

Universidade Federal de Minas Gerais
Instituto de Ciências Biológicas

**DOMINÂNCIA E RECESSIVIDADE NO ENSINO DE GENÉTICA: ABORDAGEM
NOS LIVROS DIDÁTICOS E UMA ATIVIDADE INVESTIGATIVA COMO
FERRAMENTA PARA A APRENDIZAGEM DAS INTERAÇÕES ALÉLICAS**

MAYANA FLÁVIA FERREIRA PIMENTA

Belo Horizonte
2019

MAYANA FLÁVIA FERREIRA PIMENTA

**DOMINÂNCIA E RECESSIVIDADE NO ENSINO DE GENÉTICA: ABORDAGEM
NOS LIVROS DIDÁTICOS E UMA ATIVIDADE INVESTIGATIVA COMO
FERRAMENTA PARA A APRENDIZAGEM DAS INTERAÇÕES ALÉLICAS**

Trabalho de Conclusão de Mestrado - TCM apresentado ao Mestrado Profissional em Ensino de Biologia em Rede Nacional- PROFBIO, do Instituto de Ciências Biológicas, da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ensino de Biologia.

Área de concentração: Ensino de Biologia

Orientadora: Dra. Adlane Vilas-Boas Ferreira

Coorientadora: Dra. Rafaella Cardoso Ribeiro

Belo Horizonte

2019

043

Pimenta, Mayara Flávia Ferreira.

Dominância e recessividade no ensino de genética: abordagem nos livros didáticos e uma atividade investigativa como ferramenta para a aprendizagem das interações alélicas [manuscrito] / Mayara Flávia Ferreira Pimenta. – 2019.

90 f. : il. ; 29,5 cm.

Orientadora: Prof^a. Dr.^a Adlane Vilas-Boas Ferreira. Coorientadora: Prof^a. Dr.^a. Rafaela Cardoso Ribeiro.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Biológicas. PROFBIO - Mestrado Profissional em Ensino de Biologia.

1. Ensino - Biologia. 2. Ensino médio. 3. Genética. 4. Livro didático. I. Ferreira, Adlane Vilas-Boas. II. Ribeiro, Rafaela Cardoso. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Biológicas. IV. Título.

CDU: 372.857.01

MAYANA FLÁVIA FERREIRA PIMENTA

**DOMINÂNCIA E RECESSIVIDADE NO ENSINO DE GENÉTICA: ABORDAGEM
NOS LIVROS DIDÁTICOS E UMA ATIVIDADE INVESTIGATIVA COMO
FERRAMENTA PARA A APRENDIZAGEM DAS INTERAÇÕES ALÉLICAS**

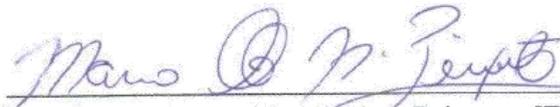
Trabalho de Conclusão de Mestrado - TCM apresentado ao Mestrado Profissional em Ensino de Biologia em Rede Nacional- PROFBIO, do Instituto de Ciências Biológicas, da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ensino de Biologia.

Área de concentração: Ensino de Biologia

Prof^ª. Dr^ª. Adlane Vilas-Boas Ferreira – UFMG (Orientadora)



Prof^ª. Dr^ª. Rafaella Cardoso Ribeiro – UFMG (Coorientadora)



Prof. Dr. Marco Aurélio Nicolato Peixoto - IFMG (Banca Examinadora)



Prof^ª. Dr^ª. Marina de Lima Tavares – UFMG (Banca Examinadora)

Belo Horizonte, 15 de julho de 2019.

Relato da Mestranda

Instituição: Universidade Federal de Minas Gerais
Mestranda: Mayana Flávia Ferreira Pimenta
Título: Dominância e recessividade no ensino de genética: abordagem nos livros didáticos e uma atividade investigativa como ferramenta para a aprendizagem das interações alélicas.
Data da defesa: 15/07/2019
<p>Um dos grandes desafios dos professores de biologia é buscar aproximar as pesquisas científicas ao ensino de ciências, mas para que este envolvimento faça parte da sala de aula, é necessário que os docentes sejam capacitados e atualizados. Algumas universidades investem em programas destinados a capacitação de professores da educação básica. Dentre eles está o mestrado profissional em biologia – PROFBIO, que possibilitou a capacitação coletiva de um grupo de professores em nível nacional, tendo como meta a melhoria da educação básica.</p> <p>Individualmente, posso afirmar que este mestrado e o envolvimento com esta pesquisa trouxe resultados importantes para a minha prática docente. Sou professora da educação básica há três anos e tive a oportunidade de me atualizar, aprender, desenvolver práticas semestrais e aplicá-las, diversificar as aulas de biologia, compartilhar materiais e experiências com os colegas do PROFBIO, que são também professores da educação básica, conhecer novas metodologias de ensino, envolver os alunos no processo de ensino e aprendizagem, analisar como os conteúdos de genética e biologia molecular são trabalhados no currículo e nos livros didáticos, bem como propor uma sequência didática que facilite a compreensão deste conteúdo.</p> <p>O PROFBIO me deu a oportunidade de trabalhar com o viés investigativo. A metodologia de ensino por investigação é uma proposta muito interessante e simples de colocar em prática, pois não envolve necessariamente grandes experimentos, alto investimento ou laboratórios equipados, realidade muitas vezes distante do ensino público. A problematização leva os alunos a discutir, analisar dados, propor hipóteses e a buscarem soluções como protagonistas na construção da aprendizagem, o que traz significados e torna o ensino mais eficiente e prazeroso. É indiscutível o meu crescimento profissional e toda aprendizagem adquirida ao longo desse percurso. Estou mais capacitada e motivada para</p>

exercer a minha profissão. Sinto que posso fazer a diferença, contribuir para uma educação básica de qualidade, além de incentivar os meus colegas de trabalho a conhecerem e adotarem novas metodologias de ensino que favoreçam a aprendizagem dos nossos alunos.

A partir deste mestrado, pude reavaliar o meu planejamento anual e a minha metodologia de ensino, provocando uma reflexão na minha atuação como professora de biologia.

Dedico este trabalho:

A meus pais, irmãos, sobrinhos, avós e ao Tayrone,
pelo incentivo e carinho!

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela vida, pela sabedoria, por todas as minhas conquistas pessoais e profissionais, e por ter colocado em meu caminho pessoas tão especiais, que não mediram esforços em me ajudar durante a realização deste sonho. Obrigada, Senhor! A estas pessoas deixo aqui meus sinceros agradecimentos.

A esta Universidade, seu corpo docente, direção e administração. Em especial, às minhas orientadoras Dra. Adlane Vilas-Boas Ferreira e Dra. Rafaella Cardoso Ribeiro, por dividirem comigo tanto conhecimento! Pelo carinho, apoio e paciência de sempre; e os professores Dra. Marina de Lima Tavares, Dra. Mônica Bucciarelli Rodriguez e Dr. Marco Aurélio Nicolato Peixoto e Dra. Letícia Braga, pela atenção e disponibilidade. Vocês contribuíram muito com o meu aprendizado e crescimento profissional.

Agradeço a CAPES que ofertou este mestrado. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Agradeço a direção e todo corpo docente das escolas: Dr. José Gonçalves, Leonardo Gonçalves Nogueira, Colégio Losango e Manoel da Costa Rezende pela acolhida e confiança. E aos meus queridos alunos, o principal motivo desta especialização! Obrigada pelas demonstrações de carinho e por me mostrarem que eu escolhi a profissão certa! Por vocês, quero me capacitar sempre!

Agradeço aos amigos do PROFBIO, grandes profissionais! Grandes professores! Grandes exemplos! Vencemos! Juntos! Vocês me inspiram a acreditar (ainda mais) na educação! E as minhas amigas-irmãs, por serem tão presentes na minha vida. Em especial a Fabys... Amor sempre! Saudade sem fim...

Agradeço a toda minha família! Aos meus pais pelo amor, incentivo e apoio incondicional. Por julgarem prioridade meus estudos e por me darem todas as condições para priorizá-los. Tudo o que sou hoje, eu devo a vocês! Aos meus irmãos Débora e Rafael, e os meus sobrinhos e afilhados César, Victor e Lavínia por serem essenciais. Minha felicidade! Meu infinito amor! Às minhas avós por serem referências na minha vida! Uma doce saudade da Vovó Zizita (nosso amor está acima das coisas desse mundo), e aos meus sogros e cunhados... Minha segunda família!

Agradeço de uma forma especial ao meu marido Tayrone, por ser o meu maior incentivador! Por acreditar no meu potencial e por fazer dos meus sonhos, os seus! Obrigada,

príncipe! Pela compreensão, amor e, principalmente, pelo companheirismo nos momentos difíceis desta caminhada.

Serei eternamente grata! Não seria possível chegar até aqui sem o apoio de vocês.
Muito obrigada!

Educação não transforma o mundo. Educação muda pessoas. Pessoas transformam o mundo.

Paulo Freire

RESUMO

Buscar estratégias que facilitem o aprendizado torna-se cada vez mais necessário ao professor do ensino médio, tendo em vista, dentre outras razões, o extenso e complexo conteúdo curricular de biologia. Com relação à genética, a fragmentação dos conteúdos de biologia celular e molecular e a genética mendeliana no currículo e nos livros didáticos exigem ainda mais uma metodologia que integre e favoreça a construção do conhecimento. Desta forma, este estudo teve como objetivos identificar, através de uma sequência didática, novas possibilidades de construção da aprendizagem sobre genética, especificamente os conceitos de dominância e recessividade, no contexto do ensino investigativo, e analisar a disposição dos temas relacionados à genética mendeliana e biologia molecular e a contextualização desses conteúdos em três livros didáticos do ensino médio. Como resultado deste trabalho foi possível criar uma sequência didática de caráter inovador que permitiu que estudantes do 3º ano pudessem interagir, discutir, trabalhar em grupo, construir de forma conjunta o conhecimento e compreender a dominância e a recessividade. Portanto, a sequência didática foi capaz de trazer efetivas mudanças no ensino de genética de estudantes do ensino básico. Outra contribuição desta pesquisa foi a análise crítica dos livros didáticos que permitiu indicar a ausência da inter-relação nos conteúdos de biologia molecular e genética em três livros das coleções mais aderidas pelas escolas públicas em Minas Gerais no ano de 2018, mostrando a necessidade do professor ser um protagonista de mudanças na maneira de se usar o livro para melhor compreensão de alguns temas da genética.

Palavras-chave: Ensino médio. Ensino de biologia. Ensino de Genética. Dominância e Recessividade. Livro didático. Ensino de ciências por investigação. Interações alélicas.

ABSTRACT

Finding strategies that facilitate learning has been increasingly necessary for the high school teacher, especially because of the extensive and complex curricular content in biology. As for the teaching of genetics, fragmentation of the contents of cellular and molecular biology and the Mendelian genetics in the curriculum, and in didactic books, demands searches for methodologies that integrate the construction of knowledge. The purpose of this study was to identify, by means of a didactic sequence, new possibilities of constructing learning on Genetics, specifically the concepts of dominance and recessiveness, in the context of investigative teaching, and to analyze the disposition of themes related to Mendelian genetics and molecular biology, and the contextualization of these contents in three high school textbooks. As a result of this work, it was possible to create an innovative didactic sequence that allowed 3rd year high-school students to interact, discuss, work in groups, jointly build knowledge and understand dominance and recessiveness. Therefore, the didactic sequence was brought about effective changes in the teaching of genetics for high school students. Another contribution of this research was the critical analysis of the textbooks that indicated lack of connection in the contents of molecular and genetic biology in three books of the most popular collections in public schools of Minas Gerais state in 2018, showing that the teacher needs to be a protagonist of the wanted changes when using the textbook for a better understanding of some themes of genetics.

Keywords: High school. Biology teaching. Teaching of Genetics. Dominance and Recessiveness. Textbook. Inquiry-based science teaching. Allele interaction.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: REPRESENTAÇÃO DO FLUXO DE INTERVENÇÕES PEDAGÓGICAS CONTENDO AS PEÇAS CONSIDERADAS SUBSTANCIAIS EM TODA PRÁTICA EDUCACIONAL SEGUNDO ZABALA, 1998.	22
FIGURA 2: METODOLOGIA UTILIZADA PARA EXECUÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA “PRÁTICA DAS CORES”, INICIALIZANDO COM AULAS CONTEXTUALIZADAS SOBRE GENÉTICA, CONSTRUÇÃO DE UM GLOSSÁRIO COM AS TERMINOLOGIAS APRESENTADAS, REALIZAÇÃO DA ATIVIDADE PRÁTICA DAS CORES E, POR FIM, FINALIZANDO COM UMA RODA DE CONVERSA.	32
FIGURA 3: CONCEITOS TRABALHADOS EM AULA TEÓRICA-CONTEXTUALIZADA, INTER-RELACIONANDO A MEIOSE E MITOSE, PRINCÍPIOS DE GENÉTICA, TRANSCRIÇÃO E TRADUÇÃO. ...	34
FIGURA 4: LIVROS DIDÁTICOS ANALISADOS PELA PESQUISADORA. TODOS OS EXEMPLARES CONTÊM A IDENTIFICAÇÃO DO PNLD 2018, 2019 E 2020.	37
FIGURA 5: FLOR MARAVILHA COM DIFERENTES FENÓTIPOS RESULTANTES DAS INTERAÇÕES ALÉLICAS DO TIPO CODOMINÂNCIA.	48
FIGURA 6: ALBA, A COELHA TRANSGÊNICA OBTIDA POR EXPRESSÃO DO GENE DA PROTEÍNA G FLUORESCENTE (GFP8) NA OBRA DO ARTISTA EDUARDO KAC.	50
FIGURA 7: ALUNOS DO TERCEIRO ANO DO ENSINO MÉDIO DA ESCOLA ESTADUAL LEONARDO GONÇALVES NOGUEIRA, NO ANO DE 2019, E A PESQUISADORA DESTE TRABALHO APÓS A REALIZAÇÃO DA ATIVIDADE PRÁTICA DAS CORES.	53
FIGURA 8: AMBIENTE PREPARADO PARA A PRÁTICA COM OS ALUNOS DO TERCEIRO ANO DO ENSINO MÉDIO REGULAR DIURNO DA ESCOLA ESTADUAL LEONARDO GONÇALVES NOGUEIRA, NO ANO DE 2019.	54
FIGURA 9: EXEMPLOS DE FICHAS QUE REPRESENTAM UM FRAGMENTO DO MATERIAL GENÉTICO DE UMA PLANTA A SER COMPLETADAS COM OUTRAS INFORMAÇÕES PELOS ESTUDANTES.	55
FIGURA 10: UM REPRESENTANTE DE CADA GRUPO LOCALIZOU NA MESA DO PROFESSOR OS FRASCOS IDENTIFICADOS COM UM RÓTULO CORRESPONDENTE À PROTEÍNA TRADUZIDA PELO SEU GRUPO.	55
FIGURA 11: RECIPIENTES COM AS CORES CORRESPONDENTES AOS FENÓTIPOS OBSERVADOS PELOS GRUPOS APÓS A MISTURA DAS DUAS PREPARAÇÕES QUE REPRESENTAVAM AS PROTEÍNAS TRADUZIDAS DO mRNA - DA ESQUERDA PARA A DIREITA, AS INTERAÇÕES ALÉLICAS DO TIPO DOMINÂNCIA COMPLETA, CODOMINÂNCIA E DOMINÂNCIA INCOMPLETA.	57
FIGURA 12: ANÁLISE QUANTITATIVA DE ACERTOS DOS GRUPOS PARA CADA QUESTÃO DO ROTEIRO DO ALUNO. SEIS GRUPOS PARTICIPARAM DA ATIVIDADE.	57

LISTA DE QUADRO

QUADRO 1: LIVROS DIDÁTICOS ANALISADOS NESTE TRABALHO.	35
---	----

LISTA DE ABREVIACÕES

CBC – Conteúdo Básico Comum

CTS - Ciência, Tecnologia e Sociedade

COEP - Comitê de Ética e Pesquisa

DNA – Ácido desoxirribonucleico

FNDE – Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação

MEC – Ministério da Educação

MG – Minas Gerais

mRNA – RNA mensageiro

PNLD - Programa Nacional do Livro Didático

PNLEM - Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1 O ensino de genética.....	16
1.2 As metodologias nos processos de ensino-aprendizagem	21
1.3 O livro didático e a genética no ensino médio	26
2. OBJETIVOS	29
2.1 Objetivo geral	29
2.2 Objetivos específicos.....	29
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	30
3.1 Materiais utilizados	30
3.2 Sequência didática “Prática das Cores”	31
3.3 Análise dos livros didáticos.....	34
3.4 Aspectos éticos	35
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1 Análises dos livros didáticos	36
4.2 Sequência didática Prática das Cores	48
5 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS	64
REFERÊNCIAS	67
APÊNDICE I: TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO DO MENOR (ESTUDANTES).....	71
APÊNDICE II: TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (PAIS).....	73
APÊNDICE III: ROTEIRO DO ALUNO ADAPTADO E UTILIZADO PELA PESQUISADORA	76
APÊNDICE IV: ROTEIRO DO PROFESSOR ADAPTADO PELA PESQUISADORA.....	78
APÊNDICE V: ROTEIRO DO ALUNO ADAPTADO APÓS A APLICAÇÃO DA PRÁTICA PELA PESQUISADORA.....	80
ANEXO I: PRÁTICA DAS CORES.....	82
ANEXOII: ROTEIROS DO ALUNO E DO PROFESSOR.....	85
ANEXO III: RÓTULOS CONTENDO DIFERENTES SEQUÊNCIAS DE AMINOÁCIDOS ..	89
ANEXO IV: FICHAS CONTENDO UM FRAGMENTO DE DNA DOS CROMOSSOMOS MATERNOS E PATERNOS.	90
ANEXO V: TABELA DE CÓDONS	92

1. INTRODUÇÃO

A ciência se faz presente em situações do nosso cotidiano, trazendo melhorias para a nossa qualidade de vida e soluções frente aos problemas ambientais. Diante de tantas mudanças oportunizadas pelo progresso, estão os alunos, que anseiam cada vez mais serem participantes ativos nesses processos de transformação. Assim, a formação escolar possibilita a inserção deste aluno nos avanços científicos, através da aprendizagem e utilização dos conhecimentos adquiridos na área das ciências da natureza. Tendo em vista que a educação deste aluno deve atender também as suas demandas pessoais e sociais, as metodologias de ensino utilizadas pelo professor devem ser continuamente repensadas, buscando atender as necessidades dos alunos e promover a interação dos conteúdos ensinados com suas experiências cotidianas. (ARMSTRONG; BARBOZA, 2012, p.15, 16).

Armstrong e Barboza (2012) ressaltam a importância de ministrar conteúdos que tenham significado para os alunos, que apontem a relação teoria e prática e não sejam uma mera repetição de conceitos, relacionando-os aos fatos do cotidiano e aos conhecimentos prévios dos alunos. A aquisição de conhecimentos contribui para a formação de cidadãos críticos, capazes de observar, refletir, compreender, argumentar e discutir os conceitos científicos. O CBC – Conteúdo Básico Comum - apresenta uma proposta de currículo de Biologia para o ensino médio, com o propósito de complementar e aprofundar os conceitos trabalhados com os estudantes no ensino fundamental na construção de habilidades e competências dos saberes científicos.

Neste contexto, dentre as diferentes especialidades da biologia, está a Genética que apresenta conteúdo que os professores relatam dificuldades para ensinar (SILVEIRA; AMABIS, 2003). A seguir serão abordados alguns aspectos de práticas de ensino, livros didáticos e algumas questões ligadas, mais especificamente, à disciplina Genética, foco desta pesquisa.

1.1 O ensino de genética

Atualmente, o conteúdo de genética não é importante apenas para o ensino de biologia e educação para a sociedade, mas também se tornou relevante para a alfabetização científica, ou seja, a compreensão das ideias e resultados das recentes pesquisas biológicas divulgadas pelos meios de comunicação que envolve a genética e fazem parte do nosso cotidiano (KNIPPELS, 2002, p. 2).

Pierce (2012) aponta a importância da genética para os indivíduos, a sociedade e o estudo da biologia. Exemplos disso são: alteração genética em busca de características desejáveis e aumento da produtividade, e na indústria farmacêutica com a manipulação genética de fungos e bactérias para a produção de medicamentos. Na indústria, a aplicação da genética viabiliza a produção em grande escala de substâncias de valor biológico e comercial, como a insulina e o hormônio do crescimento. A ligação entre a genética e muitas doenças como as hereditárias tornam este campo do conhecimento biológico de extrema importância para o estabelecimento de novas biotecnologias, como a terapia gênica, em que ocorrer a alteração e inserção de genes em indivíduos para o tratamento de doenças. Muitas são as relações e possibilidades da genética para a vida das pessoas e muitos são também os debates éticos e leis que a cercam. Esta configuração demonstra a necessidade de uma apropriação a contento deste conteúdo no sentido que os estudantes possam participar ativamente, consciente e colaborativamente destas questões que atingem não só as pessoas, enquanto organismo biológico, mas também a sociedade e nossos valores como um todo.

O interesse por este trabalho surgiu quando comecei a ministrar aulas de genética para alunos do ensino médio, especialmente no turno da noite. Percebi que a complexidade do conteúdo e a falta de interesse tornavam as aulas monótonas e com poucos significados para a vida do aluno. Além disso, a pequena carga horária das aulas de biologia, os extensos conteúdos, a falta às aulas e o cansaço dos estudantes após seu dia de trabalho intensificavam os desafios no processo de ensino-aprendizagem. Diante do exposto, buscar novas alternativas para minimizar estas dificuldades e motivar os discentes a explorar a genética e vivenciar suas experiências, descobrindo por seus próprios meios, aspectos da ciência, tecnologia e sociedade, tornou-se cada vez mais desafiador e necessário.

Dentre as causas da dificuldade em se ensinar a Genética, podemos citar: o fato que ela requer dos alunos alto grau de abstração para sua compreensão; a extensa terminologia e pouco domínio do vocabulário; os problemas são resolvidos, muitas vezes, por tentativa e erro, sem o real entendimento dos fatores biológicos associados e concretos, como a compreensão limitada e inconsistente da divisão celular; além das poucas habilidades no raciocínio lógico matemático que envolve a probabilidade (KNIPPELS, 2002, p. 27). Estas dificuldades são perceptíveis ao observar que os alunos, de um modo geral, não compreendem os processos de divisão celular, estrutura, localização e função do material genético (BELMIRO; PRÁXIS; 2017, p. 96).

Ao referir-se às terminologias específicas referentes ao conteúdo de genética, Knippels (2002) ressalta que alguns termos são semelhantes, o que pode levar os alunos a uma

confusão na definição das palavras, como homozigotos e heterozigotos. No ambiente escolar, estes termos são normalmente apresentados para os estudantes por três fontes diferentes: o professor, o livro didático e outras fontes de pesquisa, e algumas delas podem induzir o aluno ao erro. Outro ponto importante é que o conteúdo é extenso, e na abordagem de alguns termos, deve-se evitar o uso de sinônimos bem como o uso indevido ou dúbio da terminologia. Um exemplo é a utilização dos termos gene e alelo equivocadamente como sinônimos. A autora cita que muitos professores ou autores de livros didáticos usam a afirmação: “gene para flores de cor vermelha em vez de alelo para flores de cor vermelha ou gene letal em vez de alelo letal”. Assim, não é o gene que é letal, e sim a expressão de um determinado alelo de um gene que pode ser letal a um organismo. Essa imprecisão na utilização dos termos dificulta o processo de ensino e aprendizagem.

