

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO PARA A CIÊNCIA**

BEATRIZ CESHIM

**ARTICULAÇÃO ENTRE GENÉTICA DE TRANSMISSÃO E GENÉTICA
MOLECULAR NA DOMINÂNCIA COMPLETA: UM ESTUDO COM
PROFESSORES EM FORMAÇÃO**

**BAURU
2022**

Beatriz Ceschim

**ARTICULAÇÃO ENTRE GENÉTICA DE TRANSMISSÃO E GENÉTICA
MOLECULAR NA DOMINÂNCIA COMPLETA: Um estudo com professores em
formação**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência, área de concentração em Ensino de Ciências, da Faculdade de Ciências da Unesp / Campus de Bauru, como requisito à obtenção do título de Doutora em Educação para a Ciência, sob a orientação da Profa. Dra. Ana Maria de Andrade Caldeira.

Bauru
2022

Ceschim, Beatriz

Articulação entre genética de transmissão e genética molecular na dominância completa: Um estudo com professores em formação/ Beatriz Ceschim, 2022.

197 f. il.

Orientadora: Ana Maria de Andrade Caldeira

Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências, Bauru, 2022.

1. Ensino de genética. 2. Recessividade. 3. Dominante. 4. Recessivo. 5. Mendel. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências. II. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA TESE DE DOUTORADO DE BEATRIZ CESHIM, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO PARA A CIÊNCIA, DA FACULDADE DE CIÊNCIAS - CAMPUS DE BAURU.

Aos 24 dias do mês de março do ano de 2022, às 09:00 horas, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de TESE DE DOUTORADO de BEATRIZ CESHIM, intitulada **Articulação entre Genética de Transmissão e Genética Molecular na Dominância Completa: um estudo com professores em formação**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Profa. Dra. ANA MARIA DE ANDRADE CALDEIRA (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Departamento de Educação / Unesp - Faculdade de Ciências (Campus de Bauru), Professor Doutor ALDO MELLENDER DE ARAÚJO (Participação Virtual) do(a) Departamento de Genética / UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, Profa. Dra. LILIAN AL-CHUEYR PEREIRA MARTINS (Participação Virtual) do(a) Departamento de Biologia / Universidade de São Paulo - USP, Prof. Dr. JOAO JOSE CALUZI (Participação Virtual) do(a) Departamento de Física / Faculdade de Ciências - UNESP/Bauru, Prof. Dr. OSMAR CAVASSAN (Participação Virtual) do(a) Departamento de Ciências Biológicas / UNESP/Bauru. Após a exposição pela doutoranda e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, a discente recebeu conceito final Aprovada. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.


Profa. Dra. ANA MARIA DE ANDRADE CALDEIRA

Beatriz Ceschim

Articulação entre genética de transmissão e genética molecular na dominância completa: Um estudo com professores em formação

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência, área de concentração em Ensino de Ciências, da Faculdade de Ciências da Unesp / Campus de Bauru, como requisito à obtenção do título de Doutora em Educação para a Ciência, sob a orientação da Profa. Dra. Ana Maria de Andrade Caldeira.

Banca Examinadora

Profa. Dra. Ana Maria de Andrade Caldeira
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” UNESP – Bauru – SP

Prof. Dr. Aldo Mellender de Araújo
Universidade Federal do Rio Grande Do Sul UFRGS - RS

Prof. Dr. João José Caluzi
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” UNESP – Bauru – SP

Lilian Al-Chueyr Pereira Martins
Universidade de São Paulo (USP) – Ribeirão Preto – SP

Osmar Cavassan
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” UNESP – Bauru – SP

Bauru, 24 de março de 2022

Para Márcia Lopes Reis

Obrigada por estar presente sempre, por nunca desistir e por me segurar tão forte quando eu mais precisei. A senhora é um anjo na minha história.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha orientadora Ana Caldeira, que além de compartilhar de sua inteligência, também compartilha de sua sabedoria durante nossos encontros. Sempre disponível, solícita, compreensiva e participativa em um equilíbrio que permite tanto o agir de mãos dadas quanto o agir autônomo. Minha inspiração desde a graduação, ensina habilidades para fazer pesquisa e atitudes para ser pesquisadora. Obrigada por acreditar em mim e por permitir que o legado do Grupo de Pesquisa em Epistemologia da Biologia fosse encaminhado para nossas investigações.

Agradeço a Matheus Ganiko Dutra, cujo cérebro brilhante e coração empático me conduziram a *insights*, perguntas, respostas, produtividade e sobretudo a muito prazer por estar concretizando investigações. Tanto no Grupo de Pesquisa em Epistemologia da Biologia, como em nossas reuniões frequentes, nossos raciocínios puderam seguir livres por caminhos desconhecidos, estonteantes e inspiradores. Obrigada por ser o melhor parceiro da vida acadêmica e por ter me ajudado na coleta de dados e na organização das ideias. Você foi essencial e justifica o uso do plural quando escrevo os verbos das ações dessa pesquisa.

Agradeço ao Professor Tom (Antônio Suárez Abreu) da Unesp de Araraquara, que me permitiu desfrutar da linguística cognitiva durante a elaboração de meu referencial teórico e que me orientou para encontrar autores e temáticas específicas para as minhas necessidades teóricas.

Agradeço à Tatiana Hochgreb-Haegele, por ser tão solícita e criativa para me dar sugestões e indicações, tanto para o referencial teórico, como para a metodologia da pesquisa.

Agradeço aos membros da banca, Prof. Aldo Mellender de Araújo e Prof. João José Caluzi pela leitura precisa e pelas contribuições científicas tanto na qualificação como na defesa. Agradeço ainda aos demais membros da banca de defesa, Profa. Lilian Al-Chueyr Pereira Martins e Prof. Osmar Cavassan pela leitura e por me indicarem caminhos que eu não enxergaria sem a ajuda de vocês. Destaco também o modo afável como as sugestões me foram indicadas.

Pelo suporte, afeição e motivação que foram dedicadas de forma incessante e que me fizeram ter forças para vencer os desafios enfrentadas durante o período de elaboração da tese, agradeço com muito carinho à Vera Parice.

Por ser um exemplo de conduta, pelo afeto em forma dedicação, conselhos, flexibilidade e muita presença para me apoiar, agradeço Vinicius Longue.

Por estarem comigo de mãos dadas diante dos obstáculos mais difíceis dessa trajetória, agradeço meus amigos João Vitor Dias, Bianca Hernandez, Giovana Copi, Danúbia Oliveira, Vinicius Fernandes, Victor Teixeira, Lina Barreira, Flávia Costa, Marisa Conceição, Júlia Chiti e aos meus pais, Teresa e Oreste. Vocês foram minha luz nos momentos mais importantes.

Pelo brilho nos olhos ao falar de Biologia e pela assiduidade, agradeço a participação dos graduandos participantes da pesquisa, que por sua avidez de saber e por sua empolgação, nos inspiravam para preparar cuidadosamente os encontros do Grupo de Pesquisa em Epistemologia da Biologia.

A produção da presente tese foi o processo mais difícil pelo qual eu já passei. Não só pelo desafio acadêmico envolvido, mas porque adoeci gravemente. Em muitos momentos, a conclusão exitosa não parecia possível. Eu precisei, de fato, de muita ajuda. Reitero a minha gratidão.

Agradeço ao financiamento concedido pela CAPES, que deu suporte de forma determinante à minha dedicação para a elaboração desta tese, incluindo meios para que fosse possível viabilizar meu tratamento médico.

“As palavras e as frases que usamos e a complexa rede de relacionamentos entre seus usos são os óculos através dos quais vemos a nós mesmos e vemos o mundo. Se as lentes estão sujas e obscurecem a visão, se for muito fácil confundir reflexos na lente com coisas vistas, se a curvatura das lentes conduz a certas distorções, então é imperativo prestar atenção aos óculos com os quais vemos o mundo”.

(Peter Michael Stephan Hacker)

CESCHIM, Beatriz. **Articulação entre genética de transmissão e genética molecular na dominância completa: Um estudo com professores em formação**. 2022. 000f. Tese (Doutorado em Educação para a Ciência) – UNESP, Faculdade de Ciências, Bauru, 2022.

RESUMO

O objetivo desse trabalho foi determinar como o discurso didático referente à dominância/recessividade articula genética de transmissão, genética molecular e fisiologia e inferir como a linguagem está relacionada com a causa de distorções conceituais. Os participantes da pesquisa foram graduandos do curso de Ciências Biológicas, que responderam a dois tipos de questionários – perguntas discursivas (n=101) e avaliação de assertivas com escala Likert (n=23) – e participaram de uma discussão em grupo (n=23) cujo áudio foi gravado e transcrito. Além do discurso de graduandos, também foi objeto de investigação o discurso de livros didáticos de Biologia (n=10) distribuídos pelo Programa Nacional do Livro Didático de 2018. Quanto aos graduandos, foi possível apontar que explicações referentes à biologia molecular e à fisiologia subjacente ao fenômeno da dominância indicam distorções conceituais. As hipóteses que os participantes apontaram como explicação estavam equivocadas ou consistiam em afirmações genéricas ou superficiais. No que se refere aos livros didáticos, identificamos uma heterogeneidade quanto à presença/ausência de explicações moleculares e fisiológicas que eles associam ao fenômeno da dominância. Alguns atribuem explicação e exemplificam, outros não. Tanto os livros didáticos como as frases de participantes indicaram que a linguagem que organiza o pensamento referente à dominância completa pode funcionar como fonte de incompreensões.

Palavras-chave: ensino de genética, recessividade, dominante, recessivo, Mendel.

ABSTRACT

Transmission genetics and molecular genetics in complete dominance: A study with training teachers

The objective was to determine how the didactic discourse referring to dominance/recessivity articulates transmission genetics, molecular genetics and physiology and to infer how language is related to the cause of conceptual distortions. The participants were undergraduates of the Biological Sciences course, who answered two types of questionnaires – discursive questions (n=101) and assessment of assertions with a Likert scale (n=23) – and participated in a group discussion (n= 23) whose audio was recorded and transcribed. In addition to the undergraduate students' discourse, the discourse of Biology textbooks (n=10) distributed by the National Textbook Program was also investigated. The phenomenon of dominance indicates conceptual distortions. The hypotheses that the participants pointed out as an explanation were wrong or consisted of generic or superficial statements. About textbooks, we identified a heterogeneity regarding the presence/absence of molecular and physiological explanations that they associate with the phenomenon of dominance. Some give explanation and exemplify, others do not. Both textbooks and participants' sentences indicated that the language that organizes thinking regarding complete dominance can work as a source of misunderstandings.

Keywords: teaching genetics, recessivity, dominant, recessive, Mendel.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Níveis de representação (adaptado de EVANS; GREEN, 2006, p. 7). 48.

Figura 2. Representação de dois alelos, destaques de um par de cromossomos homólogos. Cada um deles apresenta uma sequência nucleotídica própria, que resulta na produção de diferentes fenótipos referentes à cor da flor da planta de ervilha. 56.

Figura 3. Camadas da epiderme: estrato basal, estrato espinhoso, estrato granuloso, estrato lúcido e estrato córneo. Observe que os melanócitos são ancorados no estrato basal e projetam seus dendritos no estrato espinhoso. Estratos lúcido e córneo possuem queratinócitos mortos com intensa deposição de queratina. 76.

Figura 4. Genealogia que representa a produção de descendentes com pigmentação normal pelo cruzamento de genitores albinos (indicados em coloração escura). 78.

Figura 5. Quatro membros da família estudada por Trevor-Roper (1952): pais albinos e filhos com pigmentação normal. 78.

Figura 6. Olhos de um paciente com albinismo oculocutâneo tipo AOC1A. Há coloração avermelhada devido à propriedade translúcida da íris. 79.

Figura 7. Albinismo oculocutâneo sensível à temperatura (AOC1TS). O indivíduo exibe pelos brancos nas axilas (região mais quente) e pelo escuro nos antebraços. 80.

Figura 8. Gráfico que contrasta a proporção dos conjuntos de respostas para a Questão 1 “Transcrição e síntese proteica estão antes do conteúdo de genética de transmissão?”. 103.

Figura 9. Gráfico que contrasta as proporções dos conjuntos de respostas para a Questão 1 “Alelo foi explicado em termos de diferenças de bases nitrogenadas em cada versão do gene de cromossomos homólogos de organismos diploides?”. 104.

Figura 10. Gráfico que agrupa conjuntos de respostas para a Questão 3 “A Fisiologia da dominância foi citada?”. 105.

Figura 11. Gráfico que agrupa conjuntos de respostas para a Questão 5 “Foi fornecido um exemplo fisiológico de dominância?”. 106.

Figura 12. Gráfico que agrupa conjuntos de respostas para a Questão 7 ‘O verbo “expressar” foi utilizado para tratar da relação genótipo-fenótipo?’. 107.

Figura 13. Gráfico que agrupa conjuntos de respostas para a Questão 9 “Explica fisiologicamente Dominância Incompleta e Codominância?”. 108.

Figura 14. Gráfico que agrupa conjuntos de respostas para a Questão 10 “Aponta que dominância não tem relação com a proporção na população?”. 109.

Figura 15. Gráfico que indica as porcentagens de cada subcategoria (Subcategoria 1.1, Subcategoria 1.2 e Subcategoria 1.3) da Categoria 1 de respostas à Questão 1. 113.

Figura 16. Gráfico que indica as porcentagens de cada subcategoria (Subcategoria 1.1, Subcategoria 1.2 e Subcategoria 1.3) da Categoria 2 de respostas obtidas à Questão 1. 115.

Figura 17. Gráfico das frequências de respostas de cada categoria referente à Pergunta 1. As categorias são 1.1 Presença do alelo dominante; 1.2 Haplosuficiência; 1.3 Dominância do alelo; 2.1 Ação metafórica do alelo/gene dominante (sic!) sobre o alelo/gene recessivo (sic!); 2. 2 Alteração na produção de proteínas/RNA; 2.3 Alteração na quantidade de produção de proteínas/RNA. 116.

Figura 18. “Nuvem de palavras” que representa a frequência do uso de cada termo metafórico nas respostas da categoria 2.1 de respostas à Questão 2. 118.

Figura 19. Gráfico das frequências de respostas de cada categoria referente à Pergunta 2. As categorias são: 1 Argumentos restritos à genética de transmissão; 2.1 Ação metafórica do alelo/gene dominante (sic!) sobre o alelo/gene recessivo (sic!); 2. 2 Alteração na produção de proteínas/RNA; 2.3 Alteração na quantidade de produção de proteínas/RNA; 3 Maior ocorrência/frequência na população; 4 Dominante é mais forte e o recessivo é o mais fraco; 5 O fenótipo resulta das interações com a influência do meio; 6 Não respondeu; 7 Não sabe. 122.

Figura 20. Gráfico de respostas obtidas para a assertiva 1 “Se uma característica é recessiva significa que o alelo responsável por seu fenótipo não é expresso”. 123.

Figura 21. Gráfico de respostas obtidas para a assertiva 2 “Uma característica recessiva não é expressa no fenótipo porque é constituída por DNA não codificante”. 124.

Figura 22. Gráfico de respostas obtidas para a assertiva 3 “Se uma característica é dominante, significa que ocorre inibição do alelo recessivo”. 124.

Figura 23. Gráfico de respostas obtidas para a assertiva 4 “Uma característica dominante manifesta-se no fenótipo porque o alelo dominante causa a inibição do alelo recessivo”. 125.

Figura 24. Gráfico de respostas obtidas para a assertiva 5 “Se uma característica é recessiva significa que o alelo responsável por seu fenótipo não codificou uma síntese proteica”. 125.

Figura 25. Gráfico de respostas obtidas para a assertiva 6 “Uma característica é considerada recessiva quando não há produção de proteínas pelo alelo recessivo”. 126.

Figura 26. Gráfico de respostas obtidas para a assertiva 7 “Uma característica é dominante em razão das interações entre o alelo dominante e o recessivo”. 123.

Figura 27. Gráfico de respostas obtidas para a assertiva 8 “Se uma característica é dominante significa que somente o alelo responsável por seu fenótipo é expresso”. 127.

Figura 28. Gráfico de respostas obtidas para a assertiva 9 “A causa da expressão de um fenótipo dominante é a mesma em um heterozigoto (Aa) e em um homozigoto dominante (AA), pois o alelo A é o único funcional em ambos os casos”. 128.

Figura 29. Gráfico de respostas obtidas para a assertiva 10 “Um casal constituído por dois indivíduos albinos só pode produzir descendentes albinos”. 129.

Figura 30. Gráfico de respostas obtidas para a assertiva 11 “Considere que o albinismo é codificado pelo alelo ‘a’. O alelo “a” causa o albinismo porque este alelo não codifica nenhuma proteína.”. 130.

Figura 31. Gráfico de respostas obtidas para a assertiva 12 “A dominância incompleta é diferente da dominância completa porque somente na incompleta ocorre produção de proteínas a partir de ambos os alelos. Exemplo de dominância incompleta: flor maravilha que tem indivíduo homozigoto branco e homozigoto vermelho. O indivíduo heterozigoto tem flor rosa.”. 130.

Figura 32. Gráfico do somatório de pontos de assertivas. As assertivas de 1 a 13 (eixo X) tiveram as alternativas assinaladas e somadas, resultando em um somatório (eixo Y). 131.

Figura 33. Gráfico de respostas obtidas para a assertiva 13 “A codominância é diferente da dominância completa porque somente na codominância se verifica a produção de proteínas a partir de ambos os alelos. Exemplo de codominância: gado que tem indivíduo homozigoto branco e homozigoto castanho avermelhado. O indivíduo heterozigoto é malhado de branco e castanho avermelhado.”. 132.

Figura 34. Gráfico da pontuação individual dos 23 participantes (eixo X) dada pelo somatório dos pontos (eixo Y) de cada uma das 13 assertivas avaliadas. 132.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Uma visão da prática profissional docente no que diz respeito aos conhecimentos a que constituem (baseado em DARLING-HAMMOND; BRANSFORD, 2005). 29.

Quadro 2. Categorias do conhecimento pedagógico do conteúdo adaptadas a partir da proposta de Ball, Thames e Phelps (2008) com as respectivas abreviações e comparadas às categorias de Anastasiou (2003). 35.

Quadro 3. Informações do conjunto dos livros que compõem a coleção selecionada para o PNLD 2018-2020 (ver BRASIL, 2018). 89.

Quadro 4. Lista de perguntas que foram utilizadas para a exploração dos livros didáticos com o objetivo de investigar se articulavam genética de transmissão e genética molecular no que diz respeito ao fenômeno da dominância. 90.

Quadro 5. Categorias de respostas obtidas pelos questionários de perguntas discursivas referentes à dominância completa. 97.

Quadro 6. Categorias de respostas para a Pergunta 2 do questionário discursivo. 99.

Quadro 7. Assertivas utilizadas para a coleta de dados. 102.

Quadro 8. Referências do conjunto de livros e respectivos números atribuídos para a designação de cada um. 98.

Quadro 9. Relação de livros e respectivas respostas para a Questão 1. 103.

Quadro 10. Relação de livros e respectivas respostas para a Questão 2. 104.

Quadro 11. Relação de livros e respectivas respostas para a Questão 3. 105.

Quadro 12. Relação de livros e respectivas respostas para a Questão 5. 106.

Quadro 13. Relação de livros e respectivas respostas para a Questão 6. 107.

Quadro 14. Relação de livros e respectivas respostas para a Questão 9. 108.

Quadro 15. Relação de livros e respectivas respostas para a Questão 10. 109.

Quadro 16. Categorização de respostas à Pergunta 1 do questionário discursivo acerca de dominância completa com argumentos restritos à genética de transmissão. 112.

Quadro 17. Categorização de respostas à Pergunta 1 do questionário acerca de dominância completa com argumentos fundamentados em alguma explicação fisiológica. 115.

Quadro 18. Frequência do uso de cada termo metafórico nas respostas da categoria 2.1. 117.

Quadro 19. Categorização das respostas obtidas pelo questionário discursivo a partir da Pergunta 2. 121.

Quadro 20. Respostas do questionário que não foram classificadas em nenhuma categoria. 121.

Quadro 21. Falas dos participantes do GPEB que analisaram mecanismos pelos quais a dominância. 134.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	16
1 INTRODUÇÃO	20
2 DAS PREMISSAS REFERENTES À FORMAÇÃO DOCENTE, AO ENSINO E À APRENDIZAGEM.....	26
2.1 Saberes docentes e formação de professores	26
2.2 Relação entre pensamento e linguagem	38
2.3 Mudança conceitual	44
3 A UNIDADE CURRICULAR DE GENÉTICA: ASPECTOS CONCEITUAIS E EPISTEMOLÓGICOS	53
3.1 Considerações acerca do material genético	54
3.2 Breve cronologia da genética de transmissão	57
3.3 Breve cronologia da genética molecular	60
3.4 Como a dominância foi explicada posteriormente à proposta de Mendel e antes dos dados da biologia molecular?	63
3.5 Relação entre genética de transmissão e genética molecular	65
3.6 Considerações referentes aos mecanismos da dominância	73
4 METODOLOGIA.....	84
4.1 Análise de Conteúdo	85
4.2 Etapas da pesquisa.....	88
4.2.1 Investigação dos livros didáticos PNLD - 2018	88
4.2.2 Questionário com questões discursivas	93
4.2.3 Questionário com assertivas para avaliação com escala Likert	99
4.2.4 Dados da discussão realizada no GPEB	101
5 RESULTADOS	102
5.1 Investigação dos livros didáticos PNLD – 2018-2020	102
5.2 Questionário com questões discursivas	110
5.3 Questionário com assertivas para avaliação com escala Likert.....	122
5.4 Dados da discussão realizada no GPEB	134
6 DISCUSSÃO	136
7 CONCLUSÕES	147
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	151
REFERÊNCIAS	153

APÊNDICE A – TRECHOS SELECIONADOS DOS LIVROS DIDÁTICOS QUE FORAM CONSULTADOS	163
APÊNDICE B – PERGUNTAS E RESPOSTAS OBTIDAS A PARTIR DO QUESTIONÁRIO DISCURSIVO.....	168
APÊNDICE C – RESPOSTAS E PONTUAÇÃO DOS PARTICIPANTES PARA A AVALIAÇÃO DAS ASSERTIVAS	187
APÊNDICE D – TRANSCRIÇÃO DA DISCUSSÃO REALIZADA APÓS A COLETA DE DADOS NO GPB.....	189

APRESENTAÇÃO

No final do resumo de minha dissertação de mestrado, a última frase defendia “a necessidade de fomentar espaços formativos nos quais os graduandos possam expressar as próprias concepções [...] para permitir a problematização e recontextualização [...] para a interpretação da biologia.” (cf. CESCHIM, 2017).

Esta se tornou uma preocupação central que possuo como professora e como pesquisadora desde que atuei como uma das mediadoras do Grupo de Pesquisa em Epistemologia da Biologia (GPEB), vinculado à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, sob a coordenação da professora Dra. Ana Maria de Andrade Caldeira (minha orientadora).

Questiono com veemência os formatos de aulas que se concretizam por meio de monólogos docentes, nos quais a “tagarelice” é entendida como sinônimo do ato de ensinar. Se a concretização do ensino requer a aprendizagem, como “falar” poderia ser sinônimo de ensino? Para o ensino de ciências, há muito tem-se defendido a necessidade de que se considere as concepções que os estudantes possuem para que ocorra uma articulação produtiva entre o que eles já compreendem e o conhecimento científico (por exemplo VOSNIADOU, 2007).

Embora pesquisas tenham sido feitas para levantamento de tais concepções e embora tenha se tornado um clichê a defesa de que precisamos considerar os “erros” dos estudantes, há professores que não planejam e não conduzem diálogos durante suas aulas (ROWE, 1974). Além disso, há professores que esperam menos de um segundo pela resposta de seus estudantes e, se ninguém responde de imediato, os docentes fazem outras perguntas ou respondem à pergunta eles mesmos (ibid.).

Se professores conduzem somente monólogos em suas aulas, haverá pouco ou nenhum espaço de fala para que os estudantes expressem suas compreensões, que podem ser divergentes do conhecimento científico ou podem ser modelos mistos (ou seja, modelos que associam as concepções equivocadas com o conhecimento científico, constituindo versões híbridas) (VOSNIADOU, 2007).

Pensando o ambiente educacional universitário, há comumente um sistema de salas de aula bancário, o que contribui para a formação de uma visão de que a educação superior é um “entupimento teórico sistemático” (DEMO, 2011, p.71) que será descartado quando, ao assumir uma atuação, o egresso aprende tudo

novamente – a alienação prática. O tempo letivo é empregado para aula e prova e dificilmente se concretiza o compromisso formativo que deveria se dar na competência de saber pensar, de aprender e de intervir de modo inovador (DEMO, 2011).

Para promover o exercício do pensar, é preciso tempo para introspecção. Porém, quais são as oportunidades concedidas aos estudantes para que reflitam durante a mediação didática? E se, mesmo nesse ambiente inóspito para a reflexão, o aluno consegue estabelecer um *link* novo e é capaz de formular uma pergunta integradora, qual o valor dessa atividade em seu desempenho nas disciplinas? Provavelmente, nenhum. O valor de seu desempenho está em fornecer respostas redondas, acabadas. As mesmas que seu professor enunciou na frente da turma nas longas aulas expositivas.

O que se torna paradoxal na problemática é que não queremos um profissional bom em fornecer respostas e fazer cópias. Seja no bacharelado ou na licenciatura, queremos bons questionadores, profissionais que saibam integrar, articular, sintetizar, produzir conhecimento.

Além das limitações envolvidas em uma formação em Ciências Biológicas que seja concretizada por aulas que tenham o monólogo docente como forma hegemônica de transmissão do conhecimento, há ainda outro fator a ser considerado: o risco envolvido no modelo compartimentalizado de sistematizar o currículo de biologia, pois não há (ou há poucas) oportunidades para conectar o que o programa curricular fragmentou em disciplinas. Sem estabelecer tais conexões, lacunas conceituais podem se estabelecer, porque devido à complexidade do conhecimento, não podemos esperar que as articulações conceituais sejam realizadas de forma automática pelos graduandos.

Sendo assim, submetidos ao sistema bancário e disciplinar das universidades, os graduandos reagem tentando vencer as avaliações o que, segundo Caldeira (2009), resulta em uma apropriação do conhecimento biológico por meio da repetição, de maneira mecanicista. O conhecimento passa a ser aprendido de modo dogmático e sem senso crítico. Segundo a autora, no ensino sem problematizações (formação de problemas a serem investigados pelos alunos), os graduandos tendem a perpetuar as próprias opiniões e visões de ciência; assim, não recorrem a conhecimentos científicos fundamentados em construções epistemológicas adequadas.

Diante da problemática levantada e da necessidade de fornecer aos estudantes o ensino que articule as concepções discentes com o conhecimento científico, justifica-se a necessidade de pesquisas que busquem compreender em profundidade como se configura o discurso docente e discente acerca de determinados conceitos científicos, especialmente no que se trata das articulações entre as disciplinas que se tornaram fragmentadas pelo programa curricular. É preciso que incompreensões e dificuldades sejam documentadas e exploradas por meio de investigações científicas, de modo que se explicita a complexidade envolvida nas concepções dos estudantes.

Quando o professor reconhece tal complexidade, pode passar a se comportar como um “garimpeiro”: pratica a escuta e fornece espaço de fala para os estudantes, de modo que possa estimular a obtenção de indicadores de suas concepções. Somente assim é que o professor pode mediar a mudança conceitual de seus estudantes: investigando suas ideias, suas incompreensões e fazendo diagnósticos dessas incompreensões para fazer intervenções subsequentes que sejam adequadas.

Gostaria de propor aqui uma analogia: se a obtenção de indicadores das concepções dos estudantes é um exame de Raio X, o diagnóstico acerca de uma possível condição/doença seria a descrição qualitativa dessa concepção. Porém, diagnosticar a condição não é o bastante. Um médico não atribui para o paciente um número que quantifique o problema e se despede em seguida (como fazemos nas avaliações somativas). O médico oferece o tratamento, o medicamento, a internação etc. Nós professores, diante de diferentes diagnósticos, também precisamos direcionar tratamentos específicos e personalizados para os estudantes, pois caso contrário, o problema-alvo não será atingido.

Sendo assim, faz-se necessário o estudo acerca de como são explicados fenômenos biológicos por diferentes estudantes, para que seja possível orientar a prática docente e para que os professores se atentem para aspectos nos quais os estudantes frequentemente apresentam equívocos e concepções divergentes do conhecimento científico.

A justificativa acima explica a razão pela qual me dedico a fazer pesquisas de concepções de estudantes desde minha iniciação científica, iniciada em 2013. Em meu mestrado pesquisei concepções de estudantes acerca da evolução biológica, porque se mostravam muito frequentes entre graduandos, o que me causava

inquietação (CESCHIM, 2017). Foi possível identificar que os graduandos exibiam concepções bastante repetidas acerca de como o processo evolutivo ocorria e as explicações que eles forneciam eram equívocos que podiam ser descritos de formas mais genéricas.

Conseguimos reunir grupos de equívocos ou distorções conceituais em um trabalho recente (CESCHIM; GANIKO-DUTRA; CALDEIRA, 2020) e, em meu doutorado, a pesquisa tem uma motivação específica: uma inquietação que surgiu para mim, quando me perguntei por que a ervilha amarela de Mendel era a dominante e não a verde (que era mais escura). Parecia haver uma caixa preta em minha mente, um grande vazio a ser preenchido por explicações moleculares e fisiológicas.

Passei a perguntar para outras pessoas se sabiam a explicação para tal fenômeno, mas fui percebendo, de modo não sistematizado e informal, que nenhuma das pessoas para quem perguntei sabia a resposta. Me dediquei a pesquisar a resposta e constatei que não havia material à disposição com explicações diretas acessíveis referentes a como a dominância completa se processava fisiologicamente. Encontrei as respostas para minhas perguntas em artigos científicos em língua inglesa e fui sistematizando tais explicações. Foi possível a criação de um material discutindo as explicações fisiológicas (cf. CESCHIM; CALDEIRA, 2020).

A partir de então, partindo da hipótese de que houvesse essa possível dificuldade para outros estudantes que cursam biologia e na hipótese de que explicações equivocadas provavelmente estivessem presentes (e não um simples “vazio”), decidi realizar a presente pesquisa, que também teve como objeto de investigação os livros didáticos distribuídos pelo programa nacional brasileiro. Objetivei investigar de que modo se explica o fenômeno da dominância tanto entre professores em formação como em materiais didáticos recentes.

Considero que a presente pesquisa possa auxiliar outros pesquisadores e principalmente professores de ensino superior e da educação básica, no que diz respeito ao planejamento e execução de suas aulas de genética.

1 INTRODUÇÃO

Gregor Mendel [1822-1884], observando e conduzindo a reprodução de plantas constatou um fenômeno biológico muito curioso: Ao cruzar plantas de ervilhas amarelas com plantas de ervilhas verdes, obtinha somente descendentes com ervilhas amarelas. A cor verde tinha sumido. Eis o fenômeno da dominância, o qual é caracterizado pelo desaparecimento de um dos fenótipos parentais.

Na terminologia mendeliana, a característica que está presente nos descendentes é a característica “dominante”, enquanto a característica que desaparece é a característica “recessiva” (REECE et al., 2015).

O ensino da genética mendeliana necessariamente envolverá o uso de tais conceitos e a citação do exemplo das plantas de ervilhas. Porém, não necessariamente explicitará quais são os mecanismos subjacentes ao fenômeno do desaparecimento da característica recessiva e da manifestação da característica dominante.

Talvez uma causa para a ausência de tal explicação esteja na própria fragmentação curricular que divide a “genética de transmissão” da genética molecular. A genética de transmissão é aquela que se ocupa dos estudos de hereditariedade, ou seja, busca explicar como são transmitidas as características de uma geração para a outra. O foco é o organismo individual: como é herdada a constituição genética e como é transmitido o material genético para a geração subsequente (PIERCE, 2011). Já a genética molecular tratará de explicações relacionadas a expressão gênica, produção de polipeptídios etc.

Ambas, a genética de transmissão e a genética molecular, tratam do mesmo objeto, que é o material genético. Porém, por uma questão histórica, ao fazer perguntas diferentes, cada uma foi dando forma para uma disciplina distinta. Assim, aborda-se como genes são herdados e como se dispõem na transmissão genealógica em uma disciplina, e, em outra disciplina aborda-se como os genes originam fenótipos.¹

Se as duas perguntas são respondidas de modo estanque em disciplinas independentes, seria esperado que graduandos do curso de Ciências Biológicas não apontassem de modo espontâneo como uma disciplina se conecta com a outra. Na

¹ Também não se deve deixar de apontar que nas disciplinas de biologia celular, de fisiologia, de embriologia (e muitas outras) são tratados mecanismos que originam os fenótipos dos organismos.

desassociação das disciplinas de genética de transmissão e genética molecular encontra-se o cerne do problema da presente pesquisa: se o conteúdo de genética de transmissão é ensinado em uma disciplina e o conteúdo de genética molecular é ensinado em outra disciplina, como os estudantes conseguiriam atribuir uma explicação integrada para o fenômeno da dominância?

Se a dominância é um fenômeno estudado somente sob a perspectiva da genética de transmissão e os mecanismos moleculares de produção de fenótipos são ensinados de modo genérico (sem aplicar para casos específicos de dominância), poderia haver uma lacuna na formação conceitual dos graduandos de biologia.

Com base nessa problemática, foi delineada a pergunta de pesquisa: Como o discurso didático tem (ou não) atribuído explicações causais para o fenômeno da dominância? Sendo que, com “discurso didático” se atribui uma terminologia genérica para o conjunto do discurso dos professores em formação, somado ao discurso dos materiais didáticos que estão distribuídos pelo programa nacional brasileiro durante a vigência da realização da presente pesquisa.

Essa pergunta poderia ser desdobrada em outras, tais como: Os graduandos atribuem alguma explicação causal para a dominância ou não têm nenhuma hipótese? A forma como os livros e como o licenciando organizam a linguagem para ensinar a dominância pode estimular a formação de distorções conceituais?

Considerando as perguntas de pesquisa supracitadas, fica estabelecido como objetivo geral do presente trabalho: Determinar como o discurso didático referente à dominância/recessividade articula genética de transmissão, genética molecular e fisiologia e inferir como a linguagem está relacionada com a causa de distorções conceituais.

Como objetivos específicos, ficam estabelecidos:

- Determinar se (e de que modo) livros didáticos distribuídos pelo Programa Nacional do Livro Didático articulam genética de transmissão e genética molecular.
- Identificar quais são as explicações fisiológicas que professores de biologia em formação atribuem para o processo de dominância completa.
- Apontar quais são as principais concepções alternativas referentes ao fenômeno da dominância.

- Identificar os elementos constitutivos do discurso utilizado por professores em formação no que se refere ao fenômeno da dominância.
- Inferir, com base nos dados, como a linguagem influencia o pensamento e por consequência a aprendizagem de genética no que diz respeito ao fenômeno da dominância.

Faz-se necessária a investigação supracitada, uma vez que incompreensões referentes à aprendizagem de genética em geral e especificamente referentes à dominância já foram mencionadas por outros pesquisadores (ver a seguir), mas não foram documentadas e analisadas quais são as características das incompreensões (como as premissas que fundamentam as hipóteses dos estudantes).

Como outras pesquisas apontaram, estudantes tendem a aceitar e fazer uso dos termos “dominante” e “recessivo” sem entender por que um alelo selvagem e um alelo mutante originariam fenótipos recessivos/dominantes (SEIPELT-THIEMANN, 2012).

Algumas razões poderiam explicar a dificuldade para a aprendizagem de genética, tais como (MARBACH-AD; STAVY, 2000):

- Níveis microscópicos (nível celular e molecular) são mais difíceis de entender do que o nível macroscópico. O motivo é que são geralmente ensinados de maneira teórica ou abstrata, de modo que os processos e objetos desses níveis não podem ser manuseados ou observados diretamente.
- Explicações de nível microscópico normalmente não podem ser extrapoladas para níveis macroscópicos. Porém, os estudantes podem fazer tais extrapolações errôneas.
- Um nível (por exemplo, o nível macroscópico) pode constituir uma disciplina, e o outro nível (por exemplo, nível molecular) constitui diferentes disciplinas.
- Vários níveis de organização devem ser integrados a fim de compreender os processos subjacentes aos fenômenos genéticos e a hereditariedade. Ao serem expostos simultaneamente a uma variedade de conceitos e processos em diferentes níveis de organização com os quais eles não podem lidar simultaneamente, os estudantes se tornam

incapazes de ver os conceitos como parte de um todo inter-relacionado.

Assim, a literatura aponta que é preciso considerar um fator dificultador do processo de integração do conhecimento que é resultante da organização disciplinar e, conseqüentemente, curricular da Biologia (como pontuamos anteriormente na hipótese desse trabalho).

Ao concluir um processo formativo, por exemplo, espera-se que um estudante disponha de uma compreensão da genética clássica e de uma compreensão da genética molecular, mas não se espera que ele seja capaz de pensar acerca de como as duas disciplinas estão relacionadas (porque ele nem foi solicitado a fazer esse exercício de pensamento durante a formação) (PAVLOVA; KREHER, 2013).

Além das questões epistemológicas supracitadas que caracterizam a dificuldade para compreender o conhecimento relativo à hereditariedade, também existe um agravante importante registrado na literatura, que é a linguagem didática. Foi observado, por exemplo, que expressões como “O gene para olho vermelho”, “O gene vermelho”, ou “O gene letal”, tendem a estimular um entendimento de que genes e traços constituem uma mesma unidade (THÖRNE; GERICKE; HAGBERG, 2013). Tal fusão gene-traço seria um dificultador da aprendizagem acerca da relação entre genótipo e fenótipo, pois se são entendidos como a mesma coisa, não seria necessário descrever a relação entre eles.

No que tange especificamente à dominância e recessividade, pesquisadores (THÖRNE; GERICKE; HAGBERG, 2013) identificaram no discurso de professores de Biologia a descrição de “genes dominantes” (sic!) como entidades atuantes que vencem/dominam os “genes recessivos” (sic!). Esse tipo de explicação pode estimular estudantes a entenderem que existe uma interação “supressora” entre alelos.

No caso da dominância, a linguagem se torna especialmente importante, uma vez que os termos podem estimular o entendimento de que há qualidades ou atributos presentes no conceito, mas que não são compatíveis com ele (PEARSON; HUGHES, 1988). Mais concretamente, no caso da dominância, trata-se de aceitar premissas equivocadas tais como “se um alelo é dominante, então *ele domina* um outro alelo (que por sua vez sofre a dominação)”, assim, trata-se de dimensões de valor, poder ou *status*.

Como foi possível exemplificar em um estudo (MAHADEVA; RANDERSON, 1982), é comum que estudantes entendam que um alelo mutante tenha manifestação recessiva, com base nas seguintes caracterizações atribuídas ao fenômeno da dominância: (a) acredita-se que a dominância e a recessividade sejam propriedades fixas dos genes; (b) entende-se que genes dominantes são genes 'bons'; genes recessivos são genes "ruins"; (c) os genes dominantes na condição heterozigótica são entendidos como necessários para mascarar os efeitos deletérios de genes recessivos "ruins"; e (d) como as mutações são inerentemente ruins, elas precisam ser recessivas; pois, se fossem dominantes, se propagariam rapidamente, produzindo efeitos desastrosos na população, talvez até a extinção.

Tais pressupostos equivocados estão fundamentados na aceitação de uma ideia também equivocada acerca da dominância: a crença dos estudantes de que as características dominantes são as mais numerosas em uma distribuição populacional (cf. ALLCHIN, 2000; SMITH, 2014).

Voltando ao aspecto referente à ideia equivocada de que há supressão por meio de uma interação direta entre alelos, de modo que um dominaria o outro (dominante inibe o recessivo) (cf. ALLCHIN, 2000), Lewin (2000) indica que uma explicação alternativa fornecida por estudantes seria a de que a recessividade resulta da ausência de uma característica, produto gênico ou proteína (também equivocada).

Em consonância, Redfield (2012) descreve o que a autora denomina como “problema da dominância”, com o apontamento dos seguintes equívocos:

- A maioria dos estudantes acredita erroneamente que os alelos são intrinsecamente dominantes ou recessivos;
- Estudantes de nível superior que cursam genética não tem explicações para justificar como um alelo dominante (sic!) se comporta com relação ao outro (muitas vezes nem entendem a pergunta: “Por que um alelo se comporta como dominante (sic!) com relação ao recessivo?”);
- Quando os estudantes respondem alguma hipótese, normalmente apontam que alelos dominantes (sic!) devem ativamente “desligar” seus parceiros recessivos, talvez atuando como repressores ou por meio de mecanismos epigenéticos.

Para Allchin (2000), tais incompreensões acerca da dominância são influenciadas pelo caráter metafórico que está envolvido no uso da palavra

“dominante”, uma vez que significados implícitos podem afetar a estruturação de diversos conceitos relacionados ao seu uso.

Com base nas pesquisas já realizadas e supracitadas, este trabalho foi estruturado para satisfazer os objetivos propostos, a fim de que se produza conhecimento acerca do ensino e da aprendizagem de genética no que se refere ao fenômeno da dominância.

2 DAS PREMISSAS REFERENTES À FORMAÇÃO DOCENTE, AO ENSINO E À APRENDIZAGEM

Tendo em vista a justificativa da pertinência do referencial teórico a seguir, apontamos que é necessário indicar como se configuram os saberes do professor para que seja possível defender a necessidade de que docentes tenham conhecimento acerca de concepções equivocadas de seus estudantes, de modo que igualmente se justifique a necessidade de que sejam produzidos conhecimentos acerca de incompreensões discentes.

2.1 Saberes docentes e formação de professores

Professores precisam conhecer profundamente a área de estudo que ensinam e não há dúvidas de que se trata de um saber fundamental para a atuação docente. A justificativa é evidente: professores que não conhecem bem um assunto encontrarão dificuldades para encaminhar os estudantes para a aprendizagem desse conteúdo. Não obstante a importância do conhecimento do conteúdo, é preciso admitir que apenas conhecer bem uma área de estudo não é suficiente para ensiná-la.

Assim, de um docente de biologia espera-se não só um saber relativo ao conteúdo das ciências biológicas, mas também um “saber fazer” que inclua a multidimensionalidade de integração de saberes e práticas em sua atuação. Espera-se que o docente de biologia saiba o conteúdo de divisão celular, por exemplo, e espera-se também que este professor tenha conhecimentos pedagógicos que lhe permitam ensinar essa temática.

Para introduzirmos a discussão referente a uma importante dimensão do saber docente, gostaríamos de propor um questionamento: Ainda que o professor de biologia saiba ler e escrever, saiba mobilizar corretamente a norma culta da língua portuguesa e saiba se expressar corretamente por meio da escrita, não se espera que ele saiba alfabetizar seus estudantes. Por quê?

Trata-se de especificidades didáticas das quais se espera que somente professores de uma determinada área do saber tenham domínio. Espera-se que o pedagogo seja capaz de alfabetizar estudantes, mas não se espera que o professor de biologia o seja, visto que este último, embora seja dotado de saberes disciplinares e pedagógicos, não tem a articulação necessária entre tais saberes no que diz respeito à alfabetização.

Na tentativa de explorar como se pode entender a articulação do conhecimento do conteúdo e do conhecimento pedagógico, o professor estadunidense Lee S. Shulman propõe e discute a denominação “conhecimento pedagógico do conteúdo”. O termo empregado por Shulman (1986), embora aparente fazer uma alusão a uma simples soma de partes (conhecimento pedagógico somado ao conhecimento do conteúdo), é mais fidedignamente compreendido como um novo conhecimento oriundo de uma amálgama que emerge como um produto de maior complexidade e de conceituação própria. O conhecimento pedagógico do conteúdo é para Shulman (*ibid.*) um terreno exclusivo de docentes, pois, por exemplo, embora seja esperado que biólogos e pesquisadores compreendam biologia, somente se espera de um docente de biologia a capacidade de transformar o conhecimento do conteúdo biológico em formas pedagogicamente aplicáveis ao ensino.

Assim, emerge da amálgama “conhecimento do conteúdo mais conhecimento pedagógico” um domínio especial de conhecimento que somente cabe aos professores, sendo que, dissociados, perdem o valor, pois para a concretização do ensino, é necessário mais do que somar o conhecimento de fatos e conceitos do conteúdo com as habilidades gerais de ensino.

Por meio dessa perspectiva, entende-se primeiramente que no “conhecimento do conteúdo”, o professor disponha do entendimento de princípios e estruturas organizacionais do assunto, bem como de diretrizes para estabelecer o que é adequado para se dizer e fazer na prática de ensino, para determinar que tópicos são particularmente centrais e quais são periféricos para uma dada disciplina (SHULMAN, 1986).

Em segundo lugar, articulado ao “conhecimento curricular”, o conhecimento do conteúdo precisa estar integrado aos programas de assuntos particulares em determinados níveis projetados para o ensino, bem como às decisões acerca de indicações e contraindicações para emprego de materiais didáticos e currículos. Tal conhecimento curricular pode ser entendido por meio de duas subdivisões: o *conhecimento curricular horizontal*, aquele que correlaciona o conteúdo que está sendo ensinado com o currículo que os alunos estão aprendendo em outras aulas ou em outras áreas; e o *conhecimento curricular vertical*, que inclui a articulação com tópicos e questões que foram e serão ensinados dentro da própria disciplina em anos anteriores e posteriores (SHULMAN, 1986).

Em terceiro lugar, segundo Shulman (1986), além do “conhecimento do conteúdo” e do “conhecimento curricular”, há o domínio do saber docente denominado “conhecimento pedagógico do conteúdo”, que se concretiza pelas formas de representação de ideias, as analogias, ilustrações, exemplos, explicações, demonstrações, emprego de palavras (etc.) de formas adequadas para representar e formular o assunto, de modo que se torne cognoscível/compreensível para os estudantes. Este conhecimento também inclui a compreensão de fatores que facilitam ou dificultam a aprendizagem de tópicos particulares, tanto no que diz respeito às concepções e preconceitos que estudantes trazem como as implicações nas dificuldades de aprendizagem subjacentes. Assim, trata-se do “saber” e do “saber fazer” do professor, que conferem a capacidade de reconstruir temas da disciplina para torná-los mais acessíveis para a aprendizagem, por meio da seleção de tópicos adequados e das formulações de representações apropriadas do conteúdo a ser aprendido².

Um professor que mobiliza adequadamente seu conhecimento pedagógico do conteúdo não emprega compreensões intuitivas ou pessoais de um assunto, pois para propiciar a aprendizagem, precisam planejar formas de representar um dado, um conceito ou um princípio aos estudantes. Para tanto, é preciso dispor de meios de transformar o conteúdo em consonância com propósitos do ensino, para estimular a aprendizagem dos conhecimentos na mente dos alunos (WILSON; SHULMAN; RICHERT, 1987). Assim, os professores precisam deliberadamente encontrar formas de comunicar e socializar conhecimentos, de modo a auxiliar os estudantes na aprendizagem.

