característica”, como, por exemplo, o tipo sanguíneo, e afirmaram que seriam três os alelos para a determinação do sistema sanguíneo e que estes estão presentes no DNA. O aluno A propôs que: “O ser humano tem sangue A, B e O, então devem ser três alelos”, com o aluno C questionando: “Tem o AB também, deve ser outro alelo”.

O diálogo entre a professora e os alunos refletiu uma abordagem didática que visou recuperar conceitos básicos da genética, principalmente no contexto da 1ª Lei de Mendel. O ponto de partida da conversa remeteu à simplificação mendeliana, onde os caracteres são definidos pela combinação de dois alelos, recebidos um de cada genitor. No entanto, a professora avançou para um tópico mais complexo ao introduzir o sistema sanguíneo ABO, o que revelou uma lacuna no entendimento dos alunos sobre a relação entre alelos e fenótipos.

O aluno A, ao afirmar que o genótipo é determinado pelo DNA e o fenótipo é a característica visível, demonstrou uma compreensão inicial, porém ainda simplificada, da genética mendeliana. O aluno C, por sua vez, mostrou uma confusão comum ao associar cada fenótipo diretamente a um alelo, o que não corresponde à realidade da herança genética. A confusão entre os alunos refletiu uma dificuldade de transpor o conceito de dominância simples (amarelo ou verde, como no exemplo das ervilhas de Mendel) para sistemas mais complexos como o sistema ABO, onde há três alelos envolvidos (I^A , I^B e i) e a interação entre eles gera quatro fenótipos (A, B, AB e O).

Aqui, a conexão analítica reside na diferença entre a simplicidade do modelo de Mendel e a maior complexidade da herança do sistema ABO, que envolve a codominância. Enquanto Mendel trabalhou com caracteres simples e dominância completa, a herança do ABO demonstra que alelos podem interagir de maneiras diferentes: I^A e I^B são codominantes entre si, enquanto ambos são dominantes em relação ao alelo i , o que resulta em quatro fenótipos distintos. A confusão dos alunos ao supor que o fenótipo AB exigiria outro alelo se relaciona com uma tendência natural de pensar que cada fenótipo corresponde diretamente a um alelo, ignorando a possibilidade de interação entre eles. Esse é um erro comum, já que os fenótipos são fruto da interação entre diferentes alelos, e não de um simples reflexo de um alelo único para cada característica (Ceschim; Caldeira, 2023). A professora então explicou como é determinado o fenótipo AB e, a partir da explicação, pediu para que os alunos identificassem qual era a relação existente entre os alelos A e B. Prontamente, a aluna B respondeu: “Codominância, pois ambos os alelos se expressam”.

A codominância é um tipo de interação entre alelos de um mesmo loci, nesse caso, o fenótipo do heterozigoto é o resultado da expressão de ambos os alelos em uma proteína funcional (Ceschim; Caldeira, 2023). Diferente do observado quando a interação entre os alelos é de dominância completa, nesta, o fenótipo do heterozigoto é igual ao fenótipo de um

dos homozigotos, visto que, apenas o alelo relacionado ao fenótipo dominante expressa uma proteína funcional (Sant'Anna *et al.* 2020).

O cenário descrito, onde os alunos se envolveram ativamente em um diálogo sobre conceitos genéticos, destacou a importância do desenvolvimento de competências atitudinais no processo de aprendizagem, conforme descritas por Barcelos e Coelho (2019). A participação colaborativa dos estudantes refletiu não apenas a assimilação de conhecimento, mas também a promoção de atitudes fundamentais, como autonomia, iniciativa e respeito à diversidade de opiniões. O diálogo entre os participantes permitiu a criação de um espaço aberto de troca (Marquez, 2022).

O movimento mediador da professora foi fundamental para a criação de um ambiente de aprendizado ativo e colaborativo, como descrito no cenário. Ao explicar conceitos genéticos e instigar os alunos a refletirem sobre a relação entre os alelos A e B, a professora não apenas transmitiu conhecimento, mas também desempenhou um papel essencial na facilitação do diálogo. O desenvolvimento de competências atitudinais, como autonomia e respeito, está intimamente ligado à mediação docente, que atua como um elemento estruturante na construção de um espaço de troca e reflexão (Barcelos; Coelho, 2019). A mediação da professora foi além de meramente apresentar conteúdos; ela criou oportunidades para que os alunos participassem ativamente, testassem suas hipóteses e se engajassem em discussões que ampliaram o entendimento coletivo. Ao pedir que os alunos identificassem a relação entre os alelos, ela estimulou a autonomia intelectual e a construção do pensamento crítico, permitindo que a aluna B expressasse sua compreensão sobre a codominância. Esse tipo de interação, favorece a criação de um ambiente colaborativo, onde o respeito às diferentes opiniões e a iniciativa dos estudantes são valorizados (Marquez, 2022).

Para aprofundar a discussão, a professora questionou aos estudantes quanto a natureza química da informação genética e o processo de expressão do genótipo, com a intenção de que os alunos retomassem os processos de transcrição e tradução, com as seguintes perguntas norteadoras: "Como são determinadas as nossas características? Como a informação sai do DNA e determina o fenótipo, a característica observada?". Os estudantes tiveram dificuldade para retomar esses temas e estabelecer relações com a determinação das características, devido ao fato de terem visto esse assunto há um certo tempo. Alguns conseguiram vagamente falar sobre a produção de proteínas, a partir da informação dos genes, mas sem muitos detalhes. Para auxiliá-los, um esquema foi apresentado pela professora, e, de forma colaborativa, os estudantes foram retomando as informações sobre os processos de transcrição e tradução, e sua implicação na determinação do fenótipo (Figura 1).

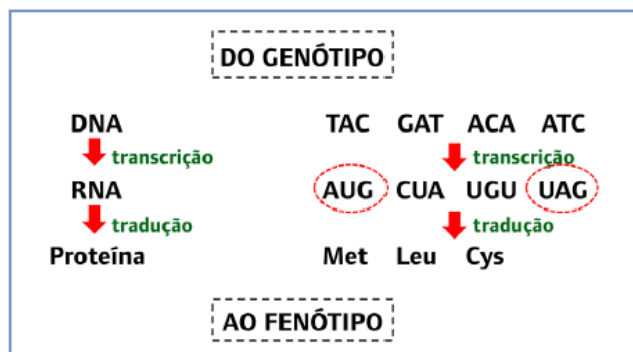


Figura 1: Esquema acerca da transcrição e tradução apresentado aos alunos para resgate do conhecimento transmitido anteriormente

Fonte: Sant'Anna *et al.* (2020).

Nesse momento da discussão, baseados no conhecimento retomado e sem pesquisa, foi pedido aos estudantes que levantassem hipóteses para explicar como os tais fatores mendelianos estão envolvidos na diversidade dos fenótipos para a característica em questão, à luz da bioquímica molecular. Assim, divididos em 4 equipes, de acordo com a afinidade entre eles, os estudantes formularam suas hipóteses e escreveram as suas explicações em um papel (Quadro 1).

Quadro 1: Hipóteses das equipes para explicar como os fatores mendelianos (alelos) estão envolvidos na diversidade dos fenótipos para a característica tipo sanguíneo, à luz da bioquímica molecular

EQUIPES	HIPÓTESE
I	"Os fatores mendelianos são os alelos dos genes que passam pelos processos de transcrição e tradução até formar proteínas, no caso do sangue, as proteínas formadas vão determinar o tipo de sangue da pessoa".
II	"No DNA existem os genes eles determinam o tipo sanguíneo que é chamado de fenótipo, 'pra' isso o gene é transcrito 'pra' RNA e traduzido 'pra' proteína".
III	"Toda a informação e nossas características estão no DNA".
IV	"Os genes que estão no DNA tem alelos diferentes que são opções para uma mesma característica, eles são transcritos em RNA mensageiro e com ajuda de outros tipos de RNA são traduzidos em proteínas, dependendo da interação entre os alelos o fenótipo sanguíneo é determinado".

Fonte: Elaborado pelos autores.

As equipes apresentaram uma variedade de interpretações, ressaltando a complexidade do tema e a diversidade de entendimentos. A Equipe I destacou a conexão entre os fatores mendelianos, transcrição e tradução do DNA, e a formação de proteínas determinantes do tipo sanguíneo. A Equipe II enfatizou o papel dos genes na determinação do fenótipo, abordando os processos de transcrição e tradução. A Equipe III concentrou-se na abrangência do DNA como repositório de informações genéticas. Por fim, a Equipe IV destacou a diversidade de alelos, a transcrição para RNA mensageiro e a tradução para proteínas, relacionando esses processos à interação entre os alelos na determinação do fenótipo sanguíneo. Essas hipóteses refletem não apenas o entendimento dos conceitos genéticos, mas também a capacidade dos alunos em analisar informações e inferir relações complexas, contribuindo para o desenvolvimento de habilidades essenciais em seu processo de aprendizagem (Santos; Galembeck, 2018).