Outro ponto de atenção mencionado por esta autora são os processos citológicos que envolvem a divisão celular, em especial a meiose, que é pouco compreendida pelos discentes. Tal fato parece ter origem na falta de compreensão da relação cromossomo, gene e informação genética, bem como o distanciamento em que estes conceitos são normalmente abordados nos livros didáticos, sendo trabalhados em diferentes capítulos sem nenhuma correlação entre estes tópicos (KNIPPELS, 2002, p. 40, 42 e 43). Em outras palavras, a dificuldade pode estar relacionada não apenas com a complexidade do assunto como também com a organização dos conteúdos de biologia celular e molecular e genética no ensino médio. Nota-se na maioria dos livros didáticos, uma falta de integração entre temas que são necessariamente inter-relacionados (PAIVA; MARTINS, 2005, p. 3). Por exemplo, segundo Klautau-Guimarães e colaboradores (2011), e Silveira e Amabis (2003), um dos grandes dificultadores do ensino e aprendizagem de genética está relacionado a não compreensão pelos alunos da relação entre a meiose, genes, cromossomos e a transmissão das características hereditárias, produção de gametas por organismos sexuados e variabilidade biológica.

Observa-se, ainda, que muitos estudantes compreendem, de forma errônea, os conceitos de dominância e recessividade, afirmando que apenas os alelos dominantes são transcritos, sendo os alelos recessivos, inibidos durante a transcrição (NETTO, 2017, p.29).

Aprofundando essa discussão, indagamos se, no ensino médio, ou se nos cursinhos preparatórios pré-vestibulares, algum professor havia ensinado essa noção. A resposta tem sido a de que, embora os professores não afirmem claramente isso, vários costumam afirmar que alelos dominantes “impedem” ou “inibem” os alelos recessivos de se manifestarem. Essa noção distorcida explica porque um número de alunos acaba por imaginar que alelos recessivos são obrigatoriamente inativos do

ponto de vista da transcrição. Essa questão merece uma discussão aprofundada do ponto de vista molecular que permita compreender por que certos alelos determinam fenótipos recessivos e outros determinam fenótipos dominantes. (NETTO, 2017, p.29)

Redfield (2012) aponta a necessidade de reestruturação do currículo em relação ao Ensino de Genética para estudantes do século XXI, tendo em vista que o papel da genética mudou. Segundo a autora, ainda utiliza-se o currículo inicial que em meados do século XX usava a análise histórica para ensinar os princípios básicos de genética. Assim, os experimentos de Mendel e suas conclusões tem papel central na introdução dos conceitos e norteiam a ideia de que os fenótipos são determinados por genes. Em seguida, são apresentadas as evidências sobre a localização dos genes e seu comportamento na meiose, através da microscopia óptica. E por fim, seguem-se os conceitos padrões de genes ligados, cruzamentos, epistasia, alterações cromossômicas, genética de populações e outros. Era de se esperar que este contexto histórico levasse os alunos a questionar, levantar hipóteses, realizar experimentos com comprovação científica e aprender de maneira similar aos grandes geneticistas da época, revelando os mecanismos de herança e sua importância para os demais fenômenos biológicos. Entretanto, Redfield (2012) conclui que estes não eram, infelizmente, os resultados vistos. Embora os alunos aprendam a resolver problemas referentes à análise genética, seu pensamento científico permanece aquém, e continuam sem compreender ou saber interpretar os resultados; muitos ainda não entendem, por exemplo, a recombinação genética entre o par de cromossomos homólogos. Assim, a autora relata que uma comissão foi criada para elaboração do novo curso que acreditava que esta abordagem histórica estava dificultando a aprendizagem dos discentes.

O novo currículo proposto, mencionado pela autora, não se inicia com a abordagem histórica de Mendel, e sim em temas independentes, como a relação genótipo-fenótipo e como as diferenças entre o DNA podem causar diferentes fenótipos, esclarecendo os equívocos referentes ao conceito de dominância e recessividade, associando a interação entre a proteína funcional, não funcional e o fenótipo. Posteriormente, os alunos devem compreender as diferenças entre a sequência do DNA e, conseqüentemente, dos alelos e sua relação com a reprodução sexuada e a meiose, especialmente o emparelhamento dos cromossomos homólogos, *crossing-over* e a compreensão de que os gametas se juntam aleatoriamente após o acasalamento. A meiose representa o maior obstáculo para que os alunos compreendam a genética. Somente após a consolidação destes conceitos a análise genética é utilizada na abordagem de conceitos mais complexos (REDFIELD, 2012).

É importante que nossos alunos saibam conceitos relevantes para o seu dia a dia, sua vida pessoal e convívio social, e consigam estabelecer um pensamento crítico acerca da sua realidade. Redfield (2012) ainda levanta questionamentos atuais, após uma pesquisa sobre “genética” no “Google notícias” (em inglês) em março de 2012, cujos resultados levaram a refletir sobre questões complexas, como: “É aconselhável fazer o teste genético? Qual é o investimento? Devo ter acesso total a estas informações? E a minha seguradora e meu empregador? Os atletas devem ser testados para modificações genéticas ("doping genético")? É ética a impressão digital do DNA de criminosos condenados? E dos suspeitos? Os meus genes me fazem *gay*? São seguros os alimentos geneticamente modificados? É ética a clonagem de animais? Qual é a diferença entre o ser humano e os chimpanzés?” Estes questionamentos ressaltam a importância de uma sólida compreensão de como o genótipo influencia o fenótipo, das variações genéticas naturais e do mecanismo de hereditariedade.

Knippels (2002) afirma que os estudantes têm dificuldades de associar os termos ao seu conceito, como acontece com o termo “dominante”, associando-o à ideia de frequente, “bom” e necessário para mascarar o efeito dos alelos recessivos que são “ruins”. Para os alunos, as mutações são raras, prejudiciais e geralmente, recessivas. Redfield (2012) esclarece que o problema referente aos equívocos e confusões na compreensão do conceito de dominância está relacionado com o conceito proposto por Mendel. Muitos estudantes entendem, erroneamente, que os alelos são, essencialmente, dominante ou recessivo, conforme observado nos experimentos de Mendel. Entretanto o termo dominância é, na verdade, uma relação entre os alelos. Esta ideia de Mendel, associada à utilização de um “A” para representar um alelo dominante e “a”, um alelo recessivo, auxiliou na propagação deste equívoco nos livros didáticos e na resolução de problemas. Além disso, muitos atribuem às relações dominantes/recessivos como uma norma, tendo em vista que a maior parte dos alelos apresentados ao longo da sua formação são pares dominantes/recessivos, nos quais as interações do tipo codominância e dominância incompleta são apresentadas como variantes ou exceções à dominância completa. Em um questionamento informal a estudantes de nível superior de um curso de genética, Redfield (2012, p.2) apontou que muitos desconhecem o que faz um alelo dominante. Segundo a autora, os discentes apresentam dificuldades em compreender esta questão, pois entendem que os alelos dominantes devem desligar ou inibir o alelo recessivo.

1.2 As metodologias nos processos de ensino-aprendizagem

Armstrong e Barboza (2012) afirmam que, para compreender o que é uma metodologia de ensino, precisamos inicialmente definir o que é método. Esta palavra de origem grega (*meta* = meta e *bodós* = caminho) é descrita por vários autores como o percurso adotado para se alcançar um determinado objetivo. Assim, não existe um método ideal para a transmissão de uma determinada informação, e sim um conjunto deles, que, combinados, possibilitam professores e alunos alcançarem os resultados pré-estabelecidos.

Para auxiliar no processo de ensino-aprendizagem, novas metodologias são apresentadas como forma de facilitar a compreensão do conteúdo. No ensino tradicional, segundo Melo & Carmo (2009), o professor acaba limitando o protagonismo do educando, impossibilitando a construção do conhecimento de forma crítica, aprofundada e relacionada com o convívio social do aluno. Neste sentido, se faz necessário a utilização de estratégias pedagógicas que tornem o educando protagonista do seu processo de ensino-aprendizagem.

Neste sentido, atividades práticas podem contribuir, pois têm como função despertar e manter o interesse dos alunos, envolvê-los em investigações científicas, desenvolver as habilidades e capacidade em resolver problemas e a compreensão de conceitos básicos (HOFSTEIN; LUNETTA, 1982, p. 203), como os da genética, alvo desse trabalho. Fazer com que os alunos consigam perceber a genética em seu cotidiano, por meio de atividades práticas, pode ser uma alternativa para aproximar e despertar o interesse dos alunos em sala de aula (DIAS, 2015, p.1).

Uma prática educativa reflexiva e coerente com a realidade do ambiente escolar é estruturada a partir de sequências de atividades que se baseiam em objetivos previamente definidos, reunindo-os em três fases de uma prática educacional: planejamento, aplicação e avaliação (ZABALA, 1998, p.18) e devem ser pautadas no antes e depois, seguindo o fluxo da Figura 1.

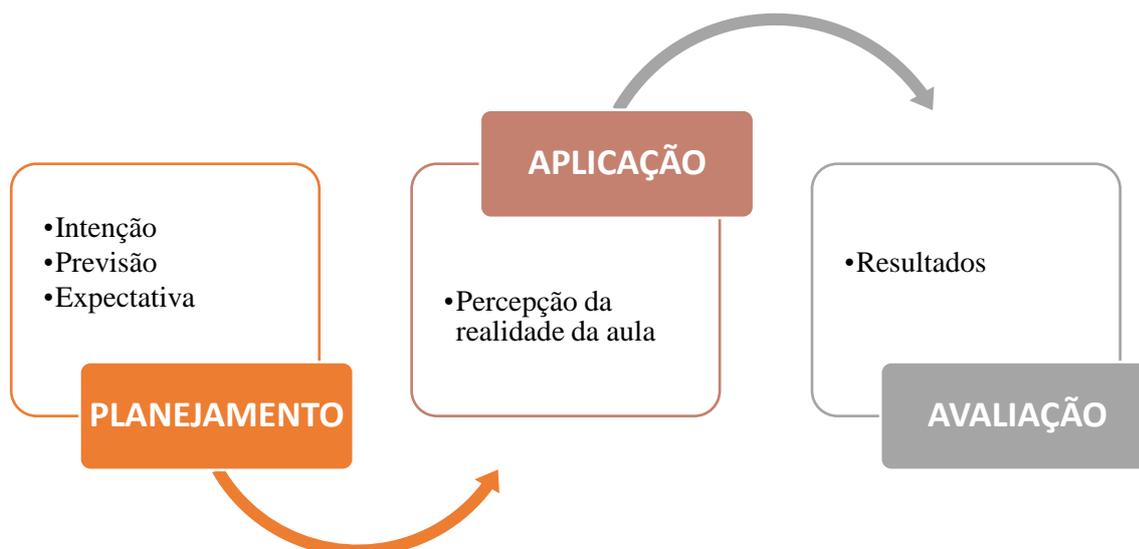


Figura 1: Representação do fluxo de intervenções pedagógicas contendo as peças consideradas substanciais em toda prática educacional segundo Zabala, 1998.

Em relação às sequências didáticas, Zabala (1998) afirma que “[...] são uma maneira de encadear e articular as diferentes atividades ao longo de uma unidade didática” (ZABALA, 1998, p.20), apontando a função de cada atividade na construção do conhecimento. Outro fator relevante é que a relação entre professor e alunos, bem como entre aluno e aluno interfere na comunicação, nos vínculos construídos e, conseqüentemente, no clima da convivência. Todos estes fatores compõem e devem ser levados em conta como “variáveis metodológicas” que precisam ser consideradas na composição das sequências didáticas mais apropriadas a cada situação. Destacam-se como fatores a serem observados a dinâmica de formação de grupos que determina a organização social, a utilização do espaço, do tempo, de materiais curriculares e outros recursos didáticos, a avaliação e, por fim, a organização dos conteúdos seguindo uma lógica integradora das disciplinas.

Desta forma, as propostas didáticas diferenciam-se umas das outras conforme o papel atribuído aos docentes e discentes, os materiais utilizados, a forma como o tema foi exposto, observação, dinâmica de grupos, debates e outros. Pode-se observar outras tendências tendo em vista o que se quer proporcionar, de tal forma que pode-se optar por métodos expositivos ou manipulativos, que visam à aprendizagem por recepção ou descoberta, de caráter mais indutivo ou dedutivo, dentre outros. (ZABALA, 1998, p.53). Logo, existem diferentes formas de se organizar e aplicar uma sequência didática, e cabe ao professor reconhecer qual delas é mais apropriada para aquele conteúdo e contexto em que se insere. Elas podem apresentar objetivos diversos, como serem apenas conceituais e utilizarem técnicas expositivas, levando os alunos a “saberem” o conteúdo teórico. Podem apresentar características procedimentais e

conceituais, incluindo diálogos entre alunos e professores, levando os alunos a “saberem fazer”, associados ao conhecimento dos conceitos teóricos. Podem ser, ainda, conceituais, procedimentais e atitudinais, onde os alunos devem conhecer o tema, “saberem fazer” e “serem participativos”, com atitudes proativas, diálogo e discussão. Por fim, a atividade pode trabalhar conceitos, atitudes e procedimentos ao longo de toda a sequência. Desta forma, o estudante tem autonomia de controlar o seu tempo, desenvolvendo habilidades como dialogar, pesquisar, elaborar questionários, analisar dados, e outros. Os objetivos relacionam-se a “saber” o conteúdo, “saber fazer”, além de confrontar os conflitos entre o grupo, aprendendo assim a “ser” e a desenvolverem habilidades como tolerância, respeito e cooperação, e a formação integral do aluno (ZABALA, 1998, p. 59, 60 e 61). Logo, o professor precisa ter clareza de objetivos e sensibilidade para utilizar a sua autonomia de maneira a conceber mediante uma análise apurada a sequência didática que vai selecionar ou organizar, devendo sempre avaliar se os objetivos propostos na sequência didática são pertinentes em relação aos resultados que deseja alcançar.

Carvalho (2013) destaca que a concepção de educação, como uma transferência do conhecimento, em que o professor é o detentor do conhecimento e o aluno um mero receptor, tem se modificando ao longo do tempo. Alguns fatores que contribuíram para estas mudanças foram o aumento de informações e conhecimentos produzidos, a valorização da qualidade, e não da quantidade de conteúdo ensinado, bem como a orientação de psicólogos que apresentaram como o conhecimento é adquirido no contexto individual e social. As ideias propostas por Piaget (1976) apontam a importância da proposição de problemas que conduzam o aluno a raciocinar e construir o seu conhecimento, o que contrasta com o ensino meramente expositivo. Isto porque no ensino expositivo, a função de raciocinar está com o professor, e o aluno tem como objetivo seguir a linha de raciocínio proposto. Por outro lado, ao se incluir nos procedimentos didáticos perguntas direcionadas, pode-se conduzir o estudante por si mesmo a um processo de problematização que leva ao conhecimento. O professor deve, assim, abrir mão do “conhecimento pronto” e conduzir o aprendiz paulatinamente à construção do conhecimento, cabendo a ele docente, o papel de mediar e orientar as reflexões dos discentes.

Piaget, ao propor os princípios de desequilíbrio, acomodação de um novo conceito e tomada de consciência, colocou o indivíduo em evidência na construção do seu próprio conhecimento. Suas ideias revolucionaram o ensino tradicional ao propor que os alunos traziam um conhecimento prévio, resultado de suas vivências cotidianas, sobre um

determinado conceito que poderia ser diferente da definição científica para este conceito (CARVALHO, 2016, p. 5).

A percepção de Vygotsky (1984) vem complementar a concepção de Piaget no sentido de que o meio pode proporcionar as condições para que o estudante construa o seu conhecimento via problematização. Isto, considerando que Vygotsky (1984), destacou que as funções mentais de cada indivíduo estão relacionadas com os processos sociais, que podem desencadear mudanças no funcionamento da mente dos alunos. Assim, as interações sociais envolvem não somente a comunicação entre professor e aluno, mas também se relacionam com o ambiente em que se dá esta comunicação, sendo o aprendiz envolvido com os problemas, informações e outros contextos em sala de aula. (CARVALHO, 2013, p.2, 3 e 4).

Diante do exposto, dentre as tendências para o ensino, acredita-se que aquela que melhor coaduna com o ensino da biologia e qualidade das aulas é o ensino por investigação, porque as concepções prévias dos alunos, o conhecimento interdisciplinar e contextualizado são ferramentas indispensáveis para a aprendizagem, sendo o ensino por investigação uma metodologia interessante para melhorar a qualidade das aulas de biologia. Existem diferentes estratégias de ensino e aprendizagem que podem caracterizar uma atividade como investigativa, tais como filmes, experimentos, visitas de campo, demonstrações, pesquisas, simulação de computador, dentre outros. Desta forma, baseado na concepção de Carvalho (2013), a atividade adotada per si não é importante, mas é relevante que a estratégia adotada proporcione, ou esteja em sintonia, com a problematização pretendida e possibilite condições para resolvê-la. Segundo Sá e colaboradores (2008), poucas são as pesquisas publicadas especificamente sobre o tema ensino por investigação nos periódicos nacionais. Todavia nota-se um crescente interesse de pesquisadores e educadores neste tema. Carvalho (2013) descreve o significado da palavra investigação como o sinônimo de pesquisa, busca. A investigação científica pode ser encarada como uma pesquisa, uma busca, entretanto, associada às experiências vividas, onde o mais importante não é o seu fim, e sim o caminho percorrido por ela.

No que tange a metodologia por investigação, Zômpero e Laburú (2011) e Carvalho (2013) concordam que uma sequência de ensino investigativa apresenta características específicas, tais como: o interesse dos alunos para participar das atividades; levantamento de hipóteses, pelas quais o professor identifica os conhecimentos prévios do estudante; a busca por informações através de pesquisas bibliográficas ou experimentos que auxiliem na resolução de um problema proposto inicialmente; a abertura de espaços para diálogo e discussão, de forma que aproximem os saberes científicos daqueles estudados em sala de aula.

Vasconcelos (2012) destaca ainda que a metodologia investigativa não se baseia na aquisição de conhecimentos e memorização de conceitos, como normalmente utiliza-se na metodologia tradicional, e sim propor o desenvolvimento de competências de comunicação, pensamento crítico, tomada de decisões e protagonismo do aluno. O professor é um facilitador da aprendizagem, participando como mediador deste processo. Por todas estas razões apresentadas entendemos que esta metodologia seja bastante apropriada para um ensino de genética agradável, interessante e produtivo, devendo ser cuidadosamente analisada pelos professores para a escolha/organização de sequências didáticas a serem adotadas.

Pesquisar e propor atividades investigativas envolvem questões que levam os alunos a observar, planejar, levantar hipóteses, interpretar e construir o conhecimento a partir do conhecimento teórico, destacando o protagonismo do aluno (SÁ; MAUÉS; MUNFORD, 2008). Segundo Duarte (1999), “neste processo de construção/reconstrução assumem papel preponderante os conhecimentos que o indivíduo já possui entre os quais se situam as suas ideias ou concepções alternativas” (DUARTE, 1999, p. 228). Neste contexto, ressalta-se que no ensino investigativo, o aluno é o protagonista e as atividades realizadas são centradas nele, lhe dando autonomia.

Esta aproximação da ciência ao cotidiano do aluno torna-se uma ferramenta importante para a busca da motivação e, conseqüentemente, da construção do aprendizado dos alunos. “Uma investigação só faz sentido se ela explicita algo que queremos conhecer. Suscita o interesse e a curiosidade em conhecer, ou de inventar um modo de explicar como as coisas funcionam e se articulam” (LIMA; MAUÉS, 2006, p.171).

Segundo Andrade (2011), o ensino de ciências por investigação busca trazer a atividade científica para o ensino de ciências, aproximando assim os conhecimentos científicos dos escolares. O mesmo autor esclarece que “[...] o termo investigação como estratégia para o ensino de Ciências utilizado no Brasil vem da tradução do termo *inquiry* ou *enquiry* de países da língua inglesa” (ANDRADE, 2011, p.122). Nos Estados Unidos, o conceituado educador e pensador John Dewey no início do século XX, iniciou a inclusão da perspectiva investigativa na Educação Científica. Dewey acreditava na educação científica e considerava o aluno, participante ativo de seu processo de aprendizagem, propondo a utilização do método científico com possibilidade de se utilizar as experiências dos alunos através da definição de um problema, propor uma solução, realizar a experiência para que, por fim, eles cheguem a uma conclusão (ZÔMPERO; LABURÚ, 2011, p.68).

Para facilitar a compreensão da ciência, é preciso que os estudantes identifiquem situações que proporcionem maior envolvimento com suas práticas, sem, no entanto serem

meros repetidores de experimentos, conforme Carvalho (2016), daí a importância da metodologia empregada e da devida problematização para os experimentos propostos. A problematização proporciona essa interação dos estudantes na descoberta de novas questões sobre a mediação do professor. Aprender ciências requer a interpretação e apropriação desta nova linguagem, e é por meio do diálogo que essa apropriação acontece. O convívio social presente nos trabalhos em grupo favorece o desenvolvimento de habilidades como: cooperação, respeito, diálogo e autoconfiança para defender um ponto de vista. A questão científica planejada pelo professor pode ser construída aos poucos, com a participação ativa dos alunos neste processo. Assim, a discussão após uma atividade prática é o ponto chave para retomar as ações realizadas pelos alunos (CARVALHO, 2013, p. 37 e 38).

Schiell e Orlandi (2009) orientam que a atividade não se encerra com a investigação. É importante que os alunos saibam refletir e relatar o trabalho realizado, bem como identificar a causa do que foi observado. Neste sentido, o professor conduz a discussão com o propósito de comparar as hipóteses previamente levantadas e os resultados dos diferentes grupos e fontes de pesquisa, a fim de elaborar uma conclusão sobre o assunto. Estes autores alertam ainda, sobre a importância de registrar todo o processo de investigação para facilitar a comparação e análise de dados, produção de relatórios e desenvolver a habilidade da escrita.

Integram ainda, de maneira relevante, o universo estudantil, os livros didáticos como um material muito utilizado na escola que concatena de “maneira pronta” uma série de conceitos científicos e que, por sua ampla divulgação e relevância no cotidiano escolar, será amiúde investigado sob o viés dos conceitos genéticos para o ensino médio.

1.3 O livro didático e a genética no ensino médio

É importante ressaltar o papel do livro didático no processo de ensino e aprendizagem, uma vez que normalmente ele orienta a prática docente (ABREU; GOMES; LOPES, 2005) e é a principal ferramenta pedagógica utilizada em sala de aula (XAVIER; FREIRE; MORAES, 2006; DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2011).

A partir de 1996, o MEC – Ministério da Educação, iniciou uma avaliação dos livros, com o propósito de garantir a qualidade do material adquirido para posterior distribuição nas escolas públicas, ampliando o rigor na elaboração dos conteúdos (SARTIN et al., 2012). De acordo com o portal do MEC – Ministério da Educação, o Programa Nacional do Livro Didático – PNLD é um programa destinado à distribuição de obras didáticas aos estudantes da rede pública de ensino. No ano de 2004, através da Resolução nº 38 do FNDE - Fundo

Nacional de Desenvolvimento da Educação, os livros didáticos, por meio do PNLEM - Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio foram distribuídos às escolas públicas brasileiras. Atualmente, o programa atende todos os alunos da educação básica brasileira, com exceção da educação infantil. Por este motivo, ou seja, pelo fato dos estudantes do ensino médio receberem em sua totalidade os livros didáticos das autoridades governamentais, além de ser uma fase que se desperta o gosto inicial pelo estudo da genética, escolhemos como amostragem da pesquisa os estudantes do ensino médio, tendo em vista que *a priori* todos recebem livros de biologia no ensino médio.