Ao longo dessa atuação, o professor passa a dispor de conhecimentos de como ensinar um dado conceito e de como os alunos o aprendem. Ele passa a entender como os currículos estão organizados na própria disciplina e quais as formas adequadas de incluir tópicos em tal currículo em conformidade com objetivos educacionais. Assim, considera-se que por meio do conhecimento pedagógico do conteúdo, o professor transforma qualitativamente seu conhecimento do conteúdo específico ao associá-lo com propósitos de ensino (*ibid.*).

² O autor faz alusão a formular representações, a comunicações claras do professor, mas em uma de suas obras (SHULMAN, 1987) faz a ressalva de que o termo “conhecimento pedagógico do conteúdo” trata das transformações do conteúdo para a estratégia pedagógica de forma ampla, o que inclui as formas ativas de aprendizagem por investigação, por exemplo. Assim, a aplicação do conceito de Shulman não trata apenas de uma visão de transmissão de conhecimentos tradicional.

Também na visão de formação de professores da professora estadunidense Linda Darling-Hammond, a prática docente requer a interação dos saberes referentes ao conteúdo, ensino e estudantes (DARLING-HAMMOND, 2006), conforme o Quadro 1.

Especialmente no que tange ao conhecimento dos estudantes, ou seja, no que se refere ao conhecimento da aprendizagem, a prática docente precisará estar subsidiada por fundamentos acerca de como os alunos aprendem, para incorporar as implicações no ensino e no planejamento curricular que será feito. Assim, saber como os alunos aprendem não deve ser algo que somente psicólogos sabem, pois é esse saber que permitirá ao professor dispor de estratégias para ajudar seu estudante a alcançar objetivos curriculares (ibid.).

Quadro 1. Uma visão da prática profissional docente no que diz respeito aos conhecimentos a que constituem (baseado em DARLING-HAMMOND; BRANSFORD, 2005).

Conhecimento dos alunos e seu desenvolvimento em contextos sociais	Conhecimento do ensino	Conhecimento do conteúdo e dos objetivos do currículo
Aprendizado Desenvolvimento humano Linguagem	Conteúdo e pedagogia Ensinar alunos diversos Avaliação Gestão da sala de aula	Objetivos educacionais Habilidades Conteúdos

Fonte: elaborado pela autora.

Assim, na visão de Darling-Hammond, a formação do professor precisará propiciar, além do conhecimento de como estudantes aprendem e se desenvolvem em interações com os contextos sociais (incluindo o conhecimento do desenvolvimento e da linguagem), também a compreensão e as habilidades para o ensino (conforme o Quadro 1). Mais do que ter conhecimento pedagógico do conteúdo, também é necessário saber ensinar para salas de aulas heterogêneas, de modo que o processo de gestão da sala de aula e o processo avaliativo sejam produtivos.

Na última coluna do Quadro 1, consta o conhecimento referente à compreensão do conteúdo e dos objetivos curriculares, o que abrange a matéria e as habilidades a serem ensinadas segundo as demandas da disciplina, das necessidades dos estudantes e dos propósitos sociais da educação.

Outra proposta de teorização acerca dos saberes docentes foi elaborada por Ball, Thames e Phelps (2008) com base no arcabouço teórico de Lee Shulman. Os

autores entendem que há uma multidimensionalidade do “conhecimento pedagógico do conteúdo” e que é possível visualizar categorias, ainda que não sejam categorias independentes.

Pensando duas categorias – o conhecimento de conteúdo e o conhecimento pedagógico – os autores indicam que há mais duas subcategorias possíveis para cada uma. Ball, Thames e Phelps (2008) reconhecem dentro do conhecimento do conteúdo de Shulman as categorias: conhecimento de conteúdo comum e conhecimento de conteúdo especializado. O “conhecimento comum de conteúdo” (CCC) é aquele que implica a mobilização adequada dos conhecimentos como, por exemplo, em uma resolução de problemas na área da saúde que pode ser realizada por outros profissionais da biologia, que não os professores.

O CCC é também um conhecimento do professor, visto que é preciso dispor dele para avaliar respostas de estudantes, para avaliar conceitos imprecisos de materiais didáticos, para escrever na lousa ou produzir materiais destinados aos alunos. É também mobilizado ao formular verbalmente representações, pois é preciso utilizar terminologias e conceitos compatíveis com o consenso científico. Porém, não se trata de um saber exclusivo do professor, então é nesse sentido que se denomina como “comum”: para indicar que é um conhecimento utilizado em ampla variedade de situações e não exclusivamente no ensino.

O conhecimento especializado de conteúdo (CEC) é a mobilização do conhecimento biológico e de habilidades de formas exclusivas do ensino (são conhecimentos que não têm aplicações necessárias para além do ensino), como dimensionar o equívoco de um estudante e planejar uma abordagem adequada por meio de uma “desembalagem” ou um “desdobramento” do conteúdo a partir de representações. São tarefas que o professor rotineiramente desempenha e que requerem uma ampla compreensão de interpretações diferentes das concepções equivocadas dos alunos. Para resolver situações rotineiras em sala de aula, o professor emprega meta-análises que requerem um conhecimento docente que não obrigatoriamente será necessário para a maioria das pessoas. Este conhecimento está relacionado com diferentes versões ou caminhos para “descompactar” o conteúdo, ou seja, são formas de conceber a biologia por vieses didáticos, acessíveis ou cognoscíveis.

Assim, o CEC é específico ao professor no sentido das interações que ocorrem entre o conteúdo e a mediação didática: é conhecimento exclusivo dos

docentes a capacidade de transformar o conteúdo com intenção de estratégia pedagógica. Assim, a capacidade de “descomprimir” ou “desembalar” o conteúdo não é sinônima de compreensão conceitual, pois se trata das habilidades de tornar o conhecimento mais acessível ao aprendiz; assim, não há necessidade de se esperar que os alunos também possuam CEC, assim como não se espera que o biólogo bacharel o possua. Trata-se de um conhecimento apenas de domínio docente.

Além do CCC, de um docente espera-se ainda o conhecimento acerca de habilidades que possam viabilizar estratégias para desembalar tal conteúdo. Em biologia, desembalar o conteúdo frequentemente é uma ação viabilizada pelo exercício da análise (do grego *analuein*, desamarar), ou seja, pelo exercício de decompor o todo em seus elementos constituintes (DUROZOI; ROUSSEL, 1993). Esta fase de análise consiste em um passo importante para tornar o conhecimento mais acessível, mas após a análise dos componentes, também será necessária a análise dos eventos, que podem ser decompostos sequencialmente de forma não simultânea.

Se o professor realizará uma exposição do tema, ou se irá propor uma atividade com perguntas, uma pesquisa de literatura, uma interpretação de um modelo, ou outras atividades, o que não pode ser ignorado é que o conteúdo conceitual precisa sofrer a transposição didática³; ou seja, a “desembalagem” que permite o acesso ao saber.

Ciente da necessidade de produzir sínteses para não impedir o pensamento relacional, tão necessário à biologia, o professor pode partir da análise para o todo, considerando eventos de forma simultânea. Partir das partes para posteriormente articular com o todo não é o único caminho de descompactação do conteúdo em biologia. Em alguns casos, é possível também realizar uma transposição que permita identificar as etapas mais abrangentes e centrais do processo primeiro. Partir de tais apontamentos pode evidenciar o significado relacional das demais informações que estarão conectadas.

Não é intenção realizar proposições prescritivas por meio de tais considerações, mas sim exemplificar a importância do CEC para a tomada de decisões do professor.

³ Termo utilizado no sentido de “transposição didática interna” de Chevallard (1985).

Pode-se considerar o CEC como muito próximo do conceito de transposição didática interna de Chevallard (1985), que consiste na passagem de um conteúdo do saber a uma versão didática, ou didatização. Neste processo de transposição didática, no qual o professor mobiliza o CEC, nas aulas de biologia é importante recorrer a uma pluralidade de possibilidades didáticas que estimulem a percepção, ou que possam favorecer o raciocínio e memória. São exemplos a apresentação direta de fenômenos naturais em aulas de campo e de laboratório, bem como com uso de modelos, desenhos, gráficos, esquemas ou objetos em ambientes virtuais (CALDEIRA, 2009).

As representações de livros didáticos, de lousas e os textos didáticos também são importantes, mas se o aluno sofre experiências com o objeto de estudo de forma direta, há menores perdas no processo de abstração mental da aprendizagem (CALDEIRA, 2009), pois ao invés de estar formando conceitos a partir de representações simplificadas (sofrendo perdas com relação ao que poderia ser interpretado pelo estudante em sua totalidade), o aluno está interagindo com um objeto dinâmico diretamente.

É somente após a representação formal de conceitos pelos alunos que é possível estabelecer relações mais amplas, o que requer inicialmente a apropriação da linguagem simbólica por meio de articulação entre representações cognitivas e nomenclaturas específicas (CALDEIRA, 2009).

As representações cognitivas que o estudante pode engendrar em situações de aprendizagem em aulas de biologia podem ser potencializadas, portanto, pela redução do uso de representações e pela preferência por aulas em espaços não formais, como ambientes naturais, aulas com observação direta de exemplares de organismos, observação de células ao microscópio óptico, vídeos de fenômenos e processos, experimentos em laboratórios, modelos tridimensionais etc.

Ball, Thames e Phelps (2008) também reconhecem categorias que podem ser exploradas dentro do conhecimento de conteúdo pedagógico o “conhecimento de conteúdo e dos alunos” e o “conhecimento do conteúdo e do ensino”.

O conhecimento do conteúdo e dos alunos (CCA) é aquele que combina conhecimento acerca dos estudantes e conhecimento biológico. Por meio desse saber e, munidos de dados obtidos por meio de avaliação diagnóstica, professores podem relacionar as concepções dos alunos com o conteúdo que será objeto de ensino e aprendizagem. É possível antecipar o que os alunos poderão achar

confuso e, ao escolher um exemplo, os professores podem tentar prever o que os alunos acham interessante e motivador.

Ao atribuir uma tarefa, os professores precisam antecipar como os alunos irão realizá-la para adequar níveis de dificuldade. Os professores também precisariam ser capazes de ouvir/ler e interpretar o pensamento inacabado ou em formação dos alunos, para permitir a decodificação das concepções dos alunos quando mobilizam a linguagem. Cada uma dessas tarefas requer uma interação entre compreensão biológica específica e familiaridade com os estudantes e seu pensamento biológico. Central para tais tarefas é o conhecimento de concepções comuns de estudantes e equívocos referentes ao conteúdo biológico particular.

Trata-se de adaptar o CEC à realidade de um grupo de estudantes, por meio de personalizações necessárias ao aprendizado e por meio do diagnóstico constante da construção do conhecimento dos estudantes. O professor pode repensar as estratégias e a mobilização de recursos didáticos que melhor se adequem aos seus alunos. Este é um conhecimento que não pode sofrer generalizações, porque é sempre particular: diz respeito ao conjunto de estudantes de cada turma e diz respeito também a cada aluno de uma dada turma. É por meio do conhecimento acerca dos alunos que o professor pode realizar transposições didáticas adequadas ao arcabouço dos estudantes, o que pode aumentar o significado dos saberes e a complementaridade do conteúdo com a reinterpretação da realidade e do cotidiano por parte dos aprendizes.

O “conhecimento de conteúdo e do ensino” – a última categoria proposta por Ball, Thames e Phelps (2008) – combinaria conhecimento do ensino e conhecimento biológico. Os professores sequenciam um conteúdo particular para a mediação didática, escolhem os tópicos para começar e quais exemplos empregar para levar os alunos mais profundamente ao conteúdo. Os professores avaliam as vantagens e desvantagens de determinadas situações de aprendizagem, das representações que serão empregadas para ensinar e identificam o que diferentes metodologias e procedimentos oferecem.

Durante uma discussão em sala de aula, o professor irá decidir quando fazer uma pausa para obter mais esclarecimentos, quando estimular a observação de um aluno para fazer apontamentos e quando fazer um novo questionamento ou solicitar uma nova tarefa para dar continuidade à aprendizagem dos alunos.

É possível pensar que nessa categoria de Ball, Thames e Phelps (2008) esteja classificada a capacidade docente de realizar a articulação do conteúdo biológico aos objetivos educacionais, que permitem a formação do estudante.

É por meio de conhecimentos da importância epistemológica, ética e política do ensino de determinados conteúdos em biologia que o professor encontrará esteio para realizar intervenções que tenham coerência curricular e metodológica. É por meio desse saber que o professor pode ser capaz de responder à típica pergunta dos estudantes “mas por que eu tenho que saber isso?”.

Ao estabelecer uma comparação das categorias de Ball, Thames e Phelps (2008), é possível fazer alusão aos saberes propostos por Anastasiou (2003, p. 4), que afirma que “o saber inclui um saber quê, um saber como, um saber porque e um saber para quê”. O “saber quê” pode ser entendido em paralelo com o Conhecimento Comum do conteúdo, pois trata-se do conteúdo de cunho factual ou conceitual. O “saber como” pode ser entendido de forma semelhante ao Conhecimento Especializado do Conteúdo, pois consiste na capacidade de transpor didaticamente o conteúdo, de modo a torná-lo mais desembalado ou acessível ao estudante. O “saber por que” (em paralelo com o Conhecimento do Conteúdo e do Aluno) envolve a justificativa das decisões curriculares e metodológicas adotadas em adequação ao arcabouço prévio dos estudantes, bem como de suas trajetórias percorridas durante o enfrentamento do processo de aprendizagem. E, por fim, o “saber para quê” pode ser comparado com o Conhecimento do Conteúdo e do Ensino, visto que são determinados os objetivos educacionais em conformidade com finalidades formativas amplas que norteiam todas as atividades didáticas.

Ball, Thames e Phelps (2008) admitem que haja questionamentos quanto às fronteiras, pois nem sempre é fácil discernir as delimitações de uma categoria e o início da próxima, assim, ainda que possa favorecer com caráter heurístico, é difícil (e talvez prescindível) discernir os tipos de conhecimentos em casos específicos. Extraímos da análise supracitada algumas implicações para professores de biologia e podemos concluir que no conhecimento pedagógico do conteúdo, com sua multidimensionalidade (Quadro 2) é possível articular didática e epistemologia da biologia e pensar a integração de saberes de professores na formação inicial.

Quadro 2. Categorias do conhecimento pedagógico do conteúdo adaptadas a partir da proposta de Ball, Thames e Phelps (2008) com as respectivas abreviações e comparadas às categorias de Anastasiou (2003).

Categorias do conhecimento pedagógico do conteúdo		Categorias de Anastasiou (2003)
Conhecimento comum do conteúdo	CCC	O quê?
Conhecimento especializado do conteúdo	CEC	Como?
Conhecimento do conteúdo e dos alunos	CCA	Por quê?
Conhecimento do conteúdo e do ensino	CCE	Para quê?

Fonte: elaborado pela autora.

Para tanto, concretizar a integração de saberes exige que a universidade questione seus modelos tradicionais na Formação Inicial, tanto nas disciplinas de conteúdos biológicos quanto nas disciplinas didático-pedagógicas. É preciso oportunizar aos licenciandos espaços formativos nos quais possam integrar saberes e nos quais possam realizar um questionamento reconstrutivo (DEMO, 2011) da própria prática.

Como considera Tardif (2011), os saberes disciplinares, curriculares e profissionais do professor passam pela reconstrução do saber experiencial. Porém, durante o curso da graduação, o professor não produz conhecimento disciplinar ou pedagógico porque são ensinados na formação universitária sem que o graduando possa exercer controle de questões curriculares ou da produção de tais saberes. O licenciando se configura como receptor de saberes que não interagem com a prática. Não há tempo ou espaço para que tal integração ocorra. Assim, ao se tornar docente, o egresso da licenciatura, que possui uma relação de exterioridade e desapropriação com os saberes da universidade (um processo de alienação porque ele não controla a não produz os saberes) passa a se apropriar de um saber por ele produzido, por ele controlado e por ele legitimado: o saber experiencial.

É comum que por meio do saber experiencial, o professor passe a validar conhecimento a partir da prática por meio de categorias do próprio discurso. O que não teve utilidade aparente é eliminado e são conservados os procedimentos escolhidos por caráter utilitário. Assim, segundo Tardif (2011), a experiência corrobora um processo de retomada crítica que filtra e seleciona saberes, permitindo rever, julgar e avaliar os demais saberes. Instaura-se o processo de interiorizar saberes por meio da própria prática, o que caracteriza o saber experiencial como um

saber diferente dos demais, por ser constituído de todos os demais de forma retraduzida e submetida às certezas construídas na prática cotidiana da experiência vivida.

Considerar que os saberes docentes adquiridos a partir da Formação Inicial serão ressignificados por meio da prática é condição *sine qua non* para repensar a formação universitária da licenciatura. É preciso antecipar a formação dos saberes experienciais ainda na universidade para que sejam promovidos espaços de questionamento reconstrutivo dos próprios saberes, para que os professores não eliminem a teoria biológica e didático-pedagógica baseados em critérios utilitários.

Visando atender tais demandas formativas, a didática constitui uma disciplina que articula teoria e prática, sendo esse o papel da didática na formação do professor; ou seja, trata-se de um campo de estudos que contribui para a articulação entre teoria e prática de uma forma reflexiva, que permite ao professor dispor das especificidades de sua área de atuação, como a biologia (CALDEIRA; BASTOS, 2009).

A didática é assumida como uma disciplina pedagógica indispensável ao exercício profissional, constituindo-se referência para a formação de professores à medida que investiga os marcos teóricos e conceituais que fundamentam, a partir das práticas reais de ensino-aprendizagem, os saberes profissionais a serem mobilizados na ação docente, de modo a articular na formação profissional a teoria e a prática. Na relação de continuidade entre estudos clássicos e contemporâneos em didática, tem sido consensual o entendimento de que seu objeto de estudo é o processo de ensino-aprendizagem ligado à apropriação de conhecimentos, em determinados contextos, visando à formação do aluno. Constitui-se, assim, como um sistema teórico de referência para dar suporte à análise de aspectos da formação profissional de professores no que se refere à relação entre conhecimento disciplinar e conhecimento pedagógico (LIBÂNEO, 2015, p.633).

Libâneo (2015) pontua que a didática investiga processos de ensino e aprendizagem no que diz respeito a sua relação com o conteúdo específico, assim, o cerne da questão didática é “o conhecimento enquanto um processo mental a ser desenvolvido pelo aluno para conhecer objetos, ou seja, seu processo de formação de conceitos” (p. 641). Desse modo, à didática cabe a investigação acerca do processo de ensino e aprendizagem no que concerne aos saberes, visando o desenvolvimento do aluno. O professor estimula a apropriação de produtos da ciência por meio de uma atividade autônoma dos alunos, um processo denominado

mediação didática, que consiste na mediação das relações entre o aluno e os objetos de conhecimento (processo de ensino e aprendizagem).

Para Libâneo (2015), a didática reúne de forma integrada a lógica da organização dos saberes que serão objetos de ensino (dimensão epistemológica), a lógica das formas de aprendizagem (dimensão psicopedagógica) e a lógica da atuação docente no ensino.

Essas considerações permitem evidenciar a relação de dependência da didática com a epistemologia das disciplinas, do que decorre que os professores precisam não só ter domínio dos resultados da ciência como, também, dos procedimentos lógicos e investigativos dessa ciência, pois é daí que se originam as capacidades intelectuais a formar nos alunos na atividade de estudo. Nesse caso, o conhecimento pedagógico do conteúdo consiste em ajudar o aluno a transformar os conteúdos em objetos do pensamento, ou seja, em conceitos teóricos. Reside aí, precisamente, a problemática da relação entre o conhecimento disciplinar (conhecimento do conteúdo) e o conhecimento pedagógico na formação de professores (LIBÂNEO, 2015, p.642)

Espera-se que o professor formado, em nome da autonomia intelectual, articule teoria e prática para refletir criticamente acerca da sua prática profissional. Para tanto, o licenciando precisa ser estimulado a conhecer, refletir criticamente, debater, investigar, avaliar, propor soluções e aplicar conhecimentos. Assim, além do conhecimento de natureza conceitual, o professor em formação pode aprender habilidades e atitudes que possibilitarão a própria *práxis* docente (CALDEIRA; BASTOS, 2009).

Para perseguir o objetivo de propiciar a articulação entre didática e epistemologia da biologia, ou em outras palavras, para permitir o alcance do conhecimento pedagógico do conteúdo biológico para o professor de biologia em formação, é preciso que o graduando conheça a natureza do conhecimento da disciplina. Também se espera que esse professor possa dispor de conhecimento das concepções comuns e os equívocos dos estudantes, especialmente daqueles que podem ser desenvolvidos à medida que aprendem uma unidade didática⁴.

⁴ Durante os processos de ensino e aprendizagem há situações nas quais o professor define um objetivo, mas o estudante pode se desviar por caminhos de “distorção”, que consistem na construção que o estudante faz de uma versão alternativa para conceitos científicos estudados, que ainda que ele não perceba, pode estar discrepante do modelo científico (BASTOS *et al.*, 2004). É importante que o professor esteja atento não só às concepções alternativas que os alunos possuem a respeito de determinado tema, mas, sobretudo que estejam atentos às concepções que os alunos têm durante o próprio processo de aprendizagem.

Tendo sido realizada a fundamentação acerca da necessidade de que os professores em formação adquiram e articulem saberes de conteúdo específico, saberes de cunho pedagógico e saberes acerca de compreensões de seus estudantes, passaremos a tratar da fundamentação que auxilia o entendimento da relação entre pensamento e linguagem.

Justifica-se a necessidade de tal discussão no presente trabalho, uma vez que a linguagem mediada por palavras é um dos meios pelo qual o professor e o livro didático expressam o conhecimento e é também um dos meios pelo qual se obtém indicadores de concepções dos estudantes.

2.2 Relação entre pensamento e linguagem

As palavras e as frases que usamos e a complexa rede de relacionamentos entre seus usos são os óculos através dos quais vemos a nós mesmos e vemos o mundo. [...] Se as lentes estão sujas e obscurecem a visão, se for muito fácil confundir reflexos na lente com coisas vistas, se a curvatura das lentes conduz a certas distorções, então é imperativo prestar atenção aos óculos com os quais vemos o mundo.” (HACKER, 2010, p. 27-28).

Iniciamos esta seção com o excerto acima para tratar de um dos principais meios pelos quais professores podem acessar os indicadores de aprendizagem dos estudantes: declarações escritas ou orais, ou seja, a linguagem mediada por palavras. Se a linguagem é uma via que codifica e externaliza o pensamento humano (EVANS; GREEN, 2006), a relação entre linguagem e pensamento se torna central para compreender e alterar o processo de ensino e aprendizagem.

A linguagem nos fornece indicadores detectáveis que permitem entender da natureza, da estrutura e da organização do pensamento, uma vez que o nosso sistema conceitual origina propriedades da linguagem (ibid.). O sistema conceitual, por sua vez, é originado da experiência homem-mundo, que percebe dimensões do mundo exterior, por meio da interação sensorial e sociocultural.

Tal sistema conceitual é sustentado pela percepção e deriva de meios que incluem experiências sensoriais e introspectivas⁵, cujas representações mentais não

⁵ Considerando as experiências sensoriais, poderíamos citar o sistema visual (detecta o espaço e as cores), as sensações proprioceptivas (sensores de movimento e posição nos músculos, tendões e articulações; sensores de movimento no canal auditivo que detecta movimentos da cabeça), o sistema auditivo, o sistema tátil (tato, pressão, prurido), termorreceptores (receptores de frio e calor), nociceptores (receptores de dor), sistema olfativo e a gustação (TORTORA; DERRICKSON, 2017). Somados aos sentidos citados, ainda há outras capacidades humanas basais como a consciência temporal e o sistema afetivo (este último permite a dimensão das emoções) (EVANS; GREEN, 2006).

podem ser codificadas/externalizadas em seu todo somente por palavras. Ou seja, a linguagem é menos rica em detalhes que a experiência perceptiva e menos rica em detalhes que a organização mental dessa experiência (EVANS; GREEN, 2006).

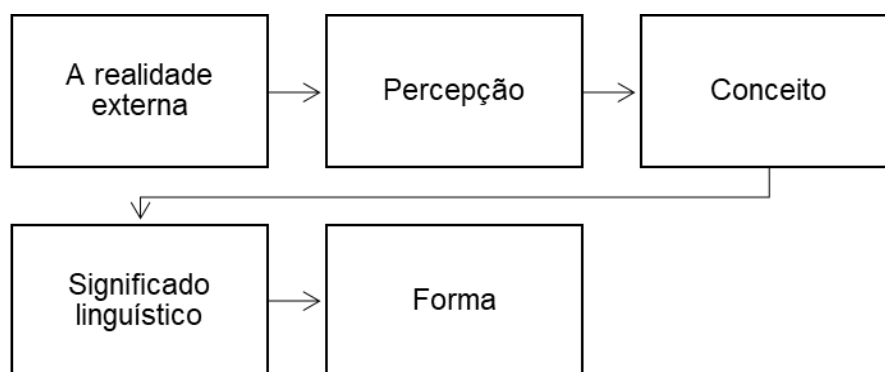
Assim, pode-se afirmar que, mediada por um sistema simbólico, a linguagem falada ou escrita sofre perda da riqueza da dimensão multimodal da representação conceitual, sendo, portanto, uma via limitada e limitante para expressar o pensamento (EVANS; GREEN, 2006). Basta lembrar de uma situação corriqueira na qual ocorre a frustração de um impedimento para “colocar uma ideia em palavras” e a razão para tal é que há um número finito de palavras com seus respectivos significados convencionais.

Uma das finalidades da linguagem é a expressão de pensamentos e ideias, pois ela codifica e externaliza pensamentos. O modo pelo qual a linguagem viabiliza a externalização é utilizando símbolos, como: palavras inteiras, partes de palavras ou sequências de palavras. Os símbolos estão associados a significados que são conteúdos semânticos convencionais. O significado está ligado a uma representação mental, denominada “conceito”; e as palavras rotulam conceitos. Os conceitos, por sua vez, são originados das percepções (ver Figura 1). As informações obtidas pelas vias sensoriais são integradas em uma imagem mental coerente e bem definida e os significados rotulados pelos símbolos linguísticos evocam essa representação mental da realidade (EVANS; GREEN, 2006).

Para exemplificar, Vyvyan Evans e Melanie Green (2006), utilizam uma fruta, como uma pera. Diferentes partes cerebrais irão perceber forma, cor, textura, sabor, cheiro etc. As várias informações perceptivas da “realidade externa” são integradas a uma única imagem mental, que fica disponível para a consciência e dá origem ao conceito de pera. Ao utilizar a linguagem para pronunciar “pera”, o símbolo corresponde a um significado convencional e se conecta a um conceito, mas não a um objeto físico da realidade externa (EVANS; GREEN, 2006).

Além da finalidade de expressar pensamentos e ideias, a linguagem também tem a função interativa, que consiste em tornar reconhecíveis e acessíveis aos demais sujeitos de uma comunidade os significados que compõem a linguagem. Na transmissão das ideias, deverá ocorrer então a comunicação, ou seja, o emissor transmite a informação e ocorre a decodificação pelo receptor (EVANS; GREEN, 2006).

Figura 1. Níveis de representação (adaptado de EVANS; GREEN, 2006, p. 7)



Fonte: elaborada pela autora.

As premissas supracitadas são provenientes da teorização da Linguística Cognitiva, uma área de estudo cujo arcabouço teórico está fundamentado na ideia de que, embora o sistema conceitual não se revele aberto para uma investigação direta, há a possibilidade de observação direta dos padrões da linguagem e, a partir de tais padrões, realizar a reconstrução das propriedades do sistema conceitual, assim, a linguagem seria uma janela para a cognição, representando importantes *insights* para a compreensão da mente humana (EVANS; GREEN, 2006).

Sob a ótica da Linguística Cognitiva, é necessário indicar que consideramos aqui o entendimento de “significado da palavra” diferente de uma definição (visão de dicionário), pois o significado das palavras considerado aqui é aquele de uma visão enciclopédica. A partir desse ponto de vista, admite-se que uma unidade, como uma palavra, não é entendida independentemente/desconectada de um inventário ou repositório de conhecimento enciclopédico vinculado, cuja origem é a interação humana social e física (EVANS; GREEN, 2006; FILLMORE, 2006; LANGACKER, 2006).

A descrição semântica de uma expressão leva, como ponto de partida, uma concepção integrada de complexidade arbitrária e o escopo enciclopédico. Podemos postular hierarquias de complexidade conceitual, nas quais estruturas de um determinado nível emergem de níveis inferiores (LANGACKER, 2006). Por exemplo, a noção hipotenusa é prontamente caracterizada, dada a concepção prévia de um triângulo retângulo, mas incoerente sem ele; O triângulo retângulo, portanto, funciona como o domínio cognitivo da hipotenusa. O ponto central do valor do cotovelo é a posição da entidade designada em relação à configuração geral do braço humano (tente explicar o que é um cotovelo sem se referir de forma alguma a um braço); portanto, braço é um domínio para o cotovelo (ibid.) Ou seja, para

explorar significados, é necessário ir além de uma visão de palavras como entidades autônomas, pois é preciso fazer uma análise mais completa que envolve uma integração de como a cognição atua na produção e externalização de conceitos rotulados em palavras.

Os modos como são construídos os conceitos na mente humana envolvem uma riqueza de informações que diferentes autores tentam entender e sistematizar em teorizações. Charles J. Fillmore (2006), por exemplo, utiliza o conceito de “frames” para indicar um “quadro” que é evocado a partir de uma palavra, que traz à tona um conjunto de contextos, cenas ou estruturas sistematizadas originados de experiências passadas/prévias. Ou seja, trata-se do conhecimento de mundo do sujeito. O autor denomina como “semântica de *frames*” a própria teorização.

Um exemplo seria a utilização da palavra “carro”: o conceito de carro incluiria uma figura mental correspondente a uma subparte que compõe uma porção de um todo mais abrangente. Esse todo é composto também por um pano de fundo, que é o *frame* (EVANS; GREEN, 2006). O *frame* não é uma mera lista de atributos associados ao conceito, como por exemplo a respeito do carro: roda, pneu, para-brisa, capô, portas, volante, motor e assim por diante. Há também pensamentos relacionais, ou seja, que tratam das interações entre as partes, por exemplo: carros precisam de combustível para funcionar, são conduzidos por seres humanos, que primeiro precisam obter uma carteira de motorista, carros têm motores que fornecem o mecanismo para mover o veículo, e assim por diante. Além disso, sabemos que, a menos que um motorista esteja operando o veículo, o que envolve ligar a ignição, o motor não dará partida. Assim, reduzir o conceito a uma figura mental ou a uma lista de atributos não é uma forma muito representativa de tratar da cognição humana no que tange ao processo de atribuir significados. A semântica de *frames* é uma tentativa de superar essa lacuna.

Admitindo tais premissas, é possível assumir que, de acordo com seu conhecimento enciclopédico pessoal, o estudante poderá interpretar um item léxico de formas diferentes daquelas que o professor espera devido às experiências religiosas e/ou culturais em geral que o estudante possui. O fenômeno dos “modos de ver” (*ways of seeing*) se origina do fato de cada indivíduo ter experiências diferentes e essa diferença implicar em representações mentais individuais autênticas. Isso cria um repertório ou conhecimento enciclopédico que pode influenciar a maneira como as palavras são interpretadas (CRUSE, 2011).

Além disso, algumas palavras podem ter um uso geral na vida cotidiana, mas passam a ter um uso separado na linguagem técnica. Nestes casos, os *frames* não estão relacionados e a percepção não auxilia o processo da compreensão, impedindo que as noções se encaixem. A disparidade de *frames* citada pode causar ruídos de comunicação, um fenômeno que pode ser entendido como uma falha de comunicação por conflito de *frame* (FILLMORE, 2006). A polissemia (que pode ser uma possível causa para ruídos de comunicação) pode surgir quando *frames* alternativos são evocados a partir de uma mesma palavra (ibid.).

Nas interações discursivas que ocorrem em sala de aula, o conhecimento enciclopédico que o aluno possui pode determinar a forma como ele atribui significados a um determinado conceito. Em casos de distorção conceitual causada por polissemia, poderíamos dizer que o *frame* do estudante não coincide com o *frame* do conhecimento científico.

A relevância de tratar desse aspecto da Linguística Cognitiva está na questão de que a palavra “dominância”, central na presente pesquisa, tem um significado corriqueiro de uso frequente na linguagem do dia a dia e um significado científico, que foi atribuído por Mendel. Como partimos de uma hipótese de que a linguagem poderia ter influências sobre como o estudante concebe o fenômeno da dominância, faz-se necessário discutir como questões linguísticas podem determinar um mal-entendido ou uma incompreensão.

A questão linguística para a interpretação do uso dos termos “dominância” e “recessividade” perpassa pelo caráter metafórico inerente. Nas últimas décadas, a forma como se concebe o uso de metáforas tem sido transformada por autores como George Lakoff e Mark Johnson (1980). Antes, até a década de 1970, a metáfora, cujo papel seria quase que de ornamentação, era entendida como restrita à linguagem. Porém, após a virada cognitiva estimulada pela publicação “Metáfora e Pensamento” de Andrew Ortony em 1979, a metáfora passa a ser entendida como uma questão também de pensamento (STEEN, 2011).

No ano seguinte, Lakoff e Johnson (1980) lançam a obra “*Metaphors We Live by*”, na qual defendem que o uso da metáfora não tem uma frequência esporádica, pois é altamente difundido na vida cotidiana. Assim, ratificam que não se trata apenas de palavras, mas também de pensamentos e ações. A afirmação central dos autores seria que a metáfora não é artifício poético de imaginação ou “floreio”

fantasioso, pois nosso sistema conceitual, em termos do qual pensamos e agimos, é fundamentalmente metafórico por natureza.

O funcionamento de uma metáfora é entender ou experienciar um elemento (domínio alvo) em termos de outro (domínio fonte). Porém, no caso da linguística cognitiva a metáfora é diferente daquela outrora entendida como “figura de linguagem”, visto que não se trata de imaginação e fábulas, mas sim de sentido literal.

The most important claim we have made so far is that metaphor is not just a matter of language, that is, of mere words. We shall argue that, on the contrary, human thought processes are largely metaphorical. This is what we mean when we say that the human conceptual system is metaphorically structured and defined. Metaphors as linguistic expressions are possible precisely because there are metaphors in a person's conceptual system (LAKOFF; JOHNSON, 1980, p. 07).

Uma vez que as expressões metafóricas estejam ligadas a conceitos metafóricos de modo sistemático, é possível utilizar expressões metafóricas para estudar a natureza dos conceitos metafóricos e ter indicadores do funcionamento da cognição estruturada de forma também metafórica (LAKOFF; JOHNSON, 1980). Ou seja, a linguagem forneceria dados que permitiriam a organização de princípios gerais da compreensão (ibid.).

Sendo assim, Lakoff e Johnson (1980) admitem que a maior parte de nosso sistema conceitual é metaforicamente estruturada. Especificamente, os autores indicam que estruturamos os conceitos menos concretos e inerentemente mais vagos (como emoções) em termos de conceitos mais concretos, que são mais claramente delineados em nossa experiência.

Os conceitos mais concretos são aqueles que provém da experiência ou dos nossos corpos (aparelho perceptivo, aparelho motor, capacidades mentais e emocionais etc.). Nas interações com o ambiente físico, desenvolvemos atividades como manuseio, alimentação, receber impactos etc. Já nas interações com outras pessoas, experienciamos a dimensão social, política, econômica e religiosa, por exemplo (LAKOFF; JOHNSON, 1980).

Para exemplificar, os autores mencionam como o conceito de “tempo” é falado e pensado em termos de outro conceito, o de “dinheiro”. Não somente na típica frase “tempo é dinheiro”, mas também em várias outras frases, a saber: “você está desperdiçando meu tempo”, “desse modo eu vou economizar tempo”, “eu posso

te dar cinco minutos”, “como você gasta seu tempo?”, “aquilo me custou muito tempo”, “eu investi muito tempo nisso” e “vai sobrar tempo?”.

A compreensão de um conceito em termos de outro apresenta limitações, porque alguns aspectos são incompatíveis. A metáfora permite que nos concentremos em alguns elementos de um conceito, mas ao mesmo tempo oculta outros. Deste modo, a estruturação metafórica é parcial, não total. Se fosse total, um conceito seria exatamente o outro e não estruturado/entendido em termos do outro (LAKOFF; JOHNSON, 1980).

No que diz respeito ao exemplo “tempo é dinheiro”, o tempo (domínio alvo) não é de fato dinheiro (domínio fonte). Por exemplo, se um tempo for gasto em algo sem êxito, esse tempo não pode ser devolvido. Não há bancos de tempo etc.

Utilizando a terminologia de Lakoff e Johnson (1980), o link metafórico que une dois domínios consiste em várias correspondências ou mapeamentos (*mappings*) distintos. Alguns aspectos do domínio alvo e do domínio fonte representam correspondência, outros não. Dessa distinção que se faz entre os aspectos que correspondem e os que não, emerge a classificação dos processos de ocultar (*hiding*) e destacar (*highlighting*).

Em discussões publicadas por nosso grupo de pesquisa (CESCHIM; CALDEIRA, 2020; CESCHIM; GANIKO-DUTRA; CALDEIRA, 2020) indicamos que os processos de *ocultar* e *destacar* podem estar correlacionados com o que chamamos de “Distorção conceitual por metáfora”. O fenômeno seria a produção de concepções alternativas por estudantes que ‘destacam’ aspectos do domínio fonte que não são correspondentes com o domínio alvo, produzindo conclusões equivocadas.

Na próxima sessão, trataremos do tema de mudança conceitual, para indicar quais fundamentos amparam nossa discussão no que diz respeito a como se espera que o professor conduza a mediação didática diante da necessidade do enfrentamento de concepções equivocadas.

2.3 Mudança conceitual

Ainda que a ciência tenha produzido várias interpretações com evidências disponíveis, os estudantes em período de escolarização nem sempre adotam as visões científicas referentes aos fenômenos. No passado, professores já pensaram que crianças chegavam à escola “sem saber nada”, como “tábula rasa” ou “folha em

branco”. Assim, ensinar conhecimento científico seria introduzir novas perspectivas a serem aceitas pelo aluno prontamente pelo processo de instrução. Porém, as crianças possuem, sim, variadas ideias dos fenômenos naturais que são desenvolvidas antes e durante a escolarização.

O mais importante aspecto em admitir a importância das compreensões dos estudantes para a prática pedagógica é o reconhecimento de que tais compreensões interferem significativamente em como o estudante alcançará a aprendizagem do conteúdo científico.

Os estudantes que interagem com os conhecimentos escolares não necessariamente deslocam seus equívocos substituindo-os por modelos científicos de explicações, pois podem empregar conceitos científicos nas provas que requerem memorização mecânica de informações, mas continuam a resgatar compreensões anteriores quando confrontam problemas novos e concretos.

As ideias que os estudantes utilizam para explicar objetos, estados e fenômenos da natureza podem ser incompatíveis com as ideias científicas. Para utilizar uma terminologia específica para se referir a tais ideias, a literatura tem feito uso de algumas denominações: *misconceptions*, *preconceptions*, *alternative conceptions*, *naive beliefs*, *alternative beliefs*, *alternative frameworks* e *naive theories* (SMITH III; DISESSA; ROSCHELLE, 1994). No presente trabalho, optamos por utilizar “concepções alternativas”, “concepções equivocadas”, “incompreensões” ou “distorções conceituais”.

As concepções alternativas são formadas por meio da interação do indivíduo com o mundo físico e social, o que inclui as interações em sala de aula. Tais ideias normalmente se tornam implícitas e são resistentes à instrução, ou seja, são difíceis de serem alteradas (CASTORINA; CARRETERO, 2014).

A percepção humana e a experiência pessoal ao longo do desenvolvimento representam as fontes para concepções que se constituem como um conhecimento impreciso. Naturalistas do passado defenderam ideias como geração espontânea e herança de caracteres adquiridos. São visões que foram originadas na experiência pessoal e podem ser reforçadas pelo plano sensorial, pois, como ressaltam Lawson e Thompson (1988): as larvas parecem mesmo ser geradas espontaneamente a partir da carne podre; assim como se pode pensar que do mesmo modo como pessoas criam objetos, os seres vivos também exibem um projeto antevisto por entidades (ou teleológico).

Como professores, é importante observar que as concepções discentes podem ter diferentes classificações (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1997):

- Noções preconcebidas: são concepções populares fundamentadas em experiências cotidianas.
- Crenças não-científicas: incluem visões aprendidas por estudantes a partir de outras fontes além da educação científica, como ensinamentos religiosos ou míticos.
- Mal-entendidos conceituais: são aqueles originados de processos de ensino, quando a informação científica não interage adequadamente com as concepções prévias dos estudantes e eles criam modelos híbridos defeituosos.
- Equívocos vernaculares: são aqueles que se originam do uso de palavras possuem um significado vida cotidiana e outro em um contexto científico.
- Equívocos factuais: são ideias falsas aprendidas na infância e que permaneceram incontestadas na idade adulta. A ideia de que "um relâmpago nunca cai duas vezes no mesmo lugar" é um exemplo.

As diferentes origens que causam as concepções alternativas dos estudantes podem e precisam ser identificadas, uma vez que o processo de aprendizagem do conhecimento científico requer que os procedimentos didáticos estejam alinhados às necessidades dos estudantes.

O processo de aprendizagem que envolve a interação entre a concepção alternativa do estudante e o conhecimento científico para promover a evolução conceitual é denominado "mudança conceitual".

A aprendizagem por mudança conceitual é diferente de uma mera aquisição/acúmulo de conhecimento, porque inclui a construção de ideias novas em interação com ideias antigas (DISESSA, 2014).

Enquanto objeto de estudo, a mudança conceitual se constitui em um campo difuso/múltiplo e ainda muito especulativo, pois carece de teorização fundamentada empiricamente com ampla aceitação da comunidade acadêmica (DISESSA, 2014).

Enquanto termo⁶, começa a aparecer em estudos psicológicos e pedagógicos em torno de 1980 (CASTORINA; CARRETERO, 2014).

Uma forma de explicar tal processo é o modelo de substituição, ou seja, a concepção equivocada seria abandonada para dar lugar ao conhecimento científico. Seria necessário “remover” o conhecimento anterior, para então “inserir” o novo. Por meio do “conflito cognitivo”, que consiste em um confronto explícito entre as concepções equivocadas e o conhecimento científico, são contrastadas as diferenças e, na competição que se estabelece, o conhecimento científico triunfaria como o aceitável. Os estudantes se apropriariam de evidências e justificativas que tornariam o conhecimento científico mais plausível que a concepção anterior (SMITH III; DISESSA; ROSCHELLE, 1994).

Com um importante expoente representado por George J. Posner et al. (1982), a mudança conceitual por substituição é entendida por Vosniadou (2008) como a “abordagem clássica” da mudança conceitual. Nessa abordagem, assim como um cientista, o estudante passaria por um racional processo de substituição que ocorre em um curto período, por meio do conflito cognitivo, que se coloca como o melhor meio pedagógico para promover a aprendizagem.

Para explicar como tais ideias ou concepções são transformadas, autores fundamentaram-se em Piaget, ao associar a fase de assimilação (conceitos existentes são aplicados para entender fenômenos novos, assim, há agregação de novas informações que serão interpretadas pela estrutura de conhecimento já existente) comparável com a fase de ciência normal de Kuhn. Ao contrário, em períodos de acomodação (substituição e reorganização dos conceitos centrais do sujeito para explicar fenômenos que antes não puderam ser compreendidos) há rupturas, comparáveis à fase da revolução científica kuhniana.

Para Posner et al. (1982), que adotam ambos os referenciais (piagetiano e kuhniano) as estratégias pedagógicas adequadas para a mudança conceitual requerem que o sujeito se torne insatisfeito com as concepções existentes ao identificar anomalias/contradições de suas concepções (conflito cognitivo). Também é necessário que haja outra concepção inteligível e que se torna cada vez mais

⁶ O termo “mudança conceitual” foi introduzido por Thomas Kuhn (2013) que indica que conceitos inseridos em uma teoria científica mudam de significados quando muda a teoria (ou paradigma). Os períodos de revolução científica seriam intercalados por períodos de produção sob um *status quo* que o autor denomina “ciência normal”.

plausível, ao resolver continuamente problemas gerados pelas concepções precedentes.

Posner et al. (1982) estabeleceram uma analogia entre os modos das mundaças necessárias para que estudantes aprendam ciência e a explicação de Kuhn referente à mudança teórica na ciência. Para o autor, os estudantes precisam alcançar uma mudança conceitual radical quando começam a entender conceitos científicos, de modo a substituir, durante a instrução, suas pré-concepções ou concepções equivocadas por novos conceitos científicos.

Essa abordagem clássica sofreu críticas e foi alvo de discussões que tentaram reorganizar e ampliar os conhecimentos acerca de como ocorre a mudança conceitual.

Um dos aspectos que os dados empíricos têm evidenciado é que estudantes alternam entre concepções científicas e concepções equivocadas anteriores durante o processo de aprendizagem (MORTIMER, 2000; CESHIM, 2017), o que indica que pode haver convivência dos conceitos. Sendo assim, se não se trata de ideias que funcionam como unidades separadas e independentes, não faria sentido conceber o processo de mudança conceitual como um processo de substituição (SMITH III; DISESSA; ROSCHELLE, 1994).

Também um aspecto importante a ser considerado é que o conflito cognitivo, estratégia utilizada para estimular a mudança conceitual no modelo de substituição, tende a negar a validade das ideias dos alunos, o que diverge do que se espera para a sensibilidade pedagógica necessária para negociar compreensões.

Outra questão a ser pensada reside na comparação estudante-cientista, visto que o estudante, diferente do cientista, não está ciente de que suas pressuposições e crenças restringem seu aprendizado, nem o motivo para tal (o que ainda se soma aos fatores afetivos e motivações variadas que estimulam a perpetuação de concepções). Eles não têm consciência de que suas crenças não são fatos, mas hipóteses, além de não identificarem que há diferentes outros pontos de vista passíveis de testes e falsificações experimentais.

Assim, uma importante parte do processo de mudança conceitual, sob outra perspectiva, consistiria justamente em avançar dessa fase de não consciência, viabilizada por uma aprendizagem intencional mediada pela consciência dos próprios conceitos (VOSNIADOU, 2008).

Outro aspecto central à crítica à abordagem clássica é que, embora seja possível que algumas reestruturações abruptas possam ocorrer em indivíduos durante o processo de aprendizagem, esta via não parece ser o caminho usual para a mudança conceitual, pois evidências empíricas tem apontado que o curso da mudança conceitual é um processo moderado, gradual e lento (VOSNIADOU, 2008). Assim, se o estudante possui uma teoria A e precisa mudar para a teoria B, não necessariamente há uma completa incomensurabilidade e há muitas situações nas quais o estudante pode lentamente revisar suas visões iniciais para torná-las mais compatíveis com a teoria científica da escolarização (ibid.).