A relevância dos registros escritos é indiscutível, uma vez que é por meio desse tipo de atividade que os alunos estruturam as informações durante as suas explorações e estudos, solidificando, assim, os seus conhecimentos (Ninin; Allodi, 2021). Ao formular hipóteses sobre a relação entre os fatores mendelianos e a determinação do tipo sanguíneo, os estudantes demonstraram possuir competências conceituais e procedimentais (Barcelos; Coelho, 2019).

Momento 2: Mão na massa

Esse momento tem por objetivo fazer com que, a partir da informação genética, presentes nas fitas de DNA, os alunos realizem os processos de transcrição, tradução e identifiquem o fenótipo sanguíneo de uma personagem fictícia, permitindo tornar mais concreto, o significado da expressão gênica, muitas vezes abstrato. Cada uma das 4 equipes recebeu um envelope com pares de sequência de DNA, já que somos diploides e temos um cromossomo de origem materna e outro paterna (Figura 2). No total, foram criadas 4 fichas com pares de sequências correspondentes ao gene responsável pela determinação do tipo sanguíneo em relação ao sistema ABO. As informações apresentadas nas fichas refletem a

sequência real do gene localizado no cromossomo 9, que determina o sistema ABO e suas variações alélicas (Yamamoto, 2021).

Personagem 1:

Cromossomo materno:

DNA: T TAC CGA [288 n.t] TGC [228 n.t] CCA [126 n.t] GTA [45 n.t] TCA [90 n.t] TAC CCC CGC [123 n.t] TTT [126 n.t] GGG ATT

mRNA:

Proteína:

Cromossomo paterno:

DNA: T TAC CGA [288 n.t] TGT [228 n.t] GCA [126 n.t] GTG [45 n.t] CCA [90 n.t] GAC CCC CCC [123 n.t] TTC [126 n.t] GGG ATT

mRNA:

Proteína:

Figura 2: Exemplo de ficha com pares de sequência de DNA correspondentes ao gene responsável pela determinação do tipo sanguíneo em relação ao sistema ABO de uma personagem fictícia⁵

Fonte: Elaborado pelos autores.

A diversidade fenotípica observada para o sistema ABO é devido a diferenças estruturais das glicosiltransferases codificadas por esse gene, que, por sua vez, são responsáveis pela transferência dos resíduos específicos de açúcar, $\alpha(1,3)$ -N-acetilgalactosaminiltransferase ou $\alpha(1,3)$ -galactosiltransferase ao substrato H, os convertendo em antígeno A ou B respectivamente (Abegaz, 2021; Batisso e Novaretti, 2003; Kominato *et al.*, 2020). Já o substrato H é um carboidrato sintetizado pela ação da enzima α -2-L-fucosiltransferase, cujo gene está situado no *locus* FUT1 do cromossomo 19, na posição q13.3, sendo, portanto, geneticamente independente do *locus* ABO. Estudos recentes mostraram que o substrato H está presente em diferentes tipos sanguíneos, como A, B e O, mas com expressão e atividade variáveis dependendo da tipagem (Abegaz, 2021). Para fins de simplificação, durante o desenvolvimento da atividade as enzimas $\alpha(1,3)$ -N-acetilgalactosaminiltransferase e $\alpha(1,3)$ -galactosiltransferase foram denominadas Transferase A e B.

Junto com os envelopes, as equipes receberam um roteiro com perguntas norteadoras direcionadas à coleta de dados, que deveriam ser respondidas durante a atividade (Quadro 2). Ao envolver os alunos na coleta e análise de dados, o ensino investigativo promove o pensamento crítico, a resolução de problemas e a capacidade de tirar conclusões fundamentadas (Mourão; Sales, 2018).

O roteiro foi elaborado para que os alunos pudessem interpretar a atividade proposta, permitindo-lhes fazer conexões mais profundas com os conceitos e processos metabólicos previamente estudados, facilitando a compreensão e a aplicação prática desses conhecimentos no contexto das discussões em sala de aula. Nesse sentido, a coleta de dados, a partir do roteiro proposto, desempenhou um papel fundamental no ensino investigativo, pois proporcionou aos alunos uma oportunidade valiosa de desenvolver habilidades críticas, promovendo uma compreensão mais profunda dos conceitos abordados.

⁵ Trechos com nucleotídeos (n.t) iguais nas duas sequências foram omitidos e apenas informados em quantidade nos retângulos.

Quadro 2: Roteiro com perguntas direcionadas à coleta de dados a respondidas durante a atividade "Do genótipo ao fenótipo"

Questão 1. Você recebeu 2 fichas que representam o material genético de uma personagem, sendo cada sequência de DNA proveniente de um parental (materno e paterno). Cada uma das sequências corresponde a um alelo diferente presente no mesmo locus ABO, que, por fim, codificará uma proteína que definirá o seu tipo sanguíneo. A interação das proteínas resultantes da transcrição e tradução desse par de sequências simboliza um tipo de interação alélica. Observe a sequência de DNA de cada um dos cromossomos representados. O que se pode verificar quanto às duas sequências?

a. () São iguais b. () São diferentes

Questão 2. De acordo com as sequências observadas, o que se pode dizer sobre a condição zigótica do indivíduo resultante desse cruzamento?

a. () É homozigoto b. () É heterozigoto

Questão 3. Compare as duas sequências de DNA, destaque as diferenças observadas e enumere-as a seguir:

Questão 4. Os dois alelos serão transcritos?

a. () Sim b. () Não

Questão 5. Os dois alelos serão traduzidos?

a. () Sim b. () Não

Nota: Em uma célula diploide, as sequências de DNA dos dois cromossomos (materno e paterno) são normalmente transcritas e traduzidas.

• Complete, no espaço indicado em cada uma das fichas, o mRNA transcrito da sequência de DNA; com o auxílio da tabela de código genético, complete, no espaço indicado em cada uma das fichas, a cadeia polipeptídica traduzida da fita de mRNA.

Questão 6. Quantos aminoácidos cada uma das proteínas apresenta?

Proteína produzida pela sequência materna: _____

Proteína produzida pela sequência paterna: _____

Questão 7. Compare as sequências de aminoácidos das duas proteínas, destaque as diferenças observadas e enumere-as a seguir:

• Procure, na bancada (ou mesa), o cartão correspondente às sequências de aminoácidos encontradas pelo seu grupo. Após encontrá-lo, descubra a função das proteínas sintetizadas. Em seguida, siga as instruções e pegue o material necessário para representar a hemácia da sua personagem.

Questão 8. Faça a correspondência e responda:

Proteína produzida pela sequência materna: _____ Funcionalidade: _____

Proteína produzida pela sequência paterna: _____ Funcionalidade: _____

• Em seguida, acrescente na hemácia que recebeu os antígenos correspondentes (a serem definidos de acordo com as proteínas produzidas).

• Observe o resultado e responda às questões abaixo.

Questão 9. Um fenótipo é o resultado de interações de produtos oriundos de informação dos cromossomos de origem materna e paterna. Considerando o resultado final, você observa que:

a) () a proteína funcional compensa a ausência de uma 2ª proteína e o fenótipo do indivíduo é determinado por apenas um dos alelos do locus.

b) () a proteína funcional não compensa a ausência de uma 2ª proteína e o fenótipo do indivíduo é intermediário.

c) () as duas proteínas são funcionais e o indivíduo apresenta, simultaneamente, ambos os fenótipos determinados pelos dois alelos do locus.

d) () as duas proteínas são não funcionais e o indivíduo apresenta o fenótipo recessivo.

Questão 10. O resultado observado indica que a interação dos alelos é do tipo:

a. () Dominância completa b. () Dominância incompleta c. () Codominância

Questão 11. Há relação de dominância e recessividade entre os alelos do gene responsável por essa característica?

a. () Sim b. () Não

Questão 12. Compare o resultado do seu grupo com o encontrado pelos outros grupos. Você pode concluir que o conceito de dominância e recessividade se relaciona com:

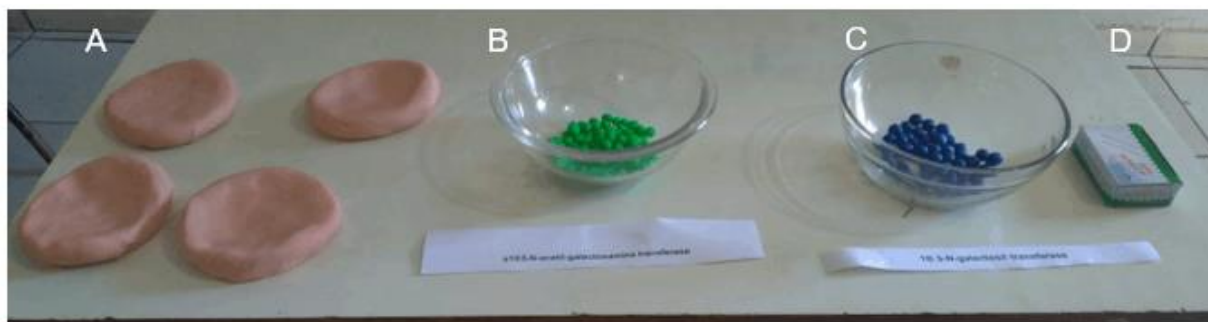
a) () a capacidade do alelo dominante de "impedir" ou "inibir" os alelos recessivos de serem transcritos ou traduzidos.

b) () a quantidade de pessoas que expressam o fenótipo.

c) () a quantidade de proteínas ou a capacidade da proteína de ser ou não funcional.