O livro, segundo Sgarioni e Strieder (2018), “[...] possibilita o planejamento e o desenvolvimento de atividades conscientes e intencionalmente dirigidas, organiza os conteúdos curriculares e proporciona suporte ao processo de ensino e aprendizagem” (SGARIONI; STRIEDER, 2018, p. 346). Entretanto mesmo após aprovação pelo PNLD, o livro ainda apresenta falhas, como defasagens conceituais, falta de contextualização com a realidade do aluno, conceitos simplificados, dentre outros, que podem comprometer a aprendizagem do discente. É importante que os docentes utilizem seu conhecimento científico para fazer uma análise crítica da abordagem dos conceitos, a fim de superar possíveis erros conceituais.

No livro didático, além da linguagem escrita e falada, outros recursos podem ser utilizados para criar textos. As imagens são recursos que auxiliam no processo de ensino-aprendizagem, aproximando determinados conceitos e trazendo significados, já que prendem a atenção dos alunos e complementam as informações do texto verbal (LOPES, 2010).

Bezemer e colaboradores (2012) em um estudo realizado em três instituições distintas, sendo um hospital, um museu e uma escola abordando a semiótica multimodal, focada na formação de significados, afirmam que uma pessoa utiliza os recursos disponíveis para dar sentido a uma interpretação, incluindo “escrita, movimento, linguagem, som, imagem, música, *layout* e outros”. Tais recursos são também oferecidos em ambientes projetados para aprendizagem, como sala de aula, museus e os próprios livros didáticos, que segundo Lopes (2010), oferecem múltiplos caminhos de leitura. Apesar dos textos nos livros didáticos utilizarem diferentes meios semióticos, muitos professores explicam o conteúdo em sala adotando uma postura monomodal, prevalecendo o uso da linguagem verbal no seu planejamento de aula. Tal fato resulta em alunos desmotivados a explorarem os recursos visuais em relação ao texto verbal, e conseqüentemente, com dificuldades para interpretar tais recursos visuais, podendo prejudicá-los no desempenho acadêmico e profissional (REZENDE, 2004).

Outro ponto importante a ser analisado nos livros didáticos refere-se ao distanciamento ou fragmentação de conceitos que são inter-relacionados. Redfield (2012) e Paiva e Martins (2005) observam que a fragmentação dos temas pode ser vista na maioria dos livros didáticos. Tópicos como meiose e mitose, tradução de transcrição, por exemplo, normalmente são abordados no capítulo citologia, núcleo, divisões celulares e reprodução, e explorados no 1º ano do ensino médio, enquanto a genética mendeliana é trabalhada no capítulo genética, no 3º ano do ensino médio. Tal fato dificulta o entendimento de temas específicos da genética, como por exemplo, a interação alélica do tipo dominância completa, dominância incompleta e codominância. Essa fragmentação dificulta aos alunos estabelecerem conexões com o conhecimento já adquirido, e pode tornar-se um impedimento para o aluno mobilizar seus conhecimentos prévios, trazendo menos significados para a sua vida diária (PAIVA; MARTINS, 2005, p.184).

O conteúdo de genética molecular em alguns exemplares de livros didáticos do ensino médio não está livre de erros. Dessa forma, os docentes precisam estar atentos, já que as pesquisas nesta área se desenvolvem rapidamente, e o excesso de informação disponível leva os professores a trabalharem muitos conceitos de genética de forma errônea ou simplificada. Por exemplo, Vilas-Boas (2006) observou que alguns alunos do ensino superior apresentavam conflitos conceituais em relação a determinados conceitos trabalhados em sala de aula. Como estes alunos haviam saído recentemente do ensino médio, suspeitou-se que este comportamento pudesse advir da abordagem de certos conceitos nos livros didáticos. Após análise, alguns erros foram confirmados, destacando-se, dentre eles, alguns trechos que apontavam os cromossomos homólogos como idênticos, desconsiderando as alterações na sequência do DNA associadas à variabilidade genética; que a autoduplicação é uma propriedade do gene, e não do DNA; conflitos nos conceitos de “genes” e “alelos”; inconsistência na viabilidade da transcrição nos dois sentidos, e outros.

Redfield (2012) considera que, em geral, os editores dos livros são conservadores e ainda fragmentam conteúdos. Um exemplo é a inserção da genética mendeliana, tradução e transcrição em volumes posteriores e a abordagem do material do núcleo e meiose nos capítulos iniciais dos livros de biologia do ensino médio. Os geneticistas, segundo a autora, precisam rever alguns conceitos importantes junto aos estudantes do século XXI de maneira a dar o suporte necessário e apropriado à faixa escolar a que eles se destinam, bem como contribuir em relação à forma de organização dos conteúdos, para que o discente possa compreender em sua integralidade os fenômenos biológicos, nos quais a genética tem papel peculiar, sem efetivamente ter a pretensão de esgotar o assunto. Não obstante, ela reforça que

o processo de introduzir os conceitos em genética, tem que ser iniciado o mais rápido possível, ainda que a procrastinação pareça atraente, pois é dessa maneira que a aprendizagem do conteúdo de genética torna-se mais útil.

Este estudo é, assim, uma oportunidade de revisar as metodologias utilizadas na minha prática didática, analisar como os conteúdos são trazidos nos livros didáticos e propor novas estratégias no ensino de biologia na área de genética. A expectativa é que essas ações aproximem os alunos, direcionem os trabalhos desenvolvidos em sala de aula e orientem possibilidades de melhoria em sua execução, trazendo, efetivamente, mudanças no ensino de genética para alunos das escolas onde leciono e possivelmente de outras escolas. O produto deste mestrado profissional é a construção de uma sequência didática adaptada para se trabalhar as interações alélicas de forma contextualizada, participativa e dialógica. Além disso, neste trabalho, propõem-se critérios e efetiva-se uma análise de livros didáticos do ensino médio no sentido de favorecer a compreensão do conteúdo de genética desde os primeiros contatos com a disciplina.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Contribuir para a construção da aprendizagem sobre Genética, especificamente sobre o tema das relações alélicas, no contexto do ensino investigativo, fazendo uso de uma sequência didática com atividade prática e de uma análise da organização dos conteúdos em alguns livros didáticos mais utilizados e indicados no Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLEM 2018).

2.2 Objetivos específicos

- Identificar, ampliar e aplicar as características investigativas presentes em uma atividade prática intitulada “Prática das cores”;
- Desenvolver com estudantes do ensino médio uma sequência didática sobre interações alélicas tendo como base a atividade “Prática das Cores”;

- Analisar a organização dos conteúdos de biologia molecular e genética em três livros didáticos mais utilizados e indicados no PNLEM 2018 pelas escolas públicas do Estado de Minas Gerais.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Materiais utilizados

Para a realização da sequência didática, o professor deverá disponibilizar para os alunos as preparações de tinta guache que representarão os diferentes fenótipos, cujas orientações de preparo estão descritas no roteiro do professor (Apêndice IV). Todos os frascos deverão estar identificados com rótulos específicos contendo as diferentes sequências de aminoácidos (Anexo III), que ficarão disponíveis na bancada ou na mesa do professor.

Considerando a divisão da turma em três grupos, serão utilizados os seguintes materiais (Anexo I):

- Pote de tinta guache das cores branca e vermelha
- Água 800 mL
- Óleo de cozinha ou óleo mineral colorido 150 mL
- 3 copos plásticos ou 3 recipientes de vidro
- 3 vasilhas plásticas transparentes (tamanho M)
- 3 Colheres (sobremesa)
- 6 garrafas (ou frascos) transparentes tipo Pitchulinha vazia
- 1 funil
- 6 rótulos
- Cola branca
- 6 fichas com sequências de bases nitrogenadas
- 3 tabelas de códons
- 1 roteiro de aula prática do professor
- 3 roteiros de aula prática do aluno
- Tesoura

Caso o professor opte por dividir a turma em mais de três grupos, formando assim grupos menores, basta dobrar (ou triplicar) as preparações, considerando múltiplos de três.

Cada grupo receberá o roteiro do aluno (Apêndice III) com as orientações e questões norteadoras, as fichas que representam os fragmentos de DNA do cromossomo materno e paterno (Anexo IV) e uma tabela de código genético (Anexo V).

3.2 Sequência didática “Prática das Cores”

O público-alvo deste estudo foi uma turma do terceiro ano do ensino médio diurno da Escola Estadual Leonardo Gonçalves Nogueira no município de Itaúna, MG – Minas Gerais, durante o ano de 2019. A escolha dessa instituição justifica-se pelo fato da pesquisadora ser também a professora em exercício do terceiro ano do ensino médio, o que facilita o contato com os alunos e com a direção escolar, bem como a observação e análise da turma.

Para a realização deste trabalho, utilizou-se a pesquisa qualitativa, considerando, entre outros fatores, apresentar a opinião e a perspectiva dos participantes, buscando explicar ou relatar um acontecimento baseado em uma bibliografia existente, através da coleta, integração e apresentação dos dados (YIN, 2016; IERVOLINO; PELICIONI, 2001; SÁ-SILVA; ALMEIDA; GUINDAN, 2009). A pesquisadora utilizou a roda de conversa, envolvendo todos os 30 alunos de uma única turma do turno diurno, visando a troca de experiências e a construção de novos conhecimentos de forma efetiva. Afonso e Abade (2008) esclarecem que a roda de conversa é uma metodologia participativa, envolvendo os integrantes em intervenções pontuais, escutando-os e utilizando técnicas dinâmicas entre o conhecimento e o grupo. Além da observação, conclusão, relatos e diálogo, a pesquisadora solicitou que os alunos descrevessem, individualmente, sua opinião acerca da metodologia utilizada, com o propósito de analisar as respostas na íntegra, possibilitando considerar também a opinião dos alunos mais tímidos e menos participativos durante o grupo de discussão.

Utilizou-se, ainda, a metodologia de observação participante da pesquisadora, que era a professora de biologia em exercício das turmas citadas nesta pesquisa. No estudo de observação participante, o pesquisador conduz o trabalho realizado e está presente no ambiente que está sendo estudado, relatando e interpretando os dados (YIN, 2016, p.37 e 39).

A pesquisa baseou-se ainda na análise de documentos, incluindo artigos relevantes na área da educação e ensino de biologia e no levantamento de dados *in loco* referente à atividade prática (YIN, 2016, p.74), além da análise dos livros didáticos; neste último caso, utilizou-se como referência a pesquisa bibliográfica, tendo como base a abordagem de autores pesquisadores na área da educação e ensino de biologia. A pesquisa foi direcionada com um foco qualitativo e interpretativo (SÁ-SILVA; ALMEIDA; GUINDAN, 2009).

As atividades práticas são alternativas que despertam o interesse dos alunos e apresentam como principais características a existência de uma situação problema e a possibilidade do aluno participar da execução da atividade, seja manuseando objetos e produtos em estudo ou sugerindo alternativas para a solução desta situação. Atividades assim conduzem o aluno a observar, coletar dados e registrar os resultados esperados ou não, fazendo com que ele visualize, na prática, os conhecimentos teóricos já adquiridos.

A sequência didática elaborada neste trabalho teve início com aulas contextualizadas referentes à genética, inter-relacionando conceitos como meiose e mitose, princípios de genética, transcrição e tradução. Em seguida, os discentes construíram um glossário envolvendo os conceitos fundamentais em genética, como fenótipo, genótipo, dominância, recessividade, dominância completa, dominância incompleta, codominância, entre outros. Posteriormente, realizou-se a atividade “Prática das Cores” que passou por adaptações pela pesquisadora com objetivos mais adequados para a educação básica. O novo roteiro proposto pela pesquisadora possibilitou a inserção de características presentes na metodologia de ensino por investigação e uma questão desafio com problematização e contextualização do tema envolvendo transgênicos e interações alélicas. A sequência didática encerrou-se com uma roda de conversa, que proporcionou a discussão e maior interação da turma (FIGURA 2).



Figura 2: Metodologia utilizada para execução da sequência didática “Prática das Cores”, iniciando com aulas contextualizadas sobre genética, construção de um glossário com as terminologias apresentadas, realização da atividade Prática das Cores e, por fim, finalizando com uma roda de conversa.

A atividade “Prática das cores” foi utilizada como ponto de partida para a construção da sequência deste trabalho (anexo I). Em resumo, a prática utiliza de diferentes concentrações e misturas de tinta guache para demonstrar diferentes fenótipos definidos por

sequências de RNA previamente distribuídas. Destaca-se que os materiais utilizados são facilmente adquiridos e de baixo custo.

O seu uso em diversas salas de aulas com diferentes públicos pelas autoras (Ariadne Lopes e cols, comunicação pessoal) indicava que os alunos muitas vezes tinham uma compreensão dos conceitos sobre relações alélicas à luz da genética molecular. O roteiro fornecido pelas autoras foi modificado a partir de discussões pautadas pela experiência prévia com a prática das orientadoras deste trabalho e da necessidade prevista pela prática pedagógica da pesquisadora. Observou-se que a prática poderia conter mais elementos de ensino por investigação, como a problematização, levantamento de hipóteses, discussão e contextualização, aprofundando conceitos e trazendo desafios. Dessa forma, ao longo do trabalho diversos itens foram implementados e a sequência foi avaliada e reformulada conforme experiência pessoal e resultados em diferentes turmas do ensino médio.

Para a realização da atividade proposta era importante que os alunos compreendessem os mecanismos básicos de transcrição e tradução e alguns conceitos fundamentais em genética, como fenótipo, genótipo, dominância, recessividade, dominância completa, dominância incompleta e codominância. Também era necessário que os alunos conseguissem associar que as letras utilizadas para representar os alelos são, na verdade, sequências de nucleotídeos que indicam os genes, estão nos cromossomos e se separam durante a meiose para formação dos gametas. Desta forma, antecipando a sequência didática, a professora, ministrou duas aulas contextualizadas referentes à genética; conteúdo programático no planejamento anual do 3º ano do ensino médio, sugerido pelo CBC, que descreve nos itens 9.1.1. e 9.1.2. as habilidades e competências referentes a este tema que devem ser trabalhadas no ensino médio.

9.1.1. Entender como as leis de transmissão e a importância do ambiente são fundamentais na expressão das características herdadas.

9.1.2. Identificar as características fenotípicas e evidências de hereditariedade, utilizando os princípios básicos da herança mendeliana aplicados em exercícios de genealogias humanas e em situações – problema que envolva características dominantes, recessivas, em relação a algumas heranças. (CBC, 2007, p. 37)

Foram trabalhados os conceitos que se inter-relacionam (Figura 3), como meiose e mitose, conceitos fundamentais em Genética, como fenótipo, genótipo, dominância, recessividade, dominância incompleta, codominância, leis de Mendel, transcrição e tradução.



Figura 3: Conceitos trabalhados em aula teórica-contextualizada, inter-relacionando a meiose e mitose, princípios de genética, transcrição e tradução.

No decorrer da atividade, os alunos participaram de um grupo de discussão/roda de conversa sobre o trabalho realizado, como oportunidade de troca de experiências, levantamento das hipóteses e maior interação da turma. Os dados observados e coletados na roda foram utilizados para avaliação da eficácia da sequência didática estruturada pela pesquisadora, bem como suas falhas e perspectivas de utilização.

Conforme relatado, alguns conceitos básicos precisam estar previamente elucidados o que justifica uma análise mais pormenorizada nos livros didáticos de biologia (item 3.2 deste trabalho) utilizados nas escolas por motivos já descritos e por ser uma importante fonte onde o conhecimento está sistematizado para os estudantes do ensino médio.

3.3 Análise dos livros didáticos

Como critério de seleção dos livros analisados, a pesquisadora considerou os exemplares mais aderidos pelas escolas públicas de Minas Gerais no ano de 2018. Como essa informação não estava disponível na Internet, para ter acesso a ela, foi necessária uma comunicação por correio eletrônico com o FNDE – Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação responsável, dentre outros, pela operacionalização dos Programas do Livro. Uma colaboradora da equipe de Coordenação de Cálculo e Acompanhamento Orçamentário do FNDE enviou uma planilha com os dados solicitados.

No quadro abaixo são mostrados os três exemplares de livros didáticos de biologia que foram analisados neste trabalho e que representam as coleções mais aderidas pelas escolas públicas em Minas Gerais no ano de 2018 (Quadro 1).

LIVRO	AUTOR	EDITORA
Biologia Hoje	Fernando Gewandsznajder e Sérgio Linhares	Ática
Biologia Moderna	Mariano Amabis e Gilberto Martho	Moderna
Biologia	Vivian Mendonça	AJS

Quadro 1: Livros didáticos analisados neste trabalho.

3.4 Aspectos éticos

Tendo em vista a participação dos alunos para a realização deste trabalho, o projeto de pesquisa foi submetido à análise do Comitê de Ética em Pesquisa - COEP - da Universidade Federal de Minas Gerais e, após aprovação, iniciou-se sua execução, resguardando todos os envolvidos de possíveis riscos (CAAE: 88856618.6.0000.5149). Os alunos, através do termo de assentimento livre e esclarecido do menor, foram convidados e orientados quanto aos objetivos desta pesquisa conforme disponível no apêndice I. Seus respectivos responsáveis também foram informados e, em concordância, assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido, autorizando seus filhos a participarem da pesquisa, conforme documento no apêndice II.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O conteúdo que integra o currículo de Ciências, cujos temas encontram-se nos PCN's ainda é motivo de grandes discussões e reflexões sobre o que e por que ensinar determinados conceitos. Desde as últimas décadas preocupa-se não somente com a abordagem conceitual, mas também as dimensões procedimentais e atitudinais vinculadas à dimensão tecnológica e suas contribuições para a sociedade. Um ensino para ser efetivo deve levar o estudante a construir o seu conhecimento, com atitudes questionadoras, exercitando sempre o seu ponto de vista (CARVALHO, 2016, p. 3). A relação entre a tecnologia e a construção do conhecimento científico está intimamente relacionada com a sociedade, e é papel do professor discutir essa abordagem em sala de aula (VANNUCCHI, 2016, p.77).

Considerando a ciência e suas contribuições para a sociedade, este trabalho propôs a realização de uma sequência didática que tinha por meta ou objetivo facilitar o entendimento de genética, dominância e recessividade. Além dessa sequência didática proposta, a guisa de

contribuição deste trabalho e seguindo a percepção da necessidade de conhecimentos prévios necessários à aplicação da sequência didática, foram analisados diferentes livros didáticos que apontaram como os conceitos da genética e outros relacionados a eles, mitose/meiose, por exemplo, foram trabalhados, propondo sugestões que facilitem sua compreensão. Os resultados encontrados seguem discutidos nos tópicos abaixo.

4.1 Análises dos livros didáticos

Como exposto na metodologia, as análises de livros didáticos nesta pesquisa tiveram, principalmente, a intenção de entender como estão dispostos os conteúdos sobre genética mendeliana e as interações alélicas, e se há relação desses conteúdos com a genética molecular e biologia celular. Neste sentido, esta análise buscou averiguar como os conceitos de dominância e recessividade vem sendo abordados nos livros didáticos, e como os autores relacionam a transcrição e tradução ao fenótipo, conforme descrito na metodologia deste trabalho. Portanto, não foi objetivo aprofundar na análise da multimodalidade, recursos visuais e atividades avaliativas nos livros didáticos. Foram analisadas a relação entre gene, proteína e as interações alélicas apresentadas nos livros. Um dos aspectos mais importantes da análise foi a presença, no volume três de cada coleção dos tópicos: 1ª lei de Mendel e interações alélicas do tipo dominância completa, dominância incompleta e codominância e a relação do gene com a produção de uma proteína (tradução e transcrição) vinculando a genética molecular à genética mendeliana.

De modo geral, nos livros analisados observaram-se deficiências na abordagem do conteúdo de genética, especialmente relacionadas ao tema dominância e recessividade, fragmentação de conceitos e erros conceituais. Como definição de dominância e recessividade, conclui-se que dominante é quando, após o cruzamento de duas linhagens puras, o heterozigoto manifesta o mesmo fenótipo de um dos homozigotos. Entretanto existem situações nas quais, como resultado do cruzamento de linhagens puras, o heterozigoto possui fenótipo intermediário entre o fenótipo observado na geração parental. A esse tipo de interação alélica chamamos de dominância incompleta. Há também casos de codominância, no qual os fenótipos determinados pelos dois alelos do *locus* são observados simultaneamente no heterozigoto (NETTO, 2012). Trechos presentes nos livros foram reproduzidos para exemplificar a forma que a análise foi feita. A Figura 4 4 apresenta a capa dos volumes analisados.



Figura 4: Livros didáticos analisados pela pesquisadora. Todos os exemplares contêm a identificação do PNLD 2018, 2019 e 2020.

O volume 3 do ensino Biologia Moderna, dos autores José Mariano Amabis e Gilberto Rodrigues Martho foi o primeiro livro analisado pela pesquisadora, tendo como referência o módulo I, que contempla trechos dos capítulos 1, 2, 3 e 4 que abordam os Fundamentos da Genética, disponíveis no intervalo de páginas 12 a 99. Ressalta-se que nesta coleção a biologia celular e a molecular são abordadas no volume 1, que é normalmente utilizado pelos alunos do 1º ano, enquanto os fundamentos da genética estão presentes no volume 3, utilizado pelos alunos do 3º ano do ensino médio.

Considerando a clareza conceitual do conteúdo escolhido para análise, alguns pontos merecem atenção. Na página 12, os autores introduzem a genética Mendeliana utilizando conceitos modernos da genômica:

...anunciaram ao mundo a conclusão do sequenciamento do genoma humano. Em outras palavras, eles determinaram a sequência dos mais de 3 bilhões de “letras” químicas que compõem a informação genética de cada ser humano.

Por melhor que seja o uso de metáforas para ilustrar o ensino de ideias científicas, este trecho pode levar os alunos a interpretarem o DNA de forma abstrata, como um conjunto de letras. Mesmo que tal termo esteja escrito entre aspas, os alunos têm dificuldade de associá-lo à representação dos alelos, que são sequências de nucleotídeos que representam os genes. Assim, o uso deste termo pode contribuir para uma interpretação distorcida dos ácidos nucleicos e genes. Sugere-se um esquema ou imagem que esclareça ou apresente este conceito.

Na página 15, os autores descrevem:

...levou Mendel a concluir que, nas plantas de geração F₁, o estado da característica de um dos progenitores não desaparecia, mas ficava apenas “em recesso”, isto é, encoberto, ressurgindo novamente na geração F₂. Mendel denominou dominante o estado da característica que se manifestava nas plantas híbridas e recessivo o estado da característica que ficava encoberto.

Historicamente, esta foi a forma que o conceito de dominante se apresentou no trabalho de Mendel. No entanto, nos dias atuais, estes conceitos de dominância e recessividade podem induzir os alunos a compreenderem que o alelo dominante inibe o alelo recessivo de se manifestar, podendo levá-los a interpretar que o alelo recessivo não é transcrito.