É importante observar que as abordagens clássicas concedem grande ênfase a mecanismos internos para promover mudança conceitual e não incluem variáveis socioculturais (VOSNIADOU, 2008). Porém, contemporaneamente, a mudança conceitual não é mais entendida somente como um processo individual, interno e cognitivo, mas também como uma atividade que toma lugar em um complexo mundo sociocultural (ibid.).

A mudança conceitual não ocorre tão somente por vias cognitivas individuais, nem unicamente por consenso social (apropriação ou internalização de práticas sociais existentes), mas por meio de um processo sinérgico que integra fatores cognitivos e socioculturais, pois a compreensão ocorre viabilizada por um processo social que envolve muito processamento por uma mente individual ativa (VOSNIADOU, 2007; CASTORINA; CARRETERO, 2014).

Vosniadou (2007) afirma que os conceitos científicos avançados das várias disciplinas não serão aprendidos pelos os estudantes por simples memorização de fatos ou no enriquecimento de suas teorias ingênuas e intuitivas. Como alternativa, práticas como de Hatano (2008) são defendidas por Vosniadou (2007) para concretizarem estratégias pedagógicas que podem viabilizar condições para a mudança conceitual deliberada e intencional. Trata-se de atividades que implicam o uso de consciência metaconceitual por parte dos estudantes, como o emprego de questões de múltipla escolha com alternativas conflitantes que contém equívocos comuns (distratores). Trata-se de situações que viabilizam a produção de conflitos

que serão explorados coletivamente por um período prolongado em diálogos da turma inteira simultaneamente ou em grupos⁷.

Vosniadou, Vamvakoussi e Skopeliti (2008) explicam que aprendizes fazem frequentemente processos de adições ou mecanismos de “enriquecimento” naturalmente que, ainda que não sejam conscientes, podem produzir mudança conceitual em longos períodos. Porém, tais mecanismos de enriquecimentos, que muitas vezes compatibilizam duas peças fragmentadas de informações, podem originar novas concepções equivocadas. Trata-se de fazer uma distinção importante: há “mudança conceitual espontânea” que se realiza naturalmente no desenvolvimento, que se distingue da “mudança conceitual induzida pelo ensino” que é originada no processo de instrução sistematizada (ibid.; VOSNIADOU, 2007).

Para Vosniadou (2007), na prática pedagógica, estar limitado a adicionar ou enriquecer as concepções não é muito produtivo, visto que pode conduzir à formação de equívocos. O estudante, ao ser confrontado com o modelo científico que diverge de sua teoria, se estiver restrito à simples adição, construirá modelos híbridos ou sintéticos. Para exemplificar, a autora aponta que ao ser informado de a Terra ser aproximadamente esférica, o estudante sofre o conflito com sua teoria de Terra plana. Porém, por mecanismos simples e assimilatórios, vários modelos sintéticos podem ser formados, que podem inclusive afirmar que há duas Terras, uma apoiada e plana, onde as pessoas vivem e outra, que é um planeta no céu (ibid.). Por não terem conhecimento consciente de suas próprias crenças, os estudantes não identificam contradições entre suas teorias e os modelos científicos, o que pode causar distorções.

Para a autora (ibid.), é preciso evitar a construção de tais modelos sintéticos, por meio das seguintes estratégias: estudantes precisam tomar conhecimento das inconsistências entre suas teorias e as científicas e precisam estar conscientes e deliberados para uma aprendizagem intencional. Em outras palavras, a mudança conceitual pelo ensino requer não apenas a reestruturação das teorias prévias dos

⁷ Tal metodologia se assemelha muito com o trabalho contemporâneo de Mazur (2015), que o autor denomina como “Peer Instruction”. Trata-se de promover situações de compartilhamento e discussão acerca do conteúdo científico para promover a aprendizagem entre pares. O professor propõe um teste conceitual de múltipla escolha (na qual os distratores – ou alternativas erradas – são concepções comuns dos próprios estudantes) e espera-se que como os estudantes acabaram de aprender, ainda se lembram dos desafios conceituais, das dificuldades, e assim, tem disponível um caminho para desembalar ou descompactar o conteúdo para compartilhar com os pares e defender uma alternativa correta.

estudantes, mas também a reorganização de seus modos de aprendizagem e a criação da consciência metaconceitual por meio de intencionalidade.

Trata-se de uma importante conclusão pedagógica acerca da relação entre conceitos espontâneos e científicos, visto que permite questionar a prática pedagógica de ensino direto de conceitos prontos aos alunos: há sempre o risco de que a simples adição de saber escolar origine modelos híbridos não conscientes constituídos por distorções conceituais. Como uma aula expositiva monológica poderia permitir a reestruturação das ideias prévias à luz do conteúdo científico se os estudantes não experienciam situações didáticas nas quais se pode promover a tomada de consciência?

Vosniadou (2008) explica que, para estimular mudanças conceituais, professores precisam estar atentos às concepções dos estudantes, não só para enriquecer seu conhecimento inicial, como também para transformá-lo. Para tal, é necessário o desenho de um currículo apropriado e de um ensino voltado para a criação e motivação de aprendizagem significativa prolongada, incluindo a necessária consciência metaconceitual e estratégias de aprendizagem intencional.

Para a autora, a mudança conceitual, ao invés de um processo rápido de substituição racional de conceitos (abordagem clássica), ocorre de modo contínuo, que envolve muitos pontos inter-relacionados do conhecimento e requer um longo tempo para ser alcançada. Embora alguns conflitos cognitivos possam ser empregados como estratégia de ensino, somente no contexto de um grande programa cuidadosamente planejado de intervenção é possível mediar a aprendizagem por mudança conceitual (VOSNIADOU, 2007).

Em uma visão construtivista de aprendizagem, as concepções dos estudantes desempenham um papel produtivo na aquisição de conhecimento (SMITH III; DISESSA; ROSCHELLE, 1994). Sendo assim, o mero conflito entre as ideias dos estudantes e as ideias científicas não é produtiva do ponto de vista didático, pois é preciso olhar para tais ideias não do ponto de vista da oposição/contraste, mas do ponto de vista de como podem funcionar como recursos/compreensões para a aprendizagem (ibid.).

Desse ponto de vista, fica evidente a necessidade de que pesquisadores e professores produzam conhecimento acerca da compreensão de seus estudantes, especialmente daquelas que não são compatíveis com o conhecimento científico.

Se para o estudante a mudança conceitual requer a tomada de consciência da própria concepção alternativa (consciência metaconceitual), o professor precisará dispor de habilidade e de repertório para diagnosticar as compreensões que surgirem, de modo que seja possível auxiliá-los no processo de tomada de consciência.

3 A UNIDADE CURRICULAR DE GENÉTICA: ASPECTOS CONCEITUAIS E EPISTEMOLÓGICOS

A “genética” pode ser entendida como “o estudo científico da hereditariedade e da variação hereditária” (REECE, 2015, p. 1363; SNUSTAD; SIMMONS, 2017) e se constitui como uma disciplina científica que teve desdobramentos em subáreas, como a “genética molecular”. Antes de tratar de como se configura a genética *per se*, é importante ressaltar que uma disciplina científica não existe como uma unidade natural, pois ela tem uma origem histórica, finalidades humanas que a justificam e sobretudo porque ela é configurada por uma organização mental (FOUREZ, 1995).

Assim, uma disciplina é uma estrutura mental que tem a função de classificar o mundo e abordá-lo. “Uma disciplina científica nasce como uma nova maneira de considerar o mundo e essa nova maneira se estrutura em ressonância com as condições [...] de uma época.” (FOUREZ, 1995, p. 105).

A visão espontânea diria que as disciplinas são determinadas por objetos dados empiricamente. Porém, não existe o objeto de uma disciplina antes da existência da disciplina, pois o próprio objeto é construído por ela. Em outras palavras, “Uma disciplina científica não é definida pelo objeto que ela estuda, mas é ela que o determina.” (FOUREZ, 1995, p. 106).

Sendo assim, podemos considerar a genética como uma área de estudo que foi construída pela ciência como um novo meio de abordar a hereditariedade, sob diferentes aspectos. Por força de determinantes históricos, a hereditariedade foi entendida sob o recorte da “genética”⁸ por meio do auxílio de estudos envolvendo cruzamentos, mas posteriormente também envolvendo o uso de artefatos tecnológicos sofisticados, que permitiam novos modos de considerar o objeto de estudo que se estabeleceria: a herança.

Para iniciar as considerações acerca do conhecimento produzido na disciplina de genética, serão apontados alguns dos fundamentos que explicam a produção de fenótipos a partir do material genético na próxima seção.

⁸ Atualmente, herança e genética não são mais entendidas como conceitos sobrepostos, uma vez que a herança biológica compreende também outros aspectos além de sequências de bases nitrogenadas do DNA (cf. CESHIM; GANIKO-DUTRA, 2020).

3.1 Considerações acerca do material genético

Um importante objeto de estudo da biologia é o fenótipo dos seres vivos. Segundo Griffiths et al. (2011), o fenótipo compreende todos os elementos morfológicos, fisiológicos, comportamentais e ecológicos de um organismo. Para Pierce (2011), o fenótipo é o “surgimento ou manifestação de uma característica” (p. 716).

Nachtomy, Shavit e Yakhini (2007) defendem que o conceito de fenótipo, após a incorporação de informações moleculares contemporâneas, requer um compromisso com a proposta inicial de Wilhelm L. Johannsen [1857–1927], que concebe o fenótipo como os traços observáveis do organismo. Trata-se de uma proposta suficientemente inclusiva e pluralista que pode abranger até o comportamento (que embora não seja uma característica física, Johannsen considerou como parte do fenótipo) e também pode envolver a estrutura molecular e a quantidade variável de proteínas (conferindo um caráter quantitativo ao fenótipo).

Foi Johannsen quem introduziu a distinção entre genótipo e fenótipo (WATSON et al., 2015), que hoje pode ser entendida como genoma (material hereditário) versus a “expressão” desse genoma, originando estruturas (NACHTOMY; SHAVIT; YAKHINI, 2007). Deste modo, ontologicamente, enquanto o genótipo é objeto, o fenótipo é fenômeno (ibid.). Enquanto o primeiro é fixo, o segundo é dinâmico:

O genótipo é essencialmente uma característica fixa de um organismo individual; o genótipo permanece constante durante a vida, exceto por raras mutações nas células e é essencialmente inalterado pelos efeitos ambientais. A maioria dos fenótipos muda continuamente durante a vida de um organismo à medida que seus genes interagem com uma sequência de ambientes. (GRIFFITHS et al., 2011, p. 19).

Em uma visão genecêntrica, entende-se que o fenótipo é a expressão do genótipo. Desse ponto de vista, as diferenças entre as espécies e até mesmo as variações intraespecíficas são dadas apenas por seus genomas. Em uma visão que integra a relação genótipo-ambiente, reconhece-se a contribuição do material hereditário, mas também a história de desenvolvimento do organismo (GRIFFITHS et al., 2011).

O material genético que constitui o genoma é ácido desoxirribonucleico, o DNA, e a “informação” hereditária é transmitida por meio de uma sequência de quatro nucleotídeos. Armazenado no núcleo de células eucarióticas, o DNA atua

como se fosse um “molde” para sintetizar moléculas de outro material genético, o ácido ribonucleico, ou RNA, que será destinado ao citoplasma, onde será realizada a síntese proteica (WATSON et al., 2015).

A síntese proteica é um processo que ocorre mediado pelos ribossomos, que percorrem fitas de RNA mensageiros, contendo a sequência de nucleotídeos do DNA que serviu como “molde”. O RNA tem nucleotídeos que são identificados em trinças. A cada trinca, ou “códon”, um “anticódon” de um RNA transportador é combinado, trazendo um aminoácido correspondente ao códon. Trata-se do “código genético”. Há 20 aminoácidos naturais e 64 códons possíveis. Há vários códons que se repetem para um mesmo aminoácido. Por exemplo, há seis códons diferentes que codificam leucina (UUA, UUG, CCU, CUC, CUA e CUG). Há ainda três códons de término, que não codificam aminoácidos (UAA, UAG e UGA). O ribossomo percorre dois códons por vez, adicionando aminoácidos à cadeia polipeptídica (WATSON et al., 2015).

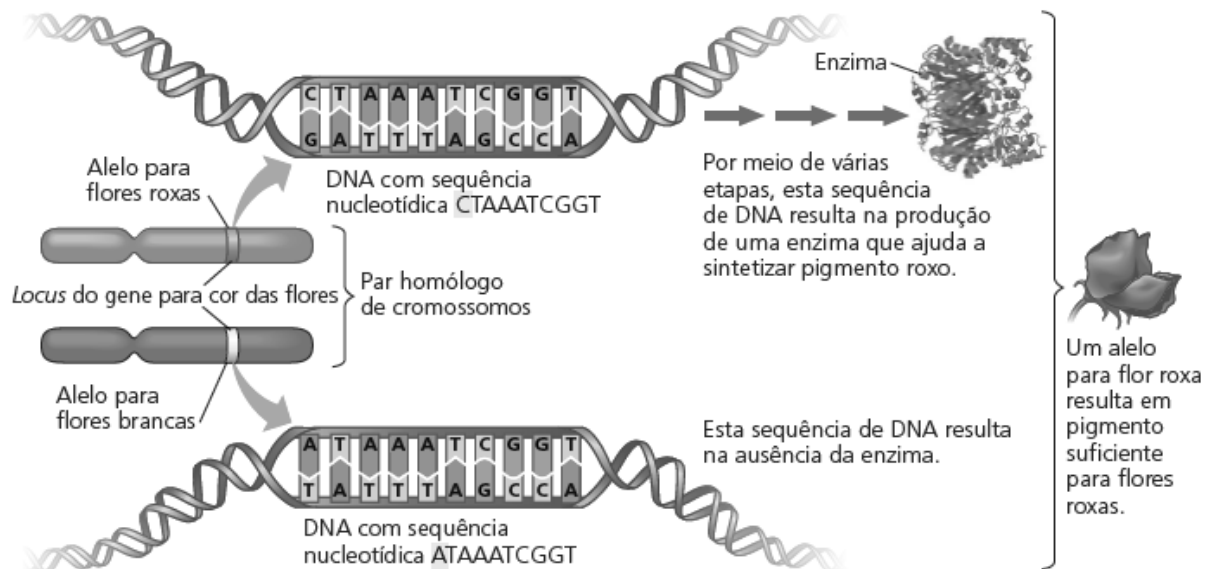
Os dois parágrafos acima explicam sucintamente como genótipo e fenótipo iniciam um processo de construção, pois a produção de polipeptídios mediados pelo sequenciamento gênico é o modo pelo qual o DNA pode exercer influência sobre as células.

A unidade que mais comumente ocorre na natureza para um determinado ser vivo é denominada “selvagem” (GRIFFITHS et al., 2011). Quando se trata do genótipo, utiliza-se a mesma denominação: o alelo é uma forma alternativa de um gene (KLUG et al., 2010) e quando ocorre com maior frequência em uma população, o que arbitrariamente chamamos de “normal”, é tomado como o alelo de tipo selvagem (ibid.).

Um alelo selvagem contrasta-se com um alelo mutante, pois este último será constituído por sequências alteradas (ver exemplo da Figura 2) e consequentemente poderá codificar produtos gênicos alterados (KLUG et al., 2010).

Em indivíduos diploides, combinações de cromossomos homólogos formam pares que podem ser dois alelos selvagens ou dois alelos mutantes (condições denominadas homozigóticas, pois trata-se da união de dois cromossomos iguais), ou podem formar um par com um alelo diferente do outro em cada um dos cromossomos homólogos (condição heterozigótica).

Figura 2. Representação de dois alelos, destaques de um par de cromossomos homólogos. Cada um deles apresenta uma sequência nucleotídica própria, que resulta na produção de diferentes fenótipos referentes à cor da flor da planta de ervilha.



Fonte: adaptado de REECE et al. (2015, p. 271).

Em condição heterozigótica, diversos fenótipos podem emergir. É no indivíduo heterozigoto que o fenômeno da dominância pode acontecer, pois os possíveis produtos dos alelos selvagem e mutante irão interagir. Em alguns casos, essa interação pode resultar na produção de um fenótipo que seja semelhante somente a um dos indivíduos parentais, o que caracteriza a dominância completa (é o que ocorre no exemplo da Figura 2, na qual a produção de pigmento roxo proveniente de apenas um dos alelos é suficiente para conferir coloração à flor). Como propôs Gregor Mendel a partir de seus experimentos com a planta de ervilha:

o caráter híbrido se assemelha ao de uma das formas parentais tão intimamente que a outra escapa completamente da observação ou não pode ser detectada com clareza. [...]. Esses caracteres do híbrido serão denominados “dominantes” e aqueles que se tornam latentes no processo serão denominados “recessivos”. A expressão “recessivo” foi escolhida porque os caracteres assim designados se retiram ou desaparecem completamente nos híbridos, mas reaparecem inalterados em sua descendência [...] (MENDEL, 2008 [1909], p. 15, tradução nossa).

Vale ressaltar, que, com base no trecho acima, é possível afirmar que os termos metafóricos “dominante” e “recessivo”, são propostos por Mendel tendo como critério um caráter fenomenológico, e não fisiológico. O monge faz uso de tais termos como adjetivos (“dominante”/“recessivo”), nunca como substantivo

(“dominância”/“recessividade”), nem utilizando um verbo correspondente (“dominar”) (ALLCHIN, 2000). Deste modo, nunca descreveu uma relação de dominância ou um processo de dominação entre dois personagens, apenas rotulou tais personagens com base em sua aparência visível (na prole híbrida) (ibid.). Tratava-se de uma ferramenta linguística e não de uma afirmação fisiológica (ibid.).

A dominância proposta por Mendel pode ser entendida como a ideia de que um organismo individual possui dois alelos diferentes para uma característica, mas a característica codificada apenas por um dos alelos é observada no fenótipo. Com a dominância, o heterozigoto possui o mesmo fenótipo que um dos homozigotos. [...] (PIERCE, 2011, p. 97).

É preciso salientar que a dominância pode ser concebida à luz de como se relaciona o fenótipo do heterozigoto com fenótipos dos homozigotos (PIERCE, 2011). Inclusive, é por meio desse raciocínio que é possível determinar o tipo de dominância em questão. A dominância completa, aquela na qual apenas a característica de um dos homozigotos aparece no heterozigoto não é a única possível; e Mendel (2008) estava ciente das outras formas de interação entre os fenótipos dos homozigotos parentais no descendente heterozigoto.

Outras formas de dominância podem incluir, por exemplo, um fenótipo intermediário entre os dois homozigotos – o que pode ser denominado como “dominância incompleta” (ou ausência de dominância). Há ainda a relação do tipo “codominância”, na qual o fenótipo do heterozigoto é a manifestação simultânea do fenótipo de ambos os homozigotos parentais (PIERCE, 2011). Todas as três denominações (dominância completa, dominância incompleta e codominância), reiteramos, são asserções fenomenológicas e não fisiológicas, como poderemos explicar em sessões posteriores.

3.2 Breve cronologia da genética de transmissão

A genética de transmissão é aquela que se preocupa com os estudos de hereditariedade no aspecto específico de buscar explicar como são transmitidas as características de uma geração para a outra. O foco é o organismo individual: como é herdada a constituição genética e como é transmitido o material genético para a geração subsequente (PIERCE, 2011).

Para fazer análises referentes à genética de transmissão, as observações são indiretas (em se tratando de plantas e animais) por indicadores das proporções geradas em cruzamentos. Em organismos haploides, no entanto, como algas e

fungos, a observação é direta no fenótipo do indivíduo, sem a necessidade de dois organismos modelos (macho e fêmea) e sem a produção de dominância/recessividade nos heterozigotos (GRIFFITHS et al., 2011).

Para originar a terminologia e as compreensões contemporâneas, articulações de diferentes áreas da biologia foram realizadas por pesquisadores ao longo do século XIX e XX. Hoje, por exemplo, articulamos os resultados dos experimentos mendelianos com sentenças referentes à meiose e substituímos os antigos termos “fatores” por “alelos” e “híbridos” por “heterozigotos”, porque muitos novos dados foram acrescentados – especialmente microscópicos –, que permitiram reinterpretar as denominações.

Não temos a intenção de esgotar a exploração de apontamentos acerca da construção epistemológica da genética de transmissão, tampouco temos a intenção de propor um compêndio, mas faremos breves considerações acerca de acontecimentos que são relevantes para a compreensão de como a dominância passa a ser estabelecida como um objeto de estudo científico. Para assinalar em que contexto se estabelece o trabalho mendeliano, alguns acontecimentos que precederam ou foram concomitantes à publicação de Mendel serão indicados a seguir.

Em 1833, o botânico Robert Brown [1733-1858] identificou o núcleo em células de orquídeas (PIERCE, 2011; BUSCH, 1974; FORD, 1982.). Em 1839, Matthias Jacob Schleiden [1804-1881] e Theodor Schwann [1810–1882] propõem a teoria celular (“toda vida é composta de células, as células surgem apenas de células preexistentes, e a célula é a unidade fundamental de estrutura e função em organismos vivos” *ibid.*, p.10). Ainda no século XIX, a transmissão hereditária já fora atribuída para o espermatozoide/óvulo e, em 1868, Ernst Haeckel [1834–1919] atribui ao material nuclear o locus da hereditariedade (WATSON et al., 2015).

No final do século XIX, August Weismann [1834-1914] evidenciou que caracteres adquiridos não se tornavam hereditários, como se acreditava na época (PIERCE, 2011). Durante os próximos 20 anos, a meiose e a fertilização passaram a ser compreendidas e os cromossomos foram entendidos como fatores que eram igualmente divididos entre células-filhas (WATSON et al., 2015).

O artigo *Experiments in Plant Hybridization* de Gregor Mendel fora publicado em 1866 na *Natural Science Society*, na cidade de Brno. No artigo, constavam os princípios da hereditariedade fundamentados nos padrões de transmissão de

características das plantas de ervilha. Seus estudos foram realizados durante o período entre 1856 e 1863 com a espécie *Pisum sativum*, por meio da observação de sete pares de características contrastantes – semente amarela/verde, semente lisa/rugosa, revestimento da semente cinza/branco, vagem amarela/verde, vagem inflada/estreitada, posição da flor axial/terminal, caule baixo/alto (PIERCE, 2011).

Quando ocorre a publicação, não há reconhecimento imediato e amplo acerca de Mendel ter evidenciado princípios de hereditariedade (PIERCE, 2011). Somente em 1900, quando três botânicos – Hugo de Vries [1848-1935], Erich von Tschermak [1871–1962] e Carl Erich Correns [1864–1933] – passam a fazer experimentos com vegetais e produzem conclusões semelhantes às mendelianas é que passam a interpretar os resultados conforme os princípios de Mendel e consideram o monge como o pioneiro (ibid.) Quando as afirmações de Mendel ganham tal reconhecimento, os dados passam a ser aplicados pelo norte-americano Walter S. Sutton [1877–1916] (WATSON et al., 2015).

No artigo intitulado *The Chromosomes in Heredity*, Sutton trata de cromossomos em condição diploide e da distribuição para os gametas (cada gameta recebe apenas um cromossomo de cada par de homólogos), fazendo uma associação com os resultados de Mendel (admitindo que genes constituíam estruturalmente o cromossomo) (WATSON et al., 2015; PIERCE, 2011).

Sutton também admitiu que, enquanto o gene para semente amarela/verde constava em um par de cromossomos homólogos A, o gene para sementes lisas/rugosas constava em um par de cromossomos homólogos B, o que explicaria as proporções da segregação independente (9:3:3:1) (WATSON et al., 2015).

Assim, o trabalho de Sutton teve a importância de reunir pela primeira vez a genética de transmissão (estudo dos experimentos de cruzamentos) e a citologia (estudo da estrutura celular) (WATSON et al., 2015), de modo a atribuir explicações cromossômicas e meióticas para o que seria denominado primeira e segunda lei de Mendel.

Em 1905, William Bateson [1861–1926], um dos principais mendelianos do mundo, empregou a palavra “genética” para designar a ciência da hereditariedade e da variação que era baseada nas leis de Mendel. O livro *A Defence of Mendel's Principles of Heredity* publicado em 1902 por Bateson teve um importante papel para determinar os próximos passos da genética, especialmente no que diz respeito à

terminologia, que passa a incorporar as denominações “alelomorfos” (ou simplesmente “alelos”), “homozigoto” e “heterozigoto” (GAYON, 2016).

Thomas Hunt Morgan [1866-1945], estudando a hereditariedade com organismos de *Drosophila melanogaster* (mosca da fruta), produz uma obra que é publicada em 1915: *The Mechanism of Mendelian Heredity*. Nela, o autor e colaboradores – Alfred H. Sturtevant [1891–1970], Hermann J. Muller [1890-1967], Calvin B. Bridges [1889-1938] – descrevem a “lei da pureza dos gametas” e a “lei da segregação independente” em termos cromossômicos e passam a identificar exceções das leis mendelianas, como o que ocorre quando genes estão localizados no mesmo cromossomo ou quando ocorre recombinação, o que Morgan denominou “crossing-over” (GAYON, 2016; WATSON et al., 2015).

Na década de 1920, ocorre um processo de institucionalização da genética, com criação de cursos e revistas especializadas. Na década de 1930, a especialização já tinha atingido a genética em ascensão, originando subáreas como genética de transmissão; genética de populações; e genética fisiológica (que estudava como genes produzem efeitos) (GAYON, 2016).

Na próxima seção, as conjunturas que antecedem o atual momento da disciplina de genética serão sucintamente apontadas no que diz respeito à subárea molecular, que passa a se estabelecer ao longo do século XX.

3.3 Breve cronologia da genética molecular

Segundo Pierce (2011), a “genética molecular” refere-se à natureza química dos genes no que diz respeito à replicação, transcrição, tradução e regulação. Assim, o foco é o gene na dimensão estrutural e funcional, coincidindo diretamente com parte do escopo de estudo da “genética fisiológica” recém estabelecida.

Várias ideias se somaram, como a de Archibald Garrod [1857-1936], que em 1909, concluiu que os indivíduos saudáveis possuíam genes do tipo selvagem que sequenciavam enzimas ativas, enquanto homozigotos tinham deficiência nessa enzima (WATSON et al., 2015).

Muito importante para o entendimento da relação entre os genes e as enzimas foi o evento no qual George Beadle [1903-1989] e Edward Tatum [1909-1975] ganham o Nobel de medicina (juntamente com Joshua Lederberg) por evidenciarem que o metabolismo trabalha por meio de cadeias de reações químicas, cada uma catalisada por enzimas codificadas por genes (MARTIN, 2016). As

reações bioquímicas controladas por genes eram estudadas pelos “geneticistas fisiológicos” (ibid.).

A pesquisadora Rose Scott-Moncrief [1903-1991] era uma das geneticistas fisiológicas e havia se dedicado a entender a produção de pigmentos em plantas durante a década de 1920 e 1930, o que poderia se encaixar numa disciplina emergente denominada “genética bioquímica”. Sua abordagem incluía análises bioquímicas da produção de pigmentos, que eram descritas em sentenças de genética de transmissão (inclusive referente à dominância/recessividade) (MARTIN, 2016).

Passos importantes para a emergência da genética molecular ocorrem na década de 1940, quando um artigo é publicado identificando o processo de produção de vitamina B6 a partir de um mecanismo bioquímico controlado por um gene (GAYON, 2016). Ainda não se conhecia a natureza estrutural dos genes, mas já se passava a descrever a relação causal genótipo-fenótipo.

Sem saber a composição dos genes, a abordagem utilizada para os estudos era investigar como eles atuam nas células. Todas as enzimas conhecidas até então eram constituídas por proteínas (hoje se sabe que RNA também pode atuar como enzima) e já se tinha a suposição de que os genes sequenciavam os 20 diferentes aminoácidos das cadeias polipeptídicas das proteínas (WATSON et al., 2015). Restava entender como genes estavam relacionados com as proteínas.

Ainda que com a estrutura desconhecida, a hereditariedade fora atribuída ao ácido desoxirribonucleico (DNA) quando Frederick Griffith [1877-1941] evidenciou que bactérias não-virulentas se tornavam virulentas por transferência horizontal de um princípio ativo (WATSON et al., 2015). Outros pesquisadores (Oswald T. Avery, Colin M. MacLeod e Maclyn McCarty) utilizaram o experimento para novas investigações, e, em 1944 conseguiram apontar que o princípio ativo não era de natureza proteica e não era RNA, mas sim DNA (ibid.).

Em 1953, Francis Crick [1916-2004] e James Watson [1928-] descreveram a estrutura da molécula de DNA e apontaram-na como a portadora das propriedades hereditárias (GAYON, 2016). Auxiliados por fotografias de difração de raios X do DNA produzidas por Maurice Wilkins [1916–2004] e Rosalind Franklin [1920-1958] no começo da década de 1950, foi possível concluir que a molécula era helicoidal e que era formada por mais de uma cadeia de nucleotídeos (WATSON et al., 2015). Além disso, Erwin Chargaff [1905-2002] evidenciou que havia quatro nucleotídeos

diferentes que se repetiam em proporções fixas aos pares (Regra de Chargaff: A-T, C-G), o que também auxiliou no entendimento da estrutura tridimensional da molécula de DNA (ibid.). Assim, o gene deixa de ser uma unidade misteriosa.

Além do gene, também a replicação do DNA passa a ser entendida, após intrigar pesquisadores por anos no século XX. Arthur Kornberg [1918-2007], em 1956, evidencia a importância da enzima DNA polimerase para a síntese de DNA a partir da cópia de cadeias molde. Então Matthew Meselson [1930-] e Franklin H. Stahl [1929-] evidenciam que as duas cadeias do DNA se separam completamente após a replicação e que a duplicação do DNA é semiconservativa (WATSON et al., 2015).

Estava evidente que o DNA não codificava proteínas diretamente, porque a síntese proteica ocorria no citoplasma e o DNA estava separado especialmente pela membrana nuclear. As hipóteses apontavam para o RNA, pois Torbjörn Caspersson [1910-1997] e Jean Brachet [1909-1988] haviam evidenciado que o RNA era encontrado no citoplasma (WATSON et al., 2015). Embora muito semelhante ao DNA, o RNA possui um grupo hidroxila a mais no açúcar (ribose) e contém uma base nitrogenada com um grupo metila a menos (denominado uracila ao invés de timina). Apesar de ser constituído por uma única cadeia, o RNA pode formar dupla-fita e até mesmo a estrutura de dupla-hélice pelo pareamento de bases (ibid.).

Em 1953, passou a se pensar que o DNA funcionaria como molde para fazer cópias de si mesmo (replicação) e para fazer cópias de moléculas de RNA (transcrição) (WATSON et al., 2015). A partir da molécula de RNA, seriam produzidas proteínas (tradução) e essa ordem (DNA-RNA-proteína) seria sempre mantida, pois, não se conheciam casos nos quais proteínas seriam molde para sintetizar RNA, nem casos nos quais RNA seria molde para sintetizar DNA (ibid.).

Ainda em 1953, Paul C. Zamecnik [1912–2009] e Mahlon B. Hoagland [1921-2009] identificaram o RNA transportador como o carregador dos aminoácidos e como o portador do anticódon, complementar com códon do molde de outro RNA (WATSON et al., 2015). Em 1960, o RNA mensageiro é identificado em bactérias e a atribuição dessa denominação se deve ao papel desempenhado por ele: transporta a sequência do DNA de dentro do núcleo eucariótico para o citoplasma em direção ao ribossomo, onde deverá ocorrer a síntese proteica (ibid.).

No que diz respeito às correspondências entre códons e aminoácidos, uma delas foi identificada pela primeira vez por Marshall Nirenberg [1927-2010] e

Heinrich Matthaei [1929-] em 1961, quando associaram a trinca “UUU” com fenilalanina (WATSON et al., 2015). Em seguida, outras trincas foram identificadas até que 61 de 64 trincas foram associadas a aminoácidos (sendo a maioria dos 20 aminoácidos sequenciados por mais de uma trinca).

As outras três trincas das 64 foram associadas a códons sem sentido, os códons de parada (UAA, UAG e UGA). Também foi identificado o códon AUG (que sequencia aminoácido metionina) como o iniciador da síntese proteica. Foi possível concluir a partir de experimentos que novos aminoácidos são adicionados à extremidade carboxila da cadeia polipeptídica em crescimento (ibid.).

As breves considerações acima referentes à produção de conhecimento que ocorreu ao longo de parte do século XX tem a finalidade de indicar alguns dos conceitos centrais que se tornaram base de sustentação para a genética molecular que se estabelecia. Tal disciplina em ascensão, uma subárea da genética, teria tanto a contribuir para a interpretação de sentenças da genética de transmissão (embora nem sempre as duas tenham percorrido caminhos compartilhados).

Justamente referente ao aspecto da conexão entre a genética de transmissão e a genética molecular se dedicam as próximas seções. Diante do enfoque desta pesquisa, especificamente no que tange à dominância completa, em primeiro lugar, serão explorados alguns acontecimentos que precederam a ascensão da biologia molecular e em seguida a dominância completa será interpretada sob a luz da genética molecular.

3.4 Como a dominância foi explicada posteriormente à proposta de Mendel e antes dos dados da biologia molecular?

Como assinalamos anteriormente, Mendel fez uso dos termos “dominante” e “recessivo” restrito a um caráter fenomenológico, não fisiológico. O uso dos termos “dominância” e “recessividade” é posterior e não é de autoria mendeliana. Muitos autores que estudaram Mendel ou que se apropriaram de suas ideias foram fazendo adições e modificações no seu trabalho original.

Por exemplo, para Hugo De Vries, a dominância e recessividade refletida nos híbridos indicava a história evolutiva, pois quanto mais antigo, mais dominante seria o fator. Para De Vries, os pares de características representam unidades antagônicas no desenvolvimento e na evolução, sendo que uma delas sempre deve dominar (FALK, 2001).

No entanto, o botânico alemão Carl Correns, discordou de De Vries, ao apontar que não havia somente casos contrastantes com dois extremos (dominante e recessivo), mas também casos com variáveis contínuas (intermediárias), que podem inclusive envolver mais que duas variações (FALK, 2001).

Ao contrário, o naturalista inglês William Bateson [1861-1926] destacava o contraste entre os pares de caracteres e explicava fisiologicamente a dominância em termos de presença e ausência de uma mesma unidade (vale ressaltar Bateson não fazia a distinção que Johanssen introduziu entre o genótipo e o fenótipo). Talvez Bateson fizesse referência ao que hoje entendemos como enzimas, por exemplo, para se referir à presença/ausência (FALK, 2001).

Embora inicialmente pensasse como De Vries acerca do antagonismo dicotômico de caracteres, Bateson conheceu exemplos de variedades mais numerosas, de herança quantitativa, o que o fez aceitar as premissas de Correns. Ao se deparar com híbridos que produziam caracteres distintos de ambos os indivíduos parentais, Bateson deixou de conceber os fatores dominantes e recessivos como unidades antagônicas que produziam o híbrido com base na atividade do dominante e na latência do recessivo e passou a supor que se tratava de um processo do desenvolvimento. Para ele, haveria um efeito de se produzir o caractere dominante com base no recessivo, que seria o responsável por produzir as manifestações observadas nos híbridos (FALK, 2001).

Bateson discordava de De Vries no que diz respeito aos fatores dominantes serem mais antigos que os fatores recessivos, ou seja, caracteres novos também poderiam ser dominantes (FALK, 2001).

Para o geneticista britânico Reginald C. Punnett [1875-1967], a hipótese da presença-ausência foi defendida de modo mais rigoroso, com a visão de duas alternativas de caracteres, sendo que uma terceira relação não seria concebível. Assim, a dominância seria o resultado da presença de um determinado fator enquanto a recessividade seria a condição implicada pela ausência do mesmo (FALK, 2001).

Quando o geneticista norte-americano Thomas Morgan passa a discutir o problema da hipótese presença-ausência já incorporando a distinção genótipo-fenótipo, começa a atribuir o locus da presença-ausência para o fenótipo e não para os genes. Assim, passa a supor que os genes não são “perdidos”, mas alterados em seus papéis (FALK, 2001).

Já o modelo explicativo do geneticista estadunidense Sewall Wright [1889–1988] forneceu uma teoria fisiológica para a dominância: Wright defendeu que o fenótipo era produzido a partir de interações complexas entre os produtos gerados dos diferentes alelos de um mesmo gene. Enquanto o alelo selvagem produziria enzimas ativas, o alelo mutante teria reduzida sua atividade gênica (trata-se de uma visão na qual genes atuam como catalisadores que produzem catalisadores de segunda ordem) (FALK, 2001).

Em 1940, os pesquisadores norte-americanos George Beadle e Edward Tatum, já auxiliados por dados provenientes de testes de eletroforese em gel, propõem a relação “um gene-uma-enzima” e o raciocínio da dominância passa a ser concebido por meio dos seguintes pressupostos: a proteína identificada em um homozigoto era o dobro da identificada em um heterozigoto. Trata-se da teoria da dose-resposta (FALK, 2001).

Mais complexa que a anterior, a visão de Kacser e Burns – proposta por Henrik Kacser [1918-1995] e James Burns – consiste em apontar a interação entre as enzimas, seus substratos e produtos como fatores causais da emergência do fenômeno da dominância. Assim, a dominância deixa de ser entendida como uma propriedade dos genes e passa a ser entendida como a relação entre os fenótipos dos dois homozigotos no heterozigoto (FALK, 2001).

Segundo Falk (2001), nenhum desses modelos chega a fazer uma distinção clara entre o gene (DNA), o produto primário da transcrição (RNA), o produto primário da tradução (polipeptídio) e o fenótipo discernível final, e, por mais que alguns tratem a dominância como um sistema relacional entre dois alelos, não tratam como uma relação que está contida em um sistema muito maior que genes individuais.

Uma vez identificadas algumas das visões que diferentes cientistas, desde Mendel, tiveram para explicar a emergência da dominância, as próximas seções ocupam-se com as formas mais contemporâneas de compreender a dominância.

3.5 Relação entre genética de transmissão e genética molecular

Se a genética molecular produz conhecimento acerca do material genético, não poderia essa subárea tornar prescindível a genética de transmissão? Em seu livro “Filosofia da Ciência Biológica” (1975), David L. Hull [1935-2010] se dispõe a responder à questão: poderia a genética de transmissão ser reduzida à genética

molecular? Antes de explorar as conclusões do autor, cabe lembrar o conceito de ambos os termos (segundo PIERCE, 2011):

(a) Genética de transmissão: refere-se aos princípios de hereditariedade, ou seja, às explicações acerca de como são transmitidas as características de uma geração para a outra. O foco é o organismo individual e como ele herda sua constituição genética ou como transfere seu material genético para a geração seguinte.

(b) Genética molecular: refere-se à natureza química dos genes no que diz respeito à replicação, transcrição, tradução, regulação. Assim, o foco é o gene na dimensão estrutural e funcional.

Fazendo o recorte do fenômeno da dominância e recessividade, no exemplo de uma geração F1⁹ que exibe apenas uma das características (dominante) no fenótipo, sendo a outra delas totalmente ausente (recessiva), a relação entre a genética de transmissão e a genética mendeliana tende a ser complexa, pois como considera Hull (1975): os mecanismos que explicam a dominância subjacente são desconhecidos à primeira vista.

Mas ainda que sejamos incapazes de explicar a razão de uma planta de ervilha heterozigótica (Vv) produzir sementes amarelas (por que o verde desapareceu?), ainda seremos capazes de determinar que na geração originada pela autofecundação dessa planta serão produzidos três indivíduos de fenótipo amarelo para cada um indivíduo de fenótipo verde (proporção 3:1). Trata-se da genética de transmissão, que é normalmente tratada de modo independente da genética molecular no discurso didático. Seriam então essas duas áreas da genética totalmente autônomas?

Para Hull (1975), embora relacionadas, as duas disciplinas não têm fronteiras bem definidas para determinar onde uma começa e a outra termina. As duas disciplinas se estruturaram historicamente de modo simultâneo, mas independentemente. O principal fator para tal independência é o tipo de pergunta que cada uma faz: enquanto a genética de transmissão se ocupa com cruzamento de genes para estudar suas diferenças e sua distribuição na progênie, a genética

⁹ A Geração F1 é a primeira geração filial, que é descendente de progenitores iniciais (P) em um cruzamento genético (PIERCE, 2016).

molecular é um estudo de processos de biossíntese e da relação genótipo-fenótipo (HULL, 1975).

Quando tal diferenciação é feita, a relação entre genética de transmissão e genética molecular parece estar evidente. Porém, há ainda mais uma questão a ser explorada: o aspecto fenomenológico da dominância. Tradicionalmente, materiais didáticos categorizam tipos de dominância em variações que são: dominância completa, dominância incompleta e codominância. Tais categorias são atribuídas para sentenças que tratam da genética de transmissão e para raciocínios que mencionam a transmissão de traços entre parentais e descendentes. A presença ou ausência fenotípica é utilizada como indicativo de que há uma relação “alelo dominante – característica dominante” ou, em casos nos quais não se trata de dominância completa, uma relação “um alelo – um caráter”.

Para exemplificar, pense na ervilha amarela/verde e considere que exista uma relação identificada empiricamente entre um alelo e um pigmento amarelo e outro alelo com um pigmento verde. Nos cruzamentos, foi constatado que amarelo é o fenótipo dominante. Logo, começamos a denominar os alelos como “alelo dominante” e “alelo recessivo” e passamos a tratá-los como os responsáveis diretos pela produção dos pigmentos observáveis ao nível macroscópico da semente da ervilha. Certo?

Errado. Esse tipo de raciocínio demasiadamente simplificado atinge o nível distorção conceitual, mas é a forma *status quo* de tratar genética no discurso didático. Um equívoco está em associar que um alelo é o responsável direto por um fenótipo final observável sem considerar os inúmeros outros fatores envolvidos, afinal, correlação não é o mesmo que causa: identificar que um alelo tem relação com a produção de um fenótipo não necessariamente quer dizer que ele é o (único) gene responsável pela (única) proteína final que representa aquele fenótipo (como por exemplo, o pigmento amarelo/verde).

Outro equívoco está em atribuir para o alelo o adjetivo “dominante/recessivo”. Trata-se de um desvio de nível que distorce o sentido. Como considera Hull (1975), alelos não são intrinsecamente dominantes ou recessivos, porque os próprios termos já tratam de uma comparação. Assim, um alelo só pode ser dominante ou recessivo se existir outro diferente como referência. Esse outro pode se comportar originando fenótipos recessivos ou dominantes, o que vai depender das combinações de alelos. Ou seja, um alelo X pode produzir fenótipo dominante

combinado com um alelo Y que produz fenótipo recessivo, mas pode produzir fenótipo recessivo combinado com um alelo X que produz fenótipo dominante com relação a X. A dominância é relativa.

Sendo assim, não faz sentido denominar alelos como “dominantes” ou “recessivos”, pois a dominância e a recessividade são propriedades do fenótipo (PASTERNAK, 2002; GRIFFITHS et al., 2011), uma conclusão que autores contemporâneos defendem e que se assemelha à proposta original de Mendel.

Desse ponto de vista, é possível afirmar que tem ocorrido um cruzamento equivocados entre sentenças próprias da genética molecular que são transferidas para a genética de transmissão. Ao mencionar os alelos e sua “expressão” em fenótipos, faz-se menção (consciente ou não) à biossíntese de proteínas e trata-se a relação genótipo-fenótipo por meio de uma linguagem metafórica personificada: como se houvesse uma entidade que domina e outra que recebe essa dominação (é dominada). Uma entidade se expressa e a outra não. Ou então: uma entidade se manifesta e a outra não.

Para tornar mais evidente com exemplos como se torna inadequada a abordagem tradicional que se tem feito do discurso didático de genética, vamos explorar alguns clássicos casos, como o da ervilha amarela/verde mendeliana. Muito diferente de um modelo simples de um alelo que condicionaria um fenótipo final diretamente, no caso da cor das ervilhas, todas iniciam em um estado imaturo de pigmentação verde. Porém, ao amadurecer, se tornam amarelas a partir da degradação da clorofila por meio de uma série de enzimas. O cromossomo nove das plantas de ervilha contém o gene SGR que sequencia uma das enzimas que realiza papéis importantes no processo de degradação (regulando positivamente a síntese proteica, a estabilidade das proteínas, a atividade das enzimas e o acesso aos pigmentos).

Nos indivíduos homozigóticos recessivos nas quais as sementes permanecem verdes, a proteína SGR mutada produzida a partir dos alelos na versão “v” não é funcional (porque ocorre nele a adição de dois aminoácidos: leucina e isoleucina). Nessas plantas, a degradação da clorofila não acontece e a cor verde permanece na semente madura (efeito “stay green”) (GARCIA; PEREIRA, 2016).

Portanto, nas plantas homozigóticas amarelas, a enzima SGR é funcional e nas plantas homozigóticas verdes, a enzima SGR não é funcional e a clorofila não é degradada. Em ambos os casos, não emerge ainda o fenômeno da dominância,

afinal, dominância é um fenótipo que só emerge no heterozigoto (GRIFFITHS et al., 2011). Cabe a pergunta a ser respondida: Por que as ervilhas do indivíduo heterozigoto (Vv) têm fenótipo amarelo? Ou seja, por que a cor verde não é detectável?

Em uma sentença de genética molecular, podemos dizer que a planta heterozigota (Vv) terá metade da quantidade de enzima produzida em um homozigoto (VV). Ainda assim, o alelo “V” produz enzima em quantidade suficiente para degradar toda a clorofila das ervilhas, tornando-as amarelas quando maduras (THOMAS et al., 1996).

O modo como o fenótipo se relaciona com o genótipo no caso da cor das ervilhas mendelianas ilustra como hipóteses simplificadas podem estar erradas, como por exemplo, imaginar que o pigmento verde não fosse sintetizado no heterozigoto. Esse exemplo indica que a relação entre genótipo e fenótipo não é de determinação linear, ou seja, os alelos não originam o fenótipo final diretamente, como, por exemplo, se poderia pensar que um alelo “V” codificaria o pigmento amarelo e o alelo “v” codificaria o pigmento verde. Uma hipótese de que cada alelo originaria um pigmento diretamente a partir da síntese proteica estaria equivocada para ambas as cores, uma vez que os alelos “V” e “v” estão relacionados com a produção de uma das proteínas que tem função na regulação da atividade enzimática na degradação da clorofila.

Outro exemplo mendeliano que pode ser explorado por meio da articulação entre genética de transmissão e genética molecular é o da altura das plantas de ervilha. O fenótipo de planta alta é dominante com relação ao fenótipo de planta baixa, sendo a altura determinada pela ação do hormônio giberelina (que promove o alongamento da planta). Os alelos “B” (planta alta) e “b” (baixa) estão relacionados com a produção de uma enzima, que é a última de uma sequência que produz a giberelina, sendo que o alelo “B” sequencia uma enzima ativa e o alelo “b” sequencia uma proteína inativa. As plantas heterozigotas (Bb) exibem o fenótipo alto, visto que a quantidade de enzima funcional produzida a partir de um único alelo é suficiente para a produção de giberelina, promovendo o crescimento. A diferença entre as proteínas funcional e disfuncional originados a partir dos respectivos alelos é um único aminoácido (alanina na proteína ativa e treonina na proteína inativa) (OFFNER, 2011).