Fonte: adaptado de Sant'Anna *et al.* (2020).

A partir das sequências de DNA, as equipes propuseram a expressão e completaram a ficha recebida, descobrindo, assim, a sequência de aminoácidos da "proteína" correspondente. Ao final da tradução, as equipes se dirigiram à mesa da professora onde estavam o restante dos materiais: modelos, esculpidos em massinha de modelar que representavam as hemácias da personagem; potinho com bolinhas verdes para representar o antígeno A; potinho com bolinhas azuis para representar o antígeno B; e 1 caixa de alfinetes sem cabeça colorida, que representavam o substrato H e cartões identificados com o nome das proteínas: Transferase A e Transferase B, suas respectivas sequências de aminoácidos e funções (Figura 3).



Estrutura primária da Transferase A: converte substrato H em antígeno A

Proteína: MET – ALA – 96 aa – TRN – 76 aa – ARG – 42 aa – HIS – 15 aa – GLI – 30 aa – LEU – GLI – GLI – 41 aa – LIS – 42 aa – PRO

Proteína: MET – ALA – 84 aa – VAL – THR – PRO – TRP – LEU – ALA – 24 aa – GLY – LEU – THR – 233 aa – PRO

Estrutura primária da Transferase B: converte substrato H em antígeno B

Proteína: MET – ALA – 96 aa – TRN – 76 aa – GLI – 42 aa – HIS – 15 aa – SER – 30 aa – MET – GLI – ALA – 41 aa – LIS – 42 aa – PRO

Proteína: MET – ALA – 27 aa – VAL – LEU – FEN – GLY – TIR – GLY – 18 aa – ALA – VAL – ARG – 299 aa – PRO

Estrutura primária – proteína inativa

Proteína: MET – ALA – 27 aa – ARG – THR – FEN – ARG – ILE – ARG – 18 aa – GLY – ARG

Proteína: MET – ALA – 84 aa – VAL – HIS – PRO – GLY – TRP – GLN – 24 aa – GLY

Figura 3: Materiais utilizados na atividade "do genótipo ao fenótipo"⁶

Fonte: Elaborado pelos autores.

Nesse momento, a professora explicou a importância do papel do substrato H para determinação do fenótipo sanguíneo. Em seguida, reunidos em grupos, os alunos compararam a sequência traduzida com os cartões que estavam sobre a mesa e, assim, conseguiram identificar o produto da expressão gênica, a funcionalidade e, por fim, o fenótipo da personagem, o qual foi demonstrado a partir da confecção de modelos com massa de modelar

⁶A – hemácias esculpidas em massinha de modelar; B – potinho com bolinhas verdes, representação do antígeno A; C – potinho com bolinhas azuis, representação do antígeno B; D – alfinetes sem cabeça colorida, representação do antígeno H; E – cartão resposta usado para identificar as proteínas sintetizadas e suas funções. Trechos com aminoácidos (aa) iguais nas duas sequências foram omitidos e apenas informados em quantidade.

para representar a hemácia da personagem de acordo com o grupo sanguíneo descoberto (Figura 4).



Figura 4: A e B: Estudantes montando as hemácias de cada grupo sanguíneo de acordo com o produto da expressão gênica. C - Hemácias montadas pelos estudantes
Fonte: Os autores.

A experiência de realizar a expressão da informação presente nas sequências de DNA para aminoácidos e a posterior manipulação de modelos representativos das hemácias e antígenos A, B e H, proporcionou um ambiente de aprendizagem dinâmico e interativo. Ao se engajarem nesse processo, os estudantes não apenas executaram procedimentos complexos de expressão gênica, interpretando informações e, inclusive, executando procedimentos e demonstrando competência procedimental, mas também demonstraram competências atitudinais significativas, uma vez que tomaram atitudes a respeito da aprendizagem e da ciência ao trabalharem em equipe, de forma colaborativa, e buscando o diálogo (Barcelos; Coelho, 2019).

A inclusão de atividades relacionadas à construção de modelos desempenhou um papel importante no processo educacional, proporcionando uma abordagem prática e dinâmica para o aprendizado. A construção de modelos não apenas estimula a criatividade e a resolução de problemas, mas também fomenta a compreensão profunda dos conceitos subjacentes. Essas atividades oferecem aos alunos a oportunidade de aplicar teorias aprendidas em sala de aula a situações do mundo real, fortalecendo a sua capacidade de pensamento crítico e preparando-os para desafios futuros (Almeida, 2021).

Momento 3: Hora da reflexão

Descoberto o fenótipo sanguíneo da personagem, as equipes socializaram com a turma as hipóteses levantadas e as suas descobertas, justificando a confirmação ou refutação desta.

A socialização com a turma sobre as descobertas não apenas promoveu a troca de informações entre os membros da turma, mas também fortaleceu a colaboração e o entendimento coletivo. Esse momento contribuiu para o enriquecimento do aprendizado, estimulando a discussão, a análise conjunta e a consolidação do conhecimento. Além disso, criou um ambiente de aprendizado interativo, onde os alunos puderam apreciar a diversidade de abordagens e perspectivas, enriquecendo, assim, a experiência educacional (Silva; Costa, 2019).

A retomada das hipóteses no contexto do ensino investigativo desempenha um papel importante no desenvolvimento cognitivo e na formação crítica dos aprendizes. A capacidade de formular e revisar hipóteses não apenas estimula o pensamento analítico, mas também promove a autonomia intelectual dos estudantes. Ao retornar às hipóteses inicialmente propostas, os alunos foram desafiados a refletir sobre suas concepções iniciais, confrontando-as com novas evidências e perspectivas emergentes durante o processo de investigação. Essa prática não só fortalece a habilidade de argumentação, mas também incentiva a flexibilidade mental, essencial para o desenvolvimento de competências necessárias em um mundo dinâmico e em constante evolução (Carvalho, 2013).

A aluna D, da equipe I, começou a socialização: "Pelos alelos e as proteínas encontradas para nossa personagem ela tem tipo sanguíneo A". A professora então questionou: - "E quais proteínas foram essas?". O aluno E completou, consultando o roteiro: "A Transferase A que corresponde ao sangue A". A professora observou que a hemácia da equipe I tinha alfinetes com bolinhas coloridas nas pontas, e ela então questionou: "Vocês pegaram alfinetes e colocaram a bolinha colorida na ponta. Esse alfinete representa alguma coisa?". Os alunos não souberam responder, a professora novamente falou sobre o substrato H, e sua função na determinação do tipo sanguíneo, como substrato para as Transferases A e B sintetizadas. Nesse momento, percebeu-se uma lacuna no assunto abordado que a professora procurou corrigir durante a discussão.

A atitude da professora na situação descrita revelou um engajamento significativo no método de ensino investigativo. Ao permitir que os alunos apresentassem as suas hipóteses e descobertas sobre o fenótipo sanguíneo da personagem, ela promoveu a participação ativa dos estudantes no processo de aprendizagem. Seu questionamento sobre as proteínas específicas, relacionadas ao tipo sanguíneo A, demonstrou um estímulo à reflexão crítica e à fundamentação teórica das respostas dos alunos. Ao notar a lacuna na compreensão dos alunos sobre a representação dos alfinetes, a professora habilmente aproveitou o momento para abordar o papel do substrato H na determinação do tipo sanguíneo, evidenciando uma postura corretiva construtiva (Batista; Silva, 2018).

A situação apresentada também destaca um momento no ensino investigativo voltado para os alunos, onde estes têm a oportunidade de compartilhar as suas descobertas e hipóteses com base em evidências coletadas. A participação dos alunos, como evidenciado pela aluna D e pelo aluno E, mostrou a tentativa de aplicar o conhecimento adquirido ao identificar o tipo sanguíneo da personagem. Uma vez que o EI se baseia na aprendizagem construtivista, na qual os estudantes têm a possibilidade de participarem diretamente das aulas, mais do que de forma tradicional (Zompero *et al.*, 2023).

Ainda sobre a personagem identificada com o tipo sanguíneo A, o aluno F completou: "A nossa personagem pode doar sangue para quem tiver sangue tipo A ou AB e pode receber de quem for A, como ela, e também de quem for O", com a aluna D acrescentando: "Isso por causa da relação que acontece entre os antígenos e anticorpos de cada tipo de sangue". Ao final da apresentação a aluna D retornou a hipótese inicial da equipe: "Nossa hipótese foi que os fatores mendelianos são os alelos dos genes que passam pelos processos de transcrição e tradução até formar proteínas, no caso do sangue, as proteínas formadas vão determinar o tipo de sangue da pessoa. Estávamos corretos e foi o que percebemos na prática".

Ao encorajar a participação dos alunos e permitir que completassem informações sobre doações e compatibilidades sanguíneas, a professora promoveu um ambiente de aprendizagem colaborativo e estimulou a conexão entre os conceitos teóricos e práticos, consolidando o entendimento sobre o tema. Sua abordagem demonstrou uma orientação

pedagógica centrada no aluno, incentivando a investigação, a correção de conceitos equivocados e a construção coletiva do conhecimento (Batista; Silva, 2018).