No tópico dominância incompleta, na página 26, os autores explicam que, na planta boca-de-leão, um dos alelos determina “[...] a síntese de pigmentos, enquanto o outro seria **inativo**, não determinando a síntese de pigmento”. O uso do termo inativo para caracterizar um alelo pode levar a um erro conceitual. O livro continua a abordagem exemplificando que as plantas homocigotas que possuem dois alelos dominantes produzem um pigmento vermelho, as plantas heterocigotas produzem apenas a metade de pigmento comparado às homocigotas, uma vez que possuem apenas um alelo que produz uma proteína funcional, apresentando um fenótipo cor-de-rosa. E aqueles “indivíduos homocigotos para o alelo que forma uma proteína não funcional têm flores brancas uma vez que não produzem pigmento”. Neste ponto, os autores já apontam a relação do fenótipo com a proteína ser ou não funcional, entretanto, não mencionam de forma clara a inter-relação entre a tradução e a transcrição neste processo.

Na página 28 os autores explicam a codominância e a descrevem utilizando como exemplo o sistema MN de grupos sanguíneos, no qual os indivíduos heterocigotos expressam, simultaneamente, o fenótipo dos dois tipos de indivíduos homocigotos.

Isto ocorre porque os dois alelos do gene são funcionais, de modo que o indivíduo heterocigoto, possuindo o produto de ambos os alelos, apresenta as características dos homocigotos para cada alelo.

Neste trecho, é possível perceber que os autores relacionam a genética, a biologia molecular e a interação alélica do tipo codominância quando afirmam que os dois alelos do gene são funcionais e, por consequência, expressam suas características no fenótipo. Assim, eles esclarecem, mesmo que indiretamente, o conceito de dominância e recessividade. No entanto, a utilização dos termos “genes funcionais” no lugar de “sintetizam proteínas funcionais” pode levar os alunos a não compreenderem a transcrição e tradução como parte deste processo. Observa-se, de uma forma geral que o volume 3 – Biologia Moderna não

aborda claramente a tradução e transcrição com os conceitos trabalhados no módulo 1 – Fundamentos de genética.

Já no volume 3 do ensino médio da coleção Biologia, da autora Vivian L. Mendonça, a genética é abordada nos capítulos 6, 7, 8 e 9, com conteúdos desde a genética Mendeliana à biotecnologia, disponíveis no intervalo de páginas 132 a 196. É interessante ressaltar que o capítulo 10 deste livro aborda a biologia molecular do gene, incluindo a síntese proteica e engenharia genética. Este conteúdo é normalmente trazido nos demais livros didáticos no volume 1 da coleção, que é utilizado no primeiro ano do ensino médio. Este é um ponto positivo a ser ressaltado, e dá mais chance que os conceitos sejam trabalhados em sala de aula de forma contínua, sem fragmentação nos exemplares da coleção.

O capítulo 1, “Lei da herança genética”, tem início com um relato dos trabalhos de Mendel. O termo dominante e recessivo aparece pela primeira vez na página 135:

A característica que se manifesta nas gerações que não formam linhagens puras é chamada dominante, ao passo que a característica que não se manifesta é a recessiva.

Neste parágrafo, ao afirmar que a característica manifestada no heterozigoto é considerada dominante, e aquela que não se manifesta, é a recessiva, a autora pode levar os alunos a interpretarem, erroneamente, que todos os alelos se comportam desta maneira. Como a maior parte do capítulo trabalha a genética mendeliana, esta afirmação pode ficar enraizada e, posteriormente, ao estudarem as interações alélicas dos tipos dominância incompleta e codominância, poderão encontrar dificuldades na compreensão, uma vez que tais conceitos contradizem esta afirmação. Além disto, o texto não relaciona o alelo dominante com a síntese de uma proteína funcional e o alelo recessivo com a síntese de uma proteína não funcional, podendo levar a uma falsa impressão de que o alelo recessivo não é transcrito.

Abaixo, extratos das páginas 135, 136 e 139, respectivamente:

Essas taxas de 75% do caráter dominante e 25% do caráter recessivo são as que se obtém sempre na geração F_2 , em cruzamentos semelhantes, o que permite afirmar que **o caráter recessivo** está presente na geração F_1 , embora oculto, ou seja, **sem se manifestar**.

Observação: o genótipo Rr condiciona o fenótipo semente lisa, porque o alelo R é dominante em relação ao seu alelo r . Alelos recessivos **não se manifestam** em dose simples.

Embora todas as plantas que foram cruzadas fossem originadas de sementes lisas da geração F_1 , 25% das sementes obtidas tinham o genótipo rr , sendo, portanto, rugosas. Reapareceu, portanto, **o caráter rugoso, que estava oculto** na geração F_1 , constituída exclusivamente por plantas híbridas para o caráter forma da semente.

Nos fragmentos de texto destacados acima, as afirmações podem levar a dúvidas como o uso do termo oculto no sentido de não se manifestarem. Considerar que o caráter, ou fenótipo está oculto é coerente, entretanto afirmar que os alelos não se manifestam pode levar ao erro conceitual ou a uma interpretação equivocada. Mais uma vez, ressalta-se a importância em deixar claro para os alunos que o alelo recessivo não se manifesta em função da síntese de uma proteína não funcional, para que, mesmo que indiretamente, os alunos correlacionem a biologia molecular com a genômica, e encontrem respostas para possíveis questionamentos que possam surgir.

Na página 142, a autora expõe, como exemplo de monoibridismo, o sistema Rh de grupos sanguíneos,

Por simplificação, vamos falar apenas em Rh e tratar a herança deste fator como um caso que pode ser explicado pela Primeira Lei de Mendel, devido a um par de alelos com relação completa de dominância.

A produção do fator Rh é condicionada por um alelo dominante, que chamaremos de R; a não produção ou a ausência do fator Rh é condicionada pelo alelo recessivo.

O uso da palavra “condicionada” pode ser um fator complicador, pois é usada como causador, mas não explica funcionalmente o que ocorre. Como nesta coleção os alunos ainda não aprenderam tradução e transcrição, que serão trazidas no próximo capítulo, no primeiro momento, este termo e o seu entendimento podem ser abstratos e sem significados para os alunos.

Na página 143, a autora menciona o monoibridismo e modificações nas proporções fenotípicas, abordando a ausência de dominância e o clássico exemplo da planta da espécie *Mirabilis jalapa*, popularmente conhecida como flor maravilha.

Esse caso é diferente dos que você estudou até agora, pois se verifica a ausência de dominância entre os alelos que condicionam o caráter cor das flores. Do cruzamento, formam-se plantas com flores róseas.

Nota-se que, as dez primeiras páginas do capítulo abordam a genética mendeliana, explicando, minuciosamente, a primeira lei de Mendel, e, conseqüentemente, abordando apenas a interação alélica do tipo dominância completa, incluindo vários exemplos de caracteres estudados por Mendel com as ervilhas. Para as interações alélicas do tipo dominância incompleta e codominância, a narrativa se estende a pouco mais de uma página, e os exemplos de casos se limitam apenas à flor maravilha e aos bois da raça *Shorthorn*, respectivamente.

Não há dominância e o híbrido, cujo genótipo é VB, possui fenótipo intermediário: flor vermelha com flor branca dá flor rósea. Esse é um caso, portanto, de dominância intermediária. Representamos os alelos envolvidos com letras maiúsculas para indicar a ausência de dominância entre eles.

Neste parágrafo, a autora cita ainda, que “flor vermelha com flor branca dá flor rósea”. No início da página 143 está indicado que os cruzamentos realizados se referem a uma planta da espécie *Mirabilis jalapa*, popularmente conhecida como flor maravilha. Entretanto a afirmativa neste parágrafo pode levar a um entendimento generalizado de que, em plantas, o fenótipo do heterozigoto é sempre intermediário.

Os bois de pelos vermelhos são homozigóticos de genótipo VV e os de pelos brancos são homozigóticos de genótipo BB. Os indivíduos que possuem pelos alternados são os heterozigóticos (VB), resultantes do cruzamento de indivíduos de pelos vermelhos com indivíduos de pelos brancos.

No caso descrito, não há relação de dominância entre os alelos, nem herança intermediária. Se houvesse herança intermediária, os pelos dos híbridos teriam cor intermediária entre vermelha e branca, o que não ocorre. Como os pelos vermelhos intercalam-se com os brancos, mantendo evidentes as duas colorações, fala-se em codominância.

O livro não cita o porquê dos alelos se manifestarem simultaneamente no fenótipo do heterozigoto, justificado pela relação entre as proteínas funcionais sintetizadas pelos alelos na transcrição, podendo tornar o entendimento “vago”, abstrato e com poucos significados para o aluno.

Nas páginas 155 a 158, a autora relata a herança dos grupos sanguíneos do sistema ABO.

A presença da proteína A é condicionada por um alelo, que chamaremos de I^A , a produção da proteína B é condicionada pelo alelo que chamaremos de I^B , a não produção dessas proteínas, A ou B, é condicionada à presença de um alelo, aqui chamado de i .

Neste parágrafo a autora cita a síntese de proteínas pelos alelos, e relaciona a sua produção com um determinado alelo, mas não explica, ou cita como acontece este processo. A autora menciona a interação entre os alelos I^A , I^B e i , demonstrando casos de dominância completa e codominância no sistema ABO. O trecho “a não produção dessas proteínas” pode, mais uma vez, levar o aluno a interpretar que os alelos recessivos não são transcritos, pois é usada a expressão “é condicionada à presença de um alelo”.

Conclui-se que, nos capítulos referentes à genética, não foi observada claramente a descrição e a relação da síntese de uma proteína funcional ou não funcional com o fenótipo

observado. Por outro lado, analisando o capítulo 10, que aborda a biologia molecular do gene, a autora inicia mencionando que, nos capítulos anteriores, foi descrita a interação entre o genótipo com as condições do ambiente. Desta forma a autora lança duas perguntas que vão nortear o capítulo:

[...] como os genes, localizados nos cromossomos, “determinam” as características?
O que significa dizer que o fenótipo é “determinado” pelo genótipo e pelo ambiente?

Ressalta-se a importância da problematização para a introdução do conteúdo. Conforme já mencionado neste trabalho, a metodologia de ensino por investigação sugere a introdução de uma situação problema para nortear todo o processo de investigação, possibilitando a construção de novos conhecimentos referentes ao que está sendo investigado (LIMA; MAUÉS, 2006, p.172). A autora afirma que entender estes questionamentos é importante para compreensão da função do gene na célula em termos moleculares. Explica, também, a função das proteínas, seus níveis de organização e a sua síntese, comandada pelo DNA. A autora traz conceitos importantes e próximos aos capítulos que abordam o gene e suas interações alélicas. Entretanto como sugestão de melhoria, seria interessante descrever que os alelos recessivos são também transcritos, e como resultado deste processo, temos um RNA que refletirá uma proteína não funcional. Desta forma, fica mais simples para os alunos compreenderem o conceito de dominância e recessividade. Outra sugestão seria alterar a disposição dos capítulos, e trabalhar a biologia molecular antes de introduzir os conceitos fundamentais de genética.

Em alguns trechos deste livro, como na página 200, podemos observar a relação entre a biologia molecular e a genômica:

As características hereditárias, transmitidas de pais para filhos, são resultados da interação entre as moléculas que formam o organismo. Entre essas moléculas, temos de destacar a importância das proteínas, constituídas por aminoácidos.

Observa-se ainda, em vários trechos que abordam a biologia molecular, o uso do termo “letras” para definir os nucleotídeos. Entretanto a autora especifica, inicialmente, que essas letras são as bases nitrogenadas que eles podem apresentar, conforme observado na página 201.

Lembre-se que a molécula de DNA é formada por uma sequência de nucleotídeos, que podem apresentar adenina (A), timina (T), citosina (C) ou guanina (G); essa sequência está emparelhada com a cadeia complementar, formando uma dupla hélice. Nas regiões do DNA que correspondem aos genes, essa sequência de nucleotídeos funciona como um código: determinadas sequências correspondem a

um aminoácido. Assim as “letras” do DNA codificam uma sequência de aminoácidos, que constituirão uma proteína.

Neste parágrafo, a autora afirma que os nucleotídeos encontrados no DNA correspondem a um aminoácido, mas não especifica que este processo ocorre “indiretamente”, uma vez que as proteínas são sintetizadas a partir de trincas de nucleotídeos presentes no RNAm, os códons, sintetizados a partir do DNA. Todavia no terceiro parágrafo que se segue na página 201, tal fato é esclarecido.

Os genes, localizados no DNA, não sintetizam proteínas, mas enviam a “receita” para a sua produção nos ribossomos pelo RNA mensageiro (RNAm). O RNAm é produzido no núcleo a partir do DNA, em uma etapa chamada transcrição, e então chega ao citoplasma. Os ribossomos associam-se ao RNAm e tem início a síntese proteica, em uma etapa chamada tradução.

De uma forma geral, a presença das biológicas genômica e molecular no mesmo exemplar do livro didático favorece a associação destes conceitos pelos alunos e, conseqüentemente, auxilia no entendimento de todo processo: DNA → RNA → Proteína. Como existe a possibilidade de muitos professores seguirem em seus planejamentos anuais os conteúdos abordados no livro didático dos 1º, 2º e 3º anos do ensino médio, a não fragmentação destes temas ou a presença destes conteúdos no mesmo volume, como observado no livro três desta coleção, dá uma maior garantia que haverá uma relação em sala de aula entre os conceitos de genes e proteínas, tornando esta aprendizagem mais profícua.

O livro *Biologia Hoje*, de Fernando Gewandszajder e Sérgio Linhares, aborda genética e o trabalho de Mendel na Unidade 1, no intervalo entre as páginas 11 a 43, através das Leis de Mendel; e *A Genética depois de Mendel* na Unidade 2, nas páginas 45 a 109, explorando conceitos como: grupos sanguíneos e polialelia, interação gênica e pleiotropia, ligação gênica, sexo e herança gênica e as aplicações da genética molecular.

Os termos dominante e recessivo aparecem pela primeira vez na página 13, onde os autores descrevem os primeiros cruzamentos realizados por Mendel.

O que teria acontecido com o fator para a cor verde? A resposta veio com o reaparecimento (por autofecundação) de sementes verdes em F2. Assim, Mendel concluiu que o fator para a cor verde não tinha sido destruído, apenas não se manifestava na presença do fator para a cor amarela. Com base nisso, resolveu considerar dominante a característica “ervilha amarela” e recessiva a característica “ervilha verde”.

Neste parágrafo, o livro didático usa a expressão historicamente utilizada para explicar as conclusões de Mendel como mostrado no trecho “apenas não se manifestava na presença

do fator para a cor amarela”. Como dito anteriormente, isto pode levar a uma interpretação equivocada de que, os alelos dominantes impedem os alelos recessivos de se manifestarem.

Na página 15, os autores esclarecem os termos genótipo e fenótipo, e exemplificam estes conceitos utilizando os caracteres estudados por Mendel:

Caso apresente o alelo V em um cromossomo e o alelo v no outro, terá genótipo Vv e o fenótipo ervilha amarela, uma vez que o alelo para a cor amarela é dominante. Um alelo dominante é aquele que tem seu efeito manifestado da mesma forma, tanto no homocigoto quanto no heterocigoto.

Embora o trecho acima faça parte do capítulo que aborda as leis de Mendel e utiliza características cujas interações alélicas são do tipo dominância completa, ao afirmar que o heterocigoto apresentará o fenótipo do homocigoto dominante, os alunos podem internalizar esta informação, podendo levá-los, posteriormente, a apresentarem dificuldades na compreensão das interações alélicas do tipo dominância incompleta e codominância. Importante ressaltar que normalmente a genética trabalhada no 3º ano do ensino médio é novidade para os alunos. De acordo com o CBC – Conteúdo Básico Comum do ensino fundamental séries finais eles estudam a hereditariedade de forma bem superficial. Neste sentido, a introdução do conteúdo e o contexto em que ele é trabalhado podem interferir na aprendizagem dos alunos.

O indivíduo VV produz por meiose células V; e o indivíduo vv, células v. A união de gametas V e v origina indivíduos heterocigóticos, Vv, de fenótipo amarelo, porque V domina v. A autofecundação de indivíduos Vv equivale ao cruzamento entre dois indivíduos iguais (Vv e Vv). Cada um produz por meiose gametas V e v na mesma proporção: 50% com o alelo V e 50% com o alelo v.

Como ponto positivo, ressalta-se que os autores relembram neste capítulo a meiose, conteúdo estudado no 1º ano do ensino médio. O conceito é exemplificado através de esquema, e evidencia a relação da meiose e a separação dos cromossomos homólogos com a primeira lei de Mendel. Como ponto de atenção destaca-se a afirmação referente ao fenótipo do heterocigoto, já que nos casos de dominância incompleta o fenótipo do heterocigoto é intermediário.

Na página 19, o livro aborda os tipos de dominância.

No caso da ervilha de Mendel, a presença de apenas um alelo para amarelo, por exemplo, é suficiente para produzir uma quantidade de proteínas responsável por um fenótipo igual ao do homocigoto de cor amarela. Trata-se, portanto, de uma dominância completa.

Na planta maravilha (*Mirabilis jalapa*), no entanto, o resultado do cruzamento entre plantas com flores vermelhas e plantas com flores brancas é uma planta com flores rosa. Dizemos então que há dominância incompleta entre os alelos, ou ausência de dominância.

Na dominância incompleta, o heterozigoto apresenta fenótipo intermediário em termos quantitativos em relação ao dos homozigotos: a presença de apenas um alelo para cor vermelha leva a planta a produzir o pigmento vermelho em menor quantidade; como o alelo para cor branca não produz pigmento, a planta será rosa.

Nestes parágrafos, os autores relacionam o fenótipo com a síntese de uma proteína funcional, mas não mencionam os processos que levam a produção desta proteína. Importante, mesmo que de forma simplificada, especialmente no volume 3, que o livro didático relacione a biologia celular e molecular com a genética não se atenha a uma abordagem generalizada apenas.

Essa generalização e ausência de informação foi percebida por Franzollin e colaboradores (2014) em seus estudos com livros didáticos. Segundo esses autores, alguns livros analisados, descrevem que a expressão do DNA para o RNA resulta sempre em uma proteína, e não deixam claro que o resultado final pode ser um RNA funcional que nem sempre resultará na síntese proteica. Neste contexto, seria interessante associar a proteína sintetizada pelo alelo dominante e recessivo e a manifestação de uma característica ao fato da proteína ser ou não funcional. Na página 20 os autores descrevem a interação alélica do tipo codominância, exemplificando tal fato por meio do sistema ABO de grupos sanguíneos, esclarecendo que cada alelo comanda a síntese de proteínas diferentes, levando o heterozigoto a apresentar ambas as características, aquelas presentes tanto no homozigoto dominante quanto no homozigoto recessivo. Apesar de associarem a produção de uma proteína com o fenótipo, não se destaca a funcionalidade delas com as interações alélicas. Outro ponto de atenção é o conteúdo transcrição e tradução, que é trabalhado no volume 1 desta coleção, utilizado pelos alunos do primeiro ano do ensino médio caracterizando grande distância de conteúdos e tempo na matriz formativa, contribuindo para a fragmentação destes conceitos.

Tendo em vista a análise dos livros didáticos mencionados, é válido relembrar o contexto do leitor e a relação entre os alunos do ensino médio com a genética, ao longo de sua trajetória acadêmica, conforme orienta o CBC. Os conceitos de genética são superficialmente introduzidos no currículo nos anos finais do ensino fundamental, normalmente no 8º ano, em complementariedade aos estudos do sistema reprodutor humano, período no qual os alunos desconhecem conceitos moleculares. No ano seguinte, 9º ano, etapa final do ensino fundamental, a disciplina de ciência introduz os conceitos de química e física, iniciando uma abordagem histórica e conceitual de átomos e moléculas. No 1º ano do ensino médio, os

alunos tem a oportunidade de aprofundar os conhecimentos em citologia, dentre os quais são abordados o núcleo, material genético, organelas citoplasmáticas e suas funcionalidades, membrana celular e os processos de divisão celular. Este é o momento no qual, normalmente, são descritos a síntese proteica e todo o dogma central da biologia molecular: replicação → transcrição → tradução. Somente no 3º ano do ensino médio, dois anos após o estudo de todo processo de transcrição e tradução é que estes mesmos alunos estudarão os conceitos fundamentais de genética. Neste sentido, observou-se ao longo deste trabalho, que a maioria dos livros didáticos analisados não trouxeram uma abordagem inter-relacionada, seja através de uma imagem, um texto ou um esquema que estabeleça uma conexão entre a genética e a biologia molecular, possibilitando ao aluno lembrar os conceitos já trabalhados nos anos anteriores. Essa fragmentação entre os conceitos que são inter-relacionados pode dificultar o entendimento da dominância e recessividade dos genes, bem como a interação entre seus alelos.

A introdução do contexto histórico nos livros didáticos de ciência também é um fator relevante, pois leva o leitor a refletir sobre os autores e as condições nas quais seus trabalhos foram desenvolvidos. O conhecimento científico é pautado pela atividade humana, e desta forma pode sofrer influências sociais, históricas e culturais, tornando importante essa contextualização. Além da abordagem histórica, que permite fazer conexões, reconhecer os conhecimentos prévios dos alunos e propor estratégias que provoquem a discussão dos saberes cotidianos em sala de aula são o ponto de partida para buscar a interdisciplinaridade e a aquisição do conhecimento científico (CASTRO, 2016, p.111 e 112). El-Hani (2016), após análise dos trabalhos originais de Mendel esclarece que o conceito de dominância foi desenvolvido posteriormente por um dos redescobridores de seus trabalhos, Hugo de Vries, que assumiu a dominância como regra geral. Desta forma, esse conceito “mendeliano”, muitas vezes ainda ensinado na educação básica, não foi proposto por Mendel, conforme apresentado em muitos livros didáticos, tanto da educação básica como na graduação. Aí a importância do contexto histórico na compreensão de um determinado tema.

Outro ponto importante observado nos livros analisados é que em nenhum deles os autores relacionam diretamente o fenótipo e a proteína funcional sintetizada pelo alelo, o que pode tornar o entendimento superficial ou incompleto, no que tange a compreensão de todo processo de expressão genica. Netto (2012) alerta que as definições de dominante e recessivo descritos nos trabalhos de Mendel precisam ser adaptadas, uma vez que, com o avanço dos estudos, novos termos foram incorporados à genética, como codominância e dominância incompleta. Desta forma, o híbrido, ou heterozigoto, pode apresentar fenótipos diferentes do

progenitor homozigoto dominante. Assim, o fenótipo dominante ou recessivo determinado por um alelo dependerá do produto da informação armazenada no alelo resultante da transcrição e tradução, da interação entre este produto com o produto codificado pelo outro alelo do *locus* bem como a reação do organismo a presença, ausência ou a modificação na função ou a quantidade de produto sintetizado pelos alelos. Em uma análise utilizando seis exemplares de livros didáticos do ensino médio e sessenta questionários respondidos por estudantes deste nível, Pinheiro (2010) observou que nos livros didáticos os conceitos de dominante e recessivo foram abordados nos estudos de Mendel, sendo posteriormente ilustrados através de seu famoso experimento com as ervilhas. A autora observou que em um dos seis livros analisados, e na maioria dos questionários respondidos pelos alunos, houve uma definição do termo dominante como aquele que se expressa por ter mais força. Tal fato pode justificar-se pela ausência de explicações que descrevam as razões da dominância e recessividade, o que é observado, inclusive, em três outros livros didáticos analisados pela autora que não apresentavam tal erro conceitual, fato também foi observado nos livros analisados neste trabalho. Desta forma, destaca-se a importância dos exemplos moleculares para reverter a ideia equivocada de dominância nos tempos atuais.