Por meio ambos os exemplos, é possível apontar que a relação genótipo-fenótipo é muito mais complexa do que um gene orientando uma síntese proteica, que por si só já significaria o fenótipo final relacionado ao alelo. Em ambos os casos (a cor da ervilha e o tamanho da planta), os alelos são responsáveis por orientar a síntese de uma das enzimas que realiza um papel na produção do fenótipo final. Assim, os alelos relacionados aos fenótipos recessivos não foram silenciados, ou seja, não deixaram de orientar a síntese proteica, mas produzem proteínas disfuncionais, porque possuem sequências de bases nitrogenadas diferentes daquelas dos alelos relacionados ao fenótipo dominante¹⁰.

Compreender o fenômeno da dominância, portanto, requer a busca por explicações fisiológicas que tendem a ser particulares, não generalizáveis (e que muitas vezes ainda estão sob investigação científica). Assim, devido ao caráter não intuitivo e muitas vezes complexo, se os estudantes e professores não dispõem de nenhum exemplo para analisar a fisiologia subjacente à dominância, é esperado que produzam hipóteses alternativas, incorretas.

Como fator dificultador para a compreensão, além da multiplicidade de explicações fisiológicas das vias de biossíntese que explicam a dominância, como dissemos anteriormente, existe o agravante do aspecto fenomenológico. Como considera Pierce (2011, p.98-99), “A dominância está em quem a observa” [...], pois a dominância pode ser interpretada de forma variada em cada nível de fenótipo de um indivíduo, sendo, por exemplo, ao nível molecular classificado como “codominância” e ao nível do organismo classificado como “dominância completa”. Como seria possível fazer análises subdivididas conforme o nível de observação do fenótipo?

Por exemplo, no caso da planta de ervilha, ao nível do organismo ocorre dominância completa, porque o heterozigoto (Bb) é uma planta alta (não é baixa e não é mediana). Porém, ao nível molecular, ambos os alelos originam produtos proteicos (uma enzima funcional que auxilia a síntese de giberelina e uma enzima defeituosa), o que poderia ser classificado como codominância.

Para exemplificar tais possibilidades analíticas de outro modo, vamos explorar a genética de transmissão e a genética molecular da fibrose cística, um distúrbio

¹⁰ Nesses dois casos referentes às ervilhas mendelianas a recessividade é determinada pela produção de proteínas disfuncionais, o que não necessariamente representa uma generalização, ou seja, uma explicação fisiológica para todos os casos de recessividade.

genético mais comum em indivíduos caucasianos, que é tipicamente entendida como uma condição determinada de modo recessivo (são necessários dois alelos para que a doença se manifeste) (REECE et al., 2015).

A condição fisiológica do distúrbio é caracterizada por uma produção de muco espesso que obstrui vias pulmonares, pancreáticas e intestinais (originando infecções e disfunções digestivas) (REECE et al., 2015). As causas moleculares estão relacionadas com a produção de uma proteína de membrana. Pode ser produzida uma proteína funcional a partir do alelo relacionado à normalidade ou então pode ser produzida uma proteína disfuncional a partir do alelo relacionado à fibrose cística (PIERCE, 2011).

Essa proteína de membrana tem função de controlar a passagem de íons cloro para dentro e fora da célula. Na disfunção ocasionada pela proteína defeituosa, os íons são retidos dentro da célula, estimulando a produção do muco que obstrui vias e origina os típicos sintomas mencionados (PIERCE, 2011). A maioria das pessoas possui dois alelos que codificam proteínas funcionais. Os indivíduos com fibrose cística, ao contrário, possuem dois alelos que originam a proteína defeituosa. Um indivíduo heterozigoto produz tanto a proteína funcional como a proteína defeituosa a partir de seus respectivos alelos, o que significa que a nível molecular ocorre codominância (visto que ambos os alelos originam polipeptídios) (ibid.).

A um nível fisiológico superior, ao contrário, ocorre dominância completa: um indivíduo heterozigoto não exhibe sintomas da fibrose cística, porque mesmo a quantidade reduzida de proteínas funcionais é suficiente para a realização do transporte de cloro através da membrana celular (PIERCE, 2011).

A dominância está em quem a observa, significando que a classificação de dominância depende do nível no qual o fenótipo é examinado. Como visto na fibrose cística, um alelo pode exibir codominância em um nível e ser recessivo em outro nível. (PIERCE, 2011, p.98-99).

Outra interpretação possível é a de que mesmo quando se trata do que chamamos de “dominância completa”, a dominância não é completa. Um alelo relacionado ao produto entendido como recessivo pode fazer contribuições para o fenótipo (ou pode produzir enzimas defeituosas), mas que podem não ser prontamente detectáveis sem análises bioquímicas e microscópicas. Assim, pode-se dizer que os termos “dominante” e “recessivo” estão sendo utilizados muitas vezes

por conveniência, pois são empregados mesmo quando a dominância não ocorre (PASTERNAK, 2002).

Outro caractere estudado por Mendel – o formato da semente da ervilha (lisa/rugosa) – também já foi estudada no que diz respeito aos aspectos moleculares e fisiológicos. Por meio da utilização de enunciados da genética molecular e fisiologia, torna-se possível conferir significado aos enunciados da genética de transmissão. Nesse exemplo, o fenótipo dominante é o formato liso e o fenótipo recessivo é o rugoso.

O alelo relacionado ao fenótipo dominante (R) codifica uma enzima que converte uma forma não ramificada de amido a uma forma ramificada. Ao contrário, o alelo mutado relacionado ao fenótipo recessivo (r) codifica uma forma disfuncional dessa enzima, o que causa acúmulo de amido não ramificado (REECE et al., 2015). A enzima disfuncional é codificada por um alelo que exibe uma mutação caracterizada por uma inserção de uma sequência nucleotídica¹¹ (REID; ROSS, 2011).

Na planta homozigota “rr”, o armazenamento de amido não ramificado causa a entrada de água em excesso na semente, por osmose. A semente posteriormente secará, originando o enrugamento (fenótipo rugoso). Em uma planta heterozigota (Rr), há produção de enzima suficiente para produzir amido ramificado, de modo que não ocorre a entrada excessiva de água e não ocorre o posterior enrugamento. O fenótipo da planta heterozigota é, portanto, indistinguível do fenótipo da planta homozigota “RR”, pois exibe formato liso nas sementes de ervilha (REECE et al., 2015).

Ao nível bioquímico, pode-se dizer que ocorre codominância no heterozigoto, pois ambos os alelos originam produtos proteicos. Porém, ao nível do organismo, a verificação fenotípica permite a identificação de dominância completa entre os fenótipos liso e rugoso no heterozigoto.

Assim, é possível afirmar que qualquer caractere que esteja sob análise deve ser verificado em diferentes níveis de fenótipo, pois a relação de dominância e recessividade pode variar do nível molecular ao nível do organismo, o que configura a dominância como relativa. Este é o aspecto fenomenológico a ser considerado,

¹¹ A diferença se deve a 800 pares de bases de DNA extras inseridos no alelo “r” (HEIM, 1991).

que se soma ao aspecto da multiplicidade de mecanismos fisiológicos pelos quais a dominância pode ocorrer, o que configura a dominância como não generalizável.

3.6 Considerações referentes aos mecanismos da dominância

Como assinalamos anteriormente, uma premissa admitida contemporaneamente no contexto da biologia molecular é a de que a dominância não é uma propriedade intrínseca do alelo selvagem ou do alelo mutante, mas sim uma descrição da relação entre fenótipos de três genótipos (WILKIE, 1994). Outra afirmação possível que pode ser tomada como uma generalização é a de que mais frequentemente os fenótipos selvagens sejam os dominantes e os mutantes sejam os recessivos (ibid.).

Porém, não é possível produzir uma descrição de um mecanismo modelo que seja aplicável a todos os casos de dominância, haja vista que a dominância é produzida por diferentes razões: o alelo recessivo pode não estar codificando um produto de RNA ou um polipeptídeo, ou então o produto (RNA/polipeptídeo) está defeituoso/disfuncional, ou então modificações posteriores do polipeptídeo podem ocorrer (HEIM, 1991).

Poderíamos considerar que a dominância seja uma propriedade emergente enquanto fenótipo, pois estando a um nível hierárquico superior, emerge das interações que ocorrem de níveis hierárquicos inferiores. Pode-se dizer que a “dominância é o fenótipo mostrado pelo heterozigoto” (GRIFFITHS et al., 2011, p.46) – que representa a propriedade de nível superior. A explicação fisiológica situada em níveis inferiores pode ser entendida em termos gerais como um fenômeno causado por mutações em genes que são funcionalmente haplossuficientes (haplo = único) (ibid.).

Quando ocorre mutação em genes haplossuficientes, mesmo que a célula possua apenas uma cópia selvagem dele, esse gene haplossuficiente fornece produto gênico o bastante (em geral, uma proteína) para efetuar as reações normais da célula. Assim, em um heterozigoto, por exemplo Aa, no qual “A” é o alelo selvagem, a única cópia do alelo A é suficiente para originar produto proteico que desempenhe a função normal (GRIFFITHS et al., 2011).

Pensando a hierarquia morfológica dos seres vivos, embora tenha como causa basal a mutação gênica, a dominância pode resultar de mecanismos que ocorrem em diferentes níveis estruturais. Para ilustrar tal afirmação, vamos explorar

a diversidade de causas que podem originar o fenótipo de albinismo, em sua pluralidade genotípica e fenotípica.

A condição humana de albinismo é caracterizada pela baixa concentração ou ausência de melanina detectável na pele, tornando as pessoas com albinismo altamente suscetíveis a queimaduras solares e incidência de câncer de pele (PIERCE, 2011). Tradicionalmente entendida como uma condição de herança recessiva, na qual a combinação homozigota “aa” originaria a incapacidade de produzir melanina, o albinismo ainda é pesquisado contemporaneamente, visto que os modos de herança e a fisiologia dessa condição não são tão simples como inicialmente se pensava.

Um registro de um casal de albinos que produziu descendentes com pigmentação normal é um bom exemplo de como o albinismo pode ser mais variado e complexo do que a mera combinação de alelos “a”, que impediriam a produção de melanina¹². Essa explicação simplificada é comumente apontada em materiais didáticos para exemplificar padrões de dominância completa. Porém, diante de contemporâneos estudos referentes ao albinismo, pode-se afirmar que os dados desses materiais estão obsoletos. Para fundamentar a apresentação de alguns desses estudos, a fisiologia da produção de melanina na pele humana será brevemente explorada a seguir.

A pele, ou *cútis*, é constituída por uma epiderme superficial fina e uma derme mais espessa e profunda. A epiderme é composta por epitélio queratinizado, células denominadas queratinócitos (capazes de sintetizar queratina) e melanócitos (células que produzem pigmento melanina) (TORTORA; DERRICKSON, 2017).

Melanócitos são células dendríticas com numerosos prolongamentos longos e ramificados que se relacionam com células subjacentes (RIVITTI, 2014). Um melanócito é normalmente associado a vários queratinócitos (em torno de 30 queratinócitos), formando a unidade “epidermo-melânica” (BOLOGNIA, 2004). Na pele, os melanócitos estão localizados na camada basal da epiderme (MONTAUDIÉ et al., 2014) e, embora representem a célula na qual é sintetizada a melanina, não é a quantidade de melanócitos que determina a coloração da pele (TORTORA; DERRICKSON, 2017; MONTAUDIÉ et al., 2014), pois o maior determinante da cor da pele é a atividade dos melanócitos, ou seja, a quantidade e qualidade do

¹² Ver Figura 4, Figura 5 e TREVOR-ROPER (1952).

pigmento, e não a densidade de melanócitos (BOLOGNIA, 2004; MONTAUDIÉ et al., 2014).

Não somente a atividade de síntese de melanócitos é importante para a determinação do fenótipo da pele, mas também o armazenamento em organelas citoplasmáticas (melanossomo) e a transferência de tais organelas para os queratinócitos da epiderme (TORTORA; DERRICKSON, 2017). O melanossomo é uma organela dos melanócitos capaz de sintetizar e armazenar pigmento (RIVITTI, 2014). Ao serem eliminados do melanócito, há liberação no espaço extracelular por exocitose e o pigmento é, finalmente, capturado por fagocitose nos queratinócitos, o que origina a pigmentação desta célula (ALBERTS et al., 2010; MONTAUDIÉ et al., 2014).

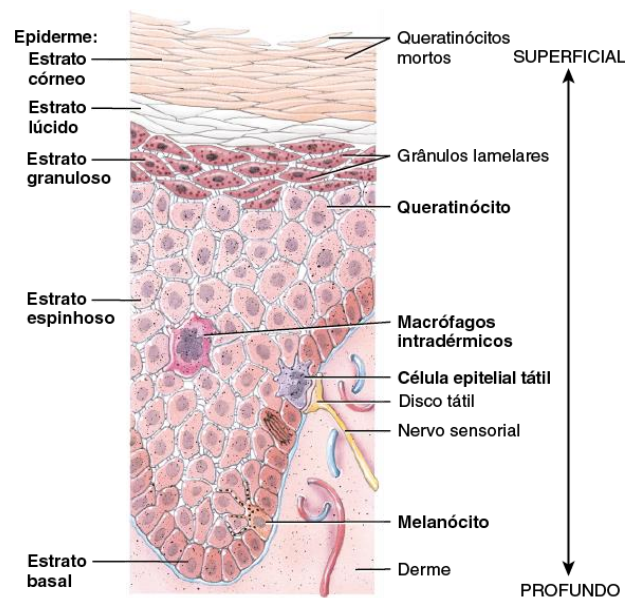
A síntese de melanina, ou melanogênese, ocorre no interior dos melanossomos por meio de vários processos sequenciais viabilizados por ação enzimática (GRIFFITHS et al., 2011) que transformam tirosina (aminoácido essencial) em pigmentos melânicos. A enzima tirosinase catalisa a transformação de tirosina em dopa (dioxifenilalanina) e a oxidação de dopa em dopaquinona (MONTAUDIÉ et al., 2014). São originados dopacromos e o composto tirosina-melanina que, combinado com proteínas, origina melanoproteínas, as quais por polimerização constituem a melanina (RIVITTI, 2014). Em resumo, podemos considerar que a melanina é um polímero complexo da tirosina, sintetizado e depositada nos melanossomos, que são organelas presentes em células dendríticas epidérmicas especializadas, conhecidas como melanócitos (BICKERS, 2008).

A síntese de proteínas envolvidas na produção de melanina é realizada nos ribossomos e são comumente encontradas no lúmen do retículo endoplasmático rugoso, do qual partem para migrar até o complexo golgiense, de onde são realocadas em vesículas. Para que as proteínas alcancem função total, é necessário passar por processamento via retículo endoplasmático e complexo golgiense (BOLOGNIA, 2004). A tirosina, por exemplo, é sintetizada nos ribossomos e quando as enzimas estão no Golgi, são agregadas ao pré-melanossomo e são ativadas, iniciando a síntese de melanina (MONTAUDIÉ et al., 2014).

Os melanossomos são conduzidos aos dendritos do melanócito e são transferidos aos queratinócitos (BICKERS, 2008), conferindo coloração à pele. Em exposição à radiação UV, a quantidade de cor de melanina aumenta, conferindo aparência bronzeada e maior proteção contra radiação UV. O bronzeado é perdido

gradualmente em razão do contínuo movimento em direção à superfície epidérmica e do desprendimento de queratinócitos contendo melanina no estrato córneo (estrato mais superficial) da epiderme (TORTORA; DERRICKSON, 2017; MONTAUDIÉ et al., 2014) – ver Figura 3.

Figura 3. Camadas da epiderme: estrato basal, estrato espinhoso, estrato granuloso, estrato lúcido e estrato córneo. Observe que os melanócitos são ancorados no estrato basal e projetam seus dendritos no estrato espinhoso. Estratos lúcido e córneo possuem queratinócitos mortos com intensa deposição de queratina.



Fonte: TORTORA; DERRICKSON, 2017, p.101.

A melanogênese induzida pelo sol é uma consequência da atividade aumentada de tirosinase nos melanócitos. Tal atividade está relacionada a um gene humano, o receptor de melanocortina (MC1R), responsável pela grande variação na cor da pele humana e dos cabelos. O MC1R humano codifica um receptor que liga o hormônio estimulador do melanócito, o MSH, que é transcrito nas células da hipófise (GRIFFITHS et al., 2011), o que leva a um aumento intracelular do fator de transcrição que regula a melanogênese. As mutações do MC1R são responsáveis por diferenças na população, na cor da pele, na capacidade de se bronzear e na suscetibilidade ao câncer (BICKERS, 2008; MONTAUDIÉ et al., 2014). A expressão do MC1R também está envolvida com as modulações do bronzeamento, pois os UV que penetram na camada basal da epiderme estimulam a produção de agentes como o hormônio MSH, que por sua vez aumenta os níveis de RNAm de MC1R nos melanócitos (ibid.).

Caracterizado pela redução da quantidade de melanina detectável, o albinismo é considerado um caso de hipopigmentação, e sua denominação completa é albinismo oculocutâneo (AOC). O albinismo é tradicionalmente entendido como uma condição hereditária caracterizada pela incapacidade de produzir melanina, assim, a maioria dos albinos não exibe melanina em pelos, olhos e pele (TORTORA; DERRICKSON, 2017). Porém, nem todos os casos de albinismo podem ser explicados pela incapacidade de produzir melanina.

De forma geral, o albinismo resultaria de um bloqueio mutacional na conversão de tirosina para o pigmento escuro melanina. Existem casos de albinismo humano causados pela ausência de tirosinase – a enzima que catalisa a primeira etapa na síntese de melanina a partir de tirosina. Mas outros tipos de albinismo resultam de bloqueios em etapas posteriores na conversão de tirosina em melanina, ou até em bloqueios de etapas fisiológicas subsequentes. Sabe-se que o albinismo é herdado como uma característica autossômica recessiva, pois os heterozigotos geralmente têm níveis normais de pigmentação. Mas é importante destacar que dois albinos que têm mutações em genes diferentes produzirão filhos com pigmentação normal (SNUSTAD; SIMMONS, 2010).

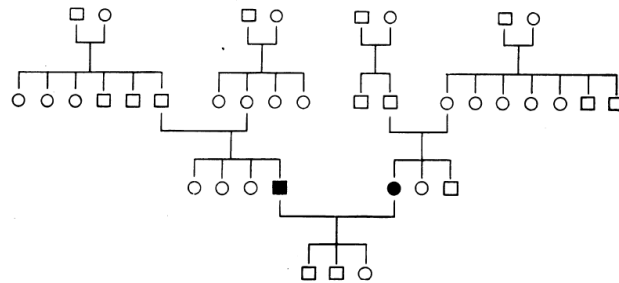
A base genética do albinismo foi descrita primeiramente por Archibald Garrod, que defendeu em 1908 que a condição era herdada como uma característica autossômica recessiva. Na época, admitia-se que uma pessoa albina necessariamente teria recebido duas cópias da mutação albina, uma de cada genitor, para ter albinismo. Atualmente, a natureza molecular das mutações que manifestam o albinismo continua sendo investigada e hoje se admite que o albinismo seja causado por mutações que podem ocorrer em quatro principais genes. Tais genes podem estar relacionados com a síntese ou com a estocagem de melanina (PIERCE, 2011).

Assim, o distúrbio AOC é genético, mas bioquimicamente heterogêneo, pois há pessoas com albinismo clássico que não tem atividade de tirosinase (uma condição denominada tirosinase negativa), enquanto outras pessoas apresentam atividade de tirosinase reduzida (tirosinase positiva). Nestas últimas, há pigmentação de níveis variáveis no cabelo e pele, mas em ambos os casos a denominação utilizada é “albinismo oculocutâneo”. Ambas, tirosinase negativa e positiva, são frequentemente relacionadas à mutação no gene que codifica tirosinase no braço longo do cromossomo 11. Porém, alguns casos de tirosinase positiva não são

causados por mutação do gene da tirosinase, mas por mutações no gene P, situado no braço longo do cromossomo 15, o que representaria um AOC tipo 2. Em outras pessoas, o AOC não está relacionado com nenhum desses *loci*, mas com outros *loci* (GRIFFITHS et al., 2011).

O estudo de tal heterogeneidade ou multiplicidade de formas de AOC foi estimulado por Trevor-Roper (ver Figura 4 e Figura 5) ao constatar que dois genitores albinos tiveram filhos com pigmentos melânicos na pele, o que apontava para a existência de dois *loci* distintos. A conclusão para a interpretação de tal caso é que, apesar de a herança do albinismo ainda permanecer como um padrão autossômico recessivo, em razão da diferença no condicionamento genético dos subtipos de albinismo, casais albinos podem ter filhos com pigmentação normal (ROCHA; MOREIRA, 2007).

Figura 4. Genealogia que representa a produção de descendentes com pigmentação normal pelo cruzamento de genitores albinos (indicados em coloração escura).



Fonte: TREVOR-ROPER, 1952, p.107

Figura 5. Quatro membros da família estudada por Trevor-Roper (1952): pais albinos e filhos com pigmentação normal.



Fonte: TREVOR-ROPER, 1952, p.108.

Os estudos contemporâneos prosseguem fundamentados na premissa de que há pelo menos quatro genes responsáveis pelos diferentes tipos de albinismo, a saber: TYR, OCA2, TYRP1 e MATP (GRØNSKOV; EK; BRONDUM-NIELSEN, 2007).

Os diferentes tipos de albinismo apresentam um espectro clínico desde a ausência completa de melanina, que configura a forma mais grave, o AOC1A (ver Figura 6) até outras formas mais leves, que incluem a capacidade de acumular em alguma medida pigmento ao longo da vida (ibid.).

As formas mais leves incluem AOC1B (albinismo amarelo), AOC2, AOC3 e AOC4. Embora os diferentes tipos de albinismo oculocutâneo sejam causados por mutações em diferentes genes, o fenótipo clínico nem sempre é distinguível, tornando o diagnóstico molecular uma ferramenta útil e necessária (GRØNSKOV; EK; BRONDUM-NIELSEN, 2007).

As mutações nos genes TYR, OCA2 (ou gene P), TYRP1 e MATP associam-se respectivamente às formas de albinismo AOC1, AOC2, AOC3 e AOC4 (GRØNSKOV; EK; BRONDUM-NIELSEN, 2007; TOMITA; SUZUKI, 2004).

Figura 6. Olhos de um paciente com albinismo oculocutâneo tipo AOC1A. Há coloração avermelhada devido à propriedade translúcida da íris.



Fonte: GRØNSKOV; EK; BRONDUM-NIELSEN, 2007, p. 3.

No albinismo AOC1A, em consequência da ausência completa da ação da tirosinase, não há formação de melanina por toda a vida do paciente. Os cabelos são completamente brancos e os olhos e a pele são rosados (TOMITA; SUZUKI, 2004). A mutação gênica que origina o fenômeno ocorre na trinca 81 (ocorrendo a troca de “CCT” para “CTT”) e resulta em uma substituição de prolina por leucina neste local (GIEBEL et al., 1990).

No AOC1B, o cabelo e a pele podem desenvolver algum pigmento com o tempo (após um a três anos), e a íris azul pode mudar para verde ou marrom (GRØNSKOV; EK; BRONDUM-NIELSEN, 2007). Os cabelos começam a originar a coloração amarela (TOMITA; SUZUKI, 2004), o que explica porque esse fenótipo era anteriormente conhecido como “albinismo amarelo”.

Há ainda variantes AOC1 que são sensíveis à temperatura (AOC1TS - *temperature-sensitive*), ou seja, há manifestação melânica somente em regiões mais frias da superfície corpórea (ver Figura 7). Indivíduos com esse tipo de albinismo possuem parte dos pelos do corpo despigmentados e pelos pigmentados nas mãos,

pés, braços, pernas e peito (loais onde há condições de temperaturas mais baixas) (GRØNSKOV; EK; BRONDUM-NIELSEN, 2007; LEVIN; STROH, 2011).

Os fenótipos sensíveis à temperatura começam a originar pigmento na puberdade, com retenção de cabelos/pelos brancos nas áreas quentes (como couro cabeludo, axilas e região pubiana). Neste caso de albinismo, a substituição de um aminoácido torna a enzima tirosinase sensível, com atividade funcional abaixo de 35°C e perda de atividade acima de 35°C (LEVIN; STROH, 2011; TOMITA; SUZUKI, 2004).

Figura 7. Albinismo oculocutâneo sensível à temperatura (AOC1TS). O indivíduo exibe pelos brancos nas axilas (região mais quente) e pelo escuro nos antebraços.



Fonte: LEVIN; STROH (2011, p. 63).

No albinismo AOC2 (tirosinase positivo), a quantidade de pigmento cutâneo pode variar, e os recém-nascidos quase sempre têm o cabelo pigmentado. A cor da íris varia e os olhos cor-de-rosa vistos em AOC1A geralmente estão ausentes. O tipo AOC3 resulta em albinismo avermelhado em indivíduos africanos, que têm cabelo vermelho e pele marrom avermelhada (GRØNSKOV; EK; BRONDUM-NIELSEN, 2007).

A causa do albinismo oculocutâneo foi entendida por muito tempo como resultante de reações catalíticas das enzimas de melanogênese; mas atualmente entende-se que há também um importante papel causal decorrente do transporte intracelular de tirosinase. Mutações nos genes TYR, por exemplo, produzem proteínas mutadas que são reconhecidas como anômalas no sistema de controle do retículo endoplasmático, o que resulta na degradação proteica.

É importante ressaltar que em ambos os casos das mutações citadas, a condição recessiva do fenótipo albino não é causada pela incapacidade de o alelo “a” produzir melanina. Como se pode concluir a partir de todos os tipos de albinismo mencionados acima, o alelo “A” não codifica a melanina diretamente, mas sim

enzimas relacionadas à conversão de outros produtos em melanina. No caso de algumas das mutações dos genes TYR, o alelo “a” origina, sim, um produto proteico (ou seja, o alelo é expresso e as proteínas são fabricadas), mas esse produto é degradado pela atividade celular posterior. Novamente um exemplo concreto indica que nem sempre o alelo “chamado de recessivo” é inativo/silenciado.

Outras mutações relacionadas ao gene TYR (responsável por especificar a enzima tirosinase), que eliminam completamente a atividade da tirosinase, ocasionam a produção do albinismo tipo AOC1A. Outras mutações que ainda permitem alguma atividade enzimática resultam em albinismo tipo AOC1B, permitindo uma certa acumulação de pigmento de melanina ao longo do tempo.

Outros mecanismos além daqueles relacionados à *produção* de tirosinase são aqueles causados por mutações nos genes AOC-2 e MATP (que codificam proteínas envolvidas na *maturação* e *transporte* de tirosinase de melanossomos). Tais mutações causam o impedimento da transferência de tirosinase por meio da rede de membranas internas (via complexo golgiense) aos melanossomos. Nesses casos, apenas uma pequena proporção de enzimas é corretamente encaminhada para melanossomos, reduzindo a quantidade de melanina detectável (MONTAUDIÉ et al., 2014).

Também nesse caso, é importante ressaltar que o albinismo não foi originado pela incapacidade de o alelo “a” expressar melanina, diretamente. O que ocorreu foi o impedimento da transferência da enzima tirosinase (que participa da conversão de tirosina em melanina) recém-sintetizada para as organelas onde deveriam chegar.

O albinismo tipo AOC3 é causado por mutações no gene TYRP1. As mutações em TYRP1 têm influências na maturação da enzima TYR, que impedindo sua maturação, pode promover degradação desta enzima. Essa forma de albinismo é predominante em indivíduos africanos, mas já foram encontrados casos caucasianos e no Paquistão (GRØNSKOV; EK; BRONDUM-NIELSEN, 2007). Trata-se de um fenótipo marrom claro de difícil reconhecimento, porque pode ser confundido com pigmentação normal. A detecção inicial que desencadeou o reconhecimento dessa forma de albinismo se deve ao aparecimento de um fenótipo de pele clara de um descendente de dois genitores negros da África do Sul (TOMITA; SUZUKI, 2004).

Mutações no gene MATP (gene relacionado com transporte de membrana) resultam no albinismo tipo AOC4 (raro), encontrado em um paciente turco, em

pacientes da Alemanha, do Japão e da Coreia (GRØNSKOV; EK; BRONDUM-NIELSEN, 2007).

Recentemente, novos genes estão sob investigação molecular para que seja possível entender como são responsáveis por causar albinismo tipo AOC5, AOC6 e AOC7 (KAMARAJ; PUROHIT, 2014).

Conclusões acerca da genética de transmissão que ainda podem ser mantidas para a interpretação do albinismo são: todos os quatro tipos principais de AOC são herdados como distúrbios autossômicos recessivos e, assim, os pais de uma criança afetada são ao menos portadores. Descendentes de uma pessoa afetada são portadores obrigatórios e os portadores são assintomáticos (em razão de se tratar de um distúrbio recessivo) (GRØNSKOV; EK; BRONDUM-NIELSEN, 2007).

Mas é preciso também considerar que as condições de hipopigmentação podem ser causadas em vários momentos da fisiologia melânica, o que inclui desde distúrbios ontogenéticos que impedem a migração de melanoblastos (células precursoras de melanócitos) para a pele, bem como distúrbios na formação de melanossomos (organela) no melanócito, distúrbios na síntese de melanina nos melanossomos e distúrbios na transferência de melanossomos para as ramificações dendríticas (o que impede migração para os queratinócitos) (TOMITA; SUZUKI, 2004).

Com fundamentação nas evidências contemporâneas das pesquisas empíricas, é possível inferir que o albinismo tirosinase negativo é muito mais um distúrbio causado por retenção e degradação no retículo endoplasmático do que por incapacidade de sintetizar produtos proteicos, como a tirosinase (HALABAN et al., 2000). Essa interpretação rompe em alguma medida com a interpretação tradicional de que o albino é aquele indivíduo incapaz de originar os mesmos produtos proteicos de um indivíduo com pigmentação normal¹³.

¹³ Poder-se-ia almejar que o albinismo, como condição determinada de forma genética, fosse ser explorado em maiores níveis de complexidade durante a formação de professores e no processo instrucional da Educação Básica, haja vista que a simplificação que se faz quando a explicação do albinismo é reduzida a um único locus gênico pode ser considerada distorção conceitual. O albinismo é uma condição heterogênea tanto fenotipicamente, como genotipicamente, o que pode suscitar importantes discussões em instâncias formativas para promover a compreensão acerca da complexidade envolvida na variabilidade genética e fenotípica do ser humano.

Espera-se que com a exploração da diversidade genotípica e fenotípica do albinismo humano tenha sido possível a verificação de como é plural o mecanismo pelo qual a dominância pode ocorrer. Fisiologicamente, os meios podem ser diversos e podem ocorrer em decorrência de interações de estruturas de diferentes níveis hierárquicos da morfologia biológica. É importante destacar, portanto, que a dominância está nos olhos de quem vê, ou seja, a dominância depende de um referencial, depende de um caráter fenomenológico para ser analisada.

Para fazer uma análise qualquer, é preciso considerar um indivíduo heterozigótico. A dominância é o fenótipo que se concretiza no organismo heterozigótico em diferentes níveis hierárquicos da organização morfológica. Considere um indivíduo portador de albinismo AOC1. Ele manifesta pigmentação normal, ou seja, ocorreu dominância completa. Porém, ao nível molecular, qual será a fisiologia envolvida?

Segundo King e Witkop (1977), heterozigotos portadores de albinismo de tirosinase negativa produziam tirosinase ativa em quantidade reduzida ou nula no bulbo capilar (em comparação com homozigotos de pigmentação normal), porém, o fenótipo externo desses portadores era indistinguível do fenótipo de indivíduos de pigmentação normal. O estudo de King e Witkop (1977) evidencia que a fisiologia do heterozigoto é diferente daquela do homozigoto de pigmentação normal e os mecanismos moleculares que reduzem a atividade da tirosinase precisariam ser elucidados.

Cada caso de dominância requer elucidação específica, pois podem incluir, por exemplo, mecanismos causais de perda do RNAm no *splicing* (SCHNUR, 1996), defeito na estrutura tridimensional (dobras) da enzima, retenção em organelas citoplasmáticas ou outros.

Tendo em vista a necessidade de realizar transposições didáticas da temática para diferentes níveis de ensino, seria necessário recorrer ao “saber sábio” (pesquisas) à procura de exemplos de estudos bioquímicos, moleculares e fisiológicos acerca de quais são os mecanismos que concretizam o fenótipo no indivíduo com genótipo heterozigótico. Do mesmo modo como iniciamos na fundamentação teórica acima, exemplos que são comuns nos livros didáticos podem ser retraduzidos à luz de descrições que articulam genética de transmissão e genética molecular (bioquímica/fisiologia).

4 METODOLOGIA

A metodologia científica não reside somente em uma sequência de procedimentos para se fazer pesquisa, pois consiste também em uma forma de refletir e proporcionar um viés para o olhar sobre o mundo.

Trata-se de um conjunto de ações nas quais o pesquisador está inerentemente presente, ainda que seja na escolha do tema, dos entrevistados, do roteiro de questões, da bibliografia, ou seja, existe um autor que deliberadamente orienta os passos que são executados (GOLDENBERG, 2004). Assim, é importante admitir algumas limitações, pois

Seja qual for o método, qualitativo ou quantitativo, ele sempre dirige sua atenção apenas para certos aspectos dos fenômenos, os que parecem importantes para o pesquisador em função de suas pressuposições. A totalidade de qualquer objeto de estudo é uma construção do pesquisador, definida em termos do que lhe parece mais útil para responder ao seu problema de pesquisa. É irreal supor que se pode ver, descrever e descobrir a relevância teórica de tudo. Na verdade, o pesquisador acaba se concentrando em alguns problemas específicos que lhe parecem de maior importância (GOLDENBERG, 2004, p. 51).

Deste modo, a objetividade torna-se uma busca incessante (ou em outras palavras: uma busca para conter a subjetividade), que resulta de um exercício permanente de autocrítica. É crucial que ocorra a explicitação de cada passo da pesquisa para que se aumente a consciência que o pesquisador tem da interferência de seus valores na seleção e no encaminhamento do problema. Sendo assim, não é necessário “esconder” as dificuldades nos relatórios de pesquisa para mostrar apenas “o que deu certo” (GOLDENBERG, 2004).

Embora na pesquisa qualitativa não existam regras precisas e passos a serem seguidos (GOLDENBERG, 2004) pois não há modelos fixos ou normatização absoluta (GARNICA, 2001), é exigido dos procedimentos de pesquisa o rigor (que levaria a uma ideia de severidade de princípios, de dedicação e determinação na execução de ações). “Rigor” na ciência moderna consistiria em exatidão (quantificação ou probabilidade estatística), neutralidade e objetividade (BICUDO, 2005). Porém, rigor também pode ser entendido como

o cuidado que se tem ao proceder à busca pelo interrogado ou pela solução do problema proposto. Esse não é um cuidado subjetivo, carregado de aspectos emocionais. Mas é um cuidado que busca a atenção constante do pesquisador para proceder de modo lúcido,

analisando os passos que dá em sua trajetória, conseguindo clareza dos seus “por quês” e “comos” (BICUDO, 2005, p. 11).

Cabe ressaltar que a pesquisa gira em torno de uma interrogação, sendo que a origem da interrogação está no incômodo que ela causa. “A interrogação é uma pergunta dirigida a algo que se quer saber. É fruto de uma dúvida, de uma incerteza em relação ao que se conhece ou ao que é tido como dado, como certo” (BICUDO, 2005, p. 9). A interrogação toma forma e passa-se a buscar compreender o que ela interroga, de modo que o pesquisador passa a se movimentar orientado por ela.

A interrogação difere da noção de problema, pois o problema (no contexto da pesquisa científica) é entendido como uma proposta que antecipa uma solução possível – “ainda que não específica ou determinada, pois está a solicitar por estudos e raciocínios encadeados logicamente que levem a respostas possíveis.” (BICUDO, 2005, p. 10).

A preponderância dos processos indutivos, a predominância de dados descritivos, a ênfase ao processo em detrimento do produto, a necessidade de questões geradoras e regras bem definidas de ação para análise dos dados coletados, critérios de avaliação públicos, discutidos e acordados pela comunidade, e a responsabilidade do pesquisador em relação à sua pesquisa – não deslocando tal responsabilidade para uma pretensa certeza do método -, são [...] elementos reguladores centrais em uma pesquisa qualitativa (GARNICA, 2001, p. 07-08).

É importante que o pesquisador desenvolva a capacidade de “role-taking”, ou seja, se colocar no lugar de outro, pois “o meio mais adequado para captar a realidade é aquele que propicia ao pesquisador ver o mundo através ‘dos olhos dos pesquisados’”. (GOLDENBERG, 2004, p.27). No caso da presente pesquisa, que se refere às concepções alternativas que estudantes possuem, o “role-taking” é especialmente importante.

4.1 Análise de Conteúdo

Imersa na perspectiva da pesquisa qualitativa descrita anteriormente, a análise de conteúdo – segundo a proposta de Laurence Bardin (2011) – é uma análise categorial, que por meio da classificação de um texto, segundo frequências de presença e ausência de um item, pode auxiliar a superação da incerteza e o enriquecimento da leitura. Tais propriedades do “conjunto de técnicas de análise das comunicações” (*ibid.*, p. 37) – que constituem a análise de conteúdo – se explicam pela função heurística, que aumenta a propensão para a produção do conhecimento;

e pela função de administração da prova, quando hipóteses atuam como diretrizes para uma análise sistemática, que pode confirmar ou não uma afirmação.

A elaboração de categorias permite a classificação de itens com significado viabilizada por três fases: descrição, inferência e interpretação. A descrição consiste na listagem de características dos dados após o tratamento e síntese dos textos. Por meio da fase de inferências, é alcançada a fase de interpretação, ou seja, a fase da atribuição de significado às características enumeradas. Assim, na análise de conteúdos são engendradas inferências acerca das condições de produção dos conhecimentos, que serão deduzidos de forma lógica. Ou seja, o conteúdo dos textos deve ser descrito e analisado de forma a articular tal descrição e análise à inferência das causas que determinaram as características dos textos. Assim, a autora conceitua a análise de conteúdo como:

Um conjunto de técnicas de análise das comunicações visando obter por procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens indicadores (quantitativos ou não) que permitam a inferência de conhecimentos relativos às condições de produção/recepção (variáveis inferidas) dessas mensagens (BARDIN, 2011, p. 48).

A autora explica que o agrupamento característico da classificação é iniciado pela união de palavras idênticas, sinônimas ou próximas para que seja possível a criação de unidades de significação, ou categorias. Normalmente iniciada por uma “leitura flutuante”, uma fase aberta a ideias, reflexões e hipóteses (o que configura essa fase inicial como um *brainstorming* individual), a análise de conteúdo passa ser direcionada por hipóteses implícitas segundo as projeções teóricas e o conteúdo do texto analisado. A formulação de hipóteses permite a proposição de uma afirmação provisória que será verificada mediante procedimentos de análise.

As categorias podem ser elaboradas previamente para em seguida atribuir elementos a elas, ou podem ser elaboradas por meio do agrupamento de elementos particulares que após serem reunidos por critérios de semelhança, podem receber um título que nomeia uma categoria formada.

Inicialmente os elementos podem ser reunidos em conjuntos que serão diferenciados (isolamento de elementos) por critérios definidos *a priori*. Uma determinada categoria, intitulado com um nome genérico, contém unidades de registro que serão agrupadas segundo as características semelhantes que

apresentam (classificação). A reconstrução dos dados resultante da categorização propicia a simplificação da representação dos dados.

As categorias devem ser mutuamente exclusivas (um elemento não pode estar presente em mais de uma categoria), para tanto, deve-se utilizar um princípio de classificação homogêneo; ou seja, cada conjunto de categorias deve contemplar uma dimensão. Uma nova dimensão deve ser realizada em uma análise adicional.

A ordem cronológica da análise de conteúdo perpassa: “(a) a pré-análise, (b) a exploração do material e (c) o tratamento dos resultados, a inferência e a interpretação” (BARDIN, 2011, p. 127). Na pré-análise são sistematizadas as ideias iniciais, são elaboradas as hipóteses, objetivos e indicadores que permitirão a interpretação ao final. As impressões e orientações devem ser formadas a partir da leitura flutuante, que pode propiciar a formulação de hipóteses que serão verificadas pelos procedimentos de análise; e a formulação de objetivos que consiste no propósito geral e no quadro teórico ou pragmático no qual os resultados serão contextualizados. Os dados podem ser explicitados por índices que serão empregados como indicadores, segundo a frequência em que ocorrem.

As informações que viabilizam quadros, diagramas, gráficos e esquemas após a exploração do material permitem a sistematização da análise. O pesquisador poderá realizar inferências e engendrar interpretações acerca dos objetivos formulados.

O tratamento do material é realizado mediante a codificação (a transformação de dados textuais por meio de recorte, enumeração e agregação) que pode dar origem aos índices. Quando se trata de discussões de grupo, segundo Bardin, a análise pode estar centrada na busca de “temas” nos dados, que podem ser unidades de registro dotadas de significado à luz de uma teoria que direciona a investigação¹⁴.

O tema é a unidade de significação que se liberta naturalmente de um texto analisado segundo certos critérios relativos à teoria que serve de guia à leitura. [...] Fazer uma análise temática consiste em descobrir os “núcleos de sentido” que compõem a comunicação e cuja presença, ou frequência de aparição, podem significar alguma coisa para o objeto analítico escolhido (BARDIN, 2011, p. 135).

¹⁴ Os temas, que podem se traduzir em unidades de registro, auxiliam a elaboração de categorias. As unidades de registro são elementos que podem evidenciar determinada categoria encontrada nas comunicações.

Para Bardin, embora seja empregada a frequência de elementos na análise de conteúdo, quando a inferência é fundamentada na presença ou ausência de índices (e não na frequência da aparição dos elementos), trata-se de pesquisa essencialmente qualitativa.

Diante da natureza dos dados que foram obtidos (falas dos alunos por escrito, por áudio e fonte textual de material didático), julgamos ser adequado o procedimento da análise de conteúdo, visto que permitiria uma exploração dos dados, visando não a extração das informações, mas a organização das informações por semelhança, de modo a permitir a identificação de padrões. Embora a frequência de aparecimento de determinado indicador seja uma possibilidade na metodologia, nesta pesquisa, o caráter quantitativo da frequência não deverá significar a maior ou menor relevância de determinado dado, pois nossas questões norteadoras estão enviesadas por questões do tipo “o que?” e “como?” (rever objetivos da presente pesquisa).

4.2 Etapas da pesquisa

Considerando o diagnóstico referente à questão da dominância, foram coletados dados das seguintes fontes:

- Livros didáticos do PNLD de 2018 foram analisados tendo em vista algumas perguntas norteadoras a serem respondidas;
- Professores de biologia em formação responderam a um questionário escrito discursivo;
- Professores de biologia em formação avaliaram assertivas por meio de Escala Likert.
- Professores de biologia em formação participaram do GPEB respondendo espontaneamente em discussões.

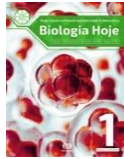
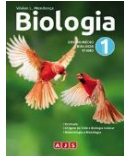
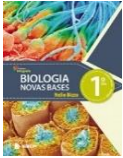
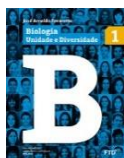
A seguir, constam as descrições de cada uma das etapas supracitadas.

4.2.1 Investigação dos livros didáticos PNLD - 2018

Com o objetivo de verificar se os livros didáticos que são distribuídos pelo programa nacional brasileiro do período vigente contêm abordagens que articulam a genética de transmissão e a genética molecular, os procedimentos abaixo descritos foram realizados.

Os livros consultados incluem aqueles do período PNLD (Programa Nacional do Livro Didático) 2018-2020, que compreendem uma coleção de 10 obras (ver Quadro 3), a saber: “Biologia Moderna” (AMABIS; MARTHO, 2016), “Ser protagonista: biologia” (BANDOUK et al., 2016), “Biologia: novas bases” (BIZZO, 2017), “Bio” (LOPES; ROSSO, 2016), “Conexões com a Biologia” (THOMPSON; RIOS, 2016), “Biologia hoje” (LINHARES; GEWANDSZNAJDER, 2016), “Biologia: o ser humano, genética e evolução” (MENDONÇA, 2016), “Biologia” (SILVA-JÚNIOR; SASSON; CALDINI, 2016), “#Contato biologia” (OGO; GODOY, 2016) e “Biologia unidade e diversidade” (FAVARETTO, 2016).

Quadro 3. Informações do conjunto dos livros que compõem a coleção selecionada para o PNLD 2018-2020 (ver BRASIL, 2018).

Capa	Identificação	Capa	Identificação
	AMABIS, José Mariano; MARTHO, Gilberto. Biologia Moderna . 3 v. 1 ed. São Paulo: Editora Moderna, 2016.		LINHARES, Sérgio Fernando; GEWANDSZNAJDER, Helena Pacca. Biologia hoje . 3 v. 3 ed. São Paulo: Editora Ática, 2016.
	BANDOUK, Antonio Carlos; CARVALHO, Elisa Garcia; AGUILAR, João Batista; SALLES, Juliano Viñas; NAHAS, Tatiana Rodrigues; BEZERRA, Lia Monguilhott. Ser protagonista: biologia 3º ano: ensino médio. 3 ed. São Paulo: Edições SM, 2016.		MENDONÇA, Vivian L. Biologia: o ser humano , genética e evolução: volume 3: ensino médio. 3 ed. São Paulo: Editora AJS, 2016.
	BIZZO, Nélio. Biologia: novas bases . 3º ano ensino médio. 1 ed. São Paulo: IBEP, 2017.		SILVA-JÚNIOR, César da; SASSON, Sezar; CALDINI, Nelson. Biologia , 3: ensino médio. 11 ed. São Paulo: Saraiva, 2016.
	LOPES, Sonia. ROSSO, Sergio. Bio , 3 v. 3 ed. São Paulo: Saraiva, 2016.		OGO, Marcela Yaemi; GODOY, Leandro Pereira de. #Contato biologia , 3º ano. 1 ed. São Paulo: Quinteto Editorial, 2016.
	THOMPSON, Miguel. RIOS, Eloci Peres. Conexões com a Biologia . 2 vol. 2 ed. São Paulo: Moderna, 2016.		FAVARETTO, José Arnaldo. Biologia unidade e diversidade , 3º ano. 1 ed. São Paulo: FDT, 2016.

Fonte: Quadro elaborado pela autora (Imagens: ver BRASIL, 2018).

Para responder se os materiais articulam genética molecular e genética de transmissão, foram elaboradas previamente (ou seja, antes de qualquer análise) uma lista de perguntas¹⁵ que consta no quadro abaixo:

Quadro 4. Lista de perguntas que foram utilizadas para a exploração dos livros didáticos com o objetivo de investigar se articulavam genética de transmissão e genética molecular no que diz respeito ao fenômeno da dominância.