As equipes II e III seguiram a mesma linha de apresentação da equipe I, e nesse momento os outros estudantes da turma se sentiram mais à vontade para falar e participar da apresentação dos resultados das suas equipes. O aluno G, da equipe III, pontuou: "Nossa hipótese foi que toda a informação e nossas características estão no DNA, não está errada, mas vimos que existem muitas outras informações do DNA até chegar na proteína".

Por meio das respostas das equipes foi possível perceber o conhecimento construído por eles a respeito dos processos em nível molecular de transcrição e tradução, pois, inicialmente, as equipes apresentaram respostas corretas, porém, superficiais, sobre os assuntos e ao final da atividade conseguiram perceber isso. Isso demonstra a compreensão de que as características de um organismo são determinadas pela expressão gênica, que é o processo pelo qual a informação contida no DNA é utilizada para produzir moléculas funcionais, geralmente proteínas. Esse processo envolve várias etapas, incluindo transcrição, processamento do RNA, tradução, entre outros (Griffiths *et al.*, 2009; Snustad; Simmons, 2013).

A equipe IV, ao apresentar a hemácia, a exibiu da mesma forma que recebeu. A professora então questionou: "Porque a hemácia da personagem de vocês está lisa"? O aluno F então respondeu prontamente: "Porque nossa personagem tem sangue O, não tem antígeno na hemácia". A professora indagou: "Mas e o substrato H? Ele não vai estar, mesmo não havendo as proteínas funcionais"? (se referindo as Transferases A e B). Os alunos da equipe se entre olharam e rapidamente uma aluna pegou alfinetes e colocou na hemácia. A ação da aluna, ao colocar alfinetes na hemácia, representou uma tentativa de corrigir um erro na representação da hemácia pela equipe. A professora aproveitou a oportunidade e reafirmou aos alunos que o substrato H é um antígeno de superfície na membrana plasmática da hemácia, e a presença dele é determinada por um gene independente do sistema ABO.

A presença do substrato H e a ausência das Transferases A e B caracterizam o sangue tipo O, no qual não há antígenos A ou B, mas, ainda assim, existe o substrato H não modificado na membrana das hemácias. Esse foi o ponto em que os alunos mais mostraram dificuldade para compreender. A professora questionou o porquê do tipo O não ter antígenos A ou B na membrana, e o aluno E respondeu: "Por que o alelo dele produz uma proteína não funcional, assim não tem antígeno". A ausência do substrato H implica também na ausência de antígenos A ou B, e nessa situação a superfície da hemácia seria "lisa". No entanto, essa possibilidade não foi considerada na atividade. A aluna F acrescentou: "Ah, e observamos que os alelos i, do tipo O, tiveram sequências de aminoácidos diferentes, mas os dois eram i, formando ii". O aluno A então questionou: "Como pode, professora?". A professora explicou que os alelos dos tipos sanguíneos não são únicos, que podem apresentar variações. Existem diferentes sequências nucleotídicas, que podem alterar ou não as trincas de aminoácidos, mas ainda assim codificam proteínas não funcionais (Yamamoto, 2021).

Ao final da atividade, os estudantes se sobressaíram ao utilizar de forma hábil a apresentação oral como instrumento central para transmitir e embasar as suas observações, ao mesmo tempo que eficientemente responderam a perguntas individuais. Este processo não apenas consolidou a assimilação do conhecimento adquirido, mas também catalisou o desenvolvimento de competências procedimentais, corroborando com a abordagem de Barcelos e Coelho (2019).

Ao se envolver de maneira ativa na articulação de argumentos e na exposição de suas percepções, os alunos não apenas demonstraram a aplicação prática do aprendizado, mas

também aprimoraram habilidades essenciais para a resolução de problemas e a expressão coerente de ideias. Este enfoque na comunicação verbal e na resposta a questionamentos individuais, não só fortaleceu as habilidades procedimentais dos alunos, mas também fomentou um ambiente educacional dinâmico, promovendo a autonomia intelectual e a capacidade reflexiva dos estudantes (Reis *et al.*, 2022).

A partir das apresentações, observou-se que a atividade investigativa engajou os estudantes. Com a atividade prática, eles assimilaram melhor o assunto abordado e refletiram sobre o mesmo. As equipes conseguiram alcançar os objetivos propostos e as lacunas na aprendizagem observadas durante a apresentação foram solucionadas a tempo com a intervenção da professora. O desempenho dos alunos foi considerado satisfatório, uma vez que eles realizaram todas as etapas da atividade e mostraram compreender os processos de expressão gênica na célula, relacionando o genótipo ao fenótipo. Neste contexto, o ensino por investigação se mostrou como uma estratégia capaz de viabilizar a exploração de conceitos e práticas científicas, permitindo aos alunos não apenas construir entendimentos sobre fatos, leis, modelos e teorias, mas também adquirir consciência dos elementos que permeiam e impactam a prática científica (Ferraz; Sasseron, 2017).

Considerando as potencialidades proporcionadas por essas atividades, é plausível conceber o EI como uma abordagem que potencializa os processos de aprendizagem dos estudantes. Isso se deve ao fato de que, por meio do enfoque investigativo, é possível cultivar diversas habilidades nos alunos, colocando-os diretamente envolvidos na construção de seus próprios conhecimentos. Essa abordagem os incentiva a pensar criticamente, a gerar ideias, a testar hipóteses, a compartilhar conhecimentos e a contextualizar o conteúdo trabalhado com sua realidade cotidiana (Moura; Nunes; Sedano, 2023).

Ao término da atividade, tornou-se evidente a consecução dos objetivos propostos, mediante a construção de conhecimento, ressaltando o papel proeminente dos estudantes. Em diversas ocasiões, a reintegração de saberes preexistentes se mostrou indispensável para estabelecer as interconexões entre os temas abordados como os processos metabólicos de transcrição e tradução.

Inicialmente, enfrentar a resistência dos estudantes à participação representou um desafio significativo; contudo, à medida que a atividade se desenrolou, observou-se um notável aumento tanto na participação quanto no interesse deles. Isso evidencia, de maneira clara, como a abordagem investigativa favoreceu a aprendizagem, capacitando os estudantes a cultivarem habilidades como observação, análise, questionamento e reflexão, consolidando, assim, o papel central deles nesse processo (Scarpa e Campos, 2018).

Atividade 2 – “Quem pode doar?”

Momento 1: Sondagem e problematização

Inicialmente um vídeo de incentivo a doação de sangue foi exibido⁷. Em seguida, foi realizada uma roda de conversa sobre o tema, buscando perceber quais eram os conhecimentos prévios dos alunos, suas opiniões, conceitos, pré-conceitos e curiosidades. O tempo total estimado para o desenvolvimento de toda a atividade foi de 4 horas, em sala de aula, além da visita ao hemocentro mais próximo, ao final da atividade.

Logo após o vídeo, a professora questionou: “Alguém aqui já precisou de sangue ou teve alguém da família que precisou receber transfusão de sangue?”. Dois alunos responderam que sim, que parentes deles já precisaram receber. A professora então indagou: “Como foi isso?”

⁷ Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=9xz-d56whZo>.

Era qualquer tipo de sangue ou algum tipo específico?”. O aluno A respondeu: “Não, no caso do meu tio ele era A positivo, então precisava ser sangue A e parece que O também.”. O aluno B continuou: “O meu pai precisou, ele precisava de sangue O, eu era criança, mas lembro que foi uma coisa assim”.

Nas respostas dos estudantes ficou claro que ambos já tinham uma noção das relações de compatibilidade sanguínea, mesmo que vaga. Ambas as respostas são, portanto, incompletas e imprecisas do ponto de vista biológico. Para uma compreensão mais acurada, é essencial considerar os sistemas ABO e Rh, que determinam a compatibilidade sanguínea, e compreender que cada tipo sanguíneo tem suas próprias características de doação e recebimento (Alencar *et al.*, 2023).

O levantamento dos conhecimentos prévios dos estudantes é uma prática essencial no processo educacional, pois permite ao professor compreender o ponto de partida de cada aluno, identificando as suas concepções iniciais sobre determinado tema. Essa estratégia, baseada na teoria construtivista, valoriza os saberes prévios dos estudantes como base para a construção de novos conhecimentos, possibilitando ao educador adaptar sua abordagem pedagógica de acordo com as necessidades individuais dos alunos (Paulie; Lüdke, 2022).