Em um estudo que vem sendo desenvolvido no programa de Pós-graduação em Genética da Universidade Federal de Minas Gerais, a pesquisadora analisou livros didáticos de genética sugeridos como bibliografia na graduação e constatou uma influência da abordagem dos conceitos de interações alélicas nestes livros na construção do conhecimento de genética dos estudantes (Renata F. Haddad, comunicação pessoal). A pesquisadora também informou que, de uma forma geral, esta influência pode estar relacionada ao fato de os livros didáticos da graduação adotarem uma abordagem que pode conduzir os estudantes a erros de interpretação, principalmente por não relacionarem a genética mendeliana com a molecular. Tal fato coincide com o observado neste trabalho, indicando que a estrutura dos livros da educação básica seguem a ordem e contextualização presente nos livros da graduação, como se fossem de uma forma geral, uma “cópia” simplificada dos livros utilizados na graduação de biologia. Assim, tais equívocos provenientes da educação básica seguem no ensino da graduação, trazendo prejuízos na construção do conhecimento dos discentes. Ao mesmo tempo, os professores em formação podem vir a ter os mesmos problemas de interpretação das relações alélicas exatamente pela influência da estrutura dos livros didáticos.

4.2 Sequência didática Prática das Cores

A primeira turma em que a sequência didática foi aplicada sob a regência da professora autora deste trabalho foi na Escola Estadual Dr. José Gonçalves, em 2018; e após adaptações no roteiro a sequência didática foi aplicada para os alunos da Escola Estadual Leonardo Gonçalves Nogueira, em 2019, cujas experiências e análises seguem descritas. Inicialmente, para se introduzir as discussões sobre as interações alélicas, foi utilizada como exemplo a flor maravilha (Figura 5), que apresenta como fenótipos as colorações vermelho, rosa e branco. Apenas o alelo A_1 codifica proteínas funcionais que são capazes de produzir pigmentos na flor. A flor A_1A_1 produz, então, o dobro da quantidade desta proteína, apresentando fenótipo vermelho. Por outro lado, a flor A_2A_2 não produz esta proteína capaz de colorir a flor (proteína não funcional), e por isso são brancas. Aquelas flores em heterozigose, A_1A_2 , apresentam apenas uma dose de proteína codificada pelo gene A_1 , manifestando um fenótipo de flores rosa, intermediário entre vermelho e branco.



Figura 5: Flor maravilha com diferentes fenótipos resultantes das interações alélicas do tipo codominância.

Fonte: <https://cursoenemgratuito.com.br/genetica-dominancia-incompleta/>

Para facilitar o aprendizado e trazer significado para o aluno, a prática foi acompanhada da contextualização do tema, trazendo para discussão a engenharia genética e os transgênicos, que resultam em organismos que adquirem por meios artificiais um ou mais genes de outra espécie. Tal discussão possibilitou contextualizar os conhecimentos de genética mendeliana com novas tecnologias, como a transgênese.

A pesquisadora, que a partir daqui trataremos como professora mediadora discutiu com alunos os benefícios dos transgênicos para a sociedade, e qual era a visão/conhecimento prévio que os alunos possuíam sobre o tema. Foram apresentados nesta etapa os seguintes

exemplos que contribuíram para a construção de uma perspectiva prática acerca dos temas abordados:

- O arroz dourado, **variedade geneticamente modificada**, tornando-o capaz de produzir betacaroteno, um precursor da vitamina A. A carência desta vitamina pode causar cegueira e, como o arroz faz parte da dieta da maioria da população, o arroz dourado seria um importante mecanismo de prevenção.
- A **insulina transgênica** produzida em grande escala para comercialização, que também foi possível graças à engenharia genética, no qual uma bactéria passa a produzir uma proteína humana, neste caso, a insulina (FERREIRA, 2009, p.41).

Foram realizadas duas aulas teórico-prática com exposição e contextualização do tema biológico a ser trabalhado, e que é enlevado neste trabalho. E em continuidade, os alunos realizaram as demais etapas da sequência didática “Prática das cores”. No primeiro momento, a professora mediadora preparou e disponibilizou os materiais necessários nas mesas para os alunos (apêndice IV), que foram distribuídos em grupos de cinco integrantes. Cada grupo, divididos aleatoriamente pelos próprios alunos, recebeu um roteiro (apêndice III) para a execução da prática, a fim de despertar nos alunos habilidades individuais como analisar, examinar, classificar, interpretar e concluir.

Para orientar o processo de investigação e possibilitar a construção de novos conhecimentos foi proposto um desafio envolvendo os assuntos da genética, transgênese, leis de Mendel, proteína funcional e fenótipos. Inicialmente, a professora mediadora apresentou o projeto de arte transgênica “GFP Bunny”, que resultou na criação de uma coelha albina que, quando iluminada por uma luz específica no espectro do ultravioleta, fica verde fluorescente (Figura 6). A coelha, denominada Alba, foi, assim, resultado de um projeto de engenharia genética desenvolvido no ano de 2000 pela equipe contratada pelo artista Eduardo Kac (KAC, 2002, p.35). Um gene, que apresentava a sequência genética responsável pela produção da proteína fluorescente encontrado na água-viva *Aequorea victoria*, foi introduzido no genoma da coelha sem trazer nenhum efeito na biologia do animal.



Alba, the fluorescent bunny.

Photo: Chryelle Fournier

Figura 6: Alba, a coelha transgênica obtida por expressão do gene da proteína G fluorescente (GFP8) na obra do artista Eduardo Kac.

Fonte: <http://www.ekac.org/gfpbunny.html>

O desafio foi desenvolvido como uma maneira de trazer os conhecimentos da genética mendeliana à luz de novas tecnologias como a transgênese. Como é possível que um único gene introduzido através da transgênese funcione e a característica desejada se manifeste? Foi proposta uma discussão a respeito desse projeto, considerando as hipóteses levantadas pelos grupos, a opinião dos alunos, engenharia genética e a relação entre as proteínas serem ou não funcionais e a dominância de um alelo. Após a análise e discussão do projeto “GFP Bunny”, os alunos receberam como desafio a problematização e contextualização que seguem abaixo com as respostas esperadas para cada item:

Desafio

O gene F é responsável pela produção de uma proteína fluorescente em água-viva, que fica verde quando ela é submetida aos raios ultravioleta (UV). Utilizando técnicas de engenharia genética os cientistas conseguem inserir este gene em plantas e outros animais fazendo com que também se tornem verde-fluorescente sob a luz UV.

Uma coelha albina foi gerada, em que o gene F havia sido inserido em seu material genético, criando uma coelha transgênica. O fenótipo desta coelha sob a luz UV era verde-fluorescente. Considerando os seus conhecimentos em genética e as interações alélicas do tipo dominância completa, dominância incompleta e codominância, responda: Qual é o fenótipo esperado da coelha após a transgênese? Como é possível que a inserção de apenas um gene determine o fenótipo nesta coelha? O que acontece com as células dos coelhos transgênicos para eles serem verdes?

Resposta esperada: que o aluno fale sobre proteína funcional que gera o fenótipo.

Esta coelha transgênica foi cruzada com um coelhinho albino e teve oito filhotes. Todos eram albinos e quando colocados sob a luz UV a metade deles era verde-fluorescente. Explique por que esses resultados foram encontrados. É possível explicar esses achados pelas Leis de Mendel? Em caso afirmativo, como? Por que o fenótipo fluorescente não foi passado para todos os filhotes?

Resposta esperada: que o aluno fale de herança mendeliana; que entenda que o fenótipo verde se deve a um genótipo F_- . A dificuldade aqui é o aluno entender que o genótipo tem que ser F^* onde o * significa ausência de outro alelo. E o coelho seria $**$. Como resultado do cruzamento $F^* \times **$, os filhotes seriam F^* , F^* , $**$, $**$. Assim, explica-se porque nem todos os filhotes são verdes.

Situação envolvendo outros conhecimentos: em outro acasalamento, a coelha transgênica foi cruzada com uma de suas crias fluorescentes. O que esperar na ninhada de 8 filhotes deste cruzamento? Os filhotes serão albinos? Serão também fluorescentes?

Resposta esperada: que os alunos entendam que o acasalamento será como um cruzamento entre heterozigotos $F^* \times F^*$ e que a proporção de filhotes seja, aproximadamente, como na Lei de Mendel: $\frac{1}{4} FF$, $\frac{2}{4} F^*$, $\frac{1}{4} **$; os fenótipos seriam seis verdes fluorescentes e dois não fluorescentes.

Como mencionado anteriormente, antes de se realizar a pesquisa deste trabalho, a atividade prática foi aplicada na Escola Estadual Dr. José Gonçalves, em Itaúna – MG. Isto ocorreu em junho/2018 com 61 estudantes das turmas C e D do terceiro ano do ensino médio noturno, divididos em 11 grupos de 5 alunos e um grupo de 6 alunos. A proposta desta prática trouxe, além de uma experiência diferente e interativa, uma maior motivação aos alunos do noturno, cujas aulas, na maioria das vezes, seguem a metodologia tradicional de ensino. Foram realizadas quatro aulas teórico-prática.

Foi proposta uma discussão a respeito da engenharia genética, os transgênicos e as leis de Mendel. Observou-se dificuldade para que os alunos compreendessem a relação entre transgênicos, as proteínas serem ou não funcionais e a dominância do alelo, ressaltando a necessidade de adaptação no roteiro que favorecesse o entendimento (apêndice III).

Observou-se ainda muita dificuldade na compreensão dos conceitos de tradução e transcrição, estudados no 1º ano do ensino médio, sendo necessário revisá-los para que os alunos conseguissem completar nas fichas o mRNA transcrito da sequência de bases da molécula de DNA e a cadeia polipeptídica traduzida. Ressalta-se que, tal fato pode estar relacionado, não apenas com a complexidade do assunto, como também com a organização

dos conteúdos de biologia celular e molecular e genética no ensino médio. Essa fragmentação dificulta o estabelecimento de conexões pelos alunos do conhecimento construído em aula com seus conhecimentos em anos anteriores e os prévios, trazendo menos significados para a sua vida diária (PAIVA; MARTINS, 2005, p.184).

A atividade motivou-os na busca por uma resposta e na construção de novos conhecimentos. Entretanto foram observados os seguintes fatos com relação à atividade:

- Dificuldade em compreender a relação entre fenótipos e proteínas (17% dos estudantes) e o conceito de dominância e recessividade (25%). Redfield (2012) esclarece que o problema referente aos equívocos e confusões na compreensão do conceito de dominância está relacionado com o conceito proposto por Mendel. Muitos estudantes entendem, erroneamente, que os alelos são, essencialmente, dominante ou recessivo, conforme observado nos experimentos de Mendel. Três dos doze grupos, ao responder uma das questões do roteiro sobre o conceito de dominância e recessividade, optaram pela alternativa “a capacidade do alelo dominante de “impedir” ou “inibir” os alelos recessivos de serem transcritos ou traduzidos”, apontando um erro conceitual, como mencionado por Netto (2017) em sua observação de alunos do ensino superior. Segundo a autora, durante a formação escolar desses estudantes houve o desenvolvimento do pensamento errôneo de que os alelos recessivos são obrigatoriamente inativos do ponto de vista da transcrição.

Em um questionamento informal a estudantes de nível superior de um curso de genética, Redfield (2012, p.2) apontou semelhantes resultados. Segundo a autora, muitos discentes desconhecem o que faz um alelo dominante e, conseqüentemente, apresentam dificuldades em compreender esta questão, pois entendem que os alelos dominantes devem desligar ou inibir o alelo recessivo.

Como ponto positivo dessa experiência inicial, destaca-se a metodologia aplicada, que proporcionou uma grande interação entre os alunos, maior interesse pelo conteúdo, levando-os a buscarem respostas para a atividade proposta e construírem seu próprio conhecimento. Para melhoria da atividade fez-se necessária a solicitação aos alunos de um resumo/pesquisa dos conceitos básicos de genética antes da aplicação da prática, para que eles pudessem, assim, se familiarizar com os termos científicos e facilitar a aprendizagem dos conceitos. Além disso, foi necessário realizar algumas alterações no roteiro do aluno para que a atividade apresentasse mais características investigativas, bem como adaptar a situação hipotética envolvendo os transgênicos com objetivos mais adequados para o ensino médio, disponibilizando-a como uma questão desafio, que pode ou não ser aplicada em sala de aula, conforme o rendimento da turma.

Após esta primeira avaliação prévia e revisão da metodologia utilizada inicialmente, a atividade foi novamente aplicada em março/2019. A classe era composta de 30 alunos divididos em 6 grupos de 5 integrantes cada, do 3º ano do ensino médio regular diurno da Escola Estadual Leonardo Gonçalves Nogueira (Figura 7).



Figura 7: Alunos do terceiro ano do ensino médio da Escola Estadual Leonardo Gonçalves Nogueira, no ano de 2019, e a pesquisadora deste trabalho após a realização da atividade Prática das Cores

A escola onde foi aplicado o teste piloto com os alunos do terceiro ano noturno não foi a mesma da pesquisa, uma vez que no ano de 2019 a pesquisadora tinha alunos em turmas que não eram do terceiro ano naquela escola. Este teste piloto foi aplicado com o propósito de atender ao pré-requisito deste mestrado, onde os mestrandos desenvolveram uma atividade investigativa referente aos temas teóricos estudados no semestre, além de, conseqüentemente, avaliar sua efetividade em sala de aula. A partir dos resultados coletados inicialmente, foi possível adaptar a sequência e reaplicá-la em 2019. Entretanto, acredita-se que a variação acerca da amostragem da pesquisa, à guisa de público alvo, poderia enriquecer a qualidade e amplitude dos dados coletados no sentido de se perceber a universalidade ou não das observações estabelecidas neste trabalho de pesquisa. Assim, a pesquisa foi realizada na Escola Estadual Leonardo Gonçalves Nogueira, onde ministrava aulas de biologia para o terceiro ano diurno. Destaca-se que o único pré-requisito para seleção da turma é ser o terceiro ano do ensino médio, sendo pouco relevante a amostra utilizada para realização da prática. A perspectiva é que o roteiro possa ser utilizado por qualquer professor que esteja ministrando o conteúdo de genética no ensino médio, independente da escola e horário de aula (Figura 8).



Figura 8: Ambiente preparado para a prática com os alunos do terceiro ano do ensino médio regular diurno da Escola Estadual Leonardo Gonçalves Nogueira, no ano de 2019

Segundo relatos dos alunos, eles não aprenderam biologia molecular no 1º ou 2º ano do ensino médio, conforme orienta o CBC, no tópico 19.3. “estabelecer relação entre DNA, código genético, fabricação de proteínas e determinação das características dos organismos”. Desta forma, os alunos não conheciam os processos de tradução e transcrição. O planejamento das aulas foi adaptado e tais conceitos foram explicados juntamente com o conteúdo de genética.

Antes de iniciar a prática, no decorrer das aulas de biologia, os alunos foram construindo um glossário com termos utilizados na disciplina de genética, com o propósito de familiarizá-los com os conceitos e servir como um material de apoio. Ao iniciar a atividade prática, os alunos receberam, juntamente com o roteiro, a tabela do código genético e duas fichas que representam o material genético de uma planta, conforme Figura 9 (anexo III), nas quais os grupos deveriam verificar se as sequências genéticas são iguais ou diferentes e concluir se são homozigotos ou heterozigotos (questão 1); completar, no espaço indicado, o mRNA transcrito da sequência de bases da molécula de DNA (questão 2) e, com o auxílio de uma tabela de códons de mRNA, completar a cadeia polipeptídica traduzida da sequência (questão 3).

<p>1</p> <p style="text-align: center;">Fragmento de DNA do cromossomo paterno</p> <p style="text-align: center;">→</p> <p>DNA <small>Fita Mãe</small> TTACTACCCACGTTAGTCCATT</p> <p>mRNA _____</p> <p>Proteína _____</p>	<p>2</p> <p style="text-align: center;">Fragmento de DNA do cromossomo materno</p> <p style="text-align: center;">→</p> <p>DNA <small>Fita Mãe</small> TTACTACTCACGTTAGTCCATT</p> <p>mRNA _____</p> <p>Proteína _____</p>
--	--

Figura 9: Exemplos de fichas que representam um fragmento do material genético de uma planta a ser completadas com outras informações pelos estudantes.

Fonte: <http://pontociencia.org.br/experimentos/visualizar/pratica-das-cores-dominancia-e-recessividade/1193>
(Imagem formatada pela pesquisadora) ¹

Todos os seis grupos conseguiram perceber que as sequências eram diferentes e, que por este motivo tratava-se de indivíduos heterozigotos. Quanto à transcrição da sequência de bases que forma o mRNA, apenas um grupo encontrou dificuldades, apresentando incoerência entre a tradução e a transcrição, sendo necessária a intervenção e orientação da professora. Em grupo, após completaram as fichas no espaço indicado e identificarem a cadeia polipeptídica traduzida da sequência, um representante de cada grupo procurou na mesa do professor o frasco identificado com um rótulo correspondente à proteína traduzida (Figura 10).



Figura 10: Um representante de cada grupo localizou na mesa do professor os frascos identificados com um rótulo correspondente à proteína traduzida pelo seu grupo.

A questão 4 solicitava aos alunos que observassem as cores dos líquidos presentes em cada garrafa. Em seguida, considerando que cada cor se originava de uma sequência de DNA, os alunos foram questionados se os alelos foram transcritos e traduzidos. Posteriormente, eles

¹ Na data de publicação deste trabalho, o site encontra-se temporariamente indisponível por motivos técnicos. A expectativa é que este problema seja brevemente solucionado.

deveriam indicar a cor e funcionalidade da proteína produzida pelas sequências materna e paterna e qual o fenótipo esperado da interação entre estes alelos. Todos os grupos compreenderam que os alelos foram transcritos e traduzidos e completaram a cor e funcionalidade das sequências referentes à proteína produzida. Quando perguntados sobre o fenótipo esperado da interação entre esses alelos, o grupo A, que trabalhava um caso de dominância completa, considerou que o fenótipo seria rosa. Ressalta-se que o raciocínio deste grupo não está errado, uma vez que, apenas com a visualização das cores dos frascos e a funcionalidade das proteínas não é possível certificar-se se o fenótipo seria vermelho ou rosa. Entretanto o grupo B, que também trabalhava com um caso de dominância completa, em vez de responder o fenótipo, respondeu o genótipo - “Aa”- mostrando que os integrantes confundiram os conceitos de genótipo e fenótipo. A semelhança entre estas terminologias contribuíram para essa confusão, como observado anteriormente (Knippels, 2002). Já o grupo F, que estava com um caso de codominância, respondeu que o fenótipo seria amarelado, afirmando indiretamente que apenas a característica amarela seria expressa e não os dois fenótipos simultaneamente. Por orientação da professora mediadora, as respostas foram anotadas a caneta, para que não fossem alteradas no decorrer da prática. Desta forma, observou-se que dois dos seis grupos, que correspondem a dez alunos, encontraram dificuldades em responder esta questão e relacionar o fenótipo com a funcionalidade da proteína.

Como sugestão de melhoria, deve ser incluída no roteiro dos alunos a seguinte pergunta após a mistura das preparações: “Quanto à questão: Qual é o fenótipo esperado da interação entre estes alelos? A hipótese levantada inicialmente pelo seu grupo está correta? Em caso negativo, indique o resultado obtido e justifique o porquê do fenótipo encontrado.” Essa nova pergunta poderia levá-los a interpretar os dados obtidos, discutir sobre eles e sanar possíveis erros conceituais e de interpretação, levando-os a relacionarem os fenótipos com o fato das proteínas serem ou não funcionais. O novo roteiro, incluindo esta sugestão está disponível no apêndice V.

Cada grupo abriu as garrafas e os alunos despejaram seu conteúdo em uma vasilha plástica transparente. Misturaram as duas preparações, observaram o resultado referente ao fenótipo da espécie de planta que o seu grupo recebeu, resultante das proteínas produzidas pelos dois alelos. Posteriormente, considerando as questões 5 e 7, todos os grupos acertaram a relação entre o fenótipo observado (Figura 11) e as proteínas produzidas pelos alelos e o tipo de interação alélica observada pelo seu grupo. Já na questão 6, apenas o grupo C (dominância

incompleta), optou pela alternativa que era errada quando questionado se existia uma relação de dominância e recessividade entre os alelos do gene responsável por essa característica.



Figura 11: Recipientes com as cores correspondentes aos fenótipos observados pelos grupos após a mistura das duas preparações que representavam as proteínas traduzidas do mRNA - da esquerda para a direita, as interações alélicas do tipo dominância completa, codominância e dominância incompleta.

Por fim, na questão 8, 100% dos alunos concluíram que o conceito de dominância e recessividade se relacionava com a quantidade de proteínas ou a capacidade da proteína de ser ou não funcional. Os dados relatados acima foram consolidados na Figura 12, quantificando os resultados analisados.



Figura 12: Análise quantitativa de acertos dos grupos para cada questão do roteiro do aluno. Seis grupos participaram da atividade.

Conforme observado no gráfico, os conceitos referentes à zigose, interações alélicas e o conceito de dominância e recessividade foram mais bem compreendidos pelos alunos. Nas questões 2 e 3, notou-se que o grupo E, que corresponde a cinco estudantes da amostra, encontrou dificuldades no entendimento do processo de tradução e transcrição e na questão 6 o grupo C, que também corresponde a cinco estudantes, considerou positiva a relação de dominância e recessividade ao analisar a interação alélica do tipo dominância incompleta. A maior dificuldade encontrada pela turma, mais especificamente pelos grupos B e F, refere-se à questão 4, que os leva a refletir qual é o fenótipo esperado da interação entre os alelos. Os estudantes interpretaram erroneamente o termo “fenótipo” ou não analisaram a funcionalidade da proteína para responder a esta questão. Como já mencionado, a semelhança entre os termos genótipo e fenótipo, possivelmente, levaram a esta confusão na definição das palavras (Knippels, 2002).

Após a realização desta prática, os alunos foram convidados a refletir e responder o desafio, disponível no roteiro do aluno, representado pelas questões de 9 a 16, com as situações envolvendo a coelha albina transgênica.

Nas questões 9, 10 e 11 (respectivamente: Qual é o fenótipo esperado da coelha após a transgênese? Como é possível que a inserção de um gene apenas determine o fenótipo nesta coelha? O que acontece com as células dos coelhos transgênicos para eles serem verdes?) esperava-se que os alunos relacionassem o fenótipo à proteína funcional. As respostas seguem descritas abaixo, com os comentários sobre cada grupo:

- Grupo A: “50% albina, 50% verde. O gene inserido ter uma proteína funcional e o alelo ser dominante. A proteína inserida ser funcional”. (Resposta apresentada por escrito pelo grupo A e entregue à professora). Na interpretação da pesquisadora, ao mencionar uma porcentagem (50%), o grupo concluiu que a coelha permaneceria albina, mas que também expressaria o fenótipo verde. Observa-se que o grupo mencionou gene inserido e posteriormente, proteína inserida, mostrando uma dificuldade na forma de se expressar. Entretanto, entende-se que conseguiram associar a proteína funcional ao fenótipo observado.
- Grupo B: “F*. Porque a coelha já tinha o genótipo **, e com a inserção ganhou um alelo dominante, ficando assim F*. É injetada uma proteína funcional verde fluorescente.” (Resposta apresentada por escrito pelo grupo B e entregue à professora). Assim como na questão 4 da atividade prática, mais uma vez observa-se neste grupo

uma confusão entre os conceitos de genótipo e fenótipo quando respondem que o fenótipo esperado na coelha após a transgênese é F* em vez de se referirem à característica. Observa-se ainda, uma dificuldade de compreensão entre a diferença relativa aos conceitos de gene e alelo, bem como a utilização do termo “injetado” no lugar de “produzido”. No entanto, o grupo apresenta um raciocínio correto sobre a inserção do transgene e o genótipo resultante.