1. Transcrição e síntese proteica estão antes do conteúdo de genética de transmissão?
2. Alelo foi explicado em termos de diferenças de bases nitrogenadas em cada versão do gene de cromossomos homólogos de organismos diploides?
3. Fisiologia da dominância foi citada?
4. Fisiologia da dominância foi explicada processualmente?
5. Foi fornecido um exemplo fisiológico de dominância?
6. A dominância foi conceituada?
7. O verbo “expressar” foi utilizado para tratar da relação genótipo-fenótipo?
8. Os alelos eram chamados de “dominantes”/“recessivos”?
9. Explica fisiologicamente dominância incompleta e codominância?
10. Aponta que dominância não tem relação com a proporção/predominância na população?

Fonte: elaborado pela autora.

Por meio de observação do sumário e por leitura dos títulos, subtítulos e figuras das páginas, a primeira pergunta do quadro foi verificada e respondida.

Para responder as demais perguntas do quadro, foi realizada leitura na íntegra do(s) capítulo(s) de genética, que inclui(am) o trabalho de Mendel e a introdução do conceito de dominância completa, dominância incompleta e codominância.

Durante a leitura, foi realizada a anotação de trechos nos quais a linguagem poderia conduzir a um entendimento equivocado do conteúdo lido, para permitir uma análise qualitativa dos materiais e reflexões adicionais importantes. Também foram feitas anotações de trechos que explicam a fisiologia da dominância (completa, incompleta ou codominância).

¹⁵ As questões do quadro estão curtas e muito simples, pois são apenas “prompts” que auxiliaram a pesquisadora a fazer a exploração dos livros didáticos. O restante do raciocínio que estava subsidiando cada uma delas, constarão em breve no prosseguimento da explicação.

Com os quadros de perguntas já preenchidos, a próxima fase foi realizada: identificar os padrões de semelhanças e diferenças que emergem a partir de agrupamentos. A partir dos agrupamentos, foi possível elaborar gráficos para cada uma das perguntas.

Serão apresentadas as justificativas das perguntas para que se esclareça a finalidade de pesquisa que fundamentava a existência de cada uma.

Para a Questão 1, “Transcrição e síntese proteica estão antes do conteúdo de genética de transmissão?”, o objetivo da pergunta foi o de identificar se o conteúdo de morfologia e fisiologia do núcleo da célula (material genético, replicação, transcrição e síntese de proteínas) é um conteúdo que precede o conteúdo de genética mendeliana e o conteúdo de dominância completa, incompleta e a codominância (e demais padrões de herança em geral).

Consideramos relevante identificar esse posicionamento de conteúdo no material porque o conteúdo de padrões de herança requer que o estudante atribua significado fisiológico ao alelo que ocupa seu respectivo locus gênico. Tratar de alelos “A” e “a” e de suas combinações em genótipos “AA”, “Aa” ou “aa” não auxilia o estudante a compreender como o material genético influencia a produção de fenótipos. Portanto, seria necessário que o estudante já possuísse o conhecimento molecular acerca do código genético.

Para a Questão 2, “Alelo foi explicado em termos de diferenças de bases nitrogenadas em cada versão do gene de cromossomos homólogos de organismos diploides?”, o objetivo da pergunta foi o de identificar se há justificativa molecular para chamar de “alelos” as tais versões alternativas de um gene. Como assinalamos anteriormente, os alelos se diferenciam uns dos outros por apresentarem diferentes sequências de bases nitrogenadas no DNA. Se o material traz tal explicação, já é iniciada uma articulação entre os alelos e a fisiologia molecular (gene, transcrição e síntese proteica), o que seria necessário para formar uma perspectiva mais completa acerca de como o genótipo influencia a formação do fenótipo.

Para a Questão 3, “Fisiologia da dominância foi citada?”, a finalidade foi a de identificar se a dominância foi explicada em termos fisiológicos (moleculares), ou seja, se a síntese proteica foi citada e se a recessividade foi alvo de explicação do ponto de vista funcional. Consideramos que se a explicação fisiológica não é fornecida, a dominância é tratada como um dado inquestionável, que não é passível de interpretação.

Na Questão 4, “Fisiologia da dominância foi explicada processualmente?”, visamos identificar se, havendo resposta afirmativa para a questão anterior, a explicação perpassava cada um dos eventos desde a produção de RNAm a partir de cada alelo diferente no heterozigoto até a produção de um fenótipo macroscópico. A importância de um processo ser explicado em uma sequência completa é a de unificar o pensamento biológico acerca da relação genótipo-fenótipo em uma síntese que incorpora uma visão sistêmica, uma visão de todo.

Na Questão 5, “Foi fornecido um exemplo fisiológico de dominância?”, a finalidade foi identificar se após introduzir uma explicação fisiológica/molecular para o fenômeno da dominância, o material incluía um exemplo biológico de dominância explorado em termos fisiológicos. A relevância de introduzir essa questão justificase, pois, tratar de mecanismos fisiológicos da dominância em termos gerais pode perpetuar uma visão superficial do processo, devido ao nível de abstração. A contribuição do exemplo está na concretude: introduzir um exemplo de característica recessiva/dominante e a explicação fisiológica que indica como o heterozigoto exibe a característica dominante, torna o conteúdo de fisiologia da dominância mais concreto, tornando-o mais cognoscível para a aprendizagem do estudante.

Na Questão 6, “A dominância foi conceituada?”, visamos identificar se houve ao menos uma frase que conceituava o fenômeno da dominância completa, e assim, que apontasse a natureza desse estado/processo em palavras para torná-lo mais sistematizado para a aprendizagem conceitual. Consideramos que a dominância pode ser ensinada e aprendida em conformidade com o consenso científico, sendo assim, uma “categorização” em palavras permitiria ao estudante fazer uma conceituação mais precisa.

Para a Questão 7, “O verbo ‘expressar’ foi utilizado para tratar da relação genótipo-fenótipo?”, objetivamos identificar se o verbo “expressar” consta em uma frase, reunindo os termos genótipo e fenótipo (ou alelo e característica etc.), ou seja, se o material didático trata o fenótipo como uma “expressão” do genótipo (ainda que considere que há influências do ambiente). Consideramos essa questão relacionada à linguagem importante, porque a palavra “expressão” especificamente, diferente de “manifesta”, “determina” ou “condiciona” (que também são muito utilizadas no mesmo contexto), tem um outro uso particular na biologia: o genótipo ao se *expressar*, origina polipeptídios. Ou seja, na linguagem científica, já se tem

previamente essa ideia de que a expressão dos genes é a produção de polipeptídios, o que também está presente tradicionalmente na linguagem didática. Sendo assim, partimos da hipótese de que pode ocorrer um ruído de comunicação no uso da palavra “expressão” para falar da expressão do genótipo originando fenótipos/polipeptídios como se fosse o mesmo processo.

Para a Questão 8, “Os alelos eram chamados de ‘dominantes’/‘recessivos’?”, a finalidade foi a de identificar se ocorria desvio do nível do fenótipo (que é o nível correto para localizar o fenômeno da dominância/recessividade) para o genótipo na atribuição do adjetivo dominante/recessivo. Consideramos importante essa questão terminológica pois “alelo dominante” e “recessivo” são formas equivocadas de colocar em palavras o conhecimento biológico. Como podem incorrer em concepções alternativas, justifica-se a busca por tal equívoco/simplificação nos materiais.

Para a Questão 9, “Explica fisiologicamente Dominância Incompleta e Codominância?” o objetivo da pergunta foi o de identificar se o material explica a fisiologia molecular da dominância incompleta e da codominância. Tendo em vista que o heterozigoto manifesta fenômenos diferentes do padrão de dominância completa, é necessário que uma justificativa fisiológica esteja presente para discriminar os três tipos de dominância, pois trata-se de fenômenos macroscópicos que podem permitir a construção de hipóteses de explicações microscópicas equivocadas.

Na Questão 10, “Aponta que dominância não tem relação com a proporção/predominância na população?”, visamos identificar se há apontamento de que é um equívoco pensar que a característica dominante é a de maior proporção/frequência na distribuição populacional. Em se tratando de uma concepção alternativa muito comum, seria importante que o livro didático auxiliasse o estudante, atentando para o fato de que é uma confusão comum associar o termo “dominante” com “prevalente”.

4.2.2 Questionário com questões discursivas

Com o objetivo de determinar quais são as explicações atribuídas por professores de biologia em formação para o fenômeno da dominância completa, um questionário com perguntas discursivas (ou questionário escrito cf. FLICK, 2012) foi aplicado. A coleta por meio de questionário apresenta um caráter padronizado

devido à formulação prévia e unificada das perguntas, bem como do sequenciamento. Com as perguntas designadas de forma idêntica a todos os participantes, o questionário escrito permite a obtenção de respostas comparáveis (Flick, 2012).

As informações básicas eram fornecidas por escrito, juntamente com o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (APÊNDICE E). Inicialmente, uma primeira versão foi aplicada em uma turma de Licenciandos em Ciências Biológicas de uma universidade pública para um $n=26$, na data de 23 de outubro de 2017. Os participantes não tinham contato com a segunda pergunta antes de responder a primeira.

A primeira pergunta explicava os dados da genética de transmissão das ervilhas mendelianas no que se refere ao fenótipo de textura lisa/rugosa da semente. Com o objetivo de investigar quais explicações moleculares/fisiológicas os estudantes atribuem para os diferentes fenótipos exibidos pelas plantas de ervilhas, foram propostas duas perguntas:

Pergunta 1: Considere as ervilhas de Mendel que exibem textura lisa ou rugosa. Houve constatação de que a ervilha rugosa é manifestada somente em condição homozigota recessiva (rr), enquanto a condição lisa se manifesta com genótipo homozigoto dominante (RR) ou heterozigoto. Por que no indivíduo heterozigoto a característica “textura lisa” se manifesta?

Pergunta 2: Quando um indivíduo possui um genótipo heterozigoto e exibe a característica dominante, a característica recessiva não se manifesta. O que isso significa na fisiologia? [em outras palavras, como a biologia funcional conseguiria explicar a manifestação de um fenótipo e o impedimento da manifestação de outro fenótipo?]

As duas perguntas se referem ao mesmo fenômeno e fazem o mesmo questionamento. Porém, a primeira pode permitir que o estudante deixe passar a necessidade de se atribuir uma explicação fisiológica, o que já será uma primeira avaliação (ou seja: os participantes atribuem explicação fisiológica para a primeira pergunta?).

Como é um de nossos objetivos criar um repertório de explicações fisiológicas que os participantes atribuem para a dominância, foi proposta também a segunda pergunta, que solicita explicitamente que o respondente se posicione acerca da fisiologia envolvida.

Diante dos dados obtidos nessa primeira aplicação do questionário, a pergunta foi alterada para as próximas coletas. Tendo em vista que os participantes não

conseguiram atribuir explicação fisiológica para o exemplo das ervilhas lisas/rugosas na primeira coleta supracitada, decidimos escolher um exemplo mais conhecido (ou que pelo menos permitisse a criação de hipóteses referentes à produção de pigmentos verde/amarelo): o fenótipo das sementes de ervilhas amarelas/verdes. As perguntas utilizadas nos novos questionários foram:

Pergunta 1: Considere as ervilhas de Mendel que exibem cor amarela ou verde. Houve constatação de que a cor verde é manifestada somente em condição homozigota (vv), enquanto a cor amarela se manifesta com genótipo homozigoto (VV) ou heterozigoto. Responda: Por que no indivíduo heterozigoto a característica “amarela” se manifesta?

Pergunta 2: Quando um indivíduo possui um genótipo heterozigoto e exibe a característica dominante, a característica recessiva não se manifesta. O que isso significa na fisiologia? [em outras palavras, como a biologia funcional conseguiria explicar a manifestação de um fenótipo e o impedimento da manifestação de outro fenótipo?]

Várias coletas foram realizadas: as primeiras nos dias 18 de junho de 2018 e 21 de junho de 2018, posteriormente em 27 de junho de 2018 em outro campus da mesma universidade pública, e as demais nos dias 05 e 09 de julho de 2018, 18 de julho de 2018, 17 de outubro de 2018, 15 de abril de 2019 e 02 de março de 2020 (ver mais em Apêndice B). Todos os participantes já tinham cursado a disciplina de genética, com exceção de quatro graduandos que eram respondentes da última coleta (02/03/2020).

Alguns questionários foram impressos e os participantes responderam com lápis/caneta em sala de aula, presencialmente. Outros questionários foram acessados pelo celular em um formulário on-line, que gerou uma planilha com os dados obtidos. Todas as respostas produzidas durante as coletas estão organizadas nos quadros do Apêndice B. Para análise dos dados, a metodologia utilizada foi a Análise de Conteúdo (Bardin, 2011).

Tendo em vista a importância da descrição dos procedimentos (cognitivos e materiais) que são realizados em uma pesquisa qualitativa, adotamos como meio de comunicar as ações metodológicas a indicação dos passos da categorização dos dados. Assim, a seguir, estão descritos os passos utilizados nas fases finais da Análise de Conteúdo aplicada aos dados obtidos, para que fosse possível organizar os resultados da pesquisa.

Na leitura inicial das respostas da Pergunta 1, foi possível perceber dois padrões emergindo: os participantes (1) apenas reafirmavam os dados do enunciado

ou então (2) tentavam atribuir uma explicação fisiológica. De início, essas pareciam ser duas possíveis categorias antagônicas.

Em seguida, a segunda conclusão da leitura inicial foi que “reafirmar os dados do enunciado” significava que os respondentes não extrapolavam afirmações acerca da genética de transmissão, ou seja, não tratavam de genética molecular e não tratavam de fisiologia.

Para que fosse possível analisar os dados a partir desse viés, seria necessário estabelecer quais seriam os indicadores de que o participante estava fazendo afirmações fisiológicas para diferenciar da mera “reafirmação de dados de genética de transmissão”.

Para obter tais indicadores, foi necessária a leitura de todas as respostas da Pergunta 1 à procura de palavras-chave que apontassem “mecanismos fisiológicos” (de forma metafórica ou não). Os indicadores que obtivemos foram: “expressar”, “inibir”/“impedir”, “silenciar”, “sobressair”, “sobreviver”, “prevalecer”, “produzir”/“sintetizar”, “recobrir” e “dominar”. Os verbos foram aqui indicados no infinitivo, mas apareceram também em outras flexões nas respostas obtidas. Apenas em uma resposta, o verbo “dominar” foi utilizado como um mecanismo fisiológico, ou seja, quando se fez o uso desse termo, o participante estaria extrapolando a genética de transmissão (ver resposta A41 no Apêndice B).

O verbo “manifestar” não foi considerado um mecanismo fisiológico. Ele seria um sinônimo para “condicionar”, ou “determinar” na relação genótipo-fenótipo de modo mais genérico. Mas foi possível perceber que existe um uso do verbo “expressar” como sinônimo desse “manifestar”. Seria necessário identificar se existiria mais de um significado para “expressar” nas respostas.

Existiria um “expressar” para mecanismo fisiológico (que seria expressão gênica) e um “expressar” sinônimo de manifestar (fenótipo)? Na tentativa de responder a esse questionamento, foi necessário reler todas as respostas com o termo “expressar” e/ou suas flexões para determinar se se tratava de expressão gênica ou da relação genótipo-fenótipo. Porém, devido à ambiguidade que se forma em torno do termo, não foi possível indicar com certeza quando uma frase significava expressão gênica e quando significava produção de fenótipo.

Quanto à possível categoria restrita à genética de transmissão, que estaria se formando, parecia haver outras subcategorias possíveis. Alguns pareciam possuir um argumento da “presença”, que seria dizer que o alelo/característica dominante

estaria ali. Os indicadores normalmente são a palavra “presente/presença”, “ter”, “possuir”, “haver” e respectivas flexões.

Mais um padrão que surgiu a partir da leitura foi referente à haplossuficiência do alelo dominante. Os indicadores incluem “apenas”, “um”, “único” e “sozinho”.

A maioria das falas que restaram tem um elemento em comum e podem fazer emergir mais uma categoria: o argumento da dominância. Neste caso, os participantes argumentam que um alelo é dominante com relação ao outro, ou então que uma característica é dominante com relação à outra. Como indicadores, utilizamos os termos “dominância/dominante” ou “recessivo” que estivessem em uma frase que indicasse relação causal.

Durante a tentativa de categorizar as falas dentro das classificações estabelecidas, mais um padrão emergiu: dois participantes atribuíram a explicação fisiológica de que a dominância se deve às alterações na quantidade de expressão gênica (produção de proteínas/RNA). Indicadores utilizados foram de intensidade: “maior” ou “mais”.

Sendo assim, foi possível organizar seis categorias, conforme o Quadro 5.

Quadro 5. Categorias de respostas obtidas pelos questionários de perguntas discursivas referentes à dominância completa

1 Argumentos restritos à genética de transmissão	1.1 Presença do alelo dominante 1.2 Haplossuficiência 1.3 Dominância do alelo
2 Argumentos com explicação fisiológica	2.1 Alelo dominante inibe, sobressai, prevalece, suprime, silencia, recobre (com relação ao alelo recessivo) 2.2 Alteração na produção de proteínas/RNA 2.3 Alteração na quantidade de produção de proteínas/RNA

Fonte: elaborada pela autora.

Em “1 Argumentos restritos à genética de transmissão”, os participantes apenas tratam da distribuição de alelos, abordando as relações que estabelecem com seus pares homólogos. Não há menção a mecanismos moleculares ou fisiológicos. Em “1.1 Presença do alelo dominante”, os participantes afirmam que a dominância ocorre porque há ocorrência de um alelo dominante (argumento da presença/posse). Em “1.2 Haplossuficiência”, os participantes afirmam que apenas um alelo é suficiente para determinar o fenótipo. Em “1.3 Dominância do alelo”, os participantes afirmam que o fenótipo ocorre porque um determinado alelo/característica domina sobre o(a) outro(a).

Em “2 Argumentos com explicação fisiológica”, os participantes ultrapassam as explicações acerca das disposições de alelos e fazem afirmações acerca de seu funcionamento. Na primeira categoria, “2.1 Alelo dominante inibe...” trata-se de formas metafóricas de tratar a fisiologia. Na segunda categoria “2.2 Alterações na produção de proteínas/RNA” trata-se de formas mais denotativas de abordar a fisiologia da dominância referentes à expressão do alelo dominante. Na categoria “2.3 Alterações na quantidade de produção de proteínas/RNA” trata-se especificamente explicações que entendem a dominância como resultante de diferenças entre taxas de expressão gênica entre o alelo dominante e o alelo recessivo (ver mais em Resultados).

Para análise da Pergunta 2, uma leitura inicial foi realizada. Por meio do procedimento de leitura inicial, foi possível perceber que há vários “não sei”, algumas respostas em branco (o que não ocorreu na Pergunta 1) e algumas tem uma estrutura que sugerem um caráter de hipótese, e não uma convicção. Foi possível perceber que alguns citaram somente dados referentes à genética de transmissão, apenas mencionando a disposição de alelos presentes nos cromossomos homólogos e a relação de dominância/recessividade que o fenótipo exibe, sem explicação fisiológica. Alguns utilizaram linguagem metafórica para fazer referência aos mecanismos fisiológicos e outros citaram transcrição e síntese proteica em suas explicações. A concepção alternativa de o fenótipo dominante ser o mais frequente na distribuição populacional apareceu em algumas respostas.

Numa tentativa de agrupar respostas semelhantes, seria possível reunir respostas que citaram somente dados referentes à genética de transmissão, apenas mencionando a disposição de alelos presentes nos cromossomos homólogos e a relação de dominância/recessividade que o fenótipo exibe, sem explicação fisiológica. Para identificar tais respostas, é necessário fazer a leitura, perceber a ausência de termos que indicam mecanismos fisiológicos e perceber afirmações referentes à disposição dos alelos.

Também seria possível agrupar as respostas nas quais os participantes citam a produção biossintética (transcrição/tradução). Os indicadores seriam “expressar”, “proteínas”, “decodificar”, “transcrever” e “enzima”.

Talvez fosse possível utilizar as mesmas categorias da Pergunta 1 como base para excluir algumas e adicionar outras. Por exemplo, não seria necessário

classificar o tipo de argumento restrito à genética de transmissão, pois as afirmações estavam bem genéricas e não necessitavam de maiores classificações.

Quadro 6. Categorias de respostas para a Pergunta 2 do questionário discursivo

1 Argumentos restritos à genética de transmissão
2 Argumentos com explicação fisiológica 2.1 Alelo dominante inibe, sobressai, prevalece, suprime, silencia, recobre (com relação ao alelo recessivo) 2.2 Alteração na produção de proteínas/RNA¹⁶ 2.3 Alteração na quantidade de produção de proteínas/RNA
3 Maior ocorrência/frequência na população
4 Dominante é mais forte e o recessivo é o mais fraco
5 O fenótipo resulta das interações com a influência do meio
6 Não respondeu
7 Não sabe

Fonte: elaborado pela autora

Além das categorias pré-existentes originadas da classificação das respostas da Pergunta 1, foi possível criar a categoria de “Maior ocorrência/frequência na população”, por meio de indicadores como “probabilidade”, “ocorrência” e “frequência”. Também foi criada a categoria “Dominante é mais forte e o recessivo é o mais fraco” por meio de indicadores, como “forte” e “fraco”.

A categoria “O fenótipo resulta das interações com a influência do meio” foi criada a partir dos indicadores “ambiente” e “meio”. As categorias formadas a partir do procedimento supracitado constam no Quadro 6. Após agrupar as respostas por indicadores em comum, ainda restaram algumas respostas sem categorias.

4.2.3 Questionário com assertivas para avaliação com escala Likert

Como um dos últimos procedimentos de coleta realizados, após ter contato com várias concepções que os professores em formação comumente apresentavam nos dados obtidos nas coletas de dados anteriores, foi possível a elaboração de uma lista de assertivas (algumas contendo equívocos comuns) que permitisse uma avaliação diagnóstica para posterior discussão (que teria uma função metacognitiva) no GPEB.

¹⁶ Uma resposta que tratava de “metilação” também foi colocada nessa categoria.

Quadro 7. Assertivas utilizadas para a coleta de dados.

Assertivas corretas e incorretas acerca do processo de dominância
1. Se uma característica é recessiva significa que o alelo responsável por seu fenótipo não é expresso
2. Uma característica recessiva não é expressa no fenótipo porque é constituída por DNA não codificante
3. Se uma característica é dominante, significa que ocorre inibição do alelo recessivo
4. Uma característica dominante manifesta-se no fenótipo porque o alelo dominante causa a inibição do alelo recessivo
5. Se uma característica é recessiva significa que o alelo responsável por seu fenótipo não codificou uma síntese proteica
6. Uma característica é considerada recessiva quando não há produção de proteínas pelo alelo recessivo
7. Uma característica é dominante em razão das interações entre o alelo dominante e o recessivo
8. Se uma característica é dominante significa que somente o alelo responsável por seu fenótipo é expresso
9. A causa da expressão de um fenótipo dominante é a mesma em um heterozigoto (Aa) e em um homozigoto dominante (AA), pois o alelo A é o único funcional em ambos os casos
10. Um casal constituído por dois indivíduos albinos só pode produzir descendentes albinos
11. Considere que o albinismo é codificado pelo alelo “a”. O alelo “a” causa o albinismo porque este alelo não codifica nenhuma proteína.
12. A dominância incompleta é diferente da dominância completa porque somente na incompleta ocorre produção de proteínas a partir de ambos os alelos. Exemplo de dominância incompleta: flor maravilha que tem indivíduo homozigoto branco e homozigoto vermelho. O indivíduo heterozigoto tem flor rosa.
13. A codominância é diferente da dominância completa porque somente na codominância se verifica a produção de proteínas a partir de ambos os alelos. Exemplo de codominância: gado que tem indivíduo homozigoto branco e homozigoto castanho avermelhado. O indivíduo heterozigoto é malhado de branco e castanho avermelhado.

Fonte: elaborado pela autora.

As assertivas foram apresentadas individualmente aos graduandos no primeiro encontro de uma turma mista que se formava (composta por integrantes que nunca tinham participado do GPEB e por integrantes que eram do GPEB desde 2019). Foram 23 participantes que avaliaram as assertivas. Do total de participantes, apenas quatro indivíduos ainda não tinham cursado a disciplina de genética. A data da coleta foi 02 de março de 2020. As assertivas constam no Quadro 7.

4.2.4 Dados da discussão realizada no GPEB

Na mesma data de 02 de março, após o momento no qual os participantes avaliaram as assertivas, eles também responderam (cada um seu dispositivo móvel) o questionário discursivo que foi mencionado anteriormente (o questionário discursivo foi constituído pelas perguntas P1 e P2 que constam na Aplicação 2 do Apêndice B referentes à ervilha verde/amarela).

Tendo concluído as respostas solicitadas, no GPEB, os participantes podiam comentar suas impressões e os pesquisadores presentes faziam intervenções com o intuito de identificar mais profundamente as concepções que os graduandos estavam declarando.

Algumas estratégias utilizadas foram: solicitar que os participantes apresentassem hipóteses de explicação fisiológica para explicar exemplos concretos de dominância, solicitar a repetição de uma ideia de um participante e/ou pedir explicações adicionais, introduzir distinção entre significados que estavam causando ambiguidade no discurso dos participantes e explorar desdobramentos das hipóteses dos participantes com perguntas.

O áudio foi transcrito, e, para identificar concepções acerca de dominância completa, foi realizada uma leitura completa da transcrição. As frases nas quais os participantes faziam referência a mecanismos de dominância completa eram sublinhadas (consultar destaques no Apêndice D). Em seguida, todos esses destaques sublinhados foram agrupados por indivíduo e organizados em um quadro, que consta nos resultados desse trabalho.

5 RESULTADOS

Há diferentes fontes de dados de pesquisa a serem considerados. Sendo assim, a seção de Resultados estará subdividida em conformidade com as tais fontes nas seções abaixo.

5.1 Investigação dos livros didáticos PNLD – 2018-2020

Na apresentar os dados, vamos enumerar os livros e passaremos então a designá-los pelos números. Segue a relação de livros e seus respectivos números atribuídos no quadro abaixo.

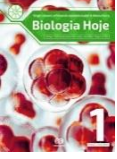
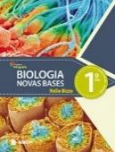
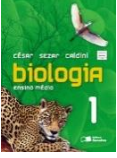
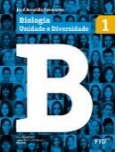
Quadro 8. Referências do conjunto de livros e respectivos números atribuídos para a designação de cada um.

Livro	Número
AMABIS, José Mariano; MARTHO, Gilberto. Biologia Moderna. 3 v. 1 ed. São Paulo Editora Moderna, 2016.	Livro 1
LINHARES, Sérgio Fernando; GEWANDSZNAJDER, Helena Pacca. Biologia hoje. 3 v. 3 ed. São Paulo: Editora Ática, 2016.	Livro 2
BANDOUK, Antonio Carlos; CARVALHO, Elisa Garcia; AGUILAR, João Batista; SALLES, Juliano Viñas; NAHAS, Tatiana Rodrigues; BEZERRA, Lia Monguilhott. Ser protagonista: biologia 3º ano: ensino médio. 3 ed. São Paulo: Edições SM, 2016.	Livro 3
MENDONÇA, Vivian L. Biologia: o ser humano, genética e evolução: volume 3: ensino médio. 3 ed. São Paulo: Editora AJS, 2016.	Livro 4
BIZZO, Nélío. Biologia novas bases. 3º ano ensino médio. 1 ed. São Paulo: IBEP, 2017.	Livro 5
SILVA-JÚNIOR, César da; SASSON, Sezar; CALDINI, Nelson. Biologia, 3: ensino médio. 11 ed. São Paulo: Saraiva, 2016.	Livro 6
LOPES, Sonia. ROSSO, Sergio. Bio, 3 v. 3 ed. São Paulo: Saraiva, 2016.	Livro 7
OGO, Marcela Yaemi; GODOY, Leandro Pereira de. #Contato biologia, 3º ano. 1 ed. São Paulo: Quinteto Editorial, 2016.	Livro 8
THOMPSON, Miguel. RIOS, Eloci Peres. Conexões com a Biologia. 2 vol. 2 ed. São Paulo: Moderna, 2016.	Livro 9
FAVARETTO, José Arnaldo. Biologia unidade e diversidade, 3º ano. 1 ed. São Paulo: FDT, 2016.	Livro 10

Fonte: elaborado pela autora.

Para a Questão 1, que visa identificar se “Transcrição e síntese proteica estão antes do conteúdo de genética de transmissão”, os resultados obtidos foram: sete dos livros precedem a genética de transmissão com síntese proteica (ver Quadro 9).

Quadro 9. Relação de livros e respectivas respostas para a Questão 1.

				
Livro 1	Livro 2	Livro 3	Livro 4	Livro 5
Sim	Sim	Sim	Não	Sim
				
Livro 6	Livro 7	Livro 8	Livro 9	Livro 10
Sim	Sim	Não	Não	Sim

Fonte: elaborado pela autora.

Outros três materiais (Livro 4, Livro 8 e Livro 9) situaram a síntese proteica após o conteúdo de genética de transmissão (ver Figura 8, abaixo).

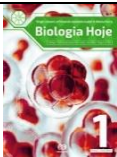
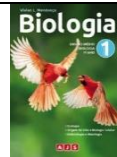
Figura 8. Gráfico que contrasta a proporção dos conjuntos de respostas para a Questão 1 “Transcrição e síntese proteica estão antes do conteúdo de genética de transmissão?”



Fonte: elaborado pela autora.

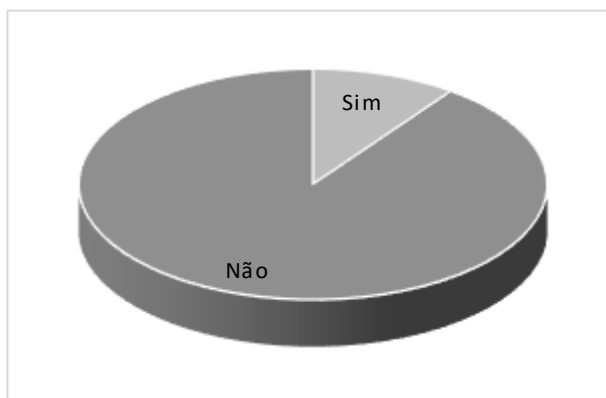
A Questão 2, cujo enunciado era “Alelo foi explicado em termos de diferenças de bases nitrogenadas em cada versão do gene de cromossomos homólogos de organismos diploides?” orientou a produção dos seguintes resultados: nove livros não explicaram como alelos se diferenciam a partir de variações na sequência de bases nitrogenadas. Apenas um dos livros, o Livro 7, fez esse apontamento, conforme indicado no Quadro 10 e na Figura 9, abaixo.

Quadro 10. Relação de livros e respectivas respostas para a Questão 2

				
Livro 1	Livro 2	Livro 3	Livro 4	Livro 5
Não	Não	Não	Não	Não
				
Livro 6	Livro 7	Livro 8	Livro 9	Livro 10
Não	Sim	Não	Não	Não

Fonte: elaborado pela autora.

Figura 9. Gráfico que contrasta as proporções dos conjuntos de respostas para a Questão 1 “Alelo foi explicado em termos de diferenças de bases nitrogenadas em cada versão do gene de cromossomos homólogos de organismos diploides?”

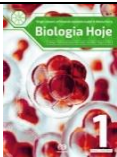
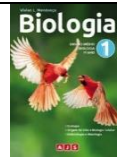


Fonte: elaborada pela autora.

Como respostas para a Questão 3 “A Fisiologia da dominância foi citada?”, obtivemos um resultado com proporções mais equilibradas, uma vez que metade dos livros citavam a fisiologia da dominância e a outra metade, não. Os livros que, de algum modo, fizeram menção à fisiologia da dominância completa foram: Livro 2, Livro 3, Livro 6, Livro 7 e Livro 10, conforme o Quadro 11 e a Figura 10.

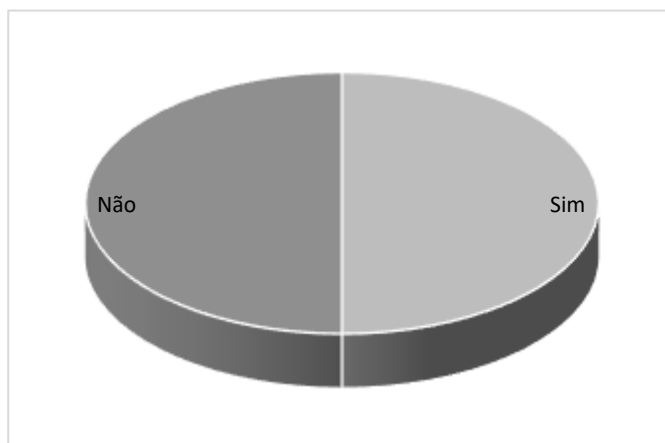
Para evidenciar algumas das menções, podemos citar o Trecho 5 do Livro 2, o Trecho 10 do Livro 3, o Trecho 21 do Livro 6, o Trecho 24 do Livro 7 e o Trecho 31 do Livro 10 (consultar Apêndice A).

Quadro 11. Relação de livros e respectivas respostas para a Questão 3

				
Livro 1	Livro 2	Livro 3	Livro 4	Livro 5
Não	Sim	Sim	Não	Não
				
Livro 6	Livro 7	Livro 8	Livro 9	Livro 10
Sim	Sim	Não	Não	Sim

Fonte: elaborado pela autora.

Figura 10. Gráfico que agrupa conjuntos de respostas para a Questão 3 “A Fisiologia da dominância foi citada?”

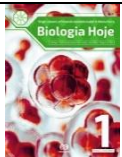
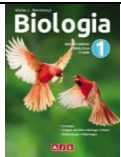
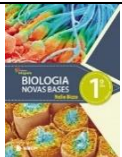


Fonte: elaborada pela autora.

A Questão 4 “Fisiologia da dominância foi explicada processualmente?”, resultou no seguinte: nenhum livro fez uma abordagem processual que conectasse dois alelos sequenciados (ainda que com sequências hipotéticas) com dois produtos polipeptídicos diferentes e seus respectivos fenótipos (passo-a-passo) em um exemplo concreto.

Para a Questão 5 “Foi fornecido um exemplo fisiológico de dominância?”, obtivemos como resultado mais materiais que apresentaram exemplos do que materiais que não apresentaram exemplos. Os livros que forneceram exemplos foram: Livro 2, Livro 3, Livro 4, Livro 6, Livro 7 e Livro 10, conforme o Quadro 12 e a Figura 11.

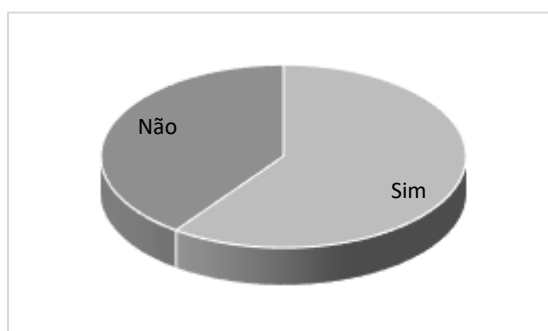
Quadro 12. Relação de livros e respectivas respostas para a Questão 5

				
Livro 1	Livro 2	Livro 3	Livro 4	Livro 5
Não	Sim	Sim	Sim	Não
				
Livro 6	Livro 7	Livro 8	Livro 9	Livro 10
Sim	Sim	Não	Não	Sim

Fonte: elaborado pela autora.

Alguns exemplos podem ser verificados nos excertos que seguem: Trecho 5 do Livro 2 (ervilha verde/amarela), Trecho 10 do Livro 3 (ervilha lisa/rugosa), Trecho 21 do Livro 6 (ervilha lisa/rugosa) e Trecho 24 do Livro 7 (ervilha lisa/rugosa), no Apêndice A.

Figura 11. Gráfico que agrupa conjuntos de respostas para a Questão 5 “Foi fornecido um exemplo fisiológico de dominância?”



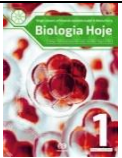
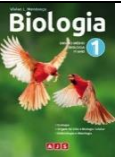
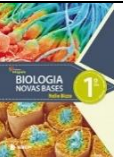
Fonte: elaborada pela autora.

Na Questão 6 “A dominância foi conceituada?”, obtivemos como resultado o seguinte dado: nenhum livro conceituou o fenômeno da dominância completa. Embora alguns explicassem como/quando ela ocorre, diferenciando-a da condição recessiva, nenhum dos materiais fez uma frase para conceituá-la enquanto fenômeno.

Para a Questão 7 “O verbo ‘expressar’ foi utilizado para tratar da relação genótipo-fenótipo?”, obtivemos os seguintes resultados: metade dos livros utiliza o verbo para conectar genótipo a fenótipo e a outra metade, não (ver Figura 12). Os

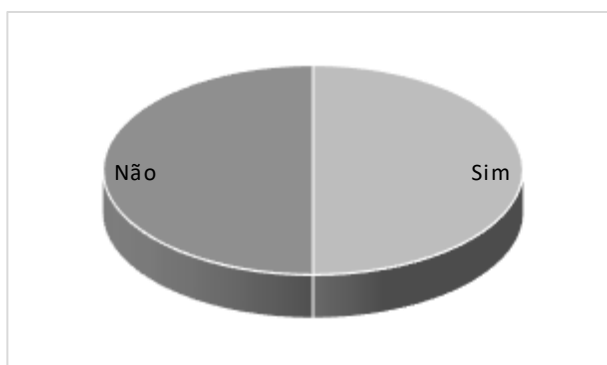
livros que utilizaram o verbo “expressar” foram Livro 1, Livro 6, Livro 7, Livro 8 e Livro 10, como se pode constatar no Quadro 13.

Quadro 13. Relação de livros e respectivas respostas para a Questão 6

				
Livro 1	Livro 2	Livro 3	Livro 4	Livro 5
Sim	Não	Não	Não	Não
				
Livro 6	Livro 7	Livro 8	Livro 9	Livro 10
Sim	Sim	Sim	Não	Sim

Fonte: elaborado pela autora.

Figura 12. Gráfico que agrupa conjuntos de respostas para a Questão 7 ‘O verbo “expressar” foi utilizado para tratar da relação genótipo-fenótipo?’



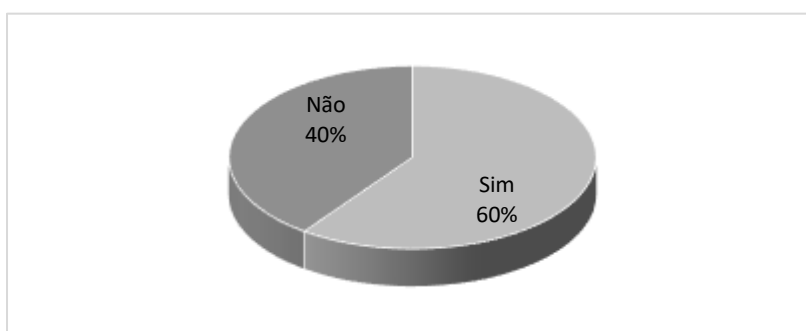
Fonte: elaborada pela autora.

Para a Questão 8 “Os alelos eram chamados de ‘dominantes’/‘recessivos’?”, obtivemos o seguinte resultado: todos os livros designaram os alelos como “dominantes” *versus* “recessivos”, ou seja, atribuíram o locus do fenômeno da dominância aos alelos (Ver, por exemplo, Trecho 11 do Livro 3 ou Trecho 14 do Livro 4 no Apêndice A).

Na Questão 9 “Explica fisiologicamente Dominância Incompleta e Codominância?”, obtivemos como resultado que a maioria dos materiais explica, de algum modo, a fisiologia – conforme a Figura 13.

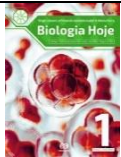
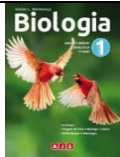
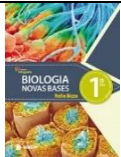
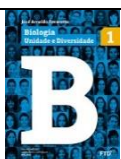
Apenas quatro materiais, o Livro 4, o Livro 5, o Livro 7 e o Livro 10 não apresentaram explicação para a dominância incompleta e para a codominância, conforme o Quadro 14.

Figura 13. Gráfico que agrupa conjuntos de respostas para a Questão 9 “Explica fisiologicamente Dominância Incompleta e Codominância?”



Fonte: elaborada pela autora.

Quadro 14. Relação de livros e respectivas respostas para a Questão 9

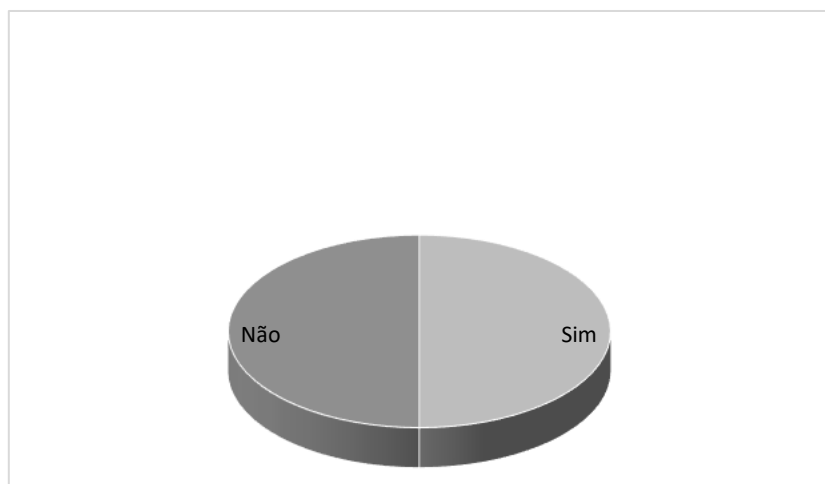
				
Livro 1	Livro 2	Livro 3	Livro 4	Livro 5
Sim	Sim	Sim	Não	Não
				
Livro 6	Livro 7	Livro 8	Livro 9	Livro 10
Sim	Não	Sim	Sim	Não

Fonte: elaborado pela autora.

Alguns excertos que evidenciam os dados supracitados podem ser consultados no Apêndice A: Trecho 2 e Trecho 3 do Livro 1, Trecho 6 e Trecho 7 do Livro 2, Trecho 12 e Trecho 13 do Livro 3, Trecho 29 e Trecho 30 do Livro 9.

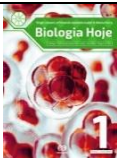
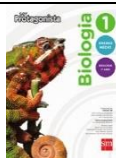
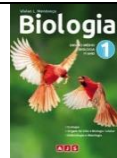
Por último, a Questão 10 “Aponta que dominância não tem relação com a proporção na população?” resultou em um conjunto de dados equilibrados entre “sim” e “não”, conforme a Figura 14.

Figura 14. Gráfico que agrupa conjuntos de respostas para a Questão 10 “Aponta que dominância não tem relação com a proporção na população?”



Fonte: elaborada pela autora.

Quadro 15. Relação de livros e respectivas respostas para a Questão 10

				
Livro 1	Livro 2	Livro 3	Livro 4	Livro 5
Não	Não	Não	Sim	Não
				
Livro 6	Livro 7	Livro 8	Livro 9	Livro 10
Sim	Sim	Não	Sim	Sim

Fonte: elaborado pela autora.

Os materiais que apontaram que a dominância não tem relação com a preponderância na distribuição de traços na população foram: Livro 4, Livro 6, Livro 7, Livro 9 e Livro 10, conforme Quadro 15.

Nos resultados apresentados acima, foram realizadas comparações entre os livros para tornar possível o apontamento de conclusões gerais acerca dos materiais. Nos parágrafos que seguem, serão apresentadas algumas especificidades referentes à linguagem de alguns materiais para exemplificar alguns aspectos adicionais que foram capturados pela leitura, mas que não estão inseridos nas categorias supracitadas.

No livro 1, de Amabis e Martho (2016), se afirma que “O alelo C comporta-se como dominante sobre os outros três. (p. 26). Gostaríamos de destacar como “alelo” é utilizado como sujeito da frase na qual a ação de dominar sobre outro é representada.

No livro 2 (LINHARES; GEWANDSZNAJDER, 2016), se explica que “[...] A união de gametas V e v origina indivíduos heterozigóticos, Vv, de fenótipo amarelo, porque V domina v. (p. 17). Ou seja, a frase é clara ao atribuir a ação de “dominar” para V, um alelo, e o papel de ser dominado para v, outro alelo.

No material 5, de Bizzo (2017), se afirma que “Existe dominância e recessividade dos fatores e dos caracteres. Quando dois fatores diferentes estão presentes no mesmo indivíduo, apenas um deles, dito dominante, determina seu efeito no caráter. [...] (p. 83)”. Os termos “fatores” e “caracteres” correspondem a alelos e fenótipos, o que nos permite afirmar que a explicação aponta o alelo como um *locus* da dominância.

Outros exemplos referentes à linguagem imprecisa podem ser consultados no Apêndice A, como os trechos 20, 22, 23, 25 e 26.

Gostaríamos de ressaltar que alguns livros fizeram ressalvas sobre as afirmações feitas acerca da dominância, apontando em caixas de texto uma explicação fisiológica, como o texto “Dominância e recessividade: uma explicação bioquímica” de Silva-Júnior, Sasson e Caldini (2016, p. 66) ou o “Dominância e recessividade em termos moleculares” de Lopes e Rosso (2016, p. 145). Os materiais de Favaretto (2016, p. 164) e de Bandouk et al. (2016, p. 39) também trazem explicações fisiológicas para a dominância e podem ser encontradas no mesmo apêndice.

5.2 Questionário com questões discursivas

Os dados dos questionários de dominância completa serão apresentados nos quadros a seguir. Os participantes tiveram a identidade protegida sendo identificados como A_ ou B_. A primeira coleta referente às ervilhas rugosas/lisas tem os participantes representados pela letra B e a segunda coleta referente às ervilhas amarelas/verdes tem os participantes representados pela letra A (Para relembrar as perguntas do questionário, consultar Apêndice B).

Os resultados obtidos a partir da Pergunta 1 foram organizados (segundo critérios mencionados na seção de Metodologia) em duas categorias abrangentes, que contemplam subcategorias de respostas, a saber:

1. Argumentos restritos à genética de transmissão
 - 1.1 Presença do alelo dominante
 - 1.2 Haplossuficiência
 - 1.3 Dominância do alelo
2. Argumentos com explicação fisiológica
 - 2.1 Alelo dominante inibe, sobressai, prevalece, suprime, silencia, recobre (com relação ao alelo recessivo)
 - 2.2 Alteração na produção de proteínas/RNA
 - 2.3 Alteração na quantidade de produção de proteínas/RNA

Organizadas no primeiro quadro (Quadro 16) estão as menções aos participantes que explicaram a dominância completa a partir da distribuição de alelos, ou seja, por meio de genética de transmissão, sem fazer alusão a mecanismos moleculares/fisiológicos. A primeira subcategoria (1.1) significa que o participante explica a dominância, justificando que a presença/posse de um alelo ou característica dominante causa o aparecimento do fenótipo dominante. Alguns exemplos de respostas da categoria 1.1 são:

A29: Pois a cor amarela está presente no gene V.