A professora, então, se dirigiu aos demais estudantes: “O que vocês sabem sobre doação de sangue?”, com a aluna C respondendo: “Que é importante, que salva vidas e que hoje em dia, quando uma pessoa vai operar, eles pedem para duas pessoas doarem sangue para repor o estoque”, e o aluno D acrescentou: - “Me disseram que a agulha é bem grandona ‘pra’ tirar o sangue”. A turma riu ao achar graça da fala do colega. Com a intenção de aprofundar a discussão, a professora questionou: “O que é necessário observar para que uma pessoa receba sangue de outra?”. O aluno A respondeu questionando: “Se os sangues são compatíveis!?”. A aluna C completou: “Tem a questão dos antígenos e anticorpos, que já até vimos na atividade das hemácias”. Com a finalidade de integrar os conhecimentos expostos pelos estudantes, a professora, falou: “É isso mesmo, pessoal, a doação de sangue é muito importante, uma vez que pode salvar a vida de muitas pessoas. Para acontecer a transfusão de sangue, precisa haver compatibilidade sanguínea devido a relação de antígenos presentes nas hemácias do tecido sanguíneo, como vimos na atividade lembrada pela colega, e os anticorpos.”. O aluno D acrescentou: “Precisa estar saudável para doar também.”. A professora reagiu: “Exatamente!”.

Em seguida, com o auxílio de *slides*, a seguinte situação-problema foi apresentada para os alunos: “Uma amiga da turma muito querida de todos vocês sofreu um acidente e precisa urgentemente de várias bolsas de sangue para que seja realizada uma cirurgia. A turma toda resolve se dirigir ao hemocentro mais próximo para fazer a doação, e chegando lá são informados que nem todos poderão doar sangue para ela. É preciso ter sangue compatível com o tipo sanguíneo da vítima, nesse caso A. Quem poderá doar sangue ou não para a amiga?”. Após ouvir a situação-problema, a aluna C questionou: “Mas ela é A positivo ou negativo?”. A pergunta da aluna C, questionando se a amiga é A positivo ou negativo, refletiu uma compreensão mais aprofundada sobre o sistema de tipos sanguíneos, indicando uma preocupação com a precisão da informação para determinar a compatibilidade sanguínea.

Os tipos sanguíneos ABO e o fator Rh são fundamentais para estabelecer a compatibilidade entre doador e receptor. Portanto, a aluna C está corretamente considerando que, para determinar quem pode doar sangue para a amiga, é fundamental saber tanto o tipo sanguíneo ABO (A, B, AB, O) quanto o fator Rh (positivo ou negativo) da vítima (Farias *et al.*, 2021). A professora respondeu: “Vamos considerar as duas possibilidades para deixarmos a investigação mais rica”. Os alunos foram divididos em equipes de 4 integrantes e, a partir da situação exposta, propuseram hipóteses escritas em um papel para os seguintes

questionamentos: "Por que a amiga deles não poderá receber sangue de todos? Como descobrir quem poderá doar sangue a ela? De quem ela poderá receber sangue?" (Quadro 3).

Quadro 3: Hipóteses das equipes em resposta aos questionamentos levantados após a exposição da situação problema

EQUIPE	HIPÓTESE
I	"Ela não pode receber de todo mundo porque as pessoas precisam ser compatíveis com ela, ela pode receber de quem seja A como ela".
II	"Por causa da reação dos antígenos e anticorpos e pode receber de quem for A ou O, O é doador universal".
III	"Porque precisa ser compatível".
IV	"Os sangues precisam ser compatíveis para não ter reação, ela pode receber de quem seja A, mas precisa saber se é positivo ou negativo".

Fonte: Elaborado pelos autores.

Observou-se que, até esse momento, os alunos da equipe III ainda não estavam engajados na atividade, por isso, formularam parcialmente a hipótese, deixando o segundo questionamento sem resposta. Após a leitura das respostas, em voz alta, a professora indagou: "Como descobrir quem tem sangue compatível?". Prontamente, os alunos responderam: "Por meio de exame de sangue". Alguns citaram o teste de "furar o dedo", o qual costuma ser realizado em tendas montadas na praça no aniversário da cidade, mas não sabiam explicar como este funcionava.

A professora, então, explicou que a tipagem sanguínea, por meio de *kits* comerciais, é um processo relativamente simples e amplamente utilizado para determinar os tipos sanguíneos. Geralmente, esses kits contêm pequenas quantidades de reagentes específicos para os diferentes tipos sanguíneos (A, B, AB e O) e fator Rh (positivo ou negativo). O procedimento envolve a coleta de uma pequena amostra de sangue, comumente obtida por uma picada no dedo, e a mistura dessa amostra com os reagentes contidos no kit. A reação entre o sangue e os reagentes permite a identificação dos antígenos presentes nas células sanguíneas, determinando, assim, o tipo sanguíneo e o fator Rh do indivíduo (Ministério da Saúde, 2014).

Neste momento inicial, os alunos demonstraram o desenvolvimento de competências atitudinais, destacando-se pela iniciativa em buscar o diálogo como parte integrante do processo de aprendizado. Essa abordagem não apenas fomentou a colaboração e a troca de ideias, mas também promoveu uma postura proativa em relação ao conhecimento. Além disso, paralelamente, os estudantes estão aprimorando competências procedimentais, evidenciadas na habilidade de formular hipóteses, conforme destacado por Barcellos e Coelho (2019). Esse aspecto ressalta a importância não apenas do resultado, mas do processo cognitivo envolvido na construção do conhecimento, enfatizando a capacidade dos alunos de aplicarem métodos analíticos e críticos na formulação de hipóteses.

Momento 2 – 1, 2, 3 testando...

Nesse momento, os alunos foram convidados a realizar a tipagem sanguínea, a partir de kits comerciais, para que pudessem determinar se poderiam ser doadores de sangue ou não para a amiga acidentada (Figura 5). Para esse momento da investigação, cada aluno teve o dedo indicador furado por uma lanceta descartável para a coleta de três gotas de sangue sobre

uma lâmina de vidro. Em cada gota, adicionou-se um reagente (anti-A, anti-B e anti-D), que permitiu a identificação de antígenos A, B ou Rh, respectivamente.



Figura 5: Tipagem sanguínea a partir de kits comerciais com um grupo de alunos do 3º ano do ensino médio da rede pública do Piauí

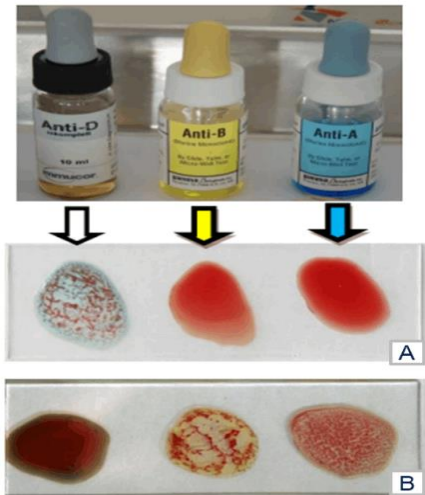
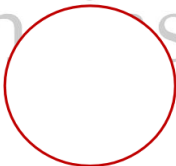
Fonte: Os autores.

Uma vez realizado o teste de tipagem sanguínea, os alunos interpretaram as suas observações e descobriram os seus tipos sanguíneos. Após a atividade prática, as equipes receberam um questionário que foi discutido e respondido (Quadro 4). Na primeira questão, as quatro equipes identificaram corretamente a que grupo sanguíneo cada um dos dois voluntários apresentados na simulação pertencia, demonstrando habilidade no reconhecimento das reações entre antígenos e anticorpos para determinação do tipo sanguíneo. Na questão seguinte, as equipes I, II e IV relacionaram corretamente os genótipos e fenótipos dos voluntários. Já a equipe 3 se confundiu em relação ao genótipo do fator Rh para o primeiro voluntário. O erro da equipe III serviu como oportunidade para rememorar sobre padrão de herança monogênica autossômica simples.

Quanto aos questionados, na questão 3, sobre a interação alélica, existente entre I^A e I^B , todas as equipes responderam se tratar de uma codominância. A equipe I justificou: "Porque um alelo não domina o outro, assim os dois se expressam igual.". Já a equipe II relatou: "Porque não existe uma dominância de um alelo, assim tanto o I^A como o I^B se expressam.". As outras duas equipes responderam de forma similar. Assim, foi perceptível como os conceitos de dominância, codominância, genótipo e fenótipo pareciam menos abstratos para os estudantes. As equipes demonstraram uma boa compreensão do significado da codominância entre os alelos I^A e I^B , justificando corretamente que ambos se expressam igualmente (Ceschim; Caldeira, 2023). A abordagem prática utilizada na atividade mostrou-se eficaz, ajudando a tornar conceitos abstratos mais concretos e promovendo uma transição do entendimento teórico para a aplicação prática (Oliveira; Gabriel; Martins, 2017).

As questões da Parte 2 foram respondidas a partir da tipagem sanguínea realizada em um dos integrantes das equipes. Primeiramente, as equipes indicaram quais soros a amostra de sangue do integrante voluntário reagiu, identificaram o fenótipo e os possíveis genótipos. As quatro equipes responderam com êxito os questionamentos e, em seguida, retomaram a situação-problema inicial, indicando se o colega em questão poderia doar sangue para a amiga acidentada ou não.