- Grupo C: “Branca. Se a proteína for funcional ela determina o fenótipo. Foram dominados pelos genes inseridos.” (Resposta apresentada por escrito pelo grupo C e entregue à professora). Este grupo apresentou muita inconsistência em suas respostas. Apontou que o fenótipo da coelha transgênica seria branco, mostrando um erro, uma vez que desconsideraram o gene F inserido e o trecho da narrativa que antecipava a questão afirmando que “o fenótipo desta coelha sobre a luz UV era verde fluorescente”; no entanto, na questão seguinte associou corretamente a proteína funcional ao fenótipo quando justificou o porquê das células da coelha serem verdes. Ao responderem que as células do coelho foram dominadas pelos genes inseridos, na interpretação da pesquisadora, utilizaram o termo “dominaram” para expressar, mesmo que indiretamente, a transcrição, tradução e a funcionalidade da proteína.
- Grupo D: “Fica fluorescente pela luz UV. Por que ela não tem outro gene do tipo. Elas começam a produzir a proteína que produz a coloração verde fluorescente.” (Resposta apresentada por escrito pelo grupo D e entregue à professora). De uma forma geral, observa-se, neste grupo, maior entendimento e clareza nas respostas, pois conseguem entender a suficiência de um “único gene de maneira absoluta” para a expressão fenotípica..
- Grupo E: “Dominância completa. Pois é uma proteína funcional, sendo assim o gene é dominante por ser único. A célula irá produzir a substância que foi inserida pelo novo gene.” (Resposta apresentada por escrito pelo grupo E e entregue à professora). Observa-se, mais uma vez, a dificuldade de compreensão do termo fenótipo ao responderem a primeira pergunta, mas o grupo conseguiu interpretar que a nova característica manifestada está relacionada com a “substância”, neste caso, a proteína produzida pelo gene F.

- Grupo F: “Que ela fique verde fluorescente quando exposta a raios UV. Porque a coelha não produzia o gene que foi inserido nela, portanto ele é dominante. Recebeu o gene responsável pela proteína fluorescente, modificando o fenótipo da coloração das células.” (Resposta apresentada por escrito pelo grupo F e entregue à professora). Ressalta-se que, aparentemente, o grupo interpretou como dominante o gene que produz uma proteína funcional e associou corretamente o termo fenótipo. É possível perceber neste grupo maior entendimento ao analisar suas respostas.

De uma forma geral, os alunos conseguiram compreender o raciocínio ao responderem à questão desafio. Mesmo sendo uma proposta inovadora para o ensino médio, eles alcançaram o principal objetivo, que é relacionar o gene inserido, a funcionalidade da proteína e o fenótipo.

As questões 12 a 14 do desafio envolvem outros conhecimentos, como herança mendeliana, biotecnologia e a relação entre fenótipo e genótipo. Neste contexto, as questões estavam relacionadas com a análise das seguintes situações: “Esta coelha transgênica foi cruzada com um coelhinho albino e teve oito filhotes. Todos eram albinos e quando colocados sob a luz UV a metade deles era verde-fluorescente. Explique porque esses resultados foram encontrados. É possível explicar esses achados pelas Leis de Mendel? Por que o fenótipo fluorescente não foi passado para todos os filhotes?”

Os grupos A, C e E tiveram dificuldades em conceituar as leis de Mendel, relacionando-as ao quadro de Punnet (diagrama proposto para prever os resultados de possíveis cruzamentos) e à dominância e recessividade, afirmando que: “Lei de Mendel está relacionada com a dominância e a recessividade”, “Porque alguns deles receberam do pai o alelo recessivo”, “Porque os dois genes eram dominantes”, ou ainda associando às proteínas: “Porque eles tiveram a proteína funcional.”. Tais respostas podem estar relacionadas aos experimentos de Mendel com as ervilhas, conforme mencionado por El-Hani (2016), que segundo relatos nos livros didáticos e em outras fontes de pesquisa, considerou apenas caracteres cujos alelos tinham uma relação de dominância completa. Ressalta-se, desta forma, a importância de reforçar junto aos alunos a principal contribuição resultante dos estudos de Mendel referentes à hibridização e a produção de novas espécies (EL-HANI, 2016, p.277), que posteriormente contribuíram com a comprovação da segregação dos fatores hereditários durante a formação dos gametas, resultado de um trabalho coletivo da comunidade científica cerca de 30 anos depois. Apesar dos equívocos, a associação com o quadro de Punnet nos leva a interpretar que os alunos compreenderam que os alelos se separam na meiose e que, na

fecundação, o material genético é herdado dos progenitores. Ainda, ao mencionarem as proteínas funcionais, os alunos perceberam, mesmo que indiretamente, a necessidade de os alelos serem transcritos e traduzidos para a manifestação de um fenótipo. Por outro lado, ao associarem com dominância e recessividade, os alunos não consideraram que, de fato, a ausência de outro alelo do gene F é que está relacionada com os resultados obtidos neste cruzamento, juntamente com a capacidade deste único gene de produzir uma proteína funcional, resultando no fenótipo verde fluorescente.

Já os grupos B, D e F foram mais coerentes nas respostas registradas, embora ainda existam falhas e confusão nos conceitos. Observa-se que as respostas se relacionam com o genótipo, a probabilidade genética e as Leis de Mendel. Respostas como: “Porque 50% nasceram com os genes F* e os outros 50% nasceram com os genes **”, “Depois do cruzamento a probabilidade genética indica que metade dos filhotes teriam característica verde fluorescente”, “Eles tinham 100% de chance de serem albinos e apenas 50% de possuírem o gene F”, “Porque nem todos os filhotes tinham o gene F”, “Sim, pois o gene F foi passado para os filhotes, gerando a possibilidade dos próximos filhotes terem o gene também.”, nos fazem perceber que estes grupos compreenderam que o fenótipo verde se deve a um genótipo, neste caso, F*.

Por fim, o roteiro se encerra com as questões 15 e 16: em outro acasalamento, a coelha transgênica foi cruzada com uma de suas crias fluorescentes. O que esperar na ninhada de 8 filhotes deste cruzamento? Os filhotes serão albinos? Serão também fluorescentes? De um modo geral, os grupos compreenderam que se tratava de um cruzamento entre heterozigotos e que a proporção esperada de filhotes seja aproximadamente como na Lei de Mendel, cujos fenótipos seriam 6 verdes fluorescentes e 2 não fluorescentes. Apenas os grupos B e C não interpretaram desta forma, e foram confusos em suas respostas, afirmando que os 8 filhotes “nascem todos com o gene fluorescente” ou “Ausência de dominância”, e ao mesmo tempo afirmam que os filhotes seriam albinos e, também, fluorescentes.

Ao final da atividade, os alunos participaram de um grupo de discussão/roda de conversa sobre o trabalho realizado, como oportunidade de troca de experiências e maior interação da turma. Nesta oportunidade, a pesquisadora comentou sobre metodologias de ensino e pediu a eles que apontassem opiniões referentes ao uso de metodologias ativas no ensino de biologia.

Aprofundar os conhecimentos na metodologia de ensino por investigação nos leva a refletir em questões como: “Quem é o meu aluno? Como ele aprende?” Como posso contribuir para a melhoria do processo de ensino e aprendizagem? O ponto chave para estas

questões é reconhecer os alunos como sujeitos que constroem o seu conhecimento, que são responsáveis pela ação, e não um sujeito passivo, alguém que simplesmente recebe uma ação (DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2011, p.122). O aluno deve ser encarado como o protagonista do processo de ensino e aprendizagem, e o professor um mediador e facilitador deste processo; como podemos observar a partir dos depoimentos dos estudantes. O aluno D.O.A. afirmou que a experimentação é uma oportunidade de “colocar o que aprendemos em prática, trocar ideia com os colegas para aprimorar ainda mais o que já aprendemos nas aulas teóricas”. Já para a R.S.M., a metodologia ativa é “mais participativa e menos entediante, pois te faz debater e te força mais a pensar”. D.S.R. ressaltou a importância do aluno manusear objetos e ser protagonista no processo de ensino aprendizagem, pois assim a matéria “fica mais fácil de ser entendida, pois enquanto explica o aluno está tendo contato com a experiência”, e a aluna I.P.P. concordou que a experimentação é uma ferramenta importante para a aprendizagem, afirmando que a prática possibilita o “contato com a ciência de fato e aprendemos mais; assim ficamos mais atentos e interessados nas aulas”. A aluna R.F.A. concluiu afirmando que “a metodologia ativa desperta o interesse entre os alunos, dispõe a pauta sobre a matéria entre as conversas desses e possibilita que as dúvidas sejam sanadas com explicações diferentes e talvez mais fáceis de serem entendidas”. Esta aproximação da ciência ao cotidiano do aluno torna-se uma ferramenta importante em busca da motivação e conseqüentemente a construção do aprendizado dos alunos.

Azevedo (2016) aponta as situações problematizadoras, questionadoras e dialógicas como o ponto chave para atividades investigativas, que devem ir além da observação e manipulação de objetos, proporcionando aos alunos pensar, refletir, discutir e relatar suas ações. Assim, as atitudes e procedimentos dos alunos tornam-se igualmente importantes para a aprendizagem conceitual. Além disso, a discussão em sala de aula proporciona uma mediação entre os saberes científicos e os saberes cotidianos. As interações aluno-aluno e aluno-professor proporcionam a troca de ideias e o desenvolvimento de habilidades como desenvoltura na utilização de uma linguagem científica (CAPPECHI, 2016, p.59). Observou-se que durante a realização da sequência didática "Prática das Cores", os alunos se reuniram em grupos, discutiram e foram protagonistas no seu processo ensino-aprendizagem, se sentindo bem nos trabalhos em grupo. Neste tipo de atividade estão todos envolvidos na mesma realidade prática facilitando o entendimento entre os estudantes e os professores relativos aos objetivos e procedimentos empreendidos.

Percebe-se no trabalho de pesquisa empreendido que a dinâmica de grupos torna-se mais eficiente quando a atividade planejada requer discussão e troca de ideias entre os

partícipes. Isto faz com que o trabalho coletivo desenvolva maior potencial mútuo e a construção de novos conhecimentos. Notou-se que a argumentação dos grupos almeja a busca por uma explicação, ou solução coletiva para o determinado problema previamente proposto, através da comparação entre suas ideias e aquelas expostas pelos colegas, levando a turma a um consenso, uma conclusão, conforme descreve Cappechi (2016).

Assim, o papel do professor ao propor e acompanhar metodologias de ensino, como a discutida neste trabalho, é imprescindível para que os objetivos conceituais, atitudinais e procedimentais sejam alcançados com sucesso. Além disso, a mudança da linguagem cotidiana para uma linguagem científica requer todo o envolvimento do professor, proporcionando para o aluno um ambiente propício ao diálogo e reestruturação de suas ideias (CARVALHO, 2016, p. 9). A mudança de atitude em uma atividade investigativa deve ser tanto do aluno quanto do professor (AZEVEDO, 2016, p.24).

Foi objetivo desse trabalho contribuir para o entendimento e aperfeiçoamento das metodologias de ensino e, conseqüentemente, o desenvolvimento de conteúdos e habilidades específicas. Considerando a sequência didática “Prática das Cores”; ressalta-se que o roteiro foi adaptado com características mais adequadas para as turmas do ensino médio, por ser o primeiro contato efetivo com os conceitos da genética, a fim de dar uma formação que facilite a trajetória futura neste campo acadêmico diferenciado da biologia, incluindo características presentes na metodologia de ensino por investigação, que sugere colocar sempre o aluno como o protagonista do processo de ensino e aprendizagem. Dentre estas características, destaca-se a problematização e contextualização, observadas nas questões desafio, que envolvem transgênicos. Atualmente, os transgênicos fazem parte do nosso dia a dia, e alguns já são comercializados e consumidos pela população de um modo geral. Nesse sentido, é importante que a educação básica proporcione aos alunos uma interação entre a ciência da escola e os saberes científicos. Incluir na questão desafio a contextualização com os transgênicos possibilitou aos alunos refletirem como a ciência avança em questões biotecnológicas e como a expressão gênica e a síntese de uma proteína funcional como produto final está diretamente relacionada ao fenótipo. Demonstrar que aquele conhecimento adquirido em sala de aula é aplicável traz significados que favorecem a aprendizagem. Carvalho (2016) discute aspectos em que a ciência provoca modificações na sociedade e reforça a ideia de introduzir no ensino a “*aculturação científica* no lugar da *acumulação dos conteúdos científicos*”, levando os alunos a argumentarem e modificando a ideia de uma ciência pronta, fechada. O estudante deve construir o seu conhecimento e participar ativamente deste processo. Falar sobre transgênicos, relacioná-los à genética e discutir sobre a

inovação científica pode levar o aluno à formação conceitual, e os resultados observados neste trabalho apontam pontos positivos, uma vez que a turma, de um modo geral, conseguiu compreender e alcançar os objetivos propostos inicialmente.

Importante destacar que a prática utiliza recursos de baixo custo e de fácil acesso, características relevantes, uma vez que, normalmente, as escolas públicas não têm verbas disponíveis para aquisição de materiais. Destaca-se o cuidado para que a atividade realizada fosse centrada no estudante, permitindo-lhe autonomia para a tomada de decisões, levantamento de hipóteses, interpretação dos dados, resolução de problemas, propôs debates e discussões, conclusão e atrelamento da relação e/ou aplicação de um determinado conceito a situações do dia a dia. Esta aproximação da ciência ao cotidiano do aluno pode vir a ser uma ferramenta importante em busca da motivação e, conseqüentemente, na construção do conhecimento dos alunos.

5 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

A oportunidade de analisar a organização dos conteúdos de biologia molecular e genética, relacionados aos conteúdos como um dos integrantes da estrutura curricular da educação básica para o ensino da biologia, possibilitou um novo olhar para os livros didáticos. De uma forma geral, eles apresentam pontos positivos, que devem ser potencializados e pontos de atenção, como a fragmentação de conceitos que são inter-relacionados e que devem ser trabalhados concomitantemente pelos professores com conectividade e continuidade, com o propósito de facilitar a compreensão não só do conteúdo, mas também dos fenômenos biológicos como um todo. O docente deve evitar que o livro didático seja a sua única fonte de consulta, por melhor que seja a sua qualidade (DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2011), e ter um olhar crítico para analisar possíveis equívocos. Assim, cabe aos docentes adaptar seu planejamento anual de forma que favoreça o processo de ensino e aprendizagem, extraindo dos livros os pontos positivos e adaptando aqueles que não favorecem o aprendizado. O livro deve ser utilizado como uma ferramenta complementar, sendo o professor o responsável por guiar o aluno ao conhecimento científico em sala de aula. A fragmentação do conteúdo nos livros didáticos pode fazer com que o aluno não os associe, o que dificultaria sua compreensão. Assim, estabelecer critérios para análise dos livros didáticos é importante para que o docente possa escolher uma coleção que facilite o entendimento dos estudantes ao longo do ano letivo. Um dos pontos que pode ser considerado é a fragmentação de conceitos que são inter-relacionados, conforme proposto neste trabalho. Como exemplo,

podemos citar temas como meiose e mitose, genética, interações alélicas, tradução e transcrição, que devem ser trabalhados de forma contínua, para facilitar a compreensão dos discentes. Este pode ser um diferencial ao analisar as coleções aprovadas pelo PNLD. Tal fato reafirma a importância de se trabalhar em conjunto temas como genética mendeliana e biologia molecular cabendo, assim, ao docente buscar a melhor forma de estabelecer tais conexões.

Ao considerarmos o ensino de genética, a complexidade do assunto e a dificuldade relatada pelos docentes em ensinar e dos discentes em entender, ressalta-se a importância de utilizar novas metodologias de ensino que favoreçam a compreensão e facilitem a transmissão deste conteúdo, aproximando-o ao cotidiano dos alunos, tornando-o menos abstrato e trazendo mais significados. As lacunas existentes na compreensão deste conteúdo podem estar relacionadas à fragmentação de temas que são inter-relacionados. Assim, cabe ao professor ser crítico para escolher quais conteúdos são mais relevantes e, a partir daí, preparar um planejamento de ensino que inclua conceitos chave.

A escola deve ser um espaço que leve o aluno a compreender que a ciência está sempre em transformação, desvinculando dela um caráter reducionista. Novos conhecimentos são gerados e não existe uma verdade que seja incontestável. Para tanto, reconhecer as dimensões históricas e filosóficas são importantes para caracterizar a atividade científica, proporcionando uma contextualização e levando a discussões fundamentadas (VANNUCCHI, 2016, p.83 e 88). Daí a importância de se desenvolver habilidades como capacidade lógica, pensamento crítico e prospectivo nos alunos na educação básica.

A alfabetização científica dos nossos alunos não é uma tarefa fácil. Conduzi-los a tomada de decisões coerentes que permeiam a sua vida e da sociedade está intimamente ligado aos conhecimentos científicos, que envolvem uma análise crítica, resultado, muitas vezes, de um processo de investigação (CARVALHO, 2013, p.45). Cabe aqui citar Lima e Maués (2006), que ponderam: “uma investigação só faz sentido se ela explicita algo que queremos conhecer; se suscita o interesse e a curiosidade em conhecer ou de inventar um modo de explicar como as coisas funcionam e se articulam”.

Esta experiência atendeu a minha expectativa de proporcionar aulas mais interativas, dialógicas, significativas, contextualizadas e, conseqüentemente, contribuir para o entendimento de genética, pois possibilitou aprimorar e aplicar novas metodologias de ensino em minha prática docente, trazendo resultados satisfatórios. A ideia de desenvolver os conteúdos, principalmente aqueles que os estudantes têm mais dificuldade de aprender, como a genética, com uma abordagem investigativa e contextualizada, é eficiente e promissora, pois

leva o aluno a questionar, pesquisar, buscar e chegar a uma conclusão como protagonista do processo de ensino e aprendizagem.

Pretende-se que este trabalho e a metodologia nele empregada e analisada, possa contribuir para motivar os estudantes, bem como na construção de aulas mais dinâmicas e significativas, interativas e dialógicas, capazes de facilitar a construção e consolidação do conhecimento científico em sala de aula. Da mesma forma, que o trabalho desenvolvido seja profícuo no sentido de possibilitar um processo de melhorias contínuas em sua execução, trazendo mudanças no ensino de genética para os alunos do ensino médio das escolas estaduais e privadas onde a pesquisadora leciona. Espera-se, ainda, que após a publicação deste trabalho, outros docentes tenham acesso a esta pesquisa e que esta metodologia possa ser replicada e ampliada para outros conteúdos das ciências em muitas escolas, abrangendo outros alunos e professores do ensino médio.

REFERÊNCIAS

- ABREU, R. G. de; GOMES, M. M.; LOPES, A. C. Contextualização e tecnologias em livros didáticos de biologia e química. **Investigações em Ensino de Ciências**. v. 10, p. 405-417. 2005.
- AFONSO, M. L.; ABADE, F. L. **Para reinventar as rodas: rodas de conversa em direitos humanos**. Belo Horizonte: RECIMAM, 2008.
- AMABIS, J. M.; MARTHO, G. R. **Biologia moderna**. Vol.3. 1. ed. São Paulo: Moderna, 2016.
- ANDRADE, G. T. B. DE. Percursos históricos de ensinar ciências através de atividades investigativas. **Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 13, n. 1, p. 121–138, 2011.
- ARMSTRONG, D. L. de P.; BARBOZA, L. M. V. **Metodologias de ensino de ciências biológicas e da natureza**. 1. ed. 2012. Editora Intersaberes. São Paulo.
- AZEVEDO, M., C., P. S. de. Ensino por Investigação: Problematizando as Atividades em Sala de Aula. *In*: CARVALHO A. M. P. (org.). **Ensino de Ciências - unindo a pesquisa e a prática**. Cengage Learning, São Paulo, 2016.
- BELMIRO, M.; PRÁXIS, M. DE B.-R.; 2017, UNDEFINED. **Ensino de genética no ensino médio: uma análise estatística das concepções prévias de estudantes pré-universitários**. Revistas.Unifoa.Edu.Br, 2017.
- BEZEMER, J.; DIAMANTOPOULOU, S.; JEWITT, C.; KRESS, G.; MAVERS, D. **Using a social semiotic approach to multimodality: researching learning in schools, museums and hospitals**. NCRM Working paper 01/12, 2012.
- CAPPECHI, M., C. de M. Argumentação numa Aula de Física. *In*: CARVALHO A. M. P. (org.). **Ensino de Ciências - unindo a pesquisa e a prática**. Cengage Learning, São Paulo, 2016.
- CARVALHO, A. M. P. (org.). **Ensino de Ciências por Investigação: condições para implementação em sala de aula**. São Paulo. CENGAGE Learning, 2013.
- CARVALHO, A. M. P. de. Critérios Estruturantes para o Ensino de Ciências. *In*: CARVALHO A. M. P. **Ensino de Ciências - unindo a pesquisa e a prática**. Cengage Learning, São Paulo, 2016.
- CASTRO, R. S. Uma e Outras Histórias. *In*: CARVALHO A. M. P. (org.). **Ensino de Ciências - unindo a pesquisa e a prática**. Cengage Learning, São Paulo, 2016.
- DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de Ciências: Fundamentos e Métodos**. 4. ed., Cortez Editora. 2011. São Paulo.
- DIAS, A. S. Ensino de introdução à genética com dinâmica educacional para alunos do ensino médio. 5º SECAM – **Simpósio de educação em Ciências na Amazônia**. Manaus/AM, 2015.

DUARTE, M. DA C. **Investigação em ensino das ciências: influências ao nível dos manuais escolares.** Revista Portuguesa de Educação, v. 12, n. 2, p. 227–248, 1999.

EL-HANI, C., N. **O Mendel mítico sob um olhar crítico: o papel de Mendel na história da genética.** Genética na Escola, v.11, nº 2, 2016.

FERREIRA, JENNIFER GOMES. Técnicas de engenharia genética para produção de transgênicos. **Saúde & Amb. Rev.**, Duque de Caxias, v.4, n.2, p.40-46, jul-dez 2009.

FRANZOLLIN, F.; NETO, L. C. B. de T. N.; BIZZO, N. Generalizações que distanciam os conhecimentos dos livros didáticos das referências em genética. **Genética na Escola**, v.9, nº 2, 2014.

HOFSTEIN, Avi; LUNETTA, Vincent N. **The role of the laboratory in science teaching: neglected aspects of research,** Review of Educational Research, n. 52, p. 201-217, 1982.

IERVOLINO, S. A.; PELICIONI, M. C. F. A utilização do grupo focal como metodologia qualitativa na promoção da saúde. **Rev. Esc. Enf. USP**, v. 35, n. 2, p. 115-21, jun. 2001.

KAC, EDUARDO. **GFP Bunny: a coelhinha transgênica.** SP. Galáxia. n. 3, p. 35-58, 2002.

KLAUTAU-GUIMARÃES, M. DE N. et al. Entendendo a variação genética. **Genética na Escola**, v. 6, n. 1, p. 31–41, 2011.

KNIPPELS, M-C. P. J. Coping with the abstract and complex nature of genetics in biology education. **The yo-yolearningand teaching strategy.** Utrecht, Netherlands: UniversiteitUtrechet, 2002.

LIMA, M. E. C. D. C.; MAUÉS, E. Uma releitura do papel da professora das séries iniciais no desenvolvimento e aprendizagem de ciências das crianças. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 8, n. n. 2, p. 161–175, 2006.