A32: Pois há a presença de um alelo com característica dominante.

A59: A característica “amarela” se manifesta no indivíduo heterozigoto pela presença do gene dominante V.

B12: Porque o indivíduo heterozigoto possui um alelo dominante B.

A segunda subcategoria (1.2) indica que o participante explica a dominância apontando que a presença de apenas um alelo é suficiente para causar o fenótipo dominante (haplossuficiência), como é possível observar na resposta a seguir: A18 “A cor amarela se manifesta mesmo no indivíduo heterozigoto pois o alelo V, sozinho, é capaz de determinar a característica fenotípica da cor amarela.”

A terceira subcategoria indica que o participante explicou o fenômeno apontando a dominância de um alelo sobre o outro. Alguns exemplos de respostas para a subcategoria 1.3 incluem:

A3: Porque a característica amarela é dominante em relação à verde, que é recessiva.

A10: Pois a característica “amarela” possui dominância sobre a característica verde, ou seja, a amarela é dominante enquanto a verde é recessiva. Em heterozigoto sempre a característica dominante se manifesta.

A57: Pois o gene que manifesta o fenótipo amarelo é dominante sobre o que manifesta o verde, dessa forma, o indivíduo que apresenta ambos os genes (heterozigotos) apresentará cor amarela, pois este é dominante sobre o outro.

Outros exemplos podem ser consultados no Apêndice B conforme os dados do Quadro 16.

Quadro 16. Categorização de respostas à Pergunta 1 do questionário discursivo acerca de dominância completa com argumentos restritos à genética de transmissão

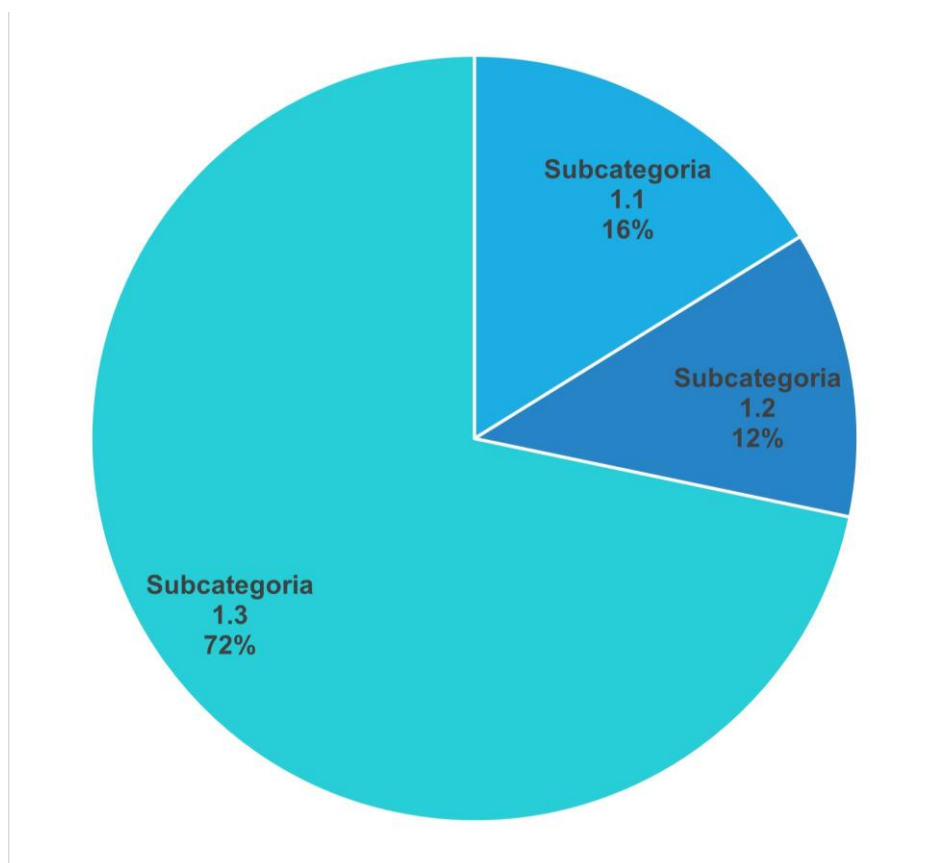
1 Argumentos restritos à genética de transmissão										
1.1 Presença do alelo dominante										
A17	A23	A29	A32	A33	A43	A59	A71	A73	A77	B1
B2	B9	B12	B17	B25						
1.2 Haplossuficiência										
A7	A18	A19	A28	A66	A74	B13	B14	B19	B20	
B24	B26									
1.3 Dominância do alelo/característica										
A1	A3	A4	A5	A6	A7	A10	A11	A12	A13	
A14	A15	A16	A19	A20	A21	A23	A25	A26	A27	
A28	A30	A31	A36	A37	A38	A40	A41	A42	A44	
A45	A46	A47	A48	A49	A50	A51	A53	A54	A55	
A56	A57	A58	A60	A61	A62	A63	A64	A67	A68	
A70	A72	A73	A74	A75	A76	B3	B4	B5	B6	
B7	B8	B10	B11	B16	B17	B18	B21	B23	B25	
B26										

Fonte: elaborado pela autora.

Os indicadores da subcategoria 1.1 apareceram 16 vezes nas falas dos participantes, enquanto indicadores da subcategoria 1.2 apareceram 12 vezes. Indicadores da subcategoria 1.3 foram os mais frequentes, aparecendo 71 vezes.

Estão organizadas na figura abaixo (Fig. 15) as porcentagens de subcategorias pertencentes à Categoria “1 Argumentos restritos à genética de transmissão”.

Figura 15. Gráfico que indica as porcentagens de cada subcategoria (Subcategoria 1.1, Subcategoria 1.2 e Subcategoria 1.3) da Categoria 1 de respostas à Questão 1.



Fonte: elaborada pela autora.

O segundo quadro (Quadro 17) refere-se às respostas dos participantes que explicaram a dominância por vieses fisiológicos. Na subcategoria 2.1, as respostas tratam metaforicamente de meios pelos quais a dominância ocorre, de modo que somente o fenótipo dominante se torne detectável no heterozigoto. Os verbos que foram classificados nessa categoria foram “inibir”, “sobressair”, “prevalecer”, “suprimir”, “silenciar”, “recobrir”, “expressar”, “sobrepor”, “impedir” e “sobreviver”. Alguns exemplos de respostas são:

A36: Pois o gene responsável pela manifestação da cor amarela é considerado dominante em relação ao gene da expressão da cor verde, se comportando como inibidor da característica do outro.

A37: No cruzamento de alelos VV e vv, a característica de cor amarela V é predominante, se sobressai em relação a cor verde V, como se o alelo de cor amarela recobrisse o verde, ou seja, é “dominante”.

A58: Porque a característica “amarela” é dada pelo gene dominante, de forma que este silencia o gene diferente presente no indivíduo.

Na subcategoria 2.2, as respostas tratam de explicações referentes à produção de proteína/RNA envolvida na expressão gênica dos alelos dominantes. Apenas quatro participantes fizeram menção a esse mecanismo de produção biossintética. Alguns exemplos de respostas incluem:

A7: Devido a relação dominante, pois o gene é capaz de sintetizar seus RNAs com a presença de apenas uma cópia do mesmo.

A34: A característica “amarela” se manifesta devido a interferência que o alelo dominante (V) tem sobre a expressão do alelo recessivo (v), impedindo a produção da proteína que gera a cor verde (vv).

Na subcategoria 2.3, dois participantes falam da dominância como resultante de diferenças entre quantidades de proteínas/RNA entre o alelo dominante e o recessivo (sic!). Constam as duas respostas abaixo:

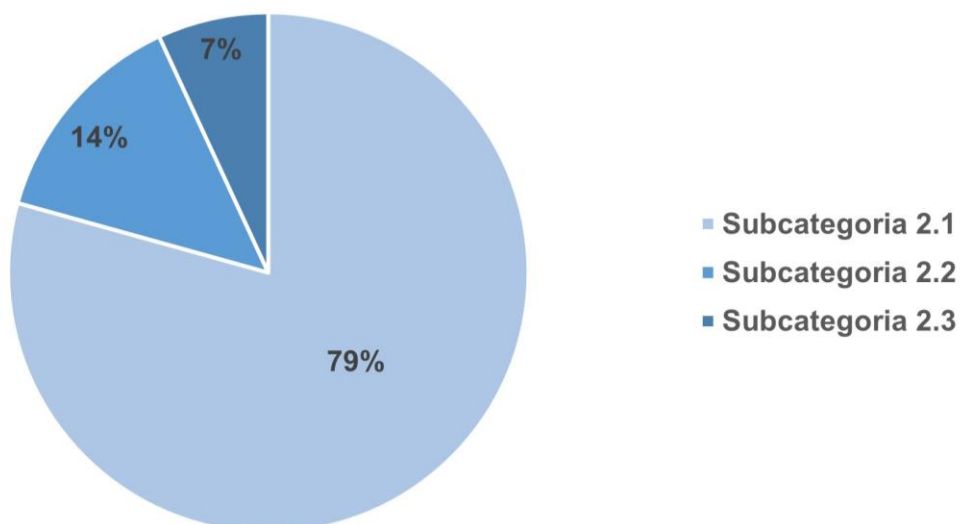
A2: Teremos que os genes em questão irão explicar a produção da cor da ervilha. Neste ponto, a cor amarelada implica na síntese de proteínas que coloem a ervilha assim como a verde. Porém, a condição amarela se faz fruto de alelo dominante em relação a verde, logo a proporção de RNAm traduzido deste alelo dominante é muito mais do que a RNAm do verde, e assim ela se manifesta pela cor amarela.

A78: Pois o alelo dominante (V) se expressa com maior intensidade que o recessivo (v), então a característica amarela é expressada pelo alelo dominante.

Como é possível observar na figura abaixo (Fig. 16), as respostas classificadas na Categoria “2 Argumentos com explicação fisiológica” foram em sua maioria inseridas na primeira subcategoria, aquela na qual os mecanismos são tratados por termos metafóricos.

Para a primeira subcategoria dos argumentos com fundamentação fisiológica (2.1), os indicadores apareceram 23 vezes. Para a segunda subcategoria (2.2), indicadores apareceram quatro vezes e para a subcategoria 2.3, duas respostas se encaixaram.

Figura 16. Gráfico que indica as porcentagens de cada subcategoria (Subcategoria 1.1, Subcategoria 1.2 e Subcategoria 1.3) da Categoria 2 de respostas obtidas à Questão 1.



Fonte: elaborada pela autora.

Quadro 17. Categorização de respostas à Pergunta 1 do questionário acerca de dominância completa com argumentos fundamentados em alguma explicação fisiológica

2 Argumentos com explicação fisiológica									
2.1 Alelo dominante inibe, sobressai, prevalece, suprime, silencia, recobre, expressa (com relação ao alelo recessivo)									
A1	A8	A9	A11	A12	A15	A16	A21	A34	A36
A37	A39	A42	A43	A53	A55	A58	A71	B3	B4
B5	B6	B9							
2.2 Alteração na produção proteínas/RNA									
A5	A7	A22	A23						
2.3 Alteração na quantidade da produção de proteínas/RNA									
A2	A78								

Fonte: elaborado pela autora.

Algumas das respostas dos participantes não foram categorizadas porque não exibiam nenhum dos indicadores. Cada uma das respostas não categorizada consta a seguir:

A35: Porque não engloba apenas a manifestação do genótipo “V”, mas sim da influência do fenótipo (expressão incluindo a questão do meio).

A52: A característica amarela manifesta-se devido ao cruzamento de espécies diferentes, podendo ser visível fisicamente, tornando-se um fenótipo ou não.

A65: De acordo com a matemática do jogo da velha mendeliano, há 50% de chances do genótipo ser heterozigoto, ou seja, a cor amarela se manifestaria.

A69: O indivíduo heterozigoto faz um cruzamento com o homozigoto.

B15: Porque a característica lisa se dá pelo alelo “R”.

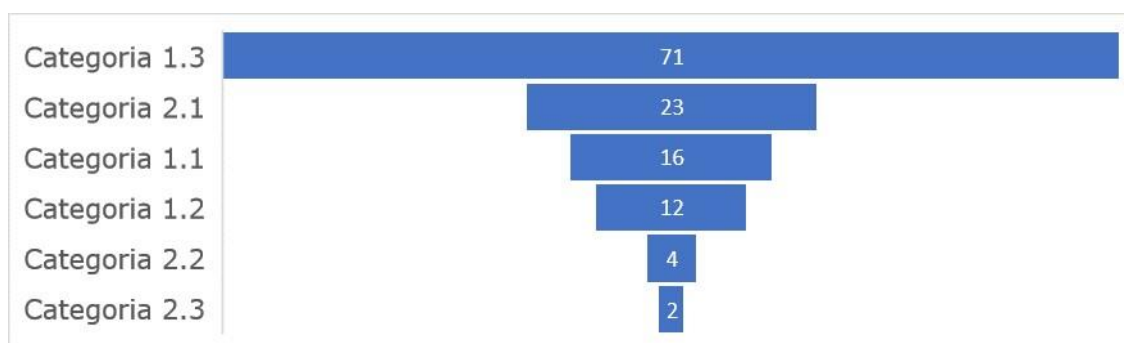
B22: Pois a característica também se manifesta no indivíduo heterozigoto.

Para fazer a classificação nas categorias, em alguns casos, uma mesma frase foi desmembrada em partes, porque um participante pode ter utilizado mais de um argumento. Por exemplo, o aluno A1 utiliza “1.3 Dominância do alelo/característica” e 2.2 “Alelo dominante inibe...”, como é possível observar a seguir: “Porque o gene que define a cor amarela é dominante e se sobressai em cima do gene recessivo.”

Foi possível comparar quantitativamente a frequência de respostas classificadas em cada uma das categorias na Figura 17. Na representação da figura, estão indicadas quantas vezes indicadores de uma mesma categoria foram identificados e classificados nessa mesma categoria.

Por exemplo, a categoria 1.3 teve 71 trechos de respostas contendo indicadores passíveis de agrupamento por semelhança. Nelas, os participantes explicam a dominância apontando que um alelo é dominante com relação ao outro. Foi a categoria mais frequente, representada por uma quantidade de respostas aproximadamente 208,7% superior à quantidade da segunda categoria mais frequente (categoria 2.1).

Figura 17. Gráfico das frequências de respostas de cada categoria referente à Pergunta 1. As categorias são 1.1 Presença do alelo dominante; 1.2 Haplosuficiência; 1.3 Dominância do alelo; 2.1 Ação metafórica do alelo/gene dominante (sic!) sobre o alelo/gene recessivo (sic!); 2.2 Alteração na produção de proteínas/RNA; 2.3 Alteração na quantidade de produção de proteínas/RNA.



Fonte: Elaborada pelas autoras.

No que se refere à Pergunta 2, as respostas foram classificadas em sete categorias, a saber:

- “1 Argumentos restritos à genética de transmissão”;
- “2 Argumentos com explicação fisiológica”;
- “3 Maior ocorrência/frequência na população”;
- “4 Dominante é mais forte e o recessivo é o mais fraco”;
- “5 O fenótipo resulta das interações com a influência do meio”;
- “6 Não respondeu”;
- “7 Não sabe”.

A segunda categorias possui três subcategorias, que são:

- “2.1 Alelo dominante inibe, sobressai, prevalece, suprime, silencia, recobre (com relação ao alelo recessivo)”;
- “2. 2 Alteração na produção de proteínas/RNA”;
- “2.3 Alteração na quantidade de produção de proteínas/RNA”.

Um total de seis respostas estão na primeira categoria, cuja explicação não inclui elementos fisiológicos, apenas elementos referentes à genética de transmissão. As respostas dessa categoria fazem afirmações acerca da distribuição de alelos nos indivíduos, como se pode observar na fala a seguir: A8 “A característica recessiva não se manifesta pois o alelo não está presente nos dois pares de cromossomos homólogos.”

Quadro 18. Frequência do uso de cada termo metafórico nas respostas da categoria

2.1

Palavra	Frequência de uso nas respostas
Bloquear	1
Dominar	1
Impedir	2
Inibir	6
Silenciar	4
Sobressair	3
Suprimir	3

Fonte: elaborado pela autora.

Na segunda categoria, os participantes atribuem algum tipo de explicação fisiológica para a dominância. Na subcategoria 2.1, estão agrupadas aquelas respostas nas quais se faz afirmações metafóricas acerca da fisiologia da dominância e totalizam 19 respostas. Os termos utilizados foram: “silenciar”, “dominar”, “inibir”, “suprimir”, “sobressair”, “bloquear” e “impedir” (com suas respectivas flexões). No Quadro 18, consta o número de vezes que cada termo apareceu nas respostas classificadas nessa categoria e a Figura 18 é uma “nuvem de palavras” que representa a frequência de cada termo nas respostas verificadas.

Figura 18. “Nuvem de palavras” que representa a frequência do uso de cada termo metafórico nas respostas da categoria 2.1 de respostas à Questão 2



Fonte: elaborada pela autora.

Nas respostas dessa categoria 2.1, pode-se perceber que alguns termos têm sentidos semelhantes, como “bloquear”, “inibir”, “silenciar”, “impedir” e “suprimir”. Do mesmo modo, “dominar” e “sobressair” têm sentidos semelhantes entre si. Em alguns casos, os participantes utilizavam como sujeito da ação o fenótipo, em outros casos, o gene. Um exemplo da utilização do fenótipo como sujeito da ação é: A26 “A característica dominante inibe a recessiva, mas não a elimina”; e um exemplo da utilização do gene como sujeito da ação é: A59 “A característica recessiva é inibida pelo gene dominante, por isso não é manifestada.”

Em algumas respostas, os estudantes apontaram simplesmente que o alelo recessivo (sic!) está silenciado/suprimido/bloqueado/impedido (ver A5, a seguir). Em outros casos, indicaram um “sujeito” na frase para dizer quem silenciou/suprimiu/bloqueou/impidiu: o gene/fenótipo dominante (ver B24, a seguir). As falas citadas são as que seguem: A5 “As proteínas produzidas pelo gene dominante são as que vão determinar a característica. O gene recessivo fica

silenciado, não produzindo proteínas.” e B24 “Significa que o alelo dominante inibe a expressão do recessivo.”

Na subcategoria 2.2, os participantes explicam que a dominância resulta de alterações no processo de transcrição e/ou tradução e totalizam 28 respostas. Alguns apontam que não ocorrem tais processos de produção biossintética, como se pode ver em A3, “Que apesar de o indivíduo apresentar a informação genética contida em seu DNA, a mesma não é expressa (sem transcrição e tradução) [...]”. Um participante aponta que interações diretas entre os alelos são a causa para a dominância, como se pode observar em: A34 “Acredito que as interações moleculares de um alelo dominante com a de um recessivo devem fazer com que somente o alelo dominante seja transcrito.”

Dois participantes indicam outra relação causal, pois entendem que são as proteínas sintetizadas pelos alelos que causam a dominância (e não a interação direta entre alelos): A58 “Os genes da característica dominante expressam proteínas que silenciam o gene da característica recessiva, que não consegue ser expresso.” e A63 “Do ponto de vista fisiológico as proteínas existentes nos genes do alelo dominante inativam a expressão do recessivo. Impedindo sua manifestação.”

Nas respostas da categoria 2.3 “Alteração na quantidade de produção de proteínas/RNA”, três participantes explicam a dominância, apontando que ocorrem alterações na quantidade de produtos biossintéticos que são originados a partir dos alelos em questão, conforme as falas abaixo indicam:

A2: Funcionalmente, isso indica que podem ocorrer alguns pontos. Primeiramente, pode significar que a molécula/proteína gerada pelo alelo recessivo será produzida em proporção maior do que a proteína dominante, logo há preferência de tradução pelo RNAm originado do dominante. [...]

A22: Embora o mecanismo fisiológico dependa para cada característica, geralmente em heterozigose, a quantidade de proteína sintetizada diferente daquela envolvida na manifestação da característica recessiva, já é suficiente para impedir que o fenótipo recessivo se manifeste, por ausência da enzima necessária em uma série de reações.

A74: Na prática, os dois alelos são fisiologicamente funcionais e irão produzir, por exemplo, alguma proteína específica. Todavia, veremos apenas a característica dominante no indivíduo, por favores variados, como a quantidade de proteína do alelo recessivo produzido ser insuficiente em dose única.

Na categoria 3 “Maior ocorrência/frequência na população”, cinco participantes fundamentam-se na concepção equivocada de que fenótipos

dominantes são mais frequentes na distribuição populacional para justificar a causa da dominância, como se pode ver a seguir: A76 “Devido ao fato de que os genes (dominante) ocorrem com maior frequência fenotípica.”

Quadro 19. Categorização das respostas obtidas pelo questionário discursivo a partir da Pergunta 2.

1 Argumentos restritos à genética de transmissão
A8, A29, A40, A52, A53, A69
2 Argumentos com explicação fisiológica
2.1 Alelo dominante inibe, sobressai, prevalece, suprime, silencia, recobre (com relação ao alelo recessivo)
A3, A5, A12, A15, A16, A17, A26, A28, A49, A50, A58, A59, A60, A66, A68, A70, A75, A77, B24
2.2 Alteração na produção de proteínas/RNA
A1, A2, A3, A5, A9, A10, A17, A18, A20, A25, A27, A34, A50, A51, A54, A55, A58, A62, A63, A66, A67, A73, A75, B1, B3, B6, B15, B24
2.3 Alteração na quantidade de produção de proteínas/RNA
A2, A22; A74
3 Maior ocorrência/frequência na população
A37, A76, B2, B5, A77
4 Dominante é mais forte e o recessivo é o mais fraco
A24, A56, A72
5 O fenótipo resulta das interações com a influência do meio
A35, A41
6 Não respondeu
A19, A23, A38, A48, B7, B9, B13, B14, B16, B17, B18, B21, B22
7 Não sabe
A4, A6, A7, A11, A13, A14, A21, A30, A32, A33, A36, A39, A42, A43, A44, A46, A57, B4, B8, B10, B11, B12, B19, B20, B23, B25, B26

Fonte: elaborado pela autora.

Na categoria 4 “Dominante é mais forte e o recessivo é o mais fraco”, os participantes atribuem a causa da dominância a uma suposição de que alelo/fenótipo dominante (sic!) é mais forte que o recessivo, como é possível ver em: A56 “Isso é explicado pelo processo de dominância do fenótipo, sendo que o “mais forte” é o que se manifesta.”

Na categoria 5 “O fenótipo resulta das interações com a influência do meio”, os participantes julgam que a dominância seja originada também por influências ambientais, como se pode observar em: A41 “Acho que a manifestação tem a ver com as características do ambiente, determinada condição externa e, também, a genética da pessoa e essa interação.”

A categoria 6 inclui os 13 participantes que não responderam à Pergunta 2 e a categoria 7 inclui os 27 participantes que declararam não saber responder. Juntos, totalizam 40 participantes sem uma resposta.

No Quadro 19, abaixo, consta a lista de respostas que foram classificadas nas categorias supracitadas. As respostas podem ser consultadas segundo sua numeração e letra no Apêndice B.

Após utilizar os indicadores para a categorização e fazer a leitura e releitura de todas as respostas, foi possível separar respostas que não consideramos passíveis de classificação em nenhuma das categorias. Foram oito respostas que não foram inseridas em nenhuma categoria, conforme o quadro abaixo:

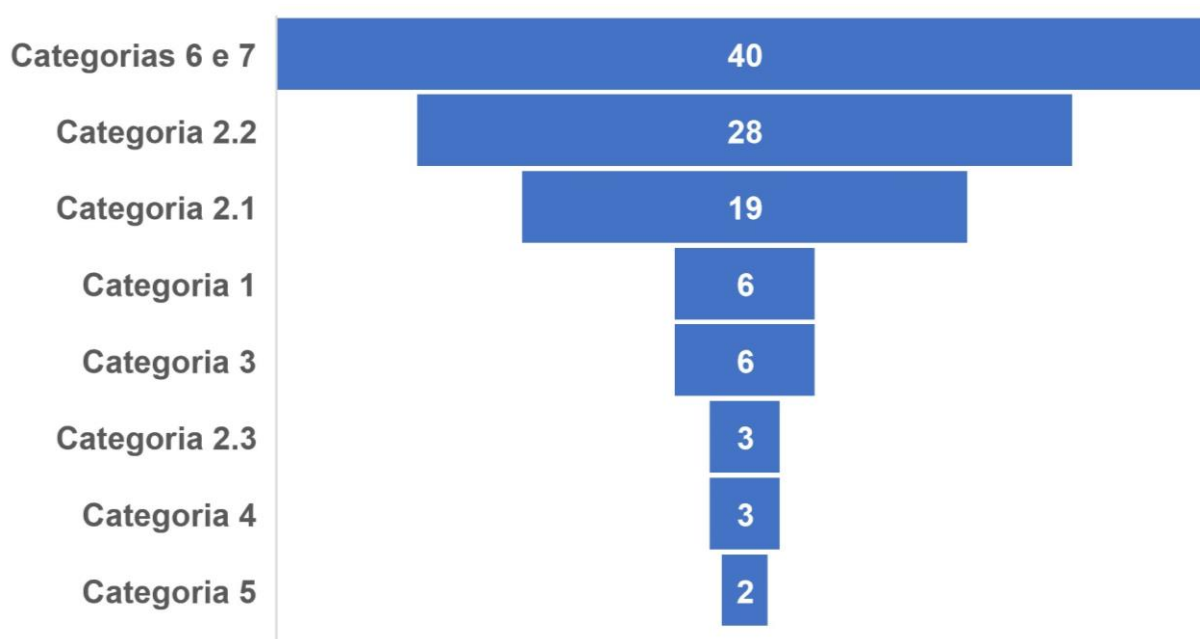
Quadro 20. Respostas do questionário que não foram classificadas em nenhuma categoria

Aluno	Resposta
A31	Significa que de acordo com a fisiologia, a característica seria melhor implementada e melhor adaptada.
A45	Nesta questão vale aquele ditado, “8 ou 80” se você é dominante ou recessivo, ou você tem uma característica ou tem outra.
A47	Há falta de informação na questão.
A61	Significa que de certo modo a característica dominante se intensifica de maneira que somente ela é expressada.
A64	Um alelo recessivo pode ter como resultado de sua expressão uma ausência de característica ou substância.
A65	A porcentagem da manifestação de uma característica recessiva pode ser muito baixa, ocasionando na manifestação apenas das características dominantes.
A71	Penso que pela maior afinidade já que genes recessivos parecem fugir do padrão como uma mutação.
A78	Significa que ao existir uma relação heterozigota, possa existir um mecanismo que ao reconhecer um fenótipo identifique um fator que dá a característica dominante e, a partir disso, “ignore” a recessiva.

Fonte: elaborado pela autora.

As categorias 6 e 7 juntas (que significam a ausência de uma resposta) representam o maior número de frequência (n=40) dos resultados obtidos para a Pergunta 2, conforme a Figura 19. A segunda maior frequência (n=28) foi da categoria 2.2, na qual os graduandos explicam que a dominância resulta de alterações na transcrição e/ou na tradução, mas não há indicações acerca de quais são essas alterações ou acerca de como elas ocorrem.

Figura 19. Gráfico das frequências de respostas de cada categoria referente à Pergunta 2. As categorias são: 1 Argumentos restritos à genética de transmissão; 2.1 Ação metafórica do alelo/gene dominante (sic!) sobre o alelo/gene recessivo (sic!); 2. 2 Alteração na produção de proteínas/RNA; 2.3 Alteração na quantidade de produção de proteínas/RNA; 3 Maior ocorrência/frequência na população; 4 Dominante é mais forte e o recessivo é o mais fraco; 5 O fenótipo resulta das interações com a influência do meio; 6 Não respondeu; 7 Não sabe.



Fonte: Elaborada pelas autoras.

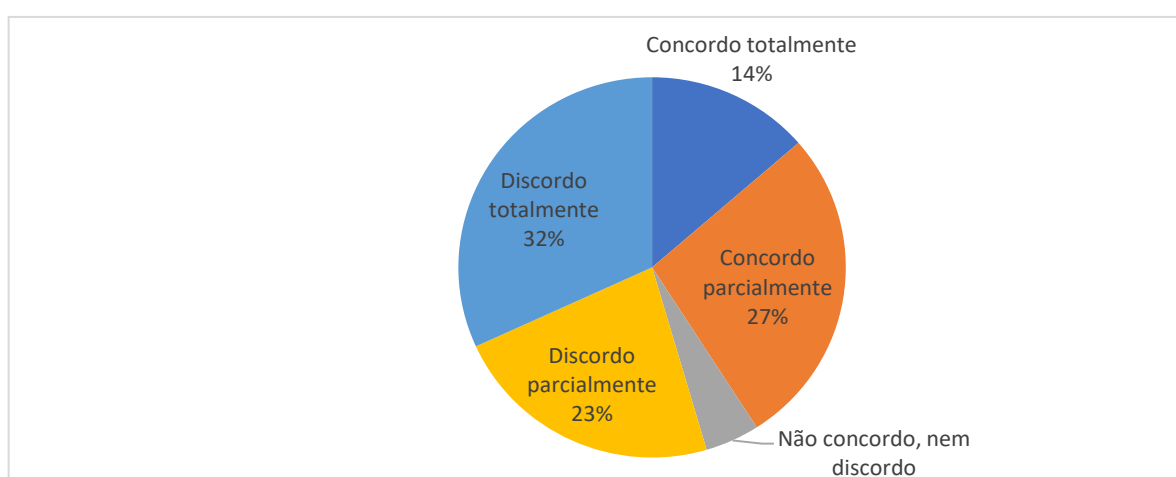
Assim, considerando ambas as perguntas do questionário e as respostas obtidas, é possível afirmar obtivemos explicações que reafirmam dados do enunciado ou propõem hipóteses genéricas referente à dominância, mesmo quando a fisiologia envolvida no processo é solicitada (Pergunta 2) – questão para a qual alguns participantes não conseguiram oferecer uma explicação ou hipótese.

5.3 Questionário com assertivas para avaliação com escala Likert

Os participantes que avaliaram as assertivas compunham um grupo de 23 indivíduos. Destes, 19 já haviam cursado a disciplina de genética e quatro ainda não.

Como resultado para a primeira assertiva “Se uma característica é recessiva significa que o alelo responsável por seu fenótipo não é expresso”, obtivemos três “concordo totalmente”, seis “concordo parcialmente”, um “nem concordo, nem discordo”, cinco “discordo parcialmente” e sete “discordo totalmente”. Somando “concordo totalmente” com “parcialmente”, temos um total de nove participantes, enquanto somando os “discordo totalmente” com “parcialmente”, temos um total de 12 participantes. Os percentuais de respostas obtidas constam na figura abaixo.

Figura 20. Gráfico de respostas obtidas para a assertiva 1 “Se uma característica é recessiva significa que o alelo responsável por seu fenótipo não é expresso”



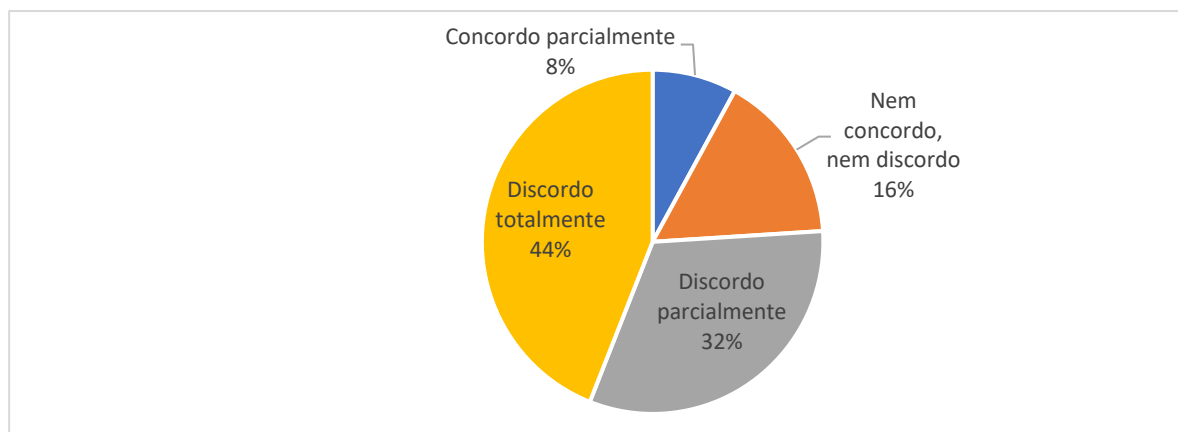
Fonte: elaborada pela autora.

Se considerarmos, por convenção, que as pontuações para cada alternativa sejam $A=-2$, $B=-1$, $C=0$, $D=1$ e $E=2$, uma vez que a assertiva é incorreta, teríamos um somatório para essa assertiva igual a: $3 (-2) + 6 (-1) + 1 (0) + 5 (1) + 7 (2) = 7$. Que consiste em multiplicar o número de participantes que respondeu a cada uma das alternativas pelo respectivo valor atribuído à alternativa.

Para a segunda assertiva, “Uma característica recessiva não é expressa no fenótipo porque é constituída por DNA não codificante”, obtivemos as seguintes proporções de respostas: nenhum participante concordou totalmente, dois concordaram parcialmente, quatro assinalaram “nem concordo, nem discordo”, cinco discordaram parcialmente e 11 discordaram totalmente.

O somatório de pontos para essa assertiva seria: $2 (-1) + 4 (0) + 5 (1) + 11 (2) = 25$. Os percentuais obtidos podem ser observados na figura abaixo.

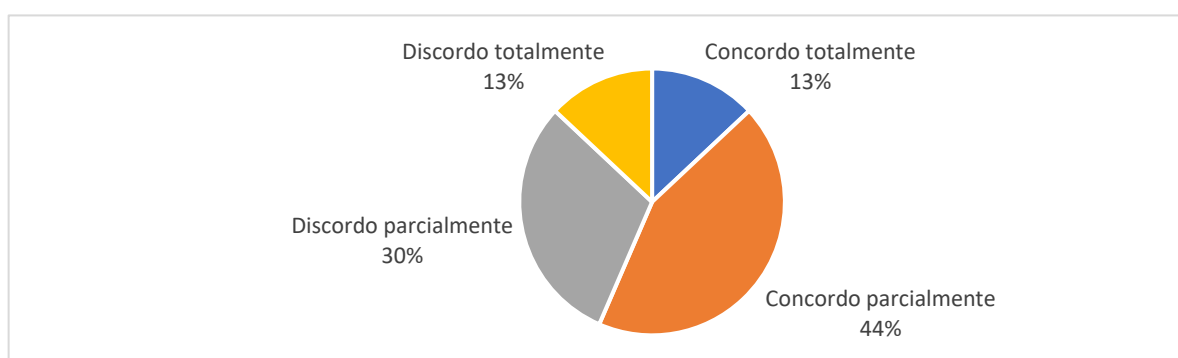
Figura 21. Gráfico de respostas obtidas para a assertiva 2 “Uma característica recessiva não é expressa no fenótipo porque é constituída por DNA não codificante”



Fonte: elaborada pela autora.

Os resultados da assertiva 3 “Se uma característica é dominante, significa que ocorre inibição do alelo recessivo” indicam percentuais maiores de concordância: três participantes concordam totalmente, 10 concordam parcialmente, 7 discordam parcialmente e três discordam totalmente. Assim, a soma para essa assertiva seria: $3 (-2) + 10 (-1) + 7 (1) + 3 (2) = -3$. Os percentuais de respostas podem ser consultados na figura abaixo.

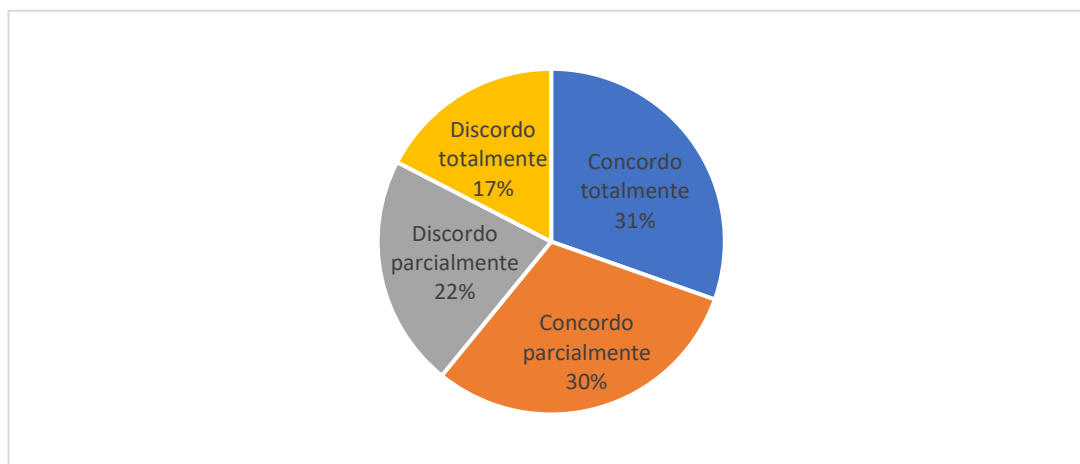
Figura 22. Gráfico de respostas obtidas para a assertiva 3 “Se uma característica é dominante, significa que ocorre inibição do alelo recessivo”



Fonte: elaborada pela autora.

Para a assertiva 4 “Uma característica dominante manifesta-se no fenótipo porque o alelo dominante causa a inibição do alelo recessivo” também houve uma maior proporção de concordância em comparação com as primeiras assertivas: sete participantes concordaram totalmente, sete concordaram parcialmente, cinco discordaram parcialmente e quatro discordaram totalmente. Assim, a soma de pontos dessa assertiva é: $7 (-2) + 7 (-1) + 5 (1) + 4 (2) = -8$. Os percentuais de alternativas assinaladas podem ser consultados na figura abaixo.

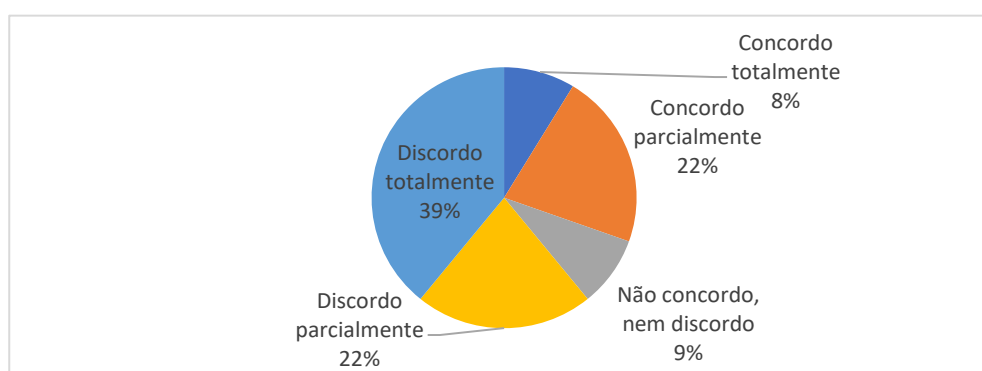
Figura 23. Gráfico de respostas obtidas para a assertiva 4 “Uma característica dominante manifesta-se no fenótipo porque o alelo dominante causa a inibição do alelo recessivo”



Fonte: elaborada pela autora.

Para a assertiva 5 “Se uma característica é recessiva significa que o alelo responsável por seu fenótipo não codificou uma síntese proteica”, a concordância sofreu uma redução: dois concordaram totalmente, cinco concordaram parcialmente, dois assinalaram nem concordo, nem discordo, cinco discordaram parcialmente e nove discordaram totalmente. A pontuação dessa assertiva, considerando a reunião de todos os pontos das respostas dos participantes, portanto, é dada pelo somatório: $2 (-2) + 5 (-1) + 2 (0) + 5 (1) + 9 (2) = 14$. O percentual de cada alternativa pode ser observado na figura abaixo.

Figura 24. Gráfico de respostas obtidas para a assertiva 5 “Se uma característica é recessiva significa que o alelo responsável por seu fenótipo não codificou uma síntese proteica”

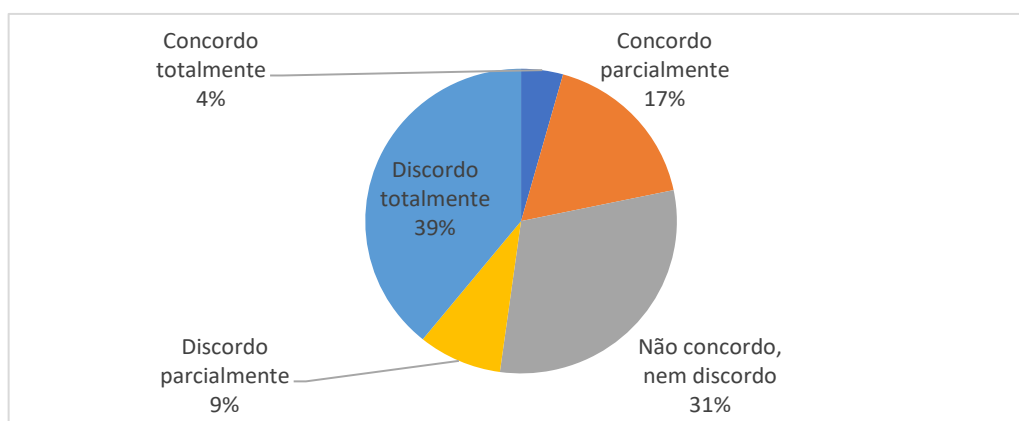


Fonte: elaborada pela autora.

No caso da assertiva 6 “Uma característica é considerada recessiva quando não há produção de proteínas pelo alelo recessivo” também houve uma maior quantidade de discordância do que de concordância, assim como na assertiva

anterior: um participante concordou totalmente, quatro concordaram parcialmente, sete assinalaram “nem concordo, nem discordo”, dois discordaram parcialmente e nove discordaram totalmente. A pontuação dessa assertiva, considerando a reunião de todos os pontos das respostas dos participantes, portanto, é dada pelo somatório: $1 (-2) + 4 (-1) + 7 (0) + 2 (1) + 9 (2) = 14$. As proporções de cada alternativa podem ser observadas na figura abaixo.

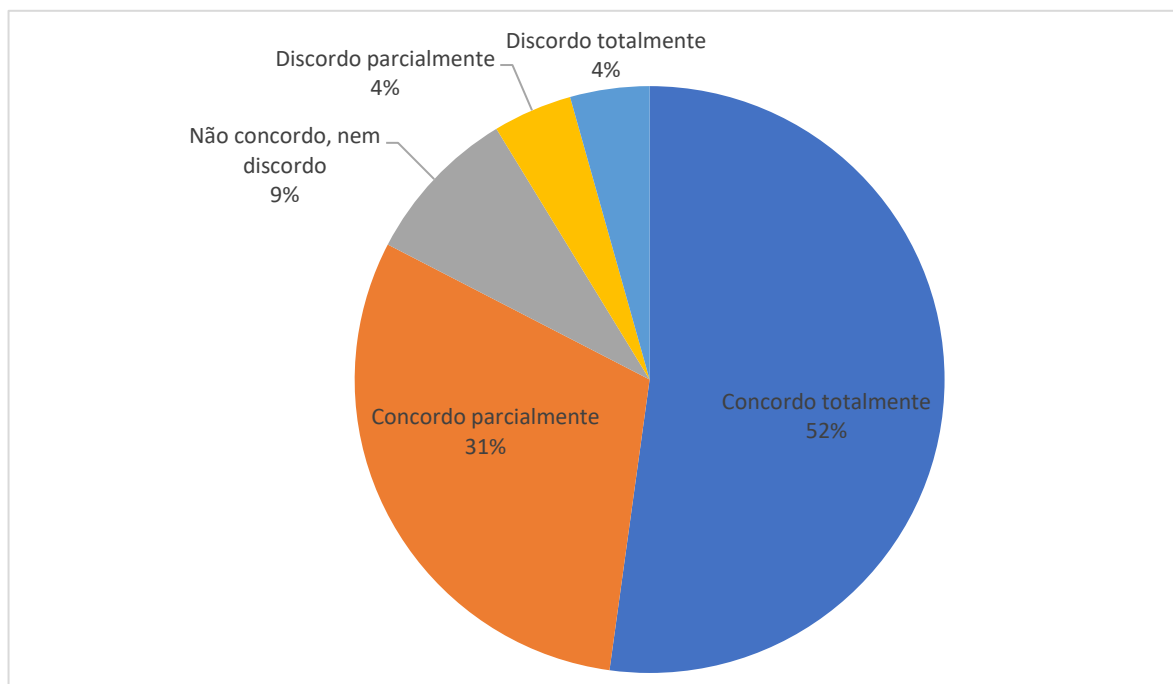
Figura 25. Gráfico de respostas obtidas para a assertiva 6 “Uma característica é considerada recessiva quando não há produção de proteínas pelo alelo recessivo”



Fonte: elaborada pela autora.