Quadro 4: Roteiro respondido em equipe após a prática de tipagem sanguínea

PARTE 1 1. O princípio básico do teste de tipagem sanguínea que iremos realizar é a aglutinação observada a olho nu através de reações de anticorpos com os antígenos presentes nas hemácias do indivíduo. Hemácias que possuem antígeno A aglutinam-se em presença de anti-A; hemácias que possuem antígeno B, aglutinam-se em presença de reagente anti-B. Analogamente, hemácias que possuem o antígeno Rh, aglutinam-se na presença do anti-D. Sabendo disso, observe o resultado da tipagem sanguínea de dois voluntários e responda as questões a seguir:  Extraído de Vieira, 2013, p.12. a) O voluntário A apresenta qual(is) antígenos? _____ b) O voluntário B apresenta qual(is) antígenos? _____ 2. A presença dos antígenos nas hemácias é determinada geneticamente. Em relação ao grupo ABO são conhecidos 3 alelos na população (I^A, I^B, i) em relação ao sistema Rh conhecemos apenas 2 alelos (R e r). Já o fenótipo, é definido de acordo com o tipo de interação entre os alelos. De acordo com seus conhecimentos, informe os possíveis genótipos e o fenótipo para os voluntários:	Genótipo: Voluntário A: _____ voluntário B: _____ Fenótipo: voluntário A: _____ voluntário B: _____ 3. A interação entre os alelos presentes no voluntário B para o grupo sanguíneo ABO é do tipo: - Dominância completa de I^A sobre I^B. - Dominância incompleta entre I^A e I^B. - Codominância I^A e I^B - Ausência de dominância entre I^A e I^B. - Dominância completa de I^B sobre I^A. Justifique sua escolha: _____ _____ PARTE 2 1. Escolha alguém no grupo para ser o voluntário doador de sangue para a amiga que sofreu o acidente. Realize o teste de tipagem sanguínea e complete as informações a seguir: <u>Reação da amostra de sangue com os soros:</u>  ANTI- A  ANTI- B  ANTI- D^{PH} Tipo sanguíneo do voluntário: _____ Quais os possíveis genótipos do voluntário? _____ Refletindo: O voluntário em questão pode doar sangue para a colega que sofreu o acidente (A negativo)? Justifique: _____ Futuramente, caso seja necessário, o voluntário pode doar e receber sangue de quem? _____
---	--

Fonte: Elaborado pelos autores.

As equipes II e III responderam "sim", pois os tipos sanguíneos encontrados foram A+ (caso ela fosse Rh+) e O-, o doador universal. As outras equipes responderam que o voluntário só poderia doar se a amiga fosse A+, uma vez que o potencial doador era O+. As discussões mostraram que os alunos entenderam bem as relações de compatibilidade entre antígenos e

anticorpos. Por conseguinte, cada equipe apontou de quais tipos sanguíneos seu integrante poderia receber transfusão e para quem poderia doar sangue.

Por fim, as equipes responderam as questões sobre as suas percepções em relação a atividade prática (dados não mostrados). Observou-se que 75% dos alunos ficaram um pouco apreensivos e o restante mostrou-se bastante confiante. Essa apreensão, anterior a atividade prática, se deu porque muitos tiveram medo de furar o dedo, já que desconheciam o procedimento. No entanto, após observar a simplicidade e rapidez da coleta da gota de sangue, todos participaram e demonstraram satisfação por ter contribuído. Ao serem indagados se já sabiam o seu tipo sanguíneo, todos afirmaram que não. Todos gostaram de participar da atividade e se sentiram desafiados a descobrir quem poderia doar sangue para "a amiga acidentada". Daí, a importância do ensino investigativo, instigar a curiosidade dos estudantes, desafiá-los, por meio da pesquisa, a compreenderem conceitos científicos e identificarem a aplicabilidade do conhecimento construído sob uma perspectiva social (Carvalho, 2013).

A prática de tipagem sanguínea desempenhou um papel significativo no processo de aprendizagem dos alunos, não apenas fornecendo um estímulo motivacional, mas também contribuindo para uma compreensão mais efetiva dos conceitos. Ao incorporar atividades práticas, os estudantes são envolvidos de maneira mais dinâmica, o que naturalmente aumenta o seu interesse e engajamento. Essa abordagem não apenas contextualiza os conceitos teóricos, tornando-os mais tangíveis, mas também oferece aos alunos a oportunidade de aplicar o conhecimento de maneira concreta (Silva; Sales; Anjos, 2020).

Questionados sobre que conceitos novos que aprenderam com a atividade, a equipe I não apontou algo novo, mas revelou que as atividades facilitaram o entendimento (Quadro 5). Na resposta da equipe II, depreendemos que eles compreenderam a diferença entre os sistemas sanguíneos ABO e Rh, pois antes os associavam como um sistema único. Conhecer os sistemas sanguíneos ABO e Rh é importante para entender a diversidade e compatibilidade sanguínea, no entanto, existem outros 37 sistemas sanguíneos descritos, os quais abrangem 360 antígenos eritrocitários. Além dos já citados, os mais significativos são: Kidd, Kell, MNS e Duffy (Rodrigues; Ribeiro, 2021).

Quadro 5 – Respostas das equipes quando questionado sobre que conceitos novos aprenderam com a atividade de tipagem sanguínea

Equipe	Respostas
I	"Acho que já conhecíamos todos por alto, mas agora ficou mais fácil de entender."
II	"Entendemos a diferença de tipo sanguíneo para fator Rh".
III	"Dominante, codominante".
IV	"Saber o que é antígeno e anticorpo ficou mais visível e real".

Fonte: Elaborado pelos autores.

A equipe III citou os conceitos de dominância e recessividade presentes nas interações alélicas. Dentro do contexto mendeliano, a característica que se manifesta nos descendentes heterozigotos é considerada "dominante", ao passo que a característica que não se expressa é designada como "recessiva" (Santos *et al.*, 2021). Já na codominância, ambos os fenótipos são expressos no heterozigoto, assim como observado nos indivíduos do grupo AB, esses possuem antígenos A e B nas membranas das hemácias.

A equipe IV afirmou ter sido possível perceber a reação entre antígenos e anticorpos através do teste de tipagem sanguínea realizado durante a atividade. A reação entre antígenos e anticorpos é fundamental para a determinação do tipo sanguíneo. Nos testes de tipagem, ocorre a interação entre os antígenos presentes na superfície das células sanguíneas e os anticorpos específicos que são adicionados. Se houver uma correspondência adequada, ocorre uma aglutinação visível, indicando a presença do antígeno correspondente ao anticorpo adicionado. Essa observação direta da reação fortalece a compreensão dos alunos sobre os princípios imunológicos associados ao sistema sanguíneo, proporcionando uma experiência prática e visual que complementa a teoria, contribuindo para uma aprendizagem mais completa e significativa (Rodrigo; Silva; Alves, 2021).

Ao final da atividade os alunos relataram que "para haver a transfusão, a compatibilidade sanguínea é necessária, senão pode acontecer uma reação transfusional, o que foi visto nas lâminas (a aglutinação) pode acontecer nos vasos sanguíneos e levar a pessoa a morte.". Evidenciou-se que a atividade prática, além de permitir o desenvolvimento de competências conceituais típicas do ensino de genética, e atitudinais, ao permitir o trabalho em equipes de forma colaborativa, também contribuiu para o desenvolvimento de competências procedimentais à medida que os alunos estruturaram ideias, compreenderam a importância da compatibilidade sanguínea e fizeram generalizações ao perceberem que o processo de aglutinação observado nas lâminas poderia acontecer no organismo humano, caso a transfusão sanguínea não fosse compatível (Barcellos; Coelho, 2019).

Momento 3: Socialização

Neste momento, os alunos foram convidados a promover uma campanha de doação de sangue na comunidade escolar. Divididos em equipes, produziram vídeo e cartazes digitais que foram publicados nas redes sociais dos alunos e da escola, a fim de alcançar o maior número de doadores.

A promoção de campanhas de doação de sangue na comunidade escolar desempenha um papel importante não apenas na conscientização sobre esse ato humanitário, mas também na mobilização de muitos doadores. Ao envolver os alunos nesse processo, por meio da criação de vídeos e cartazes digitais divulgados nas redes sociais, essa iniciativa estimulou não apenas habilidades criativas e de comunicação, mas também alcançou um amplo espectro de potenciais doadores. Essa ação educativa não só destacou a relevância da solidariedade e da contribuição para o bem-estar da comunidade, mas também evidenciou como a escola pode desempenhar um papel vital na promoção de valores sociais e na construção de uma consciência coletiva sobre a importância da doação de sangue para salvar vidas (Góis, 2023).

Uma excursão ao hemocentro mais próximo foi organizada para que os alunos conhecessem os procedimentos de coleta do sangue. Chegando lá, a professora e os alunos foram recebidos pela coordenadora do hemocentro e pela assistente social que conduziram a turma em um passeio exploratório. A aluna C observando atentamente perguntou: "Qual o tipo de sangue que tem menos?". Com a coordenadora respondendo: "Temos menos O -". Nesse momento, uma preocupação dos alunos com a questão social foi observada. Ao reconhecerem que determinados tipos sanguíneos são mais raros que outros, eles ficaram reflexivos e entenderam a importância da doação de sangue e como os diferentes tipos sanguíneos afetam a disponibilidade para transfusões. Em seguida os alunos maiores de 18 anos que desejaram, fizeram a doação de sangue, juntamente com a professora (Figura 6).