LINHARES, S.; GEWANDSZNAJDER, F.; PACCA, H. **Biologia Hoje.** v. 3. ed. Ática. São Paulo, 2016.

LOPES, A. D. C.; SANT'ANNA, H. de P. e.; ALMEIDA, Z. B. de; MOTA, A. C. **Prática das cores.** Disponível em: <http://pontociencia.org.br/experimentos/visualizar/pratica-das-cores-dominancia-e-recessividade/1193>. Acesso em: 18 de janeiro de 2018.

LOPES, D. C. J. R. **Análise da multimodalidade em livros didáticos de Biologia e contribuição para a prática docente.** Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – PUC-MG, Belo Horizonte, 2010.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. Secretaria de Educação Básica. **Orientações Curriculares para o Ensino Médio: Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias.** Brasília: MEC/SEB, 135 p., 2006.

- MELO, J. R. DE; CARMO, E. M. **Investigações sobre o ensino de Genética e Biologia Molecular no Ensino Médio brasileiro**: reflexões sobre as publicações científicas. *Ciência & Educação* (Bauru), v. 15, n. 3, p. 592–611, 2009.
- MENDONÇA, V. L. **Biologia**. v. 3. ed. AJS. São Paulo, 2016.
- NETTO, R. C. M. Dominante ou Recessivo? **Genética na escola**, v. 7, p. 28–33, 2012.
- PAULA, H. DE F. E. Experimentos e experiências. **Dicionário Crítico da Educação**, 2004.
- PAIVA, A. L. B.; MARTINS, C. M. C. Concepções prévias de alunos de terceiro ano do Ensino Médio a de temas na área de Genética. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 7, n. 3, p. 182–201, 2005.
- PIERCE, B.A. **Genética essencial conceitos e conexões**. Rio de Janeiro: Guanabra Koogan, 2012.
- PINHEIRO, M. C. **Conceitos Básicos no Ensino de Genética**: do livro didático ao estudante. 2010. UFRGS. Trabalho de Conclusão de Curso. Porto Alegre.
- REDFIELD, R. J. “Why Do We Have to Learn This Stuff?” — A New Genetics for 21st Century Students. *PLoS Biology*. July, 2012. Volume 10. Issue7.
- REZENDE, P. A. **A multimodalidade em livros de Biologia**. 161p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Letras - Programa de Pós-Graduação em Letras/Estudos da Linguagem, Rio de Janeiro. 2004.
- SECRETARIA DE ESTADO DE EDUCAÇÃO DE MINAS GERAIS. **Proposta Curricular CBC – Conteúdo Básico Comum de Biologia**. 2007. Disponível em: http://crv.educacao.mg.gov.br/sistema_crv/banco_objetos_crv/%7B34F10634-1508-447C-BC5A-3E45DC2D7A01%7D_biologia.pdf. Acesso em: 18 de janeiro de 2018.
- SGARIONI, P. D. M.; STRIEDER, D. M. O processo de seleção do livro didático de Ciências dos Anos Iniciais do Ensino Fundamental: percepções dos professores da Rede Pública Municipal de Cascavel/PR. **Ensino Em Revista**. Uberlândia, MG. v. 25, n.02, p. 345-368., 2018.
- SANTOS, W. L. P. D. (UFMG); MORTIMER, E. F. (IF/UNB). Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência – Tecnologia – Sociedade) no contexto da educação brasileira. **ENSAIO - Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 2, n. 2, p. 1–23, 2002.
- SARTIN, R. D.; MESQUITA, C. B.; SILVA, E. C.; FONSECA, F. S. R. Análise do conteúdo de botânica no livro didático e a formação de professores. *In: ENEBIO, 4 e EREBIO DA REGIONAL 4*, 2. Anais. Goiânia: SBEnBio – Associação Brasileira de Ensino de Biologia, 2012.
- SÁ-SILVA, J. R.; ALMEIDA, C. D.; GUINDANI, J. F. **Pesquisa documental**: pistas teóricas e metodológicas. **Rev. Brasileira de História e Ciências Sociais**, v.1, n.1, jul. 2009.

SÁ, E. F.; MAUÉS, E. R.; MUNFORD, D. Ensino de Ciências com caráter investigativo. Ensino de Ciências por Investigação – **ENCI: Módulo I**. Belo Horizonte: UFMG/FAE/CECIMIG, p. 83-107, 2008.

SCHIEL, D.; ORLANDI, A. S. **Ensino de Ciências por investigação**. Centro de Divulgação Científica e Cultural. USP, 2009. Livro Disponível online: http://www.cdcc.usp.br/maomassa/Livros/livro09/livro09Documentos/livro_enscien09.pdf

SILVEIRA, R. V. M. da; AMABIS, J. M. Como os estudantes do ensino médio relacionam os conceitos de localização e organização do material genético? **Instituto de Biociências**, USP, IV encontro nacional de pesquisa em educação em ciências, 2003.

VANNUCCHI, A., A Relação Ciência, Tecnologia e Sociedade no Ensino. *In*: CARVALHO A. M. P. (org.). **Ensino de Ciências** - unindo a pesquisa e a prática. Cengage Learning, São Paulo, 2016.

VASCONCELOS, C.; AMADOR, M. F.; SOARES, R. B.; PINTO, T. F. **Questionar, investigar e resolver problemas**: reconstruindo cenários geológicos. **Investigações em Ensino de Ciências**. v.17, pp. 709-720, 2012.

VILLAS-BOAS, A. Conceitos errôneos de Genética em livros didáticos do ensino médio. **Genética na Escola**, v. 1, p. 9–11, 2006.

XAVIER, M. C. F.; FREIRE, A. D. S.; MORAES, M. O. A nova (moderna) biologia e a genética nos livros didáticos de biologia no ensino médio. **Ciência & Educação**, v. 12, n. 3, p. 275–289, 2006.

YIN, R. K. **Pesquisa qualitativa do início ao fim**. Robert K. Yin; tradução: Daniel Bueno; revisão técnica: Dirceu da Silva. Porto Alegre: Penso, 2016.

ZABALA, A. **A prática educativa**: como ensinar. Tradução: Ernani F. da F. Rosa; revisão técnica: Nalú Farenzena. **ArtMed**. Porto Alegre, 1998.

ZÔMPERO, A.; LABURÚ, C. **Atividades investigativas no ensino de ciências**: aspectos históricos e diferentes abordagens. **Rev. Ensaio**, v. 13, n. 3, p. 67–80, 2011.

APÊNDICE I: TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO DO MENOR (ESTUDANTES)

Prezado estudante, você está sendo convidado a participar de uma pesquisa que será feita pela professora Mayana Flávia Ferreira Pimenta e pelas professoras Dra. Adlane Vilas-Boas e Dra. Rafaella Cardoso Ribeiro que se chama “O Ensino de Genética, Conceito e Aprendizagem”.

Com essa pesquisa elas querem entender a formação de conceitos de genética no ensino formal e o relacionamento deste com uma atividade prática investigativa que facilita o entendimento de processos básicos no ensino desta área da Biologia. Pretende-se com isso aperfeiçoar métodos para uma melhor aprendizagem da Biologia no ensino médio. Seus responsáveis deverão autorizar a sua participação e você pode querer participar ou não. Este estudo envolve riscos mínimos, ou seja, pode haver riscos de cansaço, desconforto com relação à atividade, constrangimento em responder as perguntas, mas faremos o possível para que toda a atividade seja o mais tranquila possível e a qualquer momento você poderá pedir a/o pesquisador/a para mudar de tópico ou não responder as perguntas.

Em alguns casos a atividade poderá ser filmada e/ou gravada para que não se perca detalhes do processo. Ao final da atividade os alunos poderão ser convidados a responder a um questionário avaliando a atividade. Este estudo poderá envolver a gravação de áudio e/ou filmagem, apenas os pesquisadores terão acesso a esses registros e não haverá publicação da imagem da criança/jovem sob sua responsabilidade. Caso você não se sinta confortável em ser filmado ou gravado poderá pedir a/o pesquisador/a que não o faça e sua vontade será respeitada. Serão guardados com a pesquisadora Dra. Adlane Vilas Boas no Instituto de Ciências Biológicas da UFMG durante 5 anos, e depois desse período serão destruídos. Acreditamos que você irá gostar da atividade e poderá contar para o/a professor/a a sua experiência.

Não disponibilizaremos as informações que você nos der a estranhos. Os resultados da pesquisa serão publicados, mas sem identificar os nomes das crianças ou jovens que participaram. Quando terminarem a pesquisa a professora Mayana Pimenta falará o que descobriu para professores e colegas da Universidade Federal de Minas Gerais e para quem quiser ler sobre a pesquisa na dissertação e artigos. Se você tiver alguma dúvida, você pode perguntar a sua professora, os telefones delas estão na parte de baixo deste texto e você pode ligar se tiver dúvidas sobre a pesquisa.

Adlane Vilas-Boas

Pesquisadora orientadora responsável

Rafaella Cardoso Ribeiro

Pesquisadora coorientadora responsável

Mayana Flávia Ferreira Pimenta

Pesquisador/a responsável

Eu, _____, declaro que fui consultado(a) pelas responsáveis pelo projeto de pesquisa O Ensino de Genética Conceito e Aprendizagem, Professora Dra. Adlane Vilas-Boas, telefone (31) 34092980, Dra. Rafaella Cardoso Ribeiro, telefone, (31) 34092980, e Mayana Pimenta, telefone, (37) 3241 - 2434 para participar da pesquisa. Entendi sobre tudo que poderá ocorrer durante a pesquisa. Entendi que posso dizer “sim” e participar, mas que, a qualquer momento, posso dizer “não” e desistir e que não haverá problemas para mim. As pesquisadoras tiraram minhas dúvidas e conversaram com os meus responsáveis.

Li e concordo em participar da pesquisa.

_____, ____/____/____

Assinatura do(a) estudante

Em caso de dúvidas quanto aos seus direitos e à ética na pesquisa entre em contato com:
COEP - Comitê de Ética em Pesquisa – Universidade Federal de Minas Gerais - Av. Antônio Carlos, 6627 - Unidade Administrativa II - 2º andar, sala 2005 - Campus Pampulha - Belo Horizonte, MG – telefax: (031) 3409-4592, e-mail:coep@prpq.ufmg.br, site:

<https://www.ufmg.br/bioetica/coeprpq.ufmg.br>>.

APÊNDICE II: TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (PAIS)

A pesquisadora Profa. Dra. Adlane Vilas-Boas, Profa. Dra. Rafaella Cardoso Ribeiro e a pesquisadora Mayana Flávia Ferreira Pimenta vem solicitar sua autorização para participação voluntária da criança/jovem sob sua responsabilidade na pesquisa denominada: O Ensino de Genética: Conceito e Aprendizagem.

Pesquisadora responsável: Prof^ª. Dr^ª. Adlane Vilas-Boas e-mail: adlane@ufmg.br/fones: (31) 34092980.

Co-orientadora: Dr^ª. Rafaella Cardoso Ribeiro e-mail: rafaellacribeiro@gmail.com/ fone: (31) 34092980.

Mestranda: Mayana Flávia Ferreira Pimenta, e-mail: mayanaffp@gmail.com/ fone: (37) 32412434

1. Esta seção fornece informações acerca do estudo em que a criança/jovem sob sua responsabilidade estará envolvido (a):

Você está sendo consultado sobre a autorização de criança/jovem sob sua responsabilidade para participar de uma pesquisa que visa a entender a formação de conceitos de genética no ensino formal a partir de uma atividade prática investigativa que facilitam o entendimento de processos básicos nesta disciplina. Os estudos se dão no ensino superior e ensino básico e pretende-se com isto trazer informações pertinentes ao desenvolvimento de metodologias didáticas para o aperfeiçoamento do ensino na área que repercutirão na aprendizagem destes e outros jovens.

Para este projeto a professora-pesquisadora está fazendo uma revisão bibliográfica, analisando trabalhos teóricos já existentes. A partir dessas pesquisas uma nova metodologia será elaborada e avaliada junto aos seus alunos. Em alguns casos a atividade poderá ser filmada e/ou gravada para que não se perca detalhes do processo. Ao final da atividade alunos poderão ser convidados a responder a um questionário avaliando a atividade.

Explicaremos aos estudantes do que se trata a pesquisa e pediremos a todos que assinem, por livre e espontânea vontade, o Termo de Consentimento. Àqueles que tiverem idade inferior a 18 anos, entregaremos também o Termo de Assentimento (que é o termo que a criança poderá ou não concordar com a pesquisa).

Em caso de dúvidas você pode entrar em contato com a pesquisadora responsável através dos telefones e endereço eletrônico fornecidos nesse termo. Informações adicionais

referentes aos aspectos éticos deste estudo podem ser obtidas no Comitê de Ética em Pesquisa (COEP) da Universidade Federal de Minas Gerais pelo telefone (31) 3409 4592 ou pelo endereço: Avenida Antônio Carlos, 6627- Unidade Administrativa II – 2º andar, sala 2005 – Campus Pampulha, Belo Horizonte, MG – Cep: 31270901.

Para a garantia das normas do Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG, informamos que os dados coletados serão confidenciais e utilizados unicamente para fins dessa pesquisa, podendo ser divulgadas em congressos, simpósios, seminários, revistas, livros e na dissertação de Mestrado da pesquisadora.

A Identidade dos participantes ficará preservada por meio do uso de nomes fictícios. O material coletado será arquivado sob a guarda da pesquisadora Dra. Adlane Vilas Boas no Instituto de Ciências Biológicas da UFMG por um tempo de até 05 (cinco) anos e posteriormente será destruído fisicamente e/ou digitalmente.

2. Essa seção descreve os direitos dos participantes desta pesquisa:

A. Você e/ou a criança/jovem sob sua responsabilidade poderão fazer perguntas sobre a pesquisa a qualquer momento e tais questões serão respondidas.

B. A participação da criança/jovem é confidencial. Apenas os pesquisadores responsáveis terão acesso à sua identidade. No caso de haver publicações ou apresentações relacionadas à pesquisa, nenhuma informação que permita a sua identificação será revelada.

C. A participação da criança/jovem sob sua responsabilidade é voluntária. Ela será livre para deixar de participar da pesquisa a qualquer momento, bem como para se recusar a responder qualquer questão específica sem qualquer punição.

Este estudo poderá envolver a gravação de áudio e/ou filmagem. Apenas os pesquisadores terão acesso a esses registros. Não haverá publicação da imagem da criança/jovem sob sua responsabilidade. Todos os registros, sem exceção, serão destruídos após o período de 5 anos.

E. Este estudo envolve riscos mínimos, como cansaço, desconforto com relação a atividade, constrangimento em responder as perguntas, mas faremos o possível para que toda a atividade seja o menos desgastante possível. Se houver, em algum momento da atividade, alguma questão em que a criança/jovem sob sua responsabilidade não se sinta confortável para responder, ela poderá informar a pesquisadora para que ela mude de tópico.

Desde já, agradecemos a sua colaboração e nos colocamos à disposição para quaisquer outros esclarecimentos. Caso você concorde que a criança/jovem sob sua responsabilidade participe da pesquisa, pedimos que preencha o termo abaixo e assine esse documento.

Pesquisadora orientadora responsável

Adlane Vilas-Boas

Pesquisadora responsável

Mayana F. F. Pimenta

Pesquisadora coorientadora responsável

Rafaella Cardoso Ribeiro

Eu, _____, RG _____, responsável pela/o criança/jovem _____ declaro que fui consultado(a) pelas responsáveis pelo projeto de pesquisa, Professora Dra. Adlane Vilas-Boas, telefone (31) 34092980, Dra. Rafaella Cardoso Ribeiro, telefone, (31) 34092980, Mayana Flávia Ferreira Pimenta, telefone, (37) 3241 – 2434, e respondo positivamente à sua demanda de realizar a coleta de dados, conforme explicado acima. Terei liberdade para desautorizar a participação no projeto da/o criança/jovem sob minha responsabilidade a qualquer momento, sem qualquer prejuízo as partes. Entendi as informações fornecidas pelas pesquisadoras, sinto-me esclarecido(a) para participar da pesquisa e registro meu consentimento livre e esclarecido.

Cidade, ____/____/____

Assinatura do(a) responsável

Em caso de dúvidas quanto aos seus direitos na pesquisa e quanto à ética entre em contato com COEP - Comitê de Ética em Pesquisa – Universidade Federal de Minas Gerais - Av. Antônio Carlos, 6627 - Unidade Administrativa II - 2º andar, sala 2005 - Campus Pampulha - Belo Horizonte, MG – telefax: (031) 3409-4592, e-mail: <coep@prpq.ufmg.br>.

Procedimentos:

- a) A proteína funcional oculta o efeito da proteína não funcional e o fenótipo do indivíduo é determinado por apenas um dos alelos do locus.
 b) Devido a uma menor quantidade de proteína funcional nesse indivíduo, o fenótipo é intermediário.
 c) As duas proteínas são funcionais e o indivíduo apresenta, simultaneamente, ambos os fenótipos determinados pelos dois alelos do locus.
6. Há relação de dominância e recessividade entre os alelos do gene responsável por essa característica?
 a) Sim b) Não
7. O resultado observado (cor do indivíduo) indica que a interação dos alelos é do tipo:
 a) Codominância. b) Dominância completa. c) Dominância incompleta
8. Compare o resultado do seu grupo com o encontrado pelos outros grupos. Você pode concluir que o conceito de dominância e recessividade relaciona-se 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.

Agora, com base nos seus conhecimentos, leia o desafio abaixo e responda as questões:

O gene F é responsável pela produção de uma proteína fluorescente em água-viva, que fica verde quando ela é submetida aos raios ultravioleta (UV). Utilizando técnicas de engenharia genética os cientistas conseguem inserir este gene em plantas e outros animais fazendo com que também se tomem verde-fluorescente sob a luz UV.

Uma coelha albina foi gerada, em que o gene F havia sido inserido em seu material genético, criando uma coelha transgênica. O fenótipo desta coelha sob a luz UV era verde-fluorescente. Considerando os seus conhecimentos em genética e as interações alélicas do tipo dominância completa, dominância incompleta e codominância, responda

10. Qual o fenótipo esperado da coelha após a transgênese? _____

11. Como é possível que a inserção de um gene apenas determine o fenótipo nesta coelha? _____

12. O que acontece com as células dos coelhos transgênicos para eles serem verdes? _____

13. É possível explicar esses achados pelas Leis de Mendel? Em caso afirmativo, como?

14. Por que o fenótipo fluorescente não foi passado para **todos** os filhotes? _____

Em outro cruzamento a coelha transgênica foi cruzada com uma de suas crias fluorescentes.

15. O que esperar na ninhada de 8 filhotes deste cruzamento? _____

16. Os filhotes serão albinos? _____

Serão também fluorescentes? _____

APÊNDICE IV: ROTEIRO DO PROFESSOR ADAPTADO PELA PESQUISADORA

AULA PRÁTICA DE BIOLOGIA

ROTEIRO DO PROFESSOR
DOMINÂNCIA E RECESSIVIDADE

ESCOLA _____

Biologia **3º ano - Ensino médio** **20**
Professor (a): _____ **Duração da atividade:** **2 aulas**
Conteúdo abordado: Genótipo; Fenótipo; Alelos dominantes; Alelos recessivos.

Objetivos:	Diferenciar as interações alélicas do tipo dominância completa, dominância incompleta e codominância; Correlacionar os experimentos sobre dominância e recessividade realizados durante a aula prática aos conteúdos trabalhados em aula teórica; Estimular a capacidade investigativa e produtiva dos alunos.
Conhecimentos prévios:	- Os fenômenos de transcrição e tradução; - Alguns conceitos fundamentais em Genética, como fenótipo, genótipo, dominância, recessividade, dominância completa, dominância incompleta e codominância.
Material necessário	- 2 Tintas guache (marca Acrilex) das cores branca e vermelha; - Água; - Óleo mineral ou óleo vegetal (250 ml); - Tubo de ensaio ou vidro de maionese; - Colheres (sobremesa); - 6 béqueres, ou copos, ou 6 garrafas ou 6 vidros transparentes de 250ml; - Fumil; - 6 vasilhas transparentes ou tudo de ensaio; - Lápis, Borracha, cola branca e tesoura; - 6 fichas com seqüências diferentes de bases de DNA (em anexo); - 6 tabelas com o código genético (anexo); - 6 rótulos com as seqüências diferentes de aminoácidos (em anexo).
	ATENÇÃO! É indispensável que todo o material necessário para a realização da atividade prática seja preparado previamente pelo professor. São 6 preparações diferentes (caso queira grupos menores, duplique as preparações) e, como algumas cores são semelhantes, é importante escrever antes os nomes dos alelos em cada copo:
Procedimentos:	<p>I - Relação alélica dominância completa (seqüências 1 e 2) Alelo A - No copo de 250 ml, adicione 2 colheres (sobremesa) de tinta vermelha e complete com água. Misture bem. Alelo a - Em outro copo, adicione ½ colher (sobremesa) de tinta branca e complete com água. Misture bem.</p> <p>II - Relação alélica dominância incompleta (seqüências 3 e 4) Alelo A1 - Em um copo, adicione ½ colher (sobremesa) de tinta vermelha e complete com água. Misture bem. Alelo A2 - Em outro copo, adicione 2 colheres (sobremesa) de tinta branca e complete com água. Misture bem.</p> <p>III - Relação alélica codominância (seqüências 5 e 6) Alelo B1 - Em um copo, adicione 1 colher (sobremesa) de tinta branca (ou vermelha) e complete com água. Misture bem. Alelo B2 - Em outro copo (ou diretamente na garrafa ou vidro rotulado, coloque 250 ml de óleo mineral ou vegetal).</p> <p>- Recorte os rótulos e cole em cada garrafa ou vidro e despeje o conteúdo de cada solução nos recipientes correspondentes.</p>

Procedimentos:	<ul style="list-style-type: none"> - O (a) professor (a) também deve preocupar-se com a: <ul style="list-style-type: none"> • Organização e divisão dos materiais necessários entre as bancadas (no caso do laboratório) ou as mesas (no caso da sala de aula); • Orientação aos alunos para que se reúnam em seis grupos (ideal de 5 alunos); • Distribuição, para cada aluno, do roteiro de aula prática do aluno; • Leitura e explicação do roteiro de aula prática do aluno; • Orientação sobre cada passo a ser executado durante a atividade prática; • Ajuda na execução da atividade prática, caso solicitado pelo aluno.
Instruções aos alunos:	<ul style="list-style-type: none"> - Pedir que completem, no espaço indicado nas fichas, o mRNA transcrito da sequência de bases da molécula de DNA; (notar que a fita de DNA mostrada é a molde e não a codificadora.) - Oferecer a tabela de código genético, e pedir que completem a cadeia polipeptídica traduzida da sequência no espaço indicado nas fichas; - Pedir que localizem, na bancada (ou na mesa) onde estão as 6 garrafas, as duas garrafas cujo rótulo corresponde à sequência de aminoácidos da proteína encontrada pelo grupo. Após encontrá-las, devem levá-las até a bancada (ou mesa) do grupo; - Abrir o conteúdo de cada garrafa e despejar a mesma quantidade de cada uma em uma vasilha plástica transparente. Se necessário, misturar as duas preparações; se usar tubos de ensaio para economizar o material para uso em outras turmas. - Pedir que observem o resultado e respondam o questionário.
Atividades propostas e avaliação:	<ul style="list-style-type: none"> - O questionário proposto visa ajudar o aluno a estabelecer um raciocínio prático direcionado para conclusões dedutivas, apresentando perguntas referentes a cada um dos passos desenvolvidos pelo aluno. - A Questão Desafio refere-se a aspectos que devem ser imaginados pelo aluno e seu uso é opcional, mas importante para que o aluno amplie a sua aprendizagem. - Cada aluno será avaliado por meio de um questionário que consta no roteiro de aula prática do aluno. Este questionário aborda algumas perguntas relacionadas às observações feitas pelos alunos a respeito do experimento realizado. Ao final da aula, o questionário respondido será recolhido pelo (a) professor (a). - Cada aluno também será avaliado pela participação e interesse durante a realização da atividade prática, considerando o bom comportamento, habilidade para trabalhar em grupo, interesse, cuidado na montagem do experimento e envolvimento nas discussões propostas.