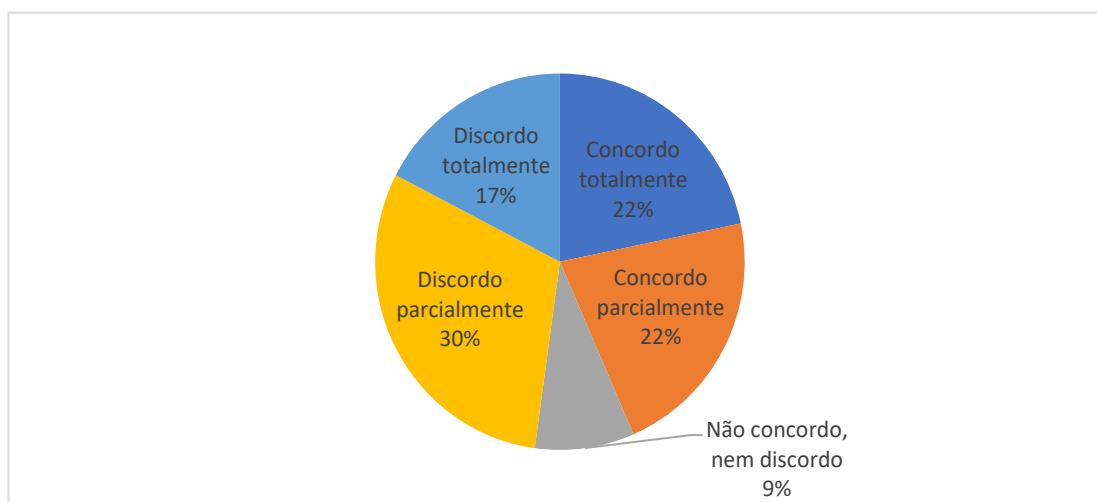
No que diz respeito à assertiva 7 “Uma característica é dominante em razão das interações entre o alelo dominante e o recessivo”, aproximadamente metade dos participantes concordou totalmente com a afirmação, totalizando 12 respostas. Mais sete participantes concordaram parcialmente, dois assinalaram “nem concordo, nem discordo”, um discordou parcialmente e um discordou totalmente. A pontuação geral dessa assertiva, portanto, é dada pelo somatório: $12 (-2) + 7 (-1) + 2 (0) + 1 (1) + 1 (2) = -28$. Os percentuais de cada alternativa podem ser observados na figura abaixo:

Figura 26. Gráfico de respostas obtidas para a assertiva 7 “Uma característica é dominante em razão das interações entre o alelo dominante e o recessivo”



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 27. Gráfico de respostas obtidas para a assertiva 8 “Se uma característica é dominante significa que somente o alelo responsável por seu fenótipo é expresso”



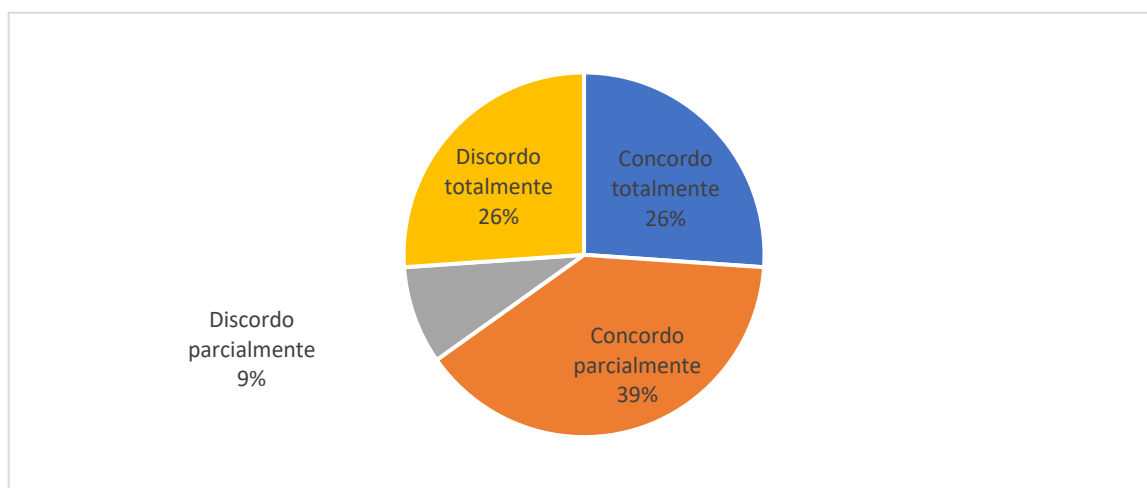
Fonte: elaborada pela autora.

Em se tratando da assertiva 8 “Se uma característica é dominante significa que somente o alelo responsável por seu fenótipo é expresso”, cinco participantes concordaram totalmente com a afirmação, cinco concordaram parcialmente com a afirmação, dois escolheram a alternativa “nem concordo, nem discordo”, sete discordaram parcialmente e quatro discordaram totalmente. Sendo assim, a pontuação dessa assertiva, considerando a reunião de todos os pontos das

respostas dos participantes, portanto, é dada pelo somatório: $5 (-2) + 5 (-1) + 2 (0) + 7 (1) + 4 (2) = 0$. Os percentuais de cada alternativa assinalada podem ser observados abaixo.

A assertiva 9 “A causa da expressão de um fenótipo dominante é a mesma em um heterozigoto (Aa) e em um homozigoto dominante (AA), pois o alelo A é o único funcional em ambos os casos” resultou nos seguintes números: seis participantes concordaram totalmente, nove concordaram parcialmente, dois discordaram parcialmente e seis discordaram totalmente. Nenhum dos participantes assinalou “nem concordo, nem discordo”. A pontuação geral dessa assertiva, portanto, é dada pelo somatório: $6 (-2) + 9 (-1) + 2 (1) + 6 (2) = -7$. Os percentuais podem ser observados abaixo:

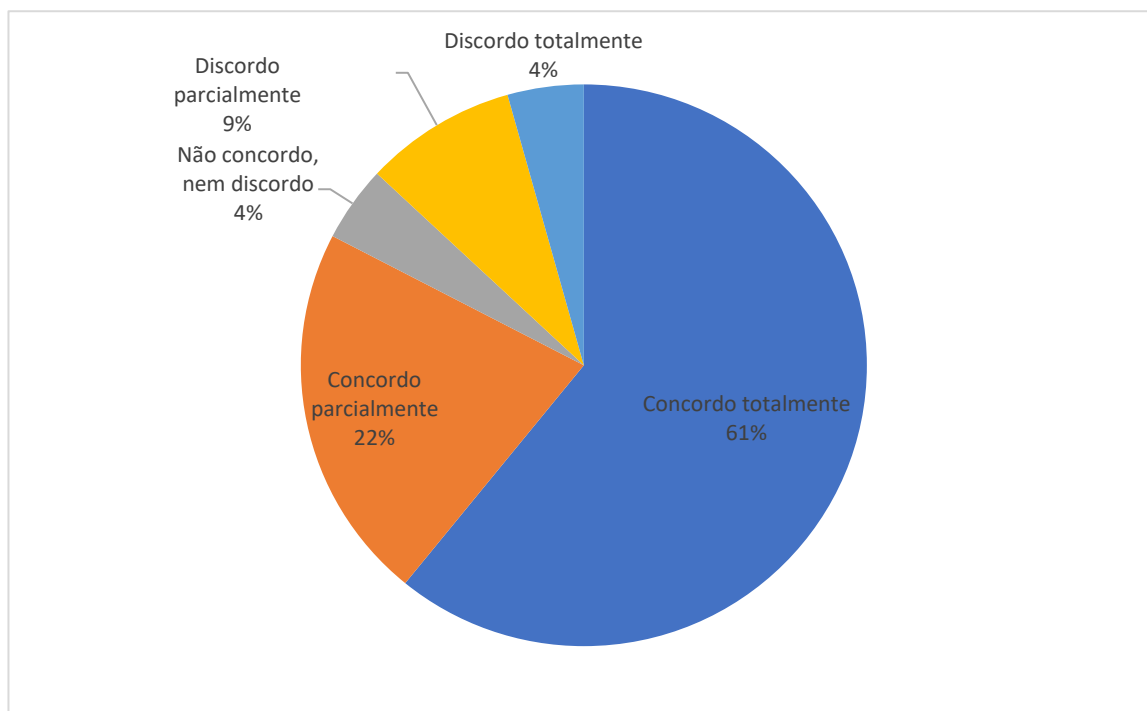
Figura 28. Gráfico de respostas obtidas para a assertiva 9 “A causa da expressão de um fenótipo dominante é a mesma em um heterozigoto (Aa) e em um homozigoto dominante (AA), pois o alelo A é o único funcional em ambos os casos”



Fonte: elaborada pela autora.

A assertiva com maior quantidade de concordância foi a assertiva 10 “Um casal constituído por dois indivíduos albinos só pode produzir descendentes albinos”, com 14 participantes concordando totalmente, cinco concordando parcialmente, dois discordando parcialmente, um discordando totalmente e um declarando que não concorda, nem discorda. Sendo assim, a pontuação geral dessa assertiva é dada pelo somatório: $14 (-2) + 5 (-1) + 1 (0) + 2 (1) + 1 (2) = -29$. O percentual das alternativas escolhidas pode ser constatado abaixo:

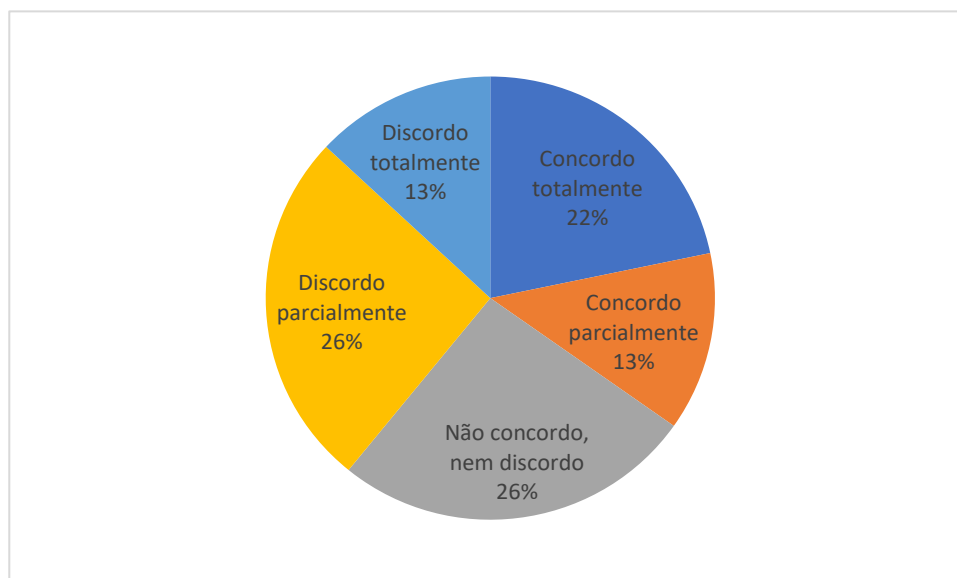
Figura 29. Gráfico de respostas obtidas para a assertiva 10 “Um casal constituído por dois indivíduos albinos só pode produzir descendentes albinos”



Fonte: elaborada pela autora.

Para a assertiva 11 “Considere que o albinismo é codificado pelo alelo ‘a’. O alelo “a” causa o albinismo porque este alelo não codifica nenhuma proteína.” foram obtidas as seguintes respostas: cinco participantes concordaram totalmente, três concordaram parcialmente, seis nem concordam, nem discordam, seis discordam parcialmente e três discordam totalmente. Deste modo, pode-se indicar que o somatório dos pontos dessa assertiva corresponde a: $5 (-2) + 3 (-1) + 6 (0) + 6 (1) + 3 (2) = -1$. As proporções de alternativas assinaladas constam na figura abaixo.

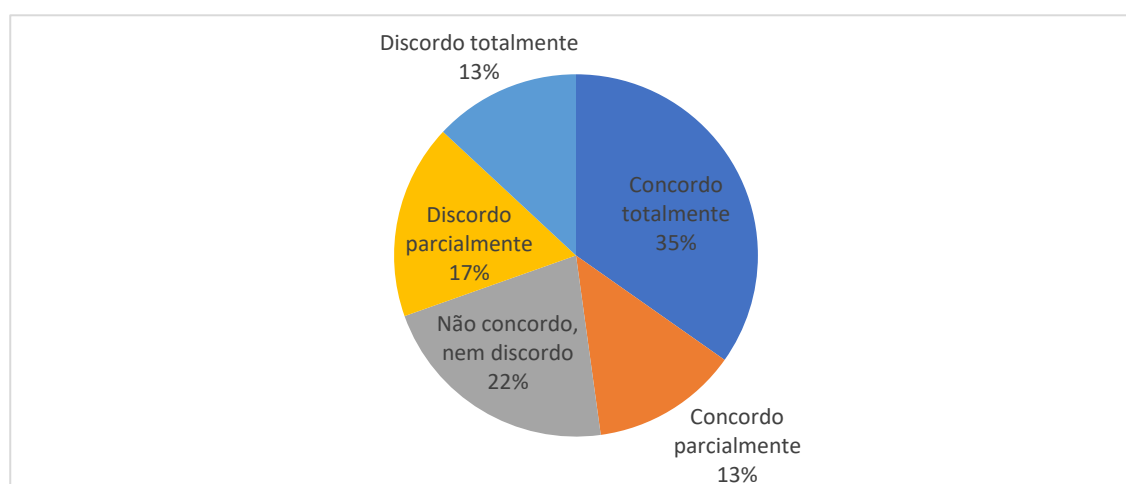
Figura 30. Gráfico de respostas obtidas para a assertiva 11 “Considere que o albinismo é codificado pelo alelo ‘a’. O alelo “a” causa o albinismo porque este alelo não codifica nenhuma proteína.”



Fonte: elaborada pela autora.

No que diz respeito à assertiva 12 “A dominância incompleta é diferente da dominância completa porque somente na incompleta ocorre produção de proteínas a partir de ambos os alelos. Exemplo de dominância incompleta: flor maravilha que tem indivíduo homozigoto branco e homozigoto vermelho. O indivíduo heterozigoto tem flor rosa.”, os dados obtidos foram os seguintes: oito participantes concordaram totalmente, três concordaram parcialmente, cinco nem concordam/discordam, quatro discordam parcialmente e três discordam totalmente. Assim, o somatório dos pontos gerais dessa assertiva é: $8 (-2) + 3 (-1) + 5 (0) + 4 (1) + 3 (2) = -9$.

Figura 31. Gráfico de respostas obtidas para a assertiva 12 “A dominância incompleta é diferente da dominância completa porque somente na incompleta ocorre produção de proteínas a partir de ambos os alelos. Exemplo de dominância incompleta: flor maravilha que tem indivíduo homozigoto branco e homozigoto vermelho. O indivíduo heterozigoto tem flor rosa.”



Fonte: elaborada pela autora.

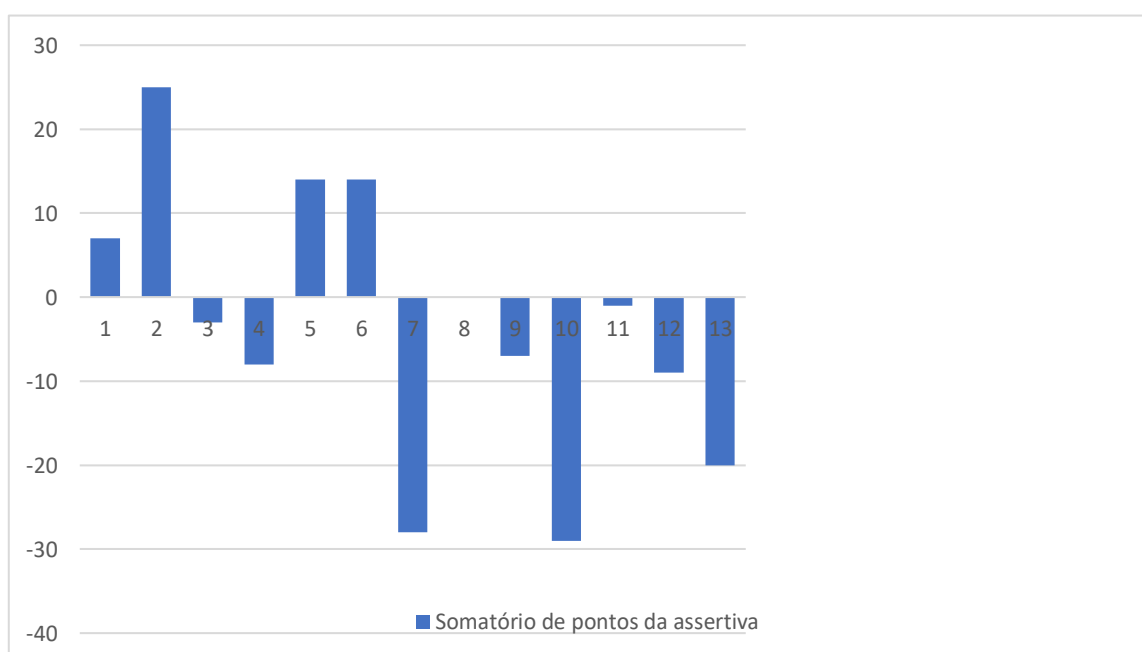
A última assertiva de número 13 “A codominância é diferente da dominância completa porque somente na codominância se verifica a produção de proteínas a partir de ambos os alelos. Exemplo de codominância: gado que tem indivíduo homozigoto branco e homozigoto castanho avermelhado.

O indivíduo heterozigoto é malhado de branco e castanho avermelhado.” resultou nas seguintes respostas: 10 participantes concordaram totalmente, sete concordaram parcialmente, dois nem concordam/discordam, um discorda parcialmente e três discordam totalmente.

Deste modo, o somatório dos pontos dessa assertiva é: $10 (-2) + 7 (-1) + 2 (0) + 1 (1) + 3 (2) = -20$. Os percentuais das alternativas constam na figura 32.

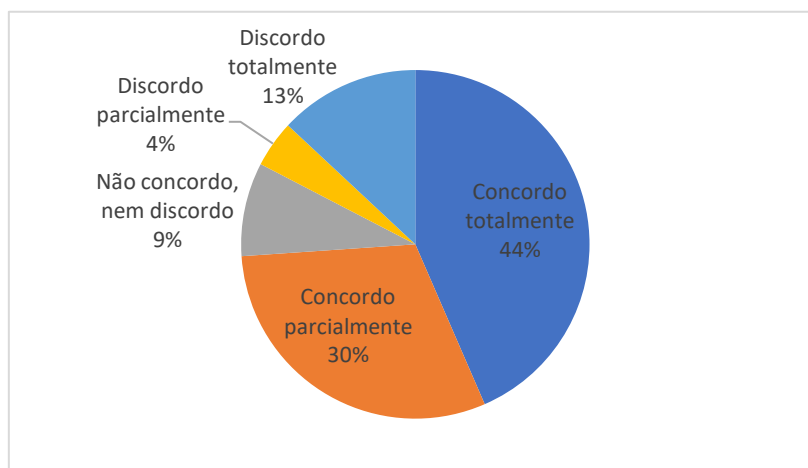
Para integrar todos os somatórios de pontos de cada assertiva visualmente, a Figura 33, abaixo, ilustra graficamente os números supracitados.

Figura 33. Gráfico do somatório de pontos de assertivas. As assertivas de 1 a 13 (eixo X) tiveram as alternativas assinaladas e somadas, resultando em um somatório (eixo Y).



Fonte: elaborada pela autora.

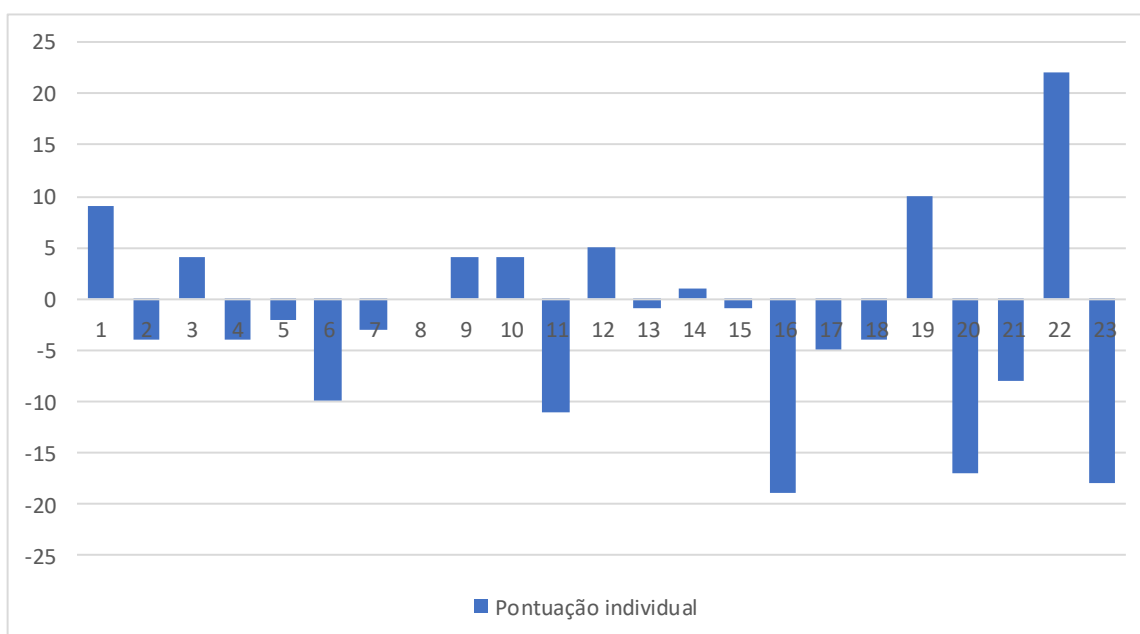
Figura 32. Gráfico de respostas obtidas para a assertiva 13 “A codominância é diferente da dominância completa porque somente na codominância se verifica a produção de proteínas a partir de ambos os alelos. Exemplo de codominância: gado que tem indivíduo homozigoto branco e homozigoto castanho avermelhado. O indivíduo heterozigoto é malhado de branco e castanho avermelhado.”



Fonte: elaborada pela autora.

Para apresentar os dados de outro modo, também é possível exibir um gráfico com o eixo X constituído pelos 23 participantes e o eixo Y constituído pela pontuação individual de cada um, por meio do somatório dos pontos de cada uma das 13 assertivas respondidas individualmente, como pode ser observado no gráfico da Figura 34. A maior pontuação possível seria 26 pontos e a menor -26 pontos. Tivemos como maior pontuação 22 e como menor pontuação -19.

Figura 34. Gráfico da pontuação individual dos 23 participantes (eixo X) dada pelo somatório dos pontos (eixo Y) de cada uma das 13 assertivas avaliadas.



Fonte: elaborada pela autora.

Considerando em uma dimensão de graus, poderíamos ordenar as assertivas conforme a sequência a seguir (a ordem é da pontuação com maior equívoco para o menor equívoco):

10. Um casal constituído por dois indivíduos albinos só pode produzir descendentes albinos (-29)

7. Uma característica é dominante em razão das interações entre o alelo dominante e o recessivo (-28)

13. A codominância é diferente da dominância completa porque somente na codominância se verifica a produção de proteínas a partir de ambos os alelos. Exemplo de codominância: gado que tem indivíduo homozigoto branco e homozigoto castanho avermelhado. O indivíduo heterozigoto é malhado de branco e castanho avermelhado. (-20)

12. A dominância incompleta é diferente da dominância completa porque somente na incompleta ocorre produção de proteínas a partir de ambos os alelos. Exemplo de dominância incompleta: flor maravilha que tem indivíduo homozigoto branco e homozigoto vermelho. O indivíduo heterozigoto tem flor rosa. (-9)

4. Uma característica dominante manifesta-se no fenótipo porque o alelo dominante causa a inibição do alelo recessivo (-8)

9. A causa da expressão de um fenótipo dominante é a mesma em um heterozigoto (Aa) e em um homozigoto dominante (AA), pois o alelo A é o único funcional em ambos os casos (-7)

3. Se uma característica é dominante, significa que ocorre inibição do alelo recessivo (-3)

11. Considere que o albinismo é codificado pelo alelo "a". O alelo "a" causa o albinismo porque este alelo não codifica nenhuma proteína. (-1)

8. Se uma característica é dominante significa que somente o alelo responsável por seu fenótipo é expresso (0)

1. Se uma característica é recessiva significa que o alelo responsável por seu fenótipo não é expresso (7)

5. Se uma característica é recessiva significa que o alelo responsável por seu fenótipo não codificou uma síntese proteica (14)

6. Uma característica é considerada recessiva quando não há produção de proteínas pelo alelo recessivo (14)

2. Uma característica recessiva não é expressa no fenótipo porque é constituída por DNA não codificante (25)

Ordenadas deste modo, poderíamos apontar quais (entre essas) são as concepções equivocadas mais frequentes para os graduandos dessa pesquisa, que seriam as assertivas ordenadas entre as primeiras na sequência.

Informações mais detalhadas das respostas dos participantes para as assertivas constam no Apêndice C.

5.4 Dados da discussão realizada no GPEB

No dia 02 de março de 2020, dois encontros do GPEB foram realizados para atender às necessidades de horários dos participantes. Os participantes da primeira sessão estão representados com a letra “A” e os participantes da segunda sessão estão representados com a letra “B”. As frases são excertos de falas transcritas a partir de gravação da discussão ocorrida. Os cortes foram agrupados por indivíduo no quadro 21. O diálogo na íntegra pode ser consultado no Apêndice D.

Na semana seguinte do início dos encontros do grupo, ingressamos nos períodos de expansão da pandemia da Covid-19 e foi necessário o distanciamento social. Com os encontros presenciais impossibilitados, o GPEB encerrou a discussão referente à dominância e a coleta de dados foi encerrada. Devido à pequena quantidade de material, as falas não foram categorizadas, mas podemos afirmar por meio de uma leitura interpretativa que nenhuma delas está em contradição com o restante dos dados.

Quadro 21. Falas dos participantes do GPEB que analisaram mecanismos pelos quais a dominância completa ocorre

Participante	Trecho de fala transcrita
A1	• porque a pigmentação normal é dominante [referindo-se ao albinismo] • a pigmentação normal se sobressai [referindo-se ao albinismo] • o dominante não influencia lá na hora de fazer a transcrição do DNA? • que na hora de transcrever, será que a dominante não acaba se sobressaindo e se sobrepondo ao recessivo?
A2	• o recessivo não tem expressão porque tem inibição • quantidade de proteínas, né. Porque dominante só precisa de um alelo né para ser expresso e o recessivo precisa de dois. • tem que atingir até o limiar para ter a cor, mas o recessivo para atingir esse limiar, ele precisa ter dois assim [referindo-se ao albinismo]
A3	• a facilidade dele de se expressar. Seria mais fácil do que se expressar o recessivo, talvez seja mais difícil.

	pode ser o efeito de algumas proteínas, tendo um efeito inibitório da produção de proteínas.
A4	as proteínas do recessivo serem não funcionais, mesmo que sejam produzidas no heterozigoto, mas não funcionarem.
A7	- o dominante tem mais compatibilidade para expressar proteínas naquele do que o recessivo - ele expressa mais proteínas que o recessivo - dominante é muito melhor - para ser dominante ela tem que ter mais compatibilidade do que a recessiva - o maquinário que vai produzir aquele fenótipo daquele gene tem mais afinidade química com o gene dominante do que com o recessivo.
B2	- a não conseguindo se expressar - A não está nem aí para o a. - dominância se daria como um dado viciado
B3	- o alelo recessivo não tem expressão de nada - então ele não está inibindo, é só não expressar nada.
B4	mas ao mesmo tempo está na minha cabeça que quando é dominante só aquilo que é expresso então a minha hipótese seria que se é dominante, o dominante deixa o recessivo inativo
B7	- por não ser algo padrão, é mais difícil de se expressar. - o albinismo não favorece a síntese proteica de melanina? - eu acho que é ausente a síntese de melanina - Não é que uma inibe a outra - O "A" é a parte de fora da caneta e o "a" é a parte interna da caneta. Você não consegue chegar no tubo de tinta quando é "Aa".
B8	- não expressa proteínas "A" inibe "a"
B9	"fica quieto, mas você está aí".
B10	"cala boca, eu que vou falar".
Todos B	recessivo não expressa proteínas

Fonte: elaborado pela autora.

6 DISCUSSÃO

Quanto aos materiais didáticos consultados, foi necessária a leitura de mais do que o capítulo de introdução à genética, no qual o conceito de dominância é introduzido, pois para que a dominância seja compreendida, é necessário que se faça articulações com outros “recortes” da biologia, como com a biologia molecular (especialmente no que diz respeito à síntese proteica).

Foi possível constatar que há livros didáticos que inserem o conteúdo de síntese proteica após o conteúdo de genética de transmissão (mendeliana e outros padrões de herança), o que poderia ser considerado um equívoco do ponto de vista didático (embora tenha fundamento do ponto de vista histórico¹⁷), haja vista que o fenótipo só tem significado à luz de explicações moleculares, ou seja, à luz da síntese proteica. Conforme os dados apontaram (Questão 1), embora uma proporção de 7/10 dos livros didáticos tenha inserido a síntese proteica antes do conteúdo de genética de transmissão, o nível de articulação entre esses conteúdos é questionável, pois como já indicamos nos resultados da Questão 5, nenhum dos materiais traça processualmente uma sequência de eventos desde a transcrição do gene (e suas versões de alelos) até a produção final do fenótipo.

Mecanismos tão complexos, microscópicos e com tantos passos (o que aumenta o nível de dificuldade para a aprendizagem) ficaram com uma articulação incipiente, pois é necessário conectar os saberes que dizem respeito às diferenças de sequências de bases entre os alelos, transcrição do gene, síntese de proteínas, fisiologia envolvida e até mesmo interações ambientais para então tratar da produção final do fenótipo.

Como os resultados apontaram, nove entre os 10 livros consultados não explicam como um alelo difere de outro (ou seja, por que o alelo “A” é diferente do alelo “a”?). Esse dado evidencia como a genética de transmissão ainda é abordada como uma “caixa preta”.

As letras que representam os alelos podem causar distorção conceitual para o estudante quando não recebem a devida conceituação, pois é preciso que sejam associadas ao DNA, ao conceito de *locus* gênico, ao conceito de cromossomo e ao conceito de cromossomos homólogos. As relações que se estabelecem entre tais

¹⁷ Teria fundamento do ponto de vista histórico, haja vista que os conhecimentos acerca da genética mendeliana precederam os conhecimentos da genética molecular.

conceitos, permitiriam que um estudante diferenciase um alelo de outro fundamentado nas sequências de bases nitrogenadas do DNA que está situado no *locus* gênico de cada um dos cromossomos de um par de homólogos.

Como os resultados indicam, nenhum dos livros didáticos conceituou o fenômeno da dominância. A dominância foi apresentada a partir de exemplos em alguns casos, mas não foi apresentada como um conceito por nenhum dos materiais. Embora os outros fatores analisados por meio das questões sejam muito importantes para determinar distorções conceituais, a ausência de uma conceituação também é importante, porque um conceito de dominância poderia auxiliar o estudante em reflexões que poderiam ter conduzido para conclusões assertivas acerca do que a dominância é e acerca do que a dominância não é (ou seja, poderia contribuir para descartar “frames” incorretos, por exemplo, que o caráter metafórico pode estimular).

Um fator importante a ser considerado nos livros didáticos é a linguagem utilizada para se referir aos alelos. Todos os materiais designaram os alelos como “dominantes” e “recessivos”, atribuindo o *locus* da dominância/recessividade para os alelos. Embora tenha se tornado uma espécie de convenção entre os geneticistas e embora livros de ensino superior também utilizem a designação, trata-se de uma possível fonte de distorção conceitual a ser considerada. Portanto, seria importante pensar em novas formas de organizar a linguagem didática para que os estudantes não tivessem esse importante estímulo para o equívoco de entender que os alelos interagem diretamente entre si. Uma possibilidade seria designar os alelos como “selvagem” e “mutante”.

Metade dos materiais didáticos apresentaram significado fisiológico para a dominância completa em alguma explicação, com variação no nível de detalhamento. Aproximadamente na mesma proporção, os materiais apresentaram um exemplo concreto de dominância completa, que normalmente era a ervilha lisa/rugosa mendeliana. No que diz respeito à dominância incompleta e codominância, mais da metade dos livros (60%) atribui alguma explicação de caráter molecular/fisiológico.

Metade dos materiais também inseriu uma explicação acerca do termo “dominância” não ter relação com a preponderância/frequência de um traço na distribuição populacional. Embora não sejam todos os materiais didáticos que

tenham inserido os itens supracitados, é oportuno que pelo menos alguns dos livros para o nível do ensino médio tenham adicionado tais elementos.

Assim, podemos dizer que nos quatro aspectos supracitados - (a) significado fisiológico da dominância, (b) exemplo fisiológico de dominância completa, (c) significado fisiológico da dominância incompleta e codominância, e (d) explicação sobre dominância não ser sinônimo de preponderância - alguns materiais didáticos têm feito abordagens pertinentes que podem auxiliar os estudantes.

Quanto aos materiais que utilizaram o termo “expressar” para tratar da relação entre genótipo e fenótipo (por exemplo: “o genótipo se expressa, originando o fenótipo” – ou relações semelhantes), que representaram metade dos livros consultados, ainda mantém uma linguagem com um compromisso de uma relação linear entre genótipo e fenótipo (que desconsidera ruídos do desenvolvimento, desconsidera o ambiente etc.). Mas mais do que isso, são materiais didáticos que podem comprometer o entendimento do estudante no que diz respeito à síntese de proteínas, uma vez que o verbo “expressar” é utilizado para esse fim muitas vezes, como, por exemplo, numa frase tal como essa: “o gene expressa a proteína”.

Ao se utilizar a relação de que “o genótipo expressa o fenótipo”, o estudante pode equivocadamente entender que um fenótipo é sempre um resultado imediato de uma síntese proteica, ou seja, que o resultado de uma produção de um polipeptídeo já é o fenótipo final em si. Outras possibilidades são utilizar os termos “codifica”, “determina” ou “condiciona”, por exemplo, para conectar genótipo com fenótipo. Embora tais termos também possam apresentar limitações (tendo em vista que trazem uma conotação de que o genótipo controla sozinho o resultado do fenótipo), ao menos não incorrem nesse ruído de comunicação com a síntese proteica.

A pesquisa indicou que professores em formação podem não reconhecer a necessidade de apontar os mecanismos causadores do fenômeno fenotípico de dominância e recessividade. Em alguns casos, como na etapa do questionário escrito, alguns participantes não reconheceram tal necessidade nem mesmo sendo ela explicitamente solicitada. Inferimos que essa tarefa não tenha sido parte da formação inicial dos participantes e que a dominância tenha sido tratada como uma “caixa preta”, sendo discutida só em termos de letras maiúsculas e minúsculas e cruzamentos entre elas.

Nestes casos, os participantes explicaram o fenótipo repetindo os dados referentes aos alelos, apontando como causa para a dominância (a) a presença de um alelo dominante, (b) a autossuficiência de um alelo dominante em dose única e (c) a capacidade dominante do alelo (V). Tais respostas foram consideradas pelas pesquisadoras como insuficientes ou incorretas.

Como é possível observar a partir das frequências de respostas à primeira pergunta do questionário escrito (rever Figura 17), a explicação mais comum é aquela na qual os participantes (re)afirmam qual é o alelo/fenótipo dominante (referente à ervilha amarela).

Nosso parâmetro de resposta correta para ambas as perguntas do questionário escrito seria que os participantes apontassem que as diferentes versões de alelos originam produtos também diferentes. Sendo assim, o fenótipo de um indivíduo heterozigoto é influenciado pela combinação de ambos os produtos, sendo um dos produtos suficientes para originar uma das duas versões dos fenótipos parentais nesse descendente heterozigoto (a versão então denominada como “dominante”). Uma resposta como essa seria considerada correta.

Devido ao fato de que o exemplo presente no questionário trata de um caso frequentemente explorado em materiais didáticos e em aulas introdutórias de genética, também poderíamos esperar que explicassem a dominância de forma mais concreta. Os participantes poderiam explicar que as ervilhas tendem a se manter verdes a não ser que ocorra um processo de degradação da clorofila na maturação. O controle dessa degradação depende dos produtos originados pelas duas versões de alelos de modo que em um indivíduo homozigoto (VV) cujos alelos originam produtos funcionais, a clorofila é degradada e a ervilha fica amarela. No caso do indivíduo homozigoto (vv) que não tem produtos capazes de degradar a clorofila, ocorre permanência da cor verde. No heterozigoto (Vv), ainda que com apenas um alelo originando polipeptídios funcionais, há produto suficiente para degradar toda a clorofila presente nas sementes, originando a cor amarela. Uma resposta mais concreta como essa seria considerada correta e completa. O termo “produto” também poderia vir representado por “proteína” ou “enzima”.

Porém, quando os estudantes utilizaram uma dimensão fisiológica para explicar a dominância, o fizeram de forma metafórica, ao empregar sinônimos de dominação/domínio (como “inibir”, “sobressair”, “prevalecer”, “suprimir”, “silenciar”, “recobrir”, “expressar”, “sobrepor”, “impedir” e “bloquear”). Esse desdobramento da

metáfora é um indicador importante referente a como a linguagem tem influenciado as incompreensões de dominância, uma vez que sinônimos que possuem o mesmo significado de dominação ou ação de dominar são utilizados pelos estudantes para tratar da dominância enquanto fenômeno biológico.

Tendo tais termos e também as frases completas como “pistas” ou indicadores para entender como está organizada a compreensão dos participantes, pode-se inferir que esses verbos criam personagens dicotômicos, por exemplo: o verbo “inibir” cria o personagem que inibe e o personagem que é inibido, assim como o verbo “silenciar” cria quem silencia e quem é silenciado etc.

A organização do pensamento por meio dessa linguagem pode estimular o que constatamos quando os participantes afirmam que os alelos interagem diretamente entre si, ou que o alelo dominante (sic!) exerce função regulatória sobre o alelo recessivo (sic!).

Os dados apontaram ainda que alguns participantes entendem que apenas o alelo dominante (sic!) origina produtos ou que a dominância resulte da diferença na quantidade de produtos originados por alelos dominantes e recessivos (sic!) no heterozigoto.

Menos numerosas foram as respostas que explicam a dominância:

- Afirmando que o fenótipo dominante se manifesta devido à maior frequência na distribuição populacional;
- Apontando que o alelo dominante (sic!) é mais forte que o alelo recessivo (sic!);
- Indicando que esta resulta da interação genótipo-ambiente;
- Caracterizando o gene dominante (sic!) como “melhor”, o que garante mais compatibilidade entre o gene dominante (sic!) e o “maquinário” que produz o fenótipo em comparação com o gene recessivo (sic!), que teria menor compatibilidade;
- Afirmando que o fenótipo recessivo se mantém ocultado por estar situado internamente ao fenótipo dominante.

Quanto à etapa realizada com assertivas a serem avaliadas pelos participantes por meio de uma escala Likert, os dados obtidos foram fonte para a produção de um quadro quantitativo, que permitiu o estabelecimento de comparações, que constam nos resultados deste trabalho. No gráfico da Figura 33,

por exemplo, foi possível observar que somente quatro assertivas ficaram com pontuação positiva (número 1, 2, 5 e 6), pois as demais ficaram com pontuação negativa ou igual a zero (ou seja, somente quatro assertivas foram avaliadas corretamente com mais frequência pelos estudantes).

Porém, não seria razoável aceitar somente assertivas com pontuação negativa ou igual a zero como afirmações importantes a serem consideradas como concepções equivocadas importantes, uma vez que (com exceção da assertiva 2) todas as assertivas tiveram participantes que concordaram *totalmente* com a afirmação. Deste modo, podemos considerar que as assertivas elencadas neste trabalho podem representar concepções equivocadas que estudantes possuem, podendo funcionar como um instrumento de diagnóstico de concepções prévias ou como uma base para orientar a organização de atividades formativas.

Tendo como referência os resultados desta e de outras pesquisas já mencionadas, faz-se possível e necessário o apontamento da síntese de alguns aspectos teóricos e práticos do ensino que podem funcionar como dificultadores da aprendizagem de dominância completa.

- O caráter fenomenológico e as propriedades emergentes: O fenômeno da dominância ocorre ao nível fenotípico, que pode ser macroscópico ou microscópico. Porém, os mecanismos que causam esse fenótipo podem envolver o funcionamento integrado de vários níveis hierárquicos da organização estrutural dos organismos (como nível de interações ecológicas, sistemas, órgãos, tecidos, células e moléculas). Sendo assim, são as interações de níveis inferiores que originam o efeito do fenótipo, que poderia ser considerado como uma propriedade emergente. Trata-se de um fator dificultador porque foi possível observar que os estudantes tentam extrapolar o que é observado ao nível fenotípico para as causas moleculares, por exemplo (é o que ocorre quando professores em formação afirmam que alelos interagem entre si em relações regulatórias ou de dominação).
- Multiplicidade de mecanismos: A dominância não resulta de um mecanismo fisiológico único, porque vários eventos bioquímicos ou fisiológicos em geral podem explicar como o fenótipo de um dos parentais não aparece no indivíduo heterozigoto. A variedade de mecanismos dificulta que o estudante possa elencar pontos em comum de exemplos concretos para produzir uma explicação generalista que não incorra em equívocos.

- Atraso na transposição didática: Não há muitos exemplos concretos de dominância completa disponíveis nos livros didáticos consultados. O exemplo que se tem à disposição é o das ervilhas lisas/rugosas e ele aparece em poucos materiais. Uma possível causa para a escassez é que esteja ocorrendo um atraso importante no processo de transposição didática das pesquisas que vem sendo feitas para elucidar os mecanismos que subjazem a manifestação do fenótipo dominante no heterozigoto. Consideramos que esta pesquisa pode contribuir nesse sentido ao organizar síntese referentes a alguns mecanismos consultados em literatura internacional.
- O conteúdo de síntese proteica não é devidamente articulado ao conteúdo de genética de transmissão nos materiais didáticos consultados e podemos afirmar que tampouco em currículos disciplinares da formação dos professores.
- Relação entre pensamento e linguagem: como apontamos anteriormente, ocorreu um alargamento do uso da terminologia originalmente proposta por Mendel. O monge fez uso de “dominante” e “recessivo” como adjetivos referentes ao fenótipo (“caracteres”). Porém, mais do que adjetivos, os termos foram desdobrados em verbo (“dominar”) e substantivos (“dominância” e “recessividade”). Tais extrapolações não condizentes com a ideia original tem repercussões importantes sobre quatro aspectos interligados:
 1. As estruturas frasais possibilitadas pelos desdobramentos: quando “dominar” se torna um verbo para asserções referentes ao fenômeno da dominância, se admite um sujeito e um objeto para a frase. É criada uma dicotomia dominante-dominado e essa relação é aplicada tanto para a compreensão ao nível fenotípico, como para o nível alélico. Ou seja, os estudantes tendem a afirmar que “a cor amarela domina a cor verde” ou que “o alelo V domina o alelo v”.
 2. O caráter metafórico e a incompatibilidade de *frames*: quando utilizado enquanto adjetivo, o termo “dominante” seria sinônimo de algo como “presente” ou “detectável”, enquanto o termo “recessivo” seria sinônimo de algo como “ausente” ou “indetectável”. Porém, enquanto verbo, toma a dimensão de processo e a ação de “dominar” tem *frames* que são conflitantes com os mecanismos biológicos. Os estudantes tendem a produzir hipóteses de que haja interações de dominação

literal entre os fenótipos, ou entre os alelos, ou ainda pelos produtos originados por eles.

3. Desvio do nível do fenótipo para o alelo: como observamos nos resultados, todos os materiais didáticos designam os alelos como “dominantes/recessivos”, o que também é uma proposição que se desvia da proposta inicial mendeliana, que atribuía os adjetivos dominante/recessivo para os caracteres e não para os fatores (alelos). As explicações dos professores em formação também designam os alelos da mesma forma, deslocando o nível da dominância para os alelos. O deslocamento do nível do fenótipo para os alelos pode estimular os estudantes à suposição de que ocorre uma relação direta de regulação entre os alelos de cromossomos homólogos.
4. Variação no uso do verbo “expressar”: O verbo “expressar” tem duas aplicações no contexto biológico que podem se sobrepor, originando hipóteses simplificadas acerca da dominância. O termo é comumente utilizado na linguagem referente à síntese proteica (que contém vários outros elementos ligados aos *frames* de informação e comunicação, como “tradução” e “transcrição”). Para tratar da síntese proteica, fala-se de expressão de alelos, o que significaria a origem de RNAs e proteínas. Entretanto, ao ser utilizado para tratar da origem de um fenótipo com sinônimo de “manifestar” pode estimular a ideia de que a produção de um fenótipo é a mera expressão de um alelo ou dois.

Ainda referente à relação pensamento e linguagem, conforme a premissa de que a linguagem permite a organização do pensamento e de que as palavras rotulam conceitos, a linguística cognitiva pretende explorar a configuração conceitual da compreensão humana por meio dos indicadores fornecidos pela linguagem, que seriam uma espécie de janela para a cognição.

Consideramos na presente pesquisa a perspectiva de que uma palavra está associada a um significado enciclopédico que corresponde ao inventário ou repositório de conhecimento vinculado ao conceito em questão. O conceito de “frames” mencionado em sessões anteriores é muito pertinente para explorar essa questão da amplitude envolvida nos elementos que podem ser evocados quando uma palavra é mencionada para diferentes indivíduos.

O conhecimento de mundo do sujeito origina o *frame* que subjaz a produção de significados referentes a um conceito. Ressaltar a existência do *frame* significa ir além de uma imagem mental associada a uma palavra para tratar da compreensão de conceitos, uma vez que passam a ser considerados também os atributos, percepções e variadas relações que o sujeito também integra ao conceito em questão.

Como cada indivíduo vivencia experiências diferentes, é esperado que uma mesma palavra possa ativar diferentes *frames* para cada sujeito. No contexto do ensino, devido ao fato de que a terminologia científica seja constituída de palavras também utilizadas no cotidiano, ruídos de comunicação podem surgir devido à ativação de frames diferentes possíveis para um mesmo termo (conflito de *frame*).

Especificamente, no que diz respeito ao caso da dominância, existe um conflito de *frame* devido à transferência de atributos e relações referentes ao *frame* cotidiano de dominância para o significado científico de dominância. Tal afirmação está fundamentada na classificação e na análise das respostas de professores em formação e das frases de livros didáticos.

Se o pensamento humano tende a estruturar conceitos mais abstratos de forma metafórica a partir de conceitos mais familiares e concretos (como apontam Lakoff e Johnson, 1980), torna-se esperado que estudantes apresentem incompreensões causadas pela transferência de significados do processo de dominar e ser dominado (e os diversos sinônimos utilizados) como uma tentativa de explicação para a fisiologia da dominância.

É possível afirmar que a metáfora dos adjetivos “dominante” e “recessivo” de Mendel pouco tem a agregar no processo de destacar (*highlighting*) e muito tem a ocultar (*hiding*)¹⁸, porque o domínio fonte (dominância no sentido rotineiro) e o domínio alvo (dominância no sentido científico) pouco ou nada têm em comum. Segundo a classificação proposta por National Research Council (1997) mencionada em sessões anteriores, este caso poderia ser classificado como um “equívoco vernacular”, que se originam do uso de palavras que possuem um significado na vida cotidiana e outro em um contexto científico.

¹⁸ “Highlighting” e “hiding” são termos propostos por Lakoff e Johnson (1980), como apontamos em sessões anteriores.

A “dominância” no Dicionário Aurélio (FERREIRA, 2010) é descrita como um substantivo feminino com o sentido de “qualidade de dominante” ou “fenômeno em que um gene num determinado cruzamento consegue absorver o seu alelo” (p. 739). Já o termo “dominante” é o “que domina, prepondera, influi” ou “que é mais geral, mais difundido; predominante” (p. 739).

O verbo “dominar” é “ter autoridade ou poder sobre”, ou “exercer influência ou domínio sobre”, ou “conter ou reprimir”, ou “elevar-se acima de”, ou “preponderar em”, ou “estender-se por; ocupar; tomar” (FERREIRA, 2010, p. 739). A palavra “domínio” é “dominação, autoridade, poder” (p. 739).

No mesmo dicionário (FERREIRA, 2010), a “recessividade” é o “fenômeno pelo qual um gene não manifesta o seu efeito, mas tem a sua individualidade mantida; criptomerismo” (p. 1790-1791). Já o termo “recessivo” é “relativo à recessão”, “que subsiste em estado latente”, “diz-se do caráter que, apesar de presente no híbrido, não se manifesta, oculto pelo caráter dominante, de sorte que o híbrido parece herdar apenas os caracteres de um dos genitores” (p. 1791).

Com a ressalva de que as frases do dicionário estão organizadas de modo a distorcer ainda mais gravemente a compreensão da dominância fenotípica, é possível indicar que as definições sugeridas como significados alternativos no dicionário não são compatíveis com o significado fisiológico da dominância. Se os significados apresentados pelo dicionário podem ser considerados similares ao que se faz uso no cotidiano, é relevante a contribuição que esse significado rotineiro pode ter para as incompreensões na aprendizagem devido ao conflito de *frames*.

Quanto ao caráter fisiológico da dominância não há *highlighting*, ou seja, não há pontos em comum entre o domínio alvo (dominância com significado biológico) e o domínio fonte (dominância com significado cotidiano). Porém, quanto ao caráter fenomenológico, pode-se admitir que haveria *highlighting* quando temos o radical da palavra utilizado para adjetivar, a saber: o termo “dominante” é o “que domina, prepondera, influi” (FERREIRA, 2010, p. 739).

Do mesmo modo, para a recessividade, quando se tem o termo utilizado como adjetivo, o *highlighting* também existe, pois “recessivo” é tratado como o “que subsiste em estado latente” (FERREIRA, 2010, p. 1791).

Assim, podemos inferir que, em síntese, as incompreensões que se originam da linguagem envolvida no pensamento referente ao fenômeno da dominância decorrem da transferência do caráter metafórico de uma condição original de

adjetivo (caracterização) para a condição de verbo (ação/processo) e decorrem também da transferência de *frames* conflitantes do uso rotineiro dos termos (e dos respectivos sinônimos) para o conceito científico.

7 CONCLUSÕES

Considerando o objetivo geral da pesquisa que foi “determinar como o discurso didático referente à dominância/recessividade articula genética de transmissão, genética molecular e fisiologia e inferir como a linguagem está relacionada com a causa de distorções conceituais.”, pensamos que tenha sido possível a produção de dados referentes ao discurso didático por meio da investigação de explicações de professores em formação e de frases de livros didáticos.

Por meio da análise dos dados, pudemos caracterizar como a linguagem está relacionada às incompreensões, apontando questões linguísticas envolvidas nos desvios ou equívocos que a organização conceitual pode exibir quando a proposta inicial de Mendel de atribuir adjetivos de “dominante” e “recessivo” para o nível fenomenológico é extrapolada para outros usos (como o verbal) e significados mais amplos (como o significado fisiológico).

Quanto aos resultados, alguns dados podem ser destacadas: os professores em formação (1) não identificam a necessidade de atribuir explicação fisiológica para o fenômeno da dominância e consideram a repetição dos dados do enunciado como resposta suficiente, ainda que a fisiologia seja explicitamente solicitada; (2) admitem que interações diretas ocorrem entre os alelos; (3) explicam a recessividade do fenótipo apontando que o alelo não origina produtos, como Lewin (2000) já havia apontado; (4) indicam que o alelo recessivo é inativado por ação do alelo dominante – corroborando afirmações de Thörne, Gericke e Hagberg (2013) e Redfield (2012) – ou por ação dos produtos polipeptídicos gerados a partir dele; (5) apontam que o alelo dominante origina mais quantidade de proteína em comparação com o recessivo; (6) apontam que a dominância ocorre no heterozigoto devido a sua distribuição prevalente na população – como também apontaram Allchin (2000) e Smith (2014); (7) caracterizam o alelo dominante (sic!) como mais forte ou como melhor que seu correlato recessivo – em consonância com o que apontam Mahadeva e Randerson (1982); (8) explicam que a dominância ocorre por influência do ambiente; além disso, (9) um graduando apontou que o elemento recessivo está “dentro” do elemento dominante, o que impede a detecção do recessivo; (10) um graduando explicou que o alelo dominante é mais compatível com o material orgânico e por isso produz mais produto polipeptídico; (11) um percentual importante

(40%) de graduandos não respondeu somente a pergunta que solicitava a causa fisiológica da dominância, o que pode indicar a inabilidade para oferecer uma explicação, ainda que fosse hipotética e (12) nenhum graduando elaborou uma resposta correta e completa para a segunda pergunta do questionário.

Em consonância com outras pesquisas, nossos dados apontam várias concepções equivocadas e confirmam a hipótese de que existe uma deficiência formativa causada pela fragmentação entre genética de transmissão e a genética molecular. Vários de nossos resultados estão em conformidade com outras pesquisas, como por exemplo: (1) graduandos não têm explicações para responder por que um alelo se comporta como dominante com relação ao recessivo? – muitas vezes nem mesmo entendem tal pergunta (REDFIELD, 2012); (2) os estudantes empregam os termos “dominante” e “recessivo” sem saber explicar como os alelos originariam fenótipos (SEIPELT-THIEMANN, 2012); (3) são feitas extrapolações errôneas a partir da equiparação de uma explicação de nível macroscópico com uma explicação de nível microscópico (MARBACH-AD; STAVY, 2000); (4) a dominância e a recessividade são tomadas como propriedades dos alelos (MAHADEVA; RANDERSON, 1982); (5) alelos dominantes (sic!) são entendidos como agentes que dominam/desligam os alelos recessivos (sic!) (THÖRNE; GERICKE; HAGBERG, 2013; Redfield, 2012); (6) alelos dominantes (sic!) são 'bons' e seus correlatos recessivos são "ruins" (MAHADEVA; RANDERSON, 1982); (7) fenótipos dominantes são mais numerosos em uma distribuição populacional (ver Allchin, 2000; Smith, 2014); e (8) a recessividade é causada pela ausência de produto gênico ou proteína (LEWIN, 2000).

Quanto à linguagem, é possível afirmar que embora os adjetivos “dominante” e “recessivo” tenham sido originalmente propostos por Mendel com uma conotação fenomenológica, foram desdobrados em substantivos (“dominância” e “recessividade”) e em verbo (“dominar”), de modo que passaram a ter a equivocada conotação de processo fisiológico. O uso metafórico dos adjetivos, ao ser ampliado para substantivos e verbos, passou a ser tomado como literal, originando estruturas frasais que admitem sujeitos (por exemplo: alelo, gene, fenótipo, característica) para o verbo “dominar”, como constatamos nas falas dos graduandos que participaram dessa pesquisa.

Além da análise de nível frasal, também podemos explorar outros problemas decorrentes do cruzamento de significados corriqueiros/cotidianos com significados

científicos, que ocorre quando se faz uso do termo “dominância”. Como foi possível observar nas categorias de respostas que atribuíam explicações fisiológicas por meio do uso de termos metafóricos, os verbos possuem algum nível de correspondência com conotações de “dominação” (“bloquear”, “impedir”, “inibir”, “silenciar”, “sobressair”, “prevalecer” e “suprimir”) e são empregados de modo literal nas explicações.

A compreensão equivocada de que o fenótipo dominante é mais numeroso nas populações também pode sofrer influência da conotação de “preponderante”, “prevalente” ou “hegemônica” que a dominância pode assumir no uso corriqueiro. Além disso, é possível associar as compreensões que indicam a superioridade do elemento dominante (quando é apontado como “melhor” ou “mais forte”) à conotação de poder/*status* que a dominância pode admitir também no uso cotidiano.

Por último, o termo “expressão/expressar”, muito utilizado no discurso didático durante as aulas, contém uma ambiguidade que pode contribuir com ruídos de comunicação. A expressão gênica, por exemplo, pode ser entendida como o processo de síntese de produtos a partir do material genético. Porém, a expressão do fenótipo, que seria sinônima de “manifestação do fenótipo”, se refere a produção de traços biológicos detectáveis (até mesmo macroscópicos). Sendo assim, o uso do termo “expressar” pode originar ambiguidade ou pode causar a unificação de ambos os significados, estimulando a compreensão de que a expressão gênica é a própria expressão final do fenótipo.

Sendo assim, podemos inferir que a linguagem utilizada para conceber e comunicar os conceitos da dominância é fonte de incompreensões e de construção de interpretações não alinhadas com o conhecimento científico.

Os participantes não atribuem explicações fisiológicas adequadas para a dominância completa, uma vez que alguns não conseguiram responder nada, outros reafirmaram os dados do enunciado da pergunta e outros exibiram uma pluralidade de compreensões equivocadas. Em conformidade com o objetivo inicial, este trabalho aprofundou as descrições das incompreensões referentes à dominância, ao documentar trechos e ao explorar semelhanças e particularidades dos dados.

Podemos destacar que, para além das correspondências das conclusões dessa pesquisa com as conclusões de pesquisas supracitadas (indicadas na discussão), nossa investigação permitiu a identificação (1) da compreensão equivocada de que o alelo dominante (sic!) produz mais quantidade de produto

gênico em comparação com o recessivo; (2) da compreensão equivocada de que o maior número de fenótipos dominantes em uma distribuição populacional pode ser apontado como causa para a produção do fenótipo dominante; (3) de que a relação genótipo-ambiente é apontada como causa para a dominância; (4) da ideia de que a recessividade tem um elemento que localiza-se internamente ao elemento dominante (inviabilizando sua detecção).

Os trechos de frases dos participantes que foram inseridos na seção de resultados são uma contribuição que pode permitir que professores os empreguem em aula. Por meio de processos de mudança conceitual por metacognição, as frases podem auxiliar a tomada de consciência de estudantes acerca de quais são as compreensões que cada um possui.

Sinalizamos para alguns questionamentos referentes ao ensino: o uso da terminologia “alelo selvagem/mutante” ao invés de “alelo dominante/recessivo” no discurso didático poderia auxiliar no problema do desvio de nível do fenômeno da dominância do fenótipo para o alelo? O conteúdo de síntese proteica deveria preceder o ensino de genética de transmissão para subsidiar a compreensão acerca de como genótipos orientam a estruturação de fenótipos?

Além de tais questionamentos, apontamos que as incompreensões constatadas nas explicações de professores em formação indicam a necessidade de articular os conteúdos de genética de transmissão e genética molecular durante a graduação de Ciências Biológicas. Novos estudos se fazem necessários para investigar como será possível reorganizar o estudo do material genético de modo a permitir a compreensão integrada dos processos de hereditariedade e dos processos de produção do fenótipo.

Investigações acerca de como pode ser realizado o processo de mudança conceitual serão fundamentais, especialmente no que diz respeito à discriminação de conotações metafóricas envolvidas na terminologia específica, uma vez que é necessário admitir que as incompreensões pré-existentes dos estudantes são incompatíveis com o consenso científico.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como pontuamos em uma sessão do início desta tese, o processo de mudança conceitual pode ser promovido por meio de um programa planejado para ser contínuo, gradual, lento e até mesmo demorado (VOSNIADOU, 2008). O programa pode ser viabilizado por atividades que promovam a consciência metaconceitual (tomada de consciência dos próprios conceitos), uma prática que tem a importância justificada pela necessidade de que estudantes identifiquem a diferença entre os próprios conceitos e os conceitos científicos (VOSNIADOU, 2007).

Um caminho possível para concretizar programas de ensino e aprendizagem fundamentados na consciência metaconceitual é empregar questões (até mesmo de múltipla escolha) que contenham equívocos comuns para que os estudantes possam identificá-los e para que possam realizar comparações e discussões (como propôs Hatano, 2008).

Ao comparar os equívocos comuns entre si e com o conceito científico, não é necessário fazer uma abordagem de mera oposição ou contraste, uma vez que do ponto de vista didático, as concepções podem funcionar como recursos para aprendizagem (SMITH III; DISESSA; ROSCHELLE, 1994). No caso da unidade temática de genética, o ensino da dominância poderia ser enriquecido com as discussões produzidas neste trabalho a partir de atividades de estudo de equívocos comuns. Por exemplo, as questões linguísticas referentes às distorções do uso original dos termos por Mendel e referentes ao caráter metafórico dos termos são temas novos que poderiam ser incorporados nas aulas para sustentar a discussão.

Uma abordagem como essa permitiria aos estudantes, em especial professores em formação, uma maior consciência metaconceitual e mais autonomia para escolhas discursivas precisas.

A pertinência da presente pesquisa se justifica mediante a necessidade de que a formação de professores promova a produção de Conhecimento Pedagógico de Conteúdo (conforme conceito de Shulman, 1986), o que requer que os futuros docentes tenham ciência da variedade de concepções alternativas que os estudantes podem possuir e de caminhos possíveis para o enfrentamento de tais incompreensões.

Consideramos que tenha sido possível a exploração e sistematização de algumas das incompreensões relativas ao tema em questão e que a discussão

tenha iniciado uma proposição geral de diretrizes para o ensino e a aprendizagem do fenômeno da dominância para variados níveis de ensino.

REFERÊNCIAS

- ALBERTS, B. et al. **Biologia Molecular da Célula**. 5 ed. Tradução Ana Letícia de Souza Vanz *et al.*, Porto Alegre: Artmed Editora, 2010.
- ALLCHIN, Douglas. Mending mendelism. **The American Biology Teacher**, v. 62, n. 9, p. 632-639, 2000.
- AMABIS, José Mariano; MARTHO, Gilberto. **Biologia Moderna**. 3 v. 1 ed. São Paulo Editora Moderna, 2016.
- ANASTASIOU, Léa das Graças Camargos. Ensinar, aprender, apreender e processos de ensinagem. In: ALVES, Leonir Pessate; ANASTASIOU, Léo das Graças Camargos. **Processos de ensinagem na universidade**: pressupostos para as estratégias de trabalho em aula. Joinville: Univille, 2003, pp. 15-43.
- BALL, Deborah Loewenberg; THAMES, Mark Hoover; PHELPS, Geoffrey. Content knowledge for teaching: What makes it special?. **Journal of teacher education**, v. 59, n. 5, p. 389-407, 2008.
- BANDOUK, Antonio Carlos; CARVALHO, Elisa Garcia; AGUILAR, João Batista; SALLES, Juliano Viñas; NAHAS, Tatiana Rodrigues; BEZERRA, Lia Monguilhott. **Ser protagonista: biologia 3º ano: ensino médio**. 3 ed. São Paulo: Edições SM, 2016.
- BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. Tradução Luís Antero Reto; Augusto Pinheiro. São Paulo: Edições 70 LDA, 2011.
- BASTOS, Fernando; NARDI, Roberto; DINIZ, Renato Eugênio da Silva Diniz; CALDEIRA, Ana Maria de Andrade Caldeira. Da necessidade de uma pluralidade de interpretações acerca do processo de ensino e aprendizagem em Ciências: revisitando os debates sobre construtivismo. **Pesquisas em ensino de ciências: contribuições para a formação de professores**, v. 5, p. 9-55, 2004.
- BICKERS, D. R. Fotossensibilidade e outras reações à luz. In: FAUCI, A. S.; KASPER, D. L.; LONGO, D. L.; BRAUNWALD, E.; HAUSER, S. L.; JAMESON, J. L.; LOSCALZO, J. (edit.) **Harrison Medicina Interna**. 17. ed. Tradução Ademar Valadares Fonseca *et al.* Rio de Janeiro: McGraw-Hill Interamericana do Brasil, 2008. p.350-354.
- BICUDO, Maria Aparecida Viggiani. Pesquisa qualitativa: significados e a razão que a sustenta. **Revista pesquisa qualitativa**, v. 1, n. 1, p. 07-26, 2005.

BIZZO, Nélio. **Biologia: novas bases**. 3º ano ensino médio. 1 ed. São Paulo: IBEP, 2017.

BOLOGNIA, Jean L. et al. **Dermatología**. New York: Elsevier, 2004.

BRASIL, PNLD, 2018. FNDE. Ministério da Educação. **Guia Digital**. Biologia. Resenhas. Disponível em < <http://www.fnde.gov.br/pnld-2018/>> Acesso em 26 de jul. 2019.

BUSCH, Harris. **The Cell Nucleus**. v. 3. New York: Academic Press, 1974.

CALDEIRA, Ana Maria de Andrade. Didática e Epistemologia da Biologia. In: CALDEIRA, Ana Maria de Andrade; ARAUJO, Elaine S. Nicolini Nabuco. **Introdução à Didática da Biologia**. São Paulo: Escrituras Editora, 2009, p. 73-86.

CALDEIRA, Ana Maria de Andrade; BASTOS, Fernando. A didática como área de conhecimento In: CALDEIRA, Ana Maria de Andrade; ARAUJO, Elaine S. Nicolini Nabuco. **Introdução à Didática da Biologia**. São Paulo: Escrituras Editora, 2009, p.13-33.

CASTORINA, José A.; CARRETERO, Mario. Mudança conceitual. In: CARRETERO, Mario; CASTORINA, José A. **Desenvolvimento cognitivo e educação: processos do conhecimento e conteúdos específicos**. v. 2. Porto Alegre: Editora Penso, 2014.

CESCHIM, Beatriz. **O emprego da teleologia na interpretação da biologia funcional e evolutiva**: um estudo a respeito de concepções e da evolução conceitual de alunos de licenciatura em ciências biológicas. 2017. 224f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência) – UNESP, Faculdade de Ciências, Bauru, 2017.

CESCHIM, Beatriz; CALDEIRA, Ana Maria de Andrade. A dominância está nos olhos de quem vê: a fisiologia que explica fenótipos dominantes e recessivos. **Didática e epistemologia da biologia**. São Paulo: Cultura Acadêmica, p. 87-124, 2020.

CESCHIM, Beatriz; GANIKO-DUTRA, Matheus. “Genético” e “hereditário”: como a biologia contemporânea explica essa relação? In: CALDEIRA, Ana Maria de Andrade. **Didática e epistemologia da biologia**. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2020. p. 169-202.

CESCHIM, Beatriz; GANIKO-DUTRA, Matheus; CALDEIRA, Ana Maria de Andrade. Relação Pensamento-Linguagem e as Distorções Conceituais no Ensino de Biologia. **Ciência & Educação** (Bauru), v. 26, n. e20068, p. 1-24, 2020.

CHEVALLARD, Yves. **La transposition didactique, du savoir savant au savoir enseigné**, Grenoble: La pensée Sauvage, 1985.

CRUSE, D. Alan. **Meaning in language**: An introduction to semantics and pragmatics. New York: Oxford Linguistics. 2011.

DARLING-HAMMOND, Linda. Constructing 21st-century teacher education. **Journal of teacher education**, v. 57, n. 3, p. 300-314, 2006.

DARLING-HAMMOND, Linda; BRANSFORD, John (ed.). **Preparing teachers for a changing world**: What teachers should learn and be able to do. San Francisco: Jossey-Bass – A Wiley Print, 2005.

DEMO, Pedro. **Educar pela pesquisa**. 9. ed. Campinas: Autores Associados, 2011.

DISESSA, Andrea A. A history of conceptual change research: Threads and fault lines. In: SAWYER, R. Keith (ed.). **The Cambridge handbook of the learning sciences**. 2 ed. Berkeley: Cambridge University Press, 2014.

DUROZOI, Gérard. ROUSSEL, André. **Dicionário de filosofia**. Tradução Marina Appenzeller. Campinas-SP: Papirus, p. 205, 1993.

EVANS, Vyvyan; GREEN, Melanie. **Cognitive linguistics**: An introduction. New York: Routledge, 2006.

FALK, Raphael. The rise and fall of dominance. **Biology and Philosophy**, v. 16, n. 3, p. 285-323, 2001.

FAVARETTO, José Arnaldo. **Biologia unidade e diversidade**, 3º ano. 1 ed. São Paulo: FDT, 2016.

FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. **Dicionário Aurélio da língua portuguesa**. 5. ed. Curitiba: Editora Positivo, 2010.

FILLMORE, Charles, J. Frame Semantics In: GEERAERTS, Dirk (edit) **Cognitive Linguistics**: Basic Readings, Mouton de Gruyter: Berlin, Germany, 2006, p. 373-400.

FLICK, Uwe. Introdução à metodologia de pesquisa: um guia para iniciantes. Tradução Magda Lopes. Porto Alegre: Penso Editora, 2012.

FORD, Brian J. The nucleus and the simple microscope. **Journal of Biological Education**, v. 16, n. 4, p. 281-285, 1982.

FOUREZ, Gérard. **A construção das ciências**: introdução à Filosofia e à ética das ciências. São Paulo: Editora da Universidade Paulista, 1995.

GARCIA, B. H.; PEREIRA, T. C. O gene Stay-Green e a cor das sementes de Mendel. **Genética na Escola**. v. 11, n. 2, p. 386-391, 2016.

GARNICA, Antonio Vicente Marafioti. Pesquisa qualitativa e Educação (Matemática): de regulações, regulamentos, tempos e depoimentos. **Mimesis, Bauru**, v. 22, n. 1, p. 35-48, 2001.

GAYON, Jean. From Mendel to epigenetics: History of genetics. **Comptes rendus biologiques**, v. 339, n. 7-8, p. 225-230, 2016.

GIEBEL, Lutz B. et al. A frequent tyrosinase gene mutation in classic, tyrosinase-negative (type IA) oculocutaneous albinism. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 87, n. 9, p. 3255-3258, 1990.

GOLDENBERG, Mirian. **A arte de pesquisar**: como fazer pesquisa qualitativa em Ciências Sociais. 8 ed. Rio de Janeiro: Record, 2004.

GRIFFITHS, Anthony J.; WESSLER, Susan R.; LEWONTIN, Richard C.; CARROL, Sean B.; **Introdução à genética**, Tradução: Paulo A. Mota. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2011.

GRØNSKOV, K. et al. Oculocutaneous albinism. **Orphanet journal of rare diseases**, v. 2, n. 1, p. 43, 2007.

HACKER, Peter M. S. **Natureza humana**: categorias fundamentais. Porto Alegre: Artmed Editora, 2007.

HALABAN, R. et al. Endoplasmic reticulum retention is a common defect associated with tyrosinase-negative albinism. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 97, n. 11, p. 5889-5894, 2000.

- HATANO, Giyoo. Comprehension activity in individuals and groups. In: SABOURIN, Michel; CRAIK, Fergus; ROBERT, Michele. **Advances in psychological sciences**. v. 2: Biological and cognitive aspects. New York: Psychology Press, 2008, p. 399–417.
- HEIM, Werner G. What is a recessive allele?. **The American Biology Teacher**, v. 53, n. 2, p. 94-97, 1991.
- HULL, David. **Filosofia da Ciência Biológica**. Tradução Eduardo de Almeida. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1975.
- KAMARAJ, B.; PUROHIT, R. Mutational analysis of oculocutaneous albinism: a compact review. **BioMed research international**, v. 2014, 2014.
- KING, RICHARD A.; WITKOP, CARL J. Detection of heterozygotes for tyrosinase-negative oculocutaneous albinism by hairbulb tyrosinase assay. **American journal of human genetics**, v. 29, n. 2, p. 164, 1977.
- KLUG, William S.; CUMMINGS, Michael R.; SPENCER, Charlotte A.; PALLADINO, Michael A. **Conceitos de Genética**. 9 ed. Tradução: Maria Regina Borges-Osório, Porto Alegre: Artmed Editora, 2010.
- KUHN, Thomas S. **A estrutura das revoluções científicas**. 12 ed. Tradução Beatriz Vianna Boeira; Nelson Boeira. São Paulo: Perspectiva, 2013.
- LAKOFF, George; JOHNSON, Mark. **Metaphors we live by**. Chicago: University of Chicago press, 1980.
- LANGACKER, Ronald W. Cognitive Grammar In: GEERAERTS, Dirk. (ed) **Cognitive linguistics**: basic readings, Mouton de Gruyter: Berlin; New York, 2006.
- LAWSON, Anton E.; THOMPSON, Lois D. Formal reasoning ability and misconceptions concerning genetics and natural selection. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 25, n. 9, p. 733-746, 1988.
- LEVIN, A. V.; STROH, E. Albinism for the busy clinician. **Journal of American Association for Pediatric Ophthalmology and Strabismus**, v. 15, n. 1, p. 59-66, 2011.
- LEWIN, Benjamin. **Genes VII**. New York: Oxford University Press, 2000.

LIBÂNEO, José Carlos. **Formação de Professores e Didática para Desenvolvimento Humano**. Educação & Realidade, v. 40, n. 2, p. 629-650, 2015.

LINHARES, Sérgio Fernando; GEWANDSZNAJDER, Helena Pacca. **Biologia hoje**. 3 v. 3 ed. São Paulo: Editora Ática, 2016.

LOPES, Sonia. ROSSO, Sergio. **Bio**, 3 v. 3 ed. São Paulo: Saraiva, 2016.

MAHADEVA, Madhu N.; RANDERSON, Sherman. Mutation Mumbo Jumbo: Are mutations really so rare and harmful? Or are textbooks misleading?. **The Science Teacher**, v. 49, n. 3, p. 34-38, 1982.

MARBACH-AD, Gili; STAVY, Ruth. Students' cellular and molecular explanations of genetic phenomena. **Journal of Biological Education**, v. 34, n. 4, p. 200-205, 2000.

MARTIN, Cathie. Rose Scott-Moncrieff and the dawn of (bio) chemical genetics. **The Biochemist**, v. 38, n. 2, p. 48-53, 2016.

MAZUR, Eric. **Peer Instruction: a revolução da aprendizagem ativa**. Porto Alegre: Penso Editora, 2015.

MENDEL, Gregor. **Experiments in plant hybridisation**. [1909] New York: Cosimo Classics. 2008.

MENDONÇA, Vivian L. **Biologia: o ser humano**, genética e evolução: volume 3: ensino médio. 3 ed. São Paulo: Editora AJS, 2016.

MONTAUDIÉ, H. et al. Fisiología del sistema pigmentario. Melanogénesis. **EMC-Dermatología**, v. 48, n. 1, p. 1-11, 2014.

MORTIMER, Eduardo Fleury. **Linguagem e formação de conceitos no ensino de ciências**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2000.

NACHTOMY, Ohad; SHAVIT, Ayelet; YAKHINI, Zohar. Gene expression and the concept of the phenotype. **Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences**, v. 38, n. 1, p. 238-254, 2007.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL, Chapter 4: Misconceptions as Barriers to Understanding. In: NATIONAL RESEARCH COUNCIL, **Science Teaching Reconsidered: A Handbook**. Washington, DC: The National Academies Press, 1997, p. 27-32.

OFFNER, Susan. Mendel's peas & the nature of the gene: genes code for proteins & proteins determine phenotype. **The american biology Teacher**, v. 73, n. 7, p. 382-387, 2011.

OGO, Marcela Yaemi; GODOY, Leandro Pereira de. **#Contato biologia**, 3º ano. 1 ed. São Paulo: Quinteto Editorial, 2016.

PASTERNAK, Jack J. **Genética molecular humana**: Mecanismos das doenças hereditárias. São Paulo: Editora Manole, 2002.

PAVLOVA, Iglia V.; KREHER, Scott A. Missing links in genes to traits: Toward teaching for an integrated framework of genetics. **The American Biology Teacher**, v. 75, n. 9, p. 641-649, 2013.

PEARSON, J. T.; HUGHES, W. J. Problems with the use of terminology in genetics education: 1, A literature review and classification scheme. **Journal of Biological Education**, v. 22, n. 3, p. 178-182, 1988.

PIERCE, Benjamin. **Genética**: Um enfoque conceitual. 3 ed. Tradução: Paulo A. Motta. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2011.

PIERCE, Benjamin. **Genética**: Um enfoque conceitual. 5 ed. Tradução: Beatriz Araujo do Rosário. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.

POSNER, George J.; STRIKE Kennet A.; HEWSON Peter H.; GERTZOG William A. Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. **Science education**, v. 66, n. 2, p. 211-227, 1982.

REDFIELD, Rosemary J. "Why do we have to learn this stuff?"—a new genetics for 21st century students. **PLoS Biol**, v. 10, n. 7, p. e1001356, 2012.

REECE, Jane B. *et al.* **Biologia de Campbell**. Tradução Anne D. Villela *et al.* 10. ed., Porto Alegre: Artmed, 2015.

REID, J. B.; ROSS, J. J. Mendel's genes: Toward a full molecular characterization. **Genetics**, v. 189, n. 1, p. 3-10, 2011.

RIVITTI, E. A. **Manual de dermatologia clínica de Sampaio e Rivitti**. São Paulo: Artes Médicas Editora, 2014.

ROCHA, L. de M.; MOREIRA, L. M. de A. Diagnóstico laboratorial do albinismo oculocutâneo. **Jornal Brasileiro de Patologia e Medicina Laboratorial (JBPM)**, v. 43, n. 1, p. 25-30, 2007.

ROWE, M. B. Wait time and rewards as instructional variables, their influence on language, logic, and fate control. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 11, p. 81-94, 1974.

SCHNUR, Rhonda E. et al. Type I oculocutaneous albinism associated with a full-length deletion of the tyrosinase gene. **Journal of investigative dermatology**, v. 106, n. 5, 1996.

SEIPELT-THIEMANN, Rebecca L. et al. Analogies for teaching mutant allele dominance concepts. **Creative Education**, v. 3, n. 06, p. 884, 2012.

SHULMAN, Lee S. Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. **Harvard educational review**, v. 57, n. 1, p. 1-23, 1987.

SHULMAN, Lee S. Those who understand: Knowledge growth in teaching. **Educational researcher**, v. 15, n. 2, p. 4-14, 1986.

SILVA-JÚNIOR, César da; SASSON, Sezar; CALDINI, Nelson. **Biologia**, 3: ensino médio. 11 ed. São Paulo: Saraiva, 2016.

SMITH III, John P.; DISESSA, Andrea A.; ROSCHELLE, Jeremy. Misconceptions reconceived: A constructivist analysis of knowledge in transition. **The journal of the learning sciences**, v. 3, n. 2, p. 115-163, 1994.

SMITH, Mike U. It's not your grandmother's genetics anymore!(Part 2). **The american biology Teacher**, v. 76, n. 5, p. 306-310, 2014.

SNUSTAD, Peter; SIMMONS, Michael J.; **Fundamentos de Genética**. 4 ed. Tradução Paulo A. Motta. Rio de Janeiro: Grupo Gen-Guanabara Koogan, 2010.

SNUSTAD, Peter; SIMMONS, Michael J.; **Fundamentos de Genética**. 7 ed. Tradução Principles of genetics. Rio de Janeiro: Grupo Gen-Guanabara Koogan, 2017.

STEEN, Gerard J. The contemporary theory of metaphor—now new and improved!. **Review of Cognitive Linguistics**, v. 9, n. 1, p. 26-64, 2011.

TARDIF, Maurice. **Saberes docentes e formação profissional**. 12 ed. Rio de Janeiro: Editora Vozes, 2011.

THOMAS, H. et al.. Gregor Mendel's green and yellow pea seeds. **Botanica Acta**, v. 109, n. 1, p. 3-4, 1996.

THOMPSON, Miguel. RIOS, Eloci Peres. **Conexões com a Biologia**. 2 vol. 2 ed. São Paulo: Moderna, 2016.

THÖRNE, Karin; GERICKE, Niklas M.; HAGBERG, Mariana. Linguistic challenges in Mendelian genetics: Teachers' talk in action. **Science Education**, v. 97, n. 5, p. 695-722, 2013.

TOMITA, Yasushi; SUZUKI, Tamio. Genetics of pigmentary disorders. In: **American Journal of Medical Genetics** Part C: Seminars in Medical Genetics. Hoboken: Wiley Subscription Services, Inc., A Wiley Company, 2004. p. 75-81.

TORTORA, G. J.; DERRICKSON, B. **Corpo Humano: Fundamentos de Anatomia e Fisiologia**. 10 ed. Tradução: Alexandre Lins Werneck *et al.* Porto Alegre: Artmed Editora, 2017.

TREVOR-ROPER, P. D. Marriage of two complete albinos with normally pigmented offspring. **The British journal of ophthalmology**, v. 36, n. 2, p. 107, 1952.

VOSNIADOU, Stella. Conceptual change and education. **Human development**, v. 50, n. 1, p. 47-54, 2007.

VOSNIADOU, Stella. **International Handbook of Research on Conceptual Change**, New York: Routledge, 2008.

VOSNIADOU, Stella; VAMVAKOUSSI, Xenia; SKOPELITI, Irini. The Framework Theory Approach to the Problem of Conceptual Change. In: Vosniadou, Stella. **International Handbook of Research on Conceptual Change**, New York: Routledge, 2008.

WATSON, James; BAKER, Tania; BELL, Stephen; GANN, Alexander; LEVINE, Michael; LOSICK, Richard. **Biologia Molecular do Gene**, 7 ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

WILKIE, A. O. The molecular basis of genetic dominance. **Journal of medical genetics**, v. 31, n. 2, p. 89-98, 1994.

WILSON, Suzanne M.; SHULMAN, Lee S.; RICHERT, Anna E. 150 different ways of knowing: Representations of knowledge in teaching. In: CALDERHEAD, James. **Exploring teachers' thinking**, London: Cassell education, 1987, pp. 104-124.

APÊNDICE A – TRECHOS SELECIONADOS DOS LIVROS DIDÁTICOS QUE FORAM CONSULTADOS

Livro 1: AMABIS; MARTHO (2016)

Trecho 1: O alelo C comporta-se como dominante sobre os outros três. (p. 26)

Trecho 2: A explicação é que um dos alelos do gene para cor da flor funciona normalmente, determinando a síntese de pigmentos, enquanto o outro alelo seria inativo, não determinando a síntese de pigmento. As plantas homozigóticas, que apresentam dois alelos funcionais para a síntese de pigmento vermelho, produzem-no em quantidade tal que as flores têm coloração vermelha intensa. Indivíduos heterozigóticos, em que há apenas um alelo funcional do gene, produzem cerca de metade do pigmento formado pelos homozigóticos, de modo que a cor das pétalas é mais clara, cor-de-rosa. (p. 27)

Trecho 3: Há casos em que indivíduos heterozigóticos para determinado gene expressam simultaneamente, os fenótipos dos dois tipos de indivíduos homozigóticos, fenômeno que geneticistas denominam codominância. Isso ocorre porque os dois alelos do gene são funcionais, de modo que o indivíduo heterozigótico, possuindo os produtos de ambos os alelos, apresenta as características dos homozigóticos para cada alelo. (p. 28)

Livro 2: LINHARES; GEWANDSZNAJDER (2016).

Trecho 4: O indivíduo VV produz por meiose células V; e o indivíduo vv, células v. A união de gametas V e v origina indivíduos heterozigóticos, Vv, de fenótipo amarelo, porque V domina v. (p. 17)

Trecho 5: 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 homozigoto de cor amarela. Trata-se, portanto, de uma dominância completa [...] (p. 19)

Trecho 6: Na dominância incompleta [...] 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. [...] (p. 19)

Trecho 7: Na codominância, cada alelo influencia a produção de proteínas diferentes. Com isso, o fenótipo do heterozigoto possui características presentes em ambos os homozigotos para esses alelos. [...]” (p. 19-20)

Livro 3: BANDOUK et al. (2016)

Trecho 8: [...] Esse padrão de herança é chamado de dominância completa. Além dele, existem outros padrões de dominância que os alelos de um gene podem estabelecer entre si [...] (p. 39)

Trecho 9: O termo ‘dominância’ pode passar a ideia de que um alelo ‘domina’ o seu par no cromossomo homólogo, isto é, inibe o outro. No entanto, essa ideia é errônea, pois a dominância depende dos produtos gênicos, ou seja, dos produtos codificados pelo gene, e de como eles atuam na fisiologia celular. (p. 39)

Trecho 10: Em geral, nos casos de dominância completa, o indivíduo com genótipo homozigoto dominante apresenta uma proteína que está ausente no indivíduo homozigoto recessivo. Em relação à forma da semente da ervilha, lisa ou rugosa, observada por Mendel, os indivíduos homozigotos recessivos não produzem uma enzima relacionada aos açúcares encontrados na semente. Sem essa enzima, as sementes ficam sem armazenar açúcar que impede a desidratação da semente no final do seu desenvolvimento. Assim, os indivíduos homozigotos recessivos produzem sementes que desidratam, o que produz o fenótipo rugoso. Nos indivíduos heterozigotos, a quantidade dessa enzima está reduzida à metade da encontrada nos homozigotos dominantes, mas é suficiente para manter a superfície da semente lisa. (p. 39)

Trecho 11: A ação do alelo dominante não interfere na ação do alelo recessivo em indivíduos heterozigotos. O fenótipo condicionado pelo alelo dominante é que se sobrepõe ao fenótipo condicionado pelo alelo recessivo. (p. 39)

Trecho 12: Nos casos de dominância incompleta, a quantidade de produto gênico nos indivíduos heterozigotos é insuficiente para produzir o fenótipo do homozigoto dominante, por exemplo, no caso da cor das flores da planta boca-de-leão, os indivíduos homozigotos recessivos não apresentam o pigmento que confere cor vermelha às pétalas, e, na ausência desse pigmento, elas são brancas. Nos indivíduos heterozigotos, a quantidade do pigmento está reduzida à metade da encontrada nos homozigotos dominantes e não é suficiente para conferir cor vermelha às pétalas, que se apresentam cor-de-rosa. (p. 39)

Trecho 13: No exemplo de codominância apresentado, os indivíduos com genótipos homozigotos produzem apenas um tipo de aglutinogênio, M ou N, enquanto os indivíduos heterozigotos produzem os dois tipos, M e N, cada um na metade da quantidade produzida pelos homozigotos. (p. 40)

Livro 4: MENDONÇA, (2016)

Trecho 14: Em ervilhas, o caráter liso é determinado por um alelo dominante em relação ao outro alelo, que determina o aspecto rugoso da semente. (p. 136)

Trecho 15: Em todos os exemplos de monoibridismo estudados até agora, um dos alelos é dominante em relação ao outro e o fenótipo que se manifesta nos indivíduos heterozigóticos é o mesmo do alelo dominante. (p. 143)

Livro 5: BIZZO (2017)

Trecho 16: Ele batizou o caráter – ou característica – que predominava de dominante, e aquele que permanecia latente, de recessivo (p. 81)

Trecho 17: Conclui-se que os alelos não são plenamente dominantes, pois não impedem a manifestação um do outro, mas produzem um fenótipo intermediário (p. 85)

Trecho 18: Existe dominância e recessividade dos fatores e dos caracteres. Quando dois fatores diferentes estão presentes no mesmo indivíduo, apenas um deles, dito dominante, determina seu efeito no caráter. [...] (p. 83)

Livro 6: SILVA-JÚNIOR; SASSON; CALDINI (2016)

Trecho 19: [...] uma das primeiras constatações foi a de que, na primeira geração (F1), o estado rugoso desaparece. O estado liso, por isso, foi chamado de dominante. Na geração F2, porém, o estado rugoso reaparece. Isso quer dizer que, de alguma forma, ele permaneceu nos indivíduos F1, porém “escondido”, voltando a se manifestar na geração seguinte. Esse estado recebeu o nome de recessivo. (p. 62)

Trecho 20: Nessa geração, apesar de existirem os dois fatores (L e R) em cada indivíduo, somente o fator L se manifesta, porque é o fator dominante. Assim, os indivíduos são lisos. (p. 62)

Trecho 21: Dominância e recessividade: uma explicação bioquímica

Pelo que dissemos até agora, seria possível ter a impressão de que o alelo excessivo, quando em companhia do dominante não ‘funciona’, ficando inibido. Afinal, o alelo recessivo, no heterozigoto, comporta-se como se estivesse escondido.

Sabemos, porém, que tanto alelo dominante como o recessivo funcionam no âmbito celular. Os genes carregam informação para a síntese de proteínas específicas. acontece o que a proteína codificada pelo alelo recessivo de um gene muitas vezes não tem papel na célula. Tudo se passa como se o alelo não estivesse “funcionando”.

Vamos discutir melhor essa ideia. as proteínas que os alelos codificam são, muitas vezes, enzimas que catalisam reações químicas na célula. Cada alelo de um gene produz uma proteína um pouco diferente. É graças a essa pequena diferença que alelos diferentes podem manifestar fenótipos diferentes [...].

Um caso comum que exemplifica o que foi explicado é o seguinte: o homozigoto dominante produz a enzima com a função normal. O heterozigoto também produz a enzima normal, porém em quantidade menor, já que ele tem somente um alelo para ela. Mesmo assim a reação química catalisada pela enzima acontece tanto homozigoto dominante quanto no heterozigoto, já que as enzimas agem mesmo quando presentes em pequena quantidade. Como resultado, o fenótipo de ambos é idêntico. As células do homozigoto recessivo, porém, fabricam apenas a enzima “defeituosa”. Nele, a reação química não ocorre, e seu fenótipo será diferente.

Veja um exemplo com ervilhas. As ervilhas lisas (fenótipo dominante) podem ter genótipo RR ou Rr; as rugosas são sempre rr. O alelo R produz uma enzima que catalisa a produção de muito amido, o que dá à semente um aspecto “inchado”, arredondado. Mesmo nos heterozigotos, há enzima suficiente para assegurar o fenótipo liso.

Nas ervilhas rr, toda a enzima produzida é defeituosa, a produção de amido é muito menor e a semente fica com aspecto enrugado.” (p. 66).

Livro 7: LOPES; ROSSO (2016)

Trecho 22: Apesar de os dois fatores estarem presentes na geração F1, só um deles se manifesta: é o fator considerado dominante. Assim, na herança da textura da semente, o fator R é dominante em relação ao fator r. (p. 139)

Trecho 23: O alelo V seria dominante sobre o alelo B se o heterozigoto VB apresentasse o fenótipo vermelho. (p. 153)

Trecho 24: Dominância e recessividade em termos moleculares

O fenômeno da dominância está relacionado ao papel funcional da enzima produzida pelos alelos dominante e recessivo de cada par de alelos.

Se o alelo dominante A codifica uma enzima A, que catalisa determinada reação bioquímica, seu alelo a codifica uma enzima inativa, incapaz de catalisar essa mesma reação. Como uma pequena quantidade de enzimas já é suficiente para catalisar a reação, tanto indivíduos AA como Aa apresentam o mesmo fenótipo, embora nos indivíduos AA exista o dobro da quantidade de enzimas A em relação aos indivíduos Aa. Já os homozigotos recessivos aa, por produzirem enzimas inativas, apresentam um fenótipo diferente para esse caráter.

Tomando como exemplo a herança da textura da semente em ervilhas, o alelo dominante é transcrito em moléculas de RNA que são traduzidas em um tipo de enzima que ajuda a converter açúcar em amido na semente. O alelo recessivo codifica uma forma inativa dessa enzima. Dessa maneira, no homozigoto recessivo, o açúcar fica acumulado na semente e não é convertido em amido. À medida que a semente se desenvolve, o alto teor de açúcar promove grande absorção de água por osmose e a semente assume o aspecto inchado. Entretanto, à medida que amadurece, a semente perde água, o que dá a ela o aspecto rugoso. A presença de pelo menos um alelo dominante já é suficiente para a produção de enzimas ativas em quantidades ideais para que ocorra a síntese de amido a partir do açúcar e para a semente apresentar o aspecto liso. Dessa maneira, tanto o homozigoto dominante quanto o heterozigoto formam sementes lisas. (p. 145)

Livro 8: OGO; GODOY (2016)

Trecho 25: [...] Ele deduziu que as plantas altas da geração F1 possuíam um fator que determinava que seriam baixas, mas que de alguma maneira isso foi inibido pela expressão de outro fator para plantas altas. O fator inibido foi chamado recessivo, e o fator expresso foi chamado dominante. (p. 16)

Trecho 26: [...] Ao verificar a altura das ervilhas, ele notou que o alelo D era dominante em relação ao alelo recessivo d. isso significa que sua presença determina o fenótipo da planta alta e inibe por completo a expressão do fenótipo planta baixa relacionado ao alelo d. esse tipo de dominância é chamada dominância completa. Esse

não é o único tipo de relação que os alelos estabelecem para determinar o fenótipo. (p. 29)

Trecho 27: geralmente a relação de dominância incompleta está relacionada à presença de um alelo funcional e outro não funcional." (p. 29)

Trecho 28: os dois alelos são expressos ao mesmo tempo produzindo dois tipos diferentes de proteínas. [referindo-se à codominância] (p. 30)

Livro 9: THOMPSON; RIOS (2016).

Trecho 29: O alelo F^V codifica a produção normal de pigmento vermelho, enquanto o F^B não. Por isso, plantas homozigotas $F^V F^V$ possuem flores vermelhas, e plantas homozigotas $F^B F^B$ têm flores brancas. Plantas heterozigotas $F^V F^B$, por possuírem apenas uma cópia do alelo funcional F^V , produzem uma quantidade reduzida de pigmento vermelho, o que torna suas flores rosadas. (p. 171)

Trecho 30: Na codominância, também não há relação de dominância entre os alelos; diferentemente da dominância incompleta, no entanto, ambos os alelos são funcionais e, por isso, o heterozigoto não apresenta um fenótipo intermediário, mas um fenótipo resultante da manifestação simultânea dos dois alelos. Um exemplo é a cor da pelagem de gato da variedade de Shorthorn. Os homozigotos podem ter pelos da cor vermelha ($P^V P^V$) ou branca ($P^B P^B$), e os heterozigotos ($P^V P^B$) apresentam pelos vermelhos e brancos, que resultam na coloração malhada denominada ruão. (p. 171)

Livro 10: FAVARETTO (2016)

Trecho 31: Ao contrário do que afirmavam os postulados de Genética clássica, para a maioria dos genes o alelo dominante não é necessariamente um inibidor do alelo recessivo; apenas se manifesta, determinando a produção de uma proteína, geralmente uma enzima. Por sua vez, o alelo recessivo determina a formação de uma proteína inativa, ou mesmo a ausência da proteína. Dessa forma, o homozigoto dominante produz uma enzima em tal quantidade e o heterozigoto produz metade dela, o que geralmente é suficiente para que seu fenótipo seja praticamente idêntico ao do homozigoto dominante. Já o homozigoto recessivo não produz a enzima ativa, o que explica a diferença do fenótipo que ele demonstra. Não se trata, portanto, de uma verdadeira inibição, mas da incapacidade de o alelo recessivo se expressar fenotipicamente e da capacidade de o alelo dominante se expressar. (p. 164)

Trecho 32: A ausência de dominância ocorre quando um alelo não domina o outro e, em consequência disso, o heterozigoto apresenta fenótipo diferente do exibido pelos heterozigotos. (p. 178)

APÊNDICE B – PERGUNTAS E RESPOSTAS OBTIDAS A PARTIR DO QUESTIONÁRIO DISCURSIVO

Aplicação 1

Pergunta 1 (P1): Considere as ervilhas de Mendel que exibem textura lisa ou rugosa. Houve constatação de que a ervilha rugosa é manifestada somente em condição homozigota recessiva (rr), enquanto a condição lisa se manifesta com genótipo homozigoto dominante (RR) ou heterozigoto. Por que no indivíduo heterozigoto a característica “textura lisa” se manifesta?

Pergunta 2 (P2): Quando um indivíduo possui um genótipo heterozigoto e exibe a característica dominante, a característica recessiva não se manifesta. O que isso significa na fisiologia? [em outras palavras, como a biologia funcional conseguiria explicar a manifestação de um fenótipo e o impedimento da manifestação de outro fenótipo?]

E	P1	P2	Gênero	Data
B1	A textura lisa aparece no indivíduo heterozigoto devido a cruzamento genético que é característico por ter alelos dominantes.	Ocorre durante o processo de replicação do DNA até a produção de uma proteína que determina o fenótipo