Figura 6 – Coleta de sangue para doação dos voluntários durante a visita ao hemocentro na cidade de Picos (PI)

Fonte: Os autores.

Na aula seguinte a visita ao hemocentro, a professora iniciou uma roda de conversa com os estudantes: “Então, pessoal, o que acharam da nossa atividade e da visita ao hemocentro?”. O aluno A respondeu: “Foi muito legal, faça isso mais vezes”. A professora então reforçou: - “Como assim legal, o que você mais gostou, mais achou interessante?”. O aluno A então respondeu: “Desde o início, investigar quem podia doar, saber nosso tipo sanguíneo...”. A aluna C entrou na conversa: “Eu gostei muito de ver a reação dos antígenos e anticorpos durante os testes porque é algo que a gente escuta as vezes falar em anticorpo e não entende como acontece, e agora deu pra visualizar.”.

A interação descrita anteriormente, evidenciou a eficácia de abordagens não tradicionais no processo de ensino-aprendizagem. O entusiasmo expresso pelo aluno A e a posterior indagação da professora demonstraram a importância de atividades práticas e contextuais para envolver os alunos de maneira mais significativa. O comentário do aluno A sobre “gostar de investigar quem poderia doar” e “saber o tipo sanguíneo” destacou a relevância de proporcionar aos alunos experiências práticas e concretas. Essa abordagem não apenas estimulou o interesse, mas também possibilitou uma compreensão mais profunda dos conceitos, promovendo uma aprendizagem mais efetiva (Xavier; Almeida, 2021).

A contribuição da aluna C, ao expressar seu apreço por visualizar a reação dos antígenos e anticorpos durante os testes, destacou a importância de atividades práticas na compreensão de conceitos complexos. Essa abordagem ofereceu uma oportunidade para os alunos conectarem a teoria à prática, superando desafios conceituais que podem surgir em ambientes mais tradicionais de aprendizado (Furtado *et al.*, 2019).

O aluno D, um dos que fizeram a doação de sangue na visita ao hemocentro, falou: “Gostei da experiência de doar sangue, quero fazer mais vezes.”. A professora continuou com os questionamentos: “E sobre essa forma de aprender, investigando o que vocês acharam?”. O aluno A bastante empolgado respondeu: “Muito boa, foi diferente, a cada passo a gente via algo novo”. A professora indagou aos alunos sobre quais conhecimentos eles já tinham e puderam confirmar cientificamente e quais conhecimentos construíram. A aluna C respondeu: “Nós já sabíamos alguns conceitos, acho que o mais interessante foi ver a aplicação deles na prática, conhecer o hemocentro...”.

Dessa forma, os alunos expressaram as suas impressões e opiniões a respeito de toda a atividade, demonstrando entusiasmo com tudo que realizaram. A abordagem investigativa possibilitou o engajamento e entusiasmo dos estudantes, pois ofereceu uma abordagem

dinâmica que os colocou no centro do processo de aprendizagem. Ao invés de apenas receber informações, os alunos foram encorajados a questionar, explorar e descobrir por conta própria. Isso não apenas estimulou a curiosidade natural, mas também desenvolveu habilidades cognitivas essenciais, como pensamento crítico, resolução de problemas e criatividade (Silva; Santana, 2022).

Além de competências conceituais, os alunos demonstraram competências atitudinais ao adotar uma postura crítica e investigativa diante da situação-problema, além de habilidades procedimentais ao argumentar suas observações. Através da investigação ativa, os estudantes se tornaram participantes ativos do conhecimento, aumentando sua motivação intrínseca para aprender, pois perceberam a relevância e aplicabilidade do que estavam estudando. Esse método não apenas fortaleceu o entendimento do conteúdo, mas também inspirou uma paixão pelo aprendizado contínuo, preparando os alunos para enfrentar desafios acadêmicos e pessoais com confiança e determinação (Sasseron; Machado, 2012).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo deste estudo, foi possível atingir os objetivos delineados, com foco na elaboração de atividades investigativas voltadas para a compreensão dos sistemas sanguíneos ABO e Rh, proporcionando a exposição e exploração dos principais conceitos genéticos fundamentais. O objetivo geral deste trabalho foi alcançado ao apresentar de maneira didática os conceitos de genótipo, fenótipo, dominância completa, codominância, polialelismo, interação gênica e expressão gênica, utilizando os sistemas sanguíneos como base para este estudo, o que sugere a relevância e a eficácia das atividades propostas.

Destaca-se que, além do propósito acadêmico, um dos enfoques primordiais deste trabalho foi a conscientização da comunidade escolar acerca da importância da doação de sangue. Nesse sentido, as atividades desenvolvidas não apenas visaram aprofundar o entendimento dos alunos sobre os sistemas sanguíneos e a genética associada, mas também buscaram sensibilizar e promover uma mentalidade solidária em relação à doação de sangue, reconhecendo-a como um ato de cidadania e compromisso social.

Através de abordagens didáticas diversificadas, foi possível alcançar um nível satisfatório de compreensão por parte dos estudantes, demonstrando a efetividade das atividades investigativas como ferramenta de ensino, embora o engajamento de todos os alunos tenha sido um desafio, e em alguns momentos não foi plenamente alcançado. Nesse contexto, é importante ressaltar que a conscientização sobre a doação de sangue não se restringe apenas aos aspectos biológicos e científicos, mas estende-se ao desenvolvimento de valores de solidariedade e responsabilidade social entre os jovens, elementos essenciais para a formação integral dos indivíduos.

Assim, os resultados obtidos corroboram a importância de estratégias pedagógicas inovadoras e contextualizadas para o ensino de conceitos complexos, como os da genética, ao mesmo tempo em que enfatizam a necessidade contínua de programas educativos que promovam a conscientização e a participação ativa dos estudantes em questões sociais relevantes.

Agradecimentos

Agradecemos o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pesquisa de Nível Superior - Brasil (CAPES) – com o financiamento (código 001), ao Mestrado Profissional em Ensino de Biologia em Rede Nacional – PROFBIO da Universidade Estadual do Piauí e a bolsa de estudos

da Fundação de Amparo à Pesquisa do Piauí (FAPEPI) que possibilitaram o desenvolvimento deste estudo.

REFERÊNCIAS

ABEGAZ, S. B. Grupos sanguíneos ABO humanos e suas associações com Doenças Diferentes. **BioMed Research International**. v. 23, n. 4, p. 1-9, 2021:6629060. 2021.

ALMEIDA, S. A. de. Reflexões sobre a produção de modelos didáticos de biologia no PIBID. **Revista Insignare Scientia**, v. 4, n. 1, p. 137-150, 2021.

ALENCAR, R. P.; COSTA, A. S.; FAGUNDES, A. P.S.; PEREIRA, D. S. O. P.; ARAUJO, C. M. Avaliação do conhecimento do enfermeiro sobre hemotransfusão em um hospital de referência em trauma. **Revista Científica da Escola Estadual de Saúde Pública Goiás "Cândido Santiago"**, v.9, n. 9, p.1-15, 2023.

AZEVEDO, M. C. P. S. Ensino por Investigação: Problematisando as Atividades em Sala de Aula. In: CARVALHO, A. M. P. (org.) **Ensino de Ciências: unindo a pesquisa e a prática**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning Editores, 2004. 154 p.

BARCELLOS, L. S; COELHO, G. R. Uma análise das interações discursivas em uma aula investigativa de ciências nos anos iniciais do ensino fundamental sobre medidas protetivas contra a exposição ao sol. **Revista Investigações em Ensino de Ciências**. v, 2.n. 1. p. 179-199, 2019. DOI:10.22600/1518-8795.ienci2019v24n1p179.

BATISSOCO, A. C.; NOVARETTI, M. C. Z. Aspectos moleculares do Sistema Sanguíneo ABO. **Revista Brasileira de Hematologia e Hemoterapia**, v. 25, n.1, p. 47-58, 2003.

BATISTA, R. F. M.; SILVA, C. C. A abordagem histórico-investigativa no ensino de Ciências. **Estudos Avançados**. v. 32, n. 94, p. 97-110. 2018.

BELMIRO, M. S; BARROS, M. D. M. Ensino de genética no ensino médio: uma análise estatística das concepções prévias de estudantes pré-universitários. **Revista Práxis**, v. 9, n. 17, p. 1-8, 2017.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Especializada e Temática. **Manual de orientações para promoção da doação voluntária de sangue/ Ministério da Saúde, Secretaria de Atenção à Saúde**. Departamento de Atenção Especializada e Temática. -1. ed., 1. reimpr. - Brasília: Ministério da Saúde. (2015).

CAMPOS, N. F; SCARPA, D. L. Que Desafios e Possibilidades Expressam os Licenciandos que Começam a Aprender sobre Ensino de Ciências por Investigação? Tensões entre Visões de Ensino Centradas no Professor e no Estudante. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**. [S. l.], v. 18, n. 2, p. 727-759, 2018.

CARVALHO, A. M. P. de. In: _____ (org.). **Ensino de Ciências por Investigação: condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning, 2013, p. 02-10.