Questões 9, 10 e 11:

- Qual o fenótipo esperado da coelha após a transgênese? Como é possível que a inserção de um gene apenas determine o fenótipo nesta coelha? O que acontece com as células dos coelhos transgênicos para eles serem verdes?

Resposta esperada: que o aluno fale sobre proteína funcional que gera o fenótipo.

Questões 12, 13 e 14:

Situação envolvendo outros conhecimentos.

Esta coelha transgênica foi cruzada com um coelhinho albino e teve oito filhotes. Todos eram albinos e quando colocados sob a luz UV a metade deles era verde-fluorescente.

Desafio:

- Explique porque esses resultados foram encontrados. É possível explicar esses achados pelas Leis de Mendel? Por que o fenótipo fluorescente não foi passado para todos os filhotes?

Resposta esperada: que o aluno fale de herança mendeliana. Que entenda que o fenótipo Verde se deve a um genótipo F_+ . A dificuldade aqui é o aluno entender que o genótipo tem que ser F^* onde o * significa ausência de outro alelo. E o coelho seria **. Assim, como resultado do cruzamento é $F^* \times **$, os filhotes seriam F^* , F^* , **, **. Assim, explica-se porque nem todos os filhotes são verdes.

Questões 15, 16 e 17:

- Em outro cruzamento a coelha transgênica foi cruzada com uma de suas crias fluorescentes. O que esperar na ninhada de 8 filhotes deste cruzamento? Os filhotes serão albinos? Serão também fluorescentes?

Resposta esperada: que os alunos entendam que o cruzamento será como um cruzamento entre heterozigotos $F^* \times F^*$ e que a proporção de filhotes seja aproximadamente como na Lei de Mendel: $\frac{1}{4} FF$, $\frac{2}{4} F^*$, $\frac{1}{4} **$. E os fenótipos seriam 6 verdes fluorescentes e 2 não fluorescentes.

Procedimentos:

6. Considere agora o fenótipo da espécie de planta que você recebeu e do indivíduo observado, resultante das proteínas produzidas pelos dois alelos. Você observa que:
 - a) A proteína funcional oculta o efeito da proteína não funcional e o fenótipo do indivíduo é determinado por apenas um dos alelos do locus.
 - b) Devido a uma menor quantidade de proteína funcional nesse indivíduo, o fenótipo é intermediário.
 - c) As duas proteínas são funcionais e o indivíduo apresenta, simultaneamente, ambos os fenótipos determinados pelos dois alelos do locus.
7. Há relação de dominância e recessividade entre os alelos do gene responsável por essa característica?
 - a) Sim
 - b) Não
8. O resultado observado (cor do indivíduo) indica que a interação dos alelos é do tipo:
 - a) Codominância.
 - b) Dominância completa.
 - c) Dominância incompleta
9. Compare o resultado do seu grupo com o encontrado pelos outros grupos. Você pode concluir que o conceito de dominância e recessividade relaciona-se 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.

Agora, com base nos seus conhecimentos, leia o desafio abaixo e responda as questões:

O gene F é responsável pela produção de uma proteína fluorescente em água-viva, que fica verde quando ela é submetida aos raios ultravioleta (UV). Utilizando técnicas de engenharia genética os cientistas conseguem inserir este gene em plantas e outros animais fazendo com que também se tornem verde-fluorescente sob a luz UV.

Uma coelha albina foi gerada, em que o gene F havia sido inserido em seu material genético, criando uma coelha transgênica. O fenótipo desta coelha sob a luz UV era verde-fluorescente. Considerando os seus conhecimentos em genética e as interações alélicas do tipo dominância completa, dominância incompleta e codominância, responda

Desafio

10. Qual o fenótipo esperado da coelha após a transgênese? _____
11. Como é possível que a inserção de um gene apenas determine o fenótipo nesta coelha? _____

12. O que acontece com as células dos coelhos transgênicos para eles serem verdes? _____

Esta coelha transgênica foi cruzada com um coelhinho albino e teve oito filhotes. Todos eram albinos e quando colocados sob a luz UV a metade deles era verde-fluorescente.

13. Explique porque esses resultados foram encontrados. _____

14. É possível explicar esses achados pelas Leis de Mendel? Em caso afirmativo, como? _____

15. Por que o fenótipo fluorescente não foi passado para **todos** os filhotes? _____

Em outro cruzamento a coelha transgênica foi cruzada com uma de suas crias fluorescentes.

16. O que esperar na ninhada de 8 filhotes deste cruzamento? _____

17. Os filhotes serão albinos? _____
Serão também fluorescentes? _____

ANEXO I: PRÁTICA DAS CORES

PRÁTICA DAS CORES - DOMINÂNCIA E RECESSIVIDADE

Temas abordados:

- Transcrição e Tradução - Interações Alélicas - Bioquímica da Dominância e da Recessividade

Introdução

O ensino de Genética constitui um grande desafio, especialmente para estudantes do ensino médio, de forma que o vasto número de conceitos relacionados à área é, muitas vezes, de difícil assimilação pelos alunos. A complexidade dos conteúdos de Genética também contribui para que muitos professores demonstrem dificuldade em compreender e mediar a aprendizagem dos temas, inviabilizando, desse modo, um desenvolvimento contextualizado dos alunos.

Propomos, portanto, uma atividade prática inovadora, interativa, lúdica, de baixo custo e de fácil preparação e aplicação, visando a facilitar a compreensão dos alunos do ensino médio acerca dos conceitos de dominância e recessividade, a partir da abordagem de conteúdos relacionados a conceitos básicos em Genética, como a transcrição gênica, a tradução e as interações alélicas (dominância completa, dominância incompleta e codominância).

Objetivos

- ✓ Integrar e aprofundar os conhecimentos de Genética Básica trabalhados em sala de aula, por meio de atividades que abordam desde a base molecular da dominância e recessividade até o seu efeito fenotípico;
- ✓ Diferenciar as interações alélicas do tipo dominância completa, dominância incompleta e codominância, por meio da utilização de simples preparações, incluindo as com tintas guache;
- ✓ Estimular a capacidade investigativa e produtiva dos alunos.

Observações:

A atividade é recomendada para turmas do 3º ano do ensino médio que já tenham trabalhado diversos conceitos de Genética, como os fenômenos de transcrição e tradução,

fenótipo, genótipo, dominância, recessividade e interações alélicas (dominância completa, dominância incompleta e codominância). A atividade pode ser realizada na própria sala de aula ou em um laboratório, e os roteiros para a realização da aula prática encontram-se disponíveis no anexo II.

Desenvolvido por Ariadne Dias Caldas Lopes, Hanaísa de Plá e Sant'Anna e Zélia Barbosa de Almeida. Colaboração de Ana Carolina Mota.

Materiais Necessários

- ✓ Pote de tinta guache das cores branca e vermelha (2 cada)
- ✓ Água 800 mL
- ✓ Óleo de cozinha ou óleo mineral colorido 150 mL
- ✓ 3 copos plásticos ou de vidro 3
- ✓ 3 Vasilhas plásticas transparentes (tamanho M)
- ✓ 3 Colheres (sobremesa)
- ✓ 6 garrafas transparentes tipo Pitchulinha vazia
- ✓ 1 funil
- ✓ 6 rótulos
- ✓ Cola branca
- ✓ 6 fichas com sequências de bases nitrogenadas
- ✓ 3 tabelas de códons
- ✓ 1 roteiro de aula prática do professor
- ✓ 3 roteiros de aula prática do aluno 3
- ✓ Tesoura

Fase 1 - Atividade prática - preparação

É indispensável que todo o material necessário para a realização da atividade prática seja previamente preparado pelo (a) professor (a) / aplicador (a).

O **roteiro do professor** encontra-se disponível para visualização no anexo II.

Os **rótulos** contendo diferentes sequências de aminoácidos encontram-se disponíveis para visualização no anexo III.

Fase 2 - Atividade prática - início

1. Orientar os alunos para que se reúnam em três grupos de, no máximo, 5 alunos;

2. Organizar os materiais necessários nas bancadas (no caso do laboratório) ou nas mesas (no caso da sala de aula);
3. Distribuir, para cada aluno, o **roteiro de aula prática do aluno**;
4. Fazer a leitura, juntamente com os alunos, do **roteiro de aula prática do aluno**;
5. Orientar os alunos a respeito de cada passo a ser executado durante a atividade prática;
6. Auxiliar na execução da atividade prática, caso solicitado pelo aluno.

O **roteiro do aluno** encontra-se disponível para visualização no anexo II.

Fase 3 - Atividade prática - etapa 1

Cada grupo deve completar, no espaço indicado nas duas fichas que recebeu, o mRNA transcrito da sequência de bases da molécula de DNA.

As **fichas** encontram-se disponíveis para visualização no anexo IV.

Fase 4 - Atividade prática - etapa 2

Com o auxílio da tabela com os códons de mRNA, cada grupo deve completar, no espaço indicado em cada uma das fichas, a cadeia polipeptídica traduzida da sequência.

A **tabela de códons** encontra-se disponível para visualização no anexo V.

Fase 5 - Atividade prática - etapa 3

Cada grupo deve procurar, na bancada (ou na mesa) onde estão distribuídas as 6 garrafas, pelas duas garrafas cujos rótulos correspondem às sequências de aminoácidos das proteínas encontradas pelo grupo. Após localizar as duas garrafas, levá-las até a bancada (ou mesa) do grupo.

Fase 6 - Atividade prática - fim

O grupo deve abrir o conteúdo de cada garrafa e despejá-lo em uma vasilha plástica transparente. Se necessário, misturar as duas preparações, utilizando a colher. Por fim, o grupo deve observar o resultado final e responder o questionário proposto no roteiro de aula prática do aluno.

O **roteiro do professor** e o **roteiro do aluno** encontram-se disponíveis para visualização no anexo II.

ANEXOII: ROTEIROS DO ALUNO E DO PROFESSOR

AULA PRÁTICA DE BIOLOGIA - Dominância e recessividade - ROTEIRO DO PROFESSOR

Cabeçalho

Escola: _____		
Professor(as): _____		
Duração da atividade: <u> 1 </u> hora/aula		
<input type="checkbox"/> Ensino Fundamental	<input checked="" type="checkbox"/> Ensino Médio	Série: 3º ano
Conteúdo abordado: Genótipo; Fenótipo; Alelos dominantes; Alelos recessivos.		

Objetivos

- Diferenciar as interações alélicas do tipo dominância completa, dominância incompleta e codominância;
- Correlacionar os experimentos sobre dominância e recessividade realizados em aula prática aos conteúdos trabalhados em aula teórica;
- Estimular a capacidade investigativa e produtiva dos alunos.

Conhecimentos prévios

- Os fenômenos de transcrição e tradução;
- Alguns conceitos fundamentais em Genética, como fenótipo, genótipo, dominância, recessividade, dominância completa, dominância incompleta e codominância.

Material necessário

- Tinta guache das cores branca e vermelha;
- Água;
- Óleo de cozinha;
- Copos plásticos ou de vidro;
- 3 vasilhas plásticas transparentes;
- Colheres (sobremesa);
- 6 garrafas (tipo Pitchulinha) vazias;
- Funil;
- 6 fichas contendo, cada uma, uma sequência diferente de bases nitrogenadas da molécula de DNA;
- 6 rótulos contendo, cada um, uma sequência de aminoácidos da proteína correspondente a uma das 6 sequências de bases nitrogenadas da molécula de DNA;
- 3 tabelas com os códons de mRNA e os aminoácidos correspondentes;
- Folhas A4;
- Lápis;
- Borrachas;
- Cola branca.

Procedimentos

Atenção! É indispensável que todo o material necessário para a realização da atividade prática seja preparado previamente.

- É importante que o (a) professor (a) providencie 6 preparações:

Parte I

- Em um copo, adicione 2 colheres (sobremesa) de tinta vermelha e complete com água. Misture bem.
- Em outro copo, adicione ½ colher (sobremesa) de tinta branca e complete com água. Misture bem.

Parte II

- Em um copo, adicione 2 colheres (sobremesa) de tinta branca e complete com água. Misture bem.
- Em outro copo, adicione ½ colher (sobremesa) de tinta vermelha e complete com água. Misture bem.

Parte III

- a) Em um copo, adicione 1 colher (sobremesa) de tinta branca e complete com água. Misture bem.
- b) Em outro copo, coloque ½ copo de óleo de cozinha.
- Cada dupla de garrafas corresponderá a uma característica diferente, sendo elas: "Dominância Completa", "Dominância Incompleta" e "Codominância";
 - Cada sequência de bases nitrogenadas da molécula de DNA corresponderá a um alelo específico de uma das características;
 - Elabore 6 rótulos, cada um contendo a sequência de aminoácidos da proteína correspondente a uma das 6 sequências de bases da molécula de DNA;
 - Cada garrafa conterá uma preparação diferente, considerando as seguintes especificações para a rotulagem:
 - A garrafa cujo rótulo corresponde à sequência que representa a proteína do alelo "A" conterá a preparação com tinta vermelha, e a que representa a sequência da proteína do alelo "a" conterá a preparação com a tinta branca;
 - A garrafa cujo rótulo corresponde à sequência que representa a proteína do alelo "A₁" conterá a segunda preparação com tinta vermelha, e a que representa a sequência da proteína do alelo "A₂" conterá a segunda preparação com a tinta branca;
 - A garrafa cujo rótulo corresponde à sequência que representa a proteína do alelo "B₁" conterá a terceira preparação com tinta branca, e a que representa a sequência da proteína do alelo "B₂" conterá a preparação com óleo de cozinha.
 - O (a) professor (a) também deve preocupar-se com a:
 - Organização e divisão dos materiais necessários entre as bancadas (no caso do laboratório) ou as mesas (no caso da sala de aula);
 - Orientação aos alunos para que se reúnam em três grupos de no máximo 5 alunos;
 - Distribuição, para cada aluno, do roteiro de aula prática do aluno;
 - Leitura e explicação do roteiro de aula prática do aluno;
 - Orientação sobre cada passo a ser executado durante a atividade prática;
 - Ajuda na execução da atividade prática, caso solicitado pelo aluno.

Instruções aos alunos

- Completar, no espaço indicado nas fichas, o mRNA transcrito da sequência de bases da molécula de DNA;
- Com o auxílio da tabela de códons, completar a cadeia polipeptídica traduzida da sequência no espaço indicado nas fichas;
- Procurar, na bancada (ou mesa) onde estão as 6 garrafas, pelas duas garrafas cujo rótulo corresponde à sequência de aminoácidos da proteína encontrada pelo grupo. Após encontrá-las, levá-las para a bancada do grupo;
- Abrir o conteúdo de cada garrafa e despejá-los em uma vasilha plástica transparente. Se necessário, misturar as duas preparações;
- Observar o resultado e responder ao questionário proposto.

Atividades propostas

O questionário proposto visa a ajudar o aluno a estabelecer um raciocínio prático direcionado para conclusões dedutivas, apresentando perguntas referentes a cada um dos passos desenvolvidos pelo aluno. A Questão Desafio refere-se a aspectos que devem ser imaginados pelo aluno e seu uso é opcional, mas importante para que o aluno amplie a sua aprendizagem.

Avaliação

- Cada aluno será avaliado por meio de um questionário que consta no roteiro de aula prática do aluno. Este questionário aborda algumas perguntas relacionadas às observações feitas pelos alunos a respeito do experimento realizado. Ao final da aula, o questionário respondido será recolhido pelo (a) professor (a).
- Cada aluno também será avaliado pela participação e interesse durante a realização da atividade prática, considerando o bom comportamento, habilidade para trabalhar em grupo, interesse, cuidado na montagem do experimento e envolvimento nas discussões propostas.

AULA PRÁTICA DE BIOLOGIA
- Dominância e recessividade -
 ROTEIRO DO ALUNO

Cabeçalho

Escola: _____		
Alunos(as): _____		
<input type="checkbox"/> Ensino Fundamental	<input checked="" type="checkbox"/> Ensino Médio	Série: 3º ano
Conteúdo abordado: Genótipo; Fenótipo; Alelos dominantes; Alelos recessivos.		

Preste atenção às instruções do professor e siga o seu roteiro.

Objetivos

- Diferenciar as interações alélicas do tipo dominância completa, dominância incompleta e codominância;
- Correlacionar os experimentos sobre dominância e recessividade realizados durante a aula prática aos conteúdos trabalhados em aula teórica;
- Estimular a capacidade investigativa e produtiva dos alunos.

Material necessário

- 2 fichas contendo, cada uma, uma sequência diferente de bases nitrogenadas da molécula de DNA, representando, neste caso, um cromossomo proveniente da mãe e outro do pai;
- 1 tabela de códons;
- Lápis;
- Borracha;
- Garrafas com rotulagem específica e contendo, cada uma, uma preparação diferente;
- 1 vasilha plástica transparente;
- 1 colher (sobremesa).

Procedimentos

Observando a sequência de DNA de cada um dos cromossomos, verifica-se que as duas sequências são **diferentes**. Portanto, podemos inferir que o indivíduo seja **heterozigoto**.

- Complete, no espaço indicado em cada uma das fichas, o mRNA transcrito da sequência de bases da molécula de DNA;
- Com o auxílio da tabela de códons, complete no espaço indicado em cada uma das fichas a cadeia polipeptídica traduzida da sequência. Responda as questões abaixo.

Questão 2
Os dois alelos foram transcritos?

a) Sim
b) Não

Questão 3
Os dois alelos foram traduzidos?

a) Sim
b) Não

- Procure, na bancada (ou mesa) onde estão as 6 garrafas, pelas duas garrafas cujo rótulo corresponde à sequência de aminoácidos da proteína encontrada pelo seu grupo. Após encontrá-las, leve-as para a bancada (ou mesa) do seu grupo. Diferencie as garrafas, numerando-as. Observe as cores dos líquidos presentes em cada garrafa e responda:

Questão 4

- a) Qual a cor do líquido que está no interior da garrafa? _____
- b) A proteína é funcional ou não funcional? _____

- Em seguida, abra cada garrafa e despeje seu conteúdo em uma vasilha plástica transparente. Com o auxílio de uma colher, misture as duas preparações;
- Observe o resultado. Responda as questões 5, 6, 7 e 8.

Atividades propostas**Questão 5**

Considere apenas o fenótipo do indivíduo observado, resultante das proteínas produzidas pelos dois alelos. Você observa que:

- a) a proteína funcional oculta o efeito da proteína não funcional e o fenótipo do indivíduo é determinado por apenas um dos alelos no locus.
- b) devido a uma menor quantidade de proteína funcional nesse indivíduo, o fenótipo é intermediário.
- c) as duas proteínas são funcionais e o indivíduo apresenta, simultaneamente, ambos os fenótipos determinados pelos dois alelos no locus.

Questão 6

Há, portanto, relação de dominância e recessividade entre os alelos do gene responsável por essa característica?

- a) Sim.
- b) Não.

Questão 6

Há, portanto, relação de dominância e recessividade entre os alelos do gene responsável por essa característica?

- a) Sim.
- b) Não.

Questão 7

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

- a) codominância.
- b) dominância completa.
- c) dominância incompleta.

Questão 8

Compare o resultado do seu grupo com o encontrado pelos outros grupos. O conceito de dominância e recessividade relaciona-se 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.

Desenvolvido por Ariadne Dias Caldas Lopes, Hanaísa de Plá e Sant'Anna e Zélia Barbosa de Almeida. Colaboração de Ana Carolina Mota.

ANEXO III: RÓTULOS CONTENDO DIFERENTES SEQUÊNCIAS DE AMINOÁCIDOS

Met-Met-Gly-Ala-Ile-Arg

Proteína Funcional

Alelo A

Met-Met-Ser-Ala-Ile-Arg

Proteína Não - Funcional

Alelo a

Met-Arg-Phe-Thr

Proteína Funcional

Alelo A1

Met-Arg-Ile-Thr

Proteína Não - Funcional

Alelo A2

Met-Val-Thr-Val-Ala

Proteína Funcional

Alelo B1

Met-Val-Ser-Val-Ala

Proteína Funcional

Alelo B2

ANEXO IV: FICHAS CONTENDO UM FRAGMENTO DE DNA DOS CROMOSSOMOS MATERNOS E PATERNOS.

1

Fragmento de DNA do cromossomo paterno

→

DNA Fita Molde **TTACTACCCACGTTAGTCCATT**

mRNA _____

Proteína _____

2

Fragmento de DNA do cromossomo materno

→

DNA Fita Molde **TTACTACTCACGTTAGTCCATT**

mRNA _____

Proteína _____

3

Fragmento de DNA do cromossomo paterno

→

DNA Fita Molde **ATTACGCGAAGTGCCTATT**

mRNA _____

Proteína _____

4

Fragmento de DNA do cromossomo materno

DNA Fita
Molde → **ATTACGCGTAGTGCACTATT**

mRNA _____

Proteína _____

5

Fragmento de DNA do cromossomo paterno

DNA Fita
Molde → **ATACCACTGACACCGCATCTAG**

mRNA _____

Proteína _____

6

Fragmento de DNA do cromossomo materno

DNA Fita
Molde → **ATACCACAGACACCGCATCTAG**

mRNA _____

Proteína _____

ANEXO V: TABELA DE CÓDONS

TABELA DE CÓDONS

		Segunda base									
		U		C		A		G			
		código	aminoácido	código	aminoácido	código	aminoácido	código	aminoácido		
Primeira base	U	UUU	phe	UCU	ser	UAU	tyr	UGU	cys	U	
		UUC		UCC			UAC		UGC		C
		UUA	leu	UCA			UAA	STOP	UGA	STOP	A
	UUG	UCG			UAG	STOP	UGG	trp	G		
	C	CUU	leu	CCU	pro	CAU	his	CGU	arg	U	
		CUC		CCC		CAC		CGC		C	
		CUA		CCA		CAA	CGA	A			
		CUG		CCG		CAG	CGG	G			
	A	AUU	ile	ACU	thr	AAU	asn	AGU	ser	U	
		AUC		ACC		AAC		AGC		C	
		AUA		ACA		AAA	lys	AGA		arg	A
		AUG		ACG		AAG		AGG			G
G	GUU	val	GCU	ala	GAU	asp	GGU	gly	U		
	GUC		GCC		GAC		GGC		C		
	GUA		GCA		GAA	glu	GGA		A		
	GUG		GCG		GAG		GGG			G	

Legenda

- ala = alanina
- arg = arginina
- asn = asparagina
- asp = ácido aspártico
- cys = cisteína
- glu = ácido glutâmico
- gln = glutamina
- gly = glicina
- his = histidina
- ile = isoleucina
- leu = leucina
- lys = lisina
- met = metionina
- phe = fenilalanina
- pro = prolina
- ser = serina
- thr = treonina
- try = triptofano
- tyr = tirosina
- val = valina