CESCHIM. B.; CALDEIRA. A. M. A. Fenótipos dominantes e recessivos: distorções conceituais de professores de biologia em formação. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v.22, n. 2, p. 212-236, 2023.

DURÉ. R. C.; ANDRADE. M. J. D.; ABÍLIO. F. J.P.; Ensino de biologia e contextualização do conteúdo: quais temas o aluno de ensino médio relaciona com o seu cotidiano? **Experiências em Ensino de Ciências** v.13, n.1, p. 259-272, 2018.

KOMINATO. Y.; SANO. R.; TAKAHASHI. Y.; HAYAKAWA. A.; OGASAWARA. K. Human ABO gene transcriptional regulation. **Transfusion**. v.60, n.4, p.860-869, 2020.

FARIAS, E. M.; SILVA, A. T. M.; SILVA, R. A.; NEVES, R. F. N. A relação entre a herança dos grupos sanguíneos e o sistema imunológico: uma sequência didática para o Ensino Médio. **Revista Experiência em Ensino de Ciências**, v. 16, n. 2, p. 26-51, 2021.

FERRAZ, A. T.; SASSERON, L. H.; Propósitos epistêmicos para a promoção da argumentação em aulas investigativas. **Investigações em ensino de ciências**, v. 22, n. 1, p. 1-25, 2017.

FURTADO, M. L.; ALCANTARA, O. A.; NASCIMENTO, B. N.; MENDONÇA, L. R. O.; LIBERATO, M. C. T. C. Associação teoria-prática no processo de ensino-aprendizagem em química. In: VI Congresso Nacional de Educação. 2019, Campina Grande, 2019. **Anais VI CONEDU**. Campina Grande. Centro Multidisciplinar de Estudos e Pesquisas, 2019.

GÓIS, A. R. da S.; RIBEIRO, J. A de S.; LANDIM, R.P.; SANTOS, F. L. O.; BARBOSA, P. F. C.; CAMPOS, M. A da S.; LIRA, G. G.; ARAÚJO, A. P. V. Percepção de usuários de mídias digitais sobre conteúdos educacionais para promoção da doação de sangue. **Contribuciones a las ciencias sociales**, v. 16, n. 11, p. 28401–28419, 2023.

GRIFFITHS. A. J. F.; WESSLER, S. R.; LEWONTIN, R. C; CARROLL, S. B. **Introdução à genética**. 9ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2009.

MARQUEZ. L. V.; HERNANDES, R. A.; RODRIGUES, A. S. D.; RAIMONDI, G. A.; PAULINO, D.B. Rodas de conversa remotas: ensino-aprendizagem e vivência da promoção da saúde na pandemia da Covid-19. **Revista Brasileira de Educação Médica**, v.46, n.1, p. 1-6, 2022.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Imuno-Hematologia Laboratorial**. 1ª ed. Departamento de Atenção Hospitalar e de Urgência: Brasília; 2014.

MIRANDA. E.; TORRES. F. S. Uso de aulas práticas investigativas na consolidação da aprendizagem e vivência do método científico - uma abordagem sobre grupos sanguíneos do sistema ABO. **Experiência em ensino de ciências**. v. 13, n. 4, p.323-338, 2018.

MOURA, A. R. M.; NUNES, T. B. B.; SEDANO, L. Construção e análise de uma sequência de ensino investigativo: as necessárias conexões com o ensino por investigação. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 14, n. 3, p. 1–22, 2023.

MOURÃO, M. F.; SALES, G.L. O uso do ensino por investigação como ferramenta didático-pedagógica no ensino de física. **Revista Experiências em Ensino de Ciências**, v.13, n.5, p. 428-440, 2018.

NININ, A. P. S.; ALLODI, S. Estratégia para estudo do erro em uma avaliação de aproveitamento: um olhar para a aprendizagem visível. ANDRADE, Julia Pinheiro. (Org.). **Aprendizagens Visíveis. Experiências teórico-práticas em sala de aula**. 1ªed. São Paulo: Panda Books, 2021.

OLIVEIRA, D. G. D. B.; GABRIEL, S. S.; MARTINS, G. S. V. A experimentação investigativa: utilizando materiais alternativos como ferramenta de ensino-aprendizagem de química. **Revista de Pesquisa Interdisciplinar**. v. 2. n. 2. p. 238-247, 2017.

PAULI, A. M.; LÜDKE, E. Os conhecimentos prévios e suas implicações na formação científica de acadêmicos do curso de agronomia da UFSM. **Vivências**, [S. l.], v. 18, n. 35, p. 147–160, 2022.

PIMENTA, M. F. F.; RIBEIRO, R. C.; FERREIRA, A. V. Aprendizagem das interações alélicas ao nível molecular por meio de uma sequência didática com caráter investigativo no ensino médio. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**. v.17.p. 1-27. 10.5007/1982-5153.2024.e92984. (2024).

RODRIGUES, A. D.; RIBEIRO, L. R. Sistemas sanguíneos, incompatibilidade e procedimentos alternativos à transfusão. Blood systems, incompatibility of alternative procedures to transfusion. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 2, p. 13007–13027, 2021.

RODRIGUES, R. F. C.; SILVA, R. A.; ALVES, S. M. Caracterização das classes fenotípicas dos sistemas sanguíneos ABO/Rh dos acadêmicos da Universidade Federal de Rondonópolis para incentivar à doação sanguínea. **Revista Biodiversidade**, v. 20, n. 4, p. 194-209, 2021.

REIS, J. S.; RABELO, D. D. M.; MACHADO, F. de S.; HOSANAH, R. F.; YAMAGUCHI, K. K. de L. As adversidades do ensino de química durante o período de pandemia da COVID-19: relato das experiências vivenciadas no Programa Residência Pedagógica no estado Amazonas. **Diversitas Journal**, v. 7, n. 3, p. 2026-2037, 2022.

SANT'ANNA, H. de P. e; LOPES, A. D. C.; MOTA, A. C. M.; RIBEIRO, R. C.; BOAS, A. V. Alelos e Cores: integrando transcrição, tradução e interações alélicas. **Genética na Escola**, São Paulo, v. 15, n. 2, p. 142–163, 2020.

SANTOS FILHO, R.; CESTARI, M. M.; ALLE, L. F.; LEME, D. M. Representando Genótipos e Fenótipos: uma prática para visualizar as diferentes interações alélicas na Herança Monogênica. **Genética na Escola**, São Paulo, v. 16, n. 2, p. 258–271, 2021.

SANTOS, V. G.; GALEMBECK, E. Sequência Didática com Enfoque Investigativo: Alterações Significativas na Elaboração de Hipóteses e Estruturação de Perguntas Realizadas por Alunos do Ensino Fundamental I. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, [S. l.], v. 18, n. 3, p. 879–904, 2018.

SASSERON, L. H. **O ensino por investigação: pressupostos e práticas**. In: SASSERON, L. H. Fundamentos teórico-metodológicos para o ensino de ciências: a sala de aula, Lic. em ciências, módulo 7. São Paulo: USP/Univesp, 2015, p. 116-124.

SASSERON, L. H.; MACHADO, V. F. As perguntas em aulas investigativas de Ciências: a construção teórica de categorias. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v.12, n.2, p.29-44, 2012.

SILVA, D. K.; COSTA, D. A. Abordagem investigativa em aulas de Matemática: uma investigação com casos de ensino na formação de professores. **Revista do Programa de Estudos Pós-Graduados em Educação Matemática**. v.21. n.1. p. 160-179. 2019.

SILVA, L. O.; SALES, R. A.; ANJOS, E. T. A. A aplicação de aulas práticas no ensino de Ciências e Biologia: uma análise crítica. **Revista Philologus**. v. 26, n. 78 Supl., 2020.

SILVA, H. M.; SANTANA, N. S. Atividade investigativa como ferramenta para o ensino de Artrópodes no Ensino Fundamental. **Revista Prática Docente**, v. 7, n. 1, p. 1-16, 2022.

SCARPA, D. L.; CAMPOS, N. F. Potencialidades do ensino de Biologia por Investigação. **Estudos Avançados**. v. 32, n. 94, p. 25-41, 2018.

SNUSTAD, P. D.; SIMMONS, M. J. **Fundamentos da genética**. 6ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2013.

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

XAVIER, R. M; ALMEIDA, J. E de. Atividades práticas no ensino de Biologia: um estudo sobre a percepção de professores em um município de Rondônia/ Atividades práticas no ensino de Biologia: um estudo sobre a percepção de professores em um município de Rondônia. **Revista Brasileira de Desenvolvimento**, v. 7, n. 1, p. 3089–3100, 2021.

YAMAMOTO F. Molecular genetics of ABO. **Vox Sang**, v.78, n. 2, p.91-103. 2000.

YAMAMOTO, F. Genética molecular e genômica do sistema de grupo sanguíneo ABO. **Annals of Blood**. v.6, n. 25, 2021.

ZOMPERO, A. F.; LINETH, P. L. D.; VILDOSOLA, T. X.; RODRIGUES, E. A. O ensino por investigação na área de ciências da natureza: estudo comparativo entre Brasil, Chile e Colômbia. **Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática**, [S. l.], v. 6, n. especial, 2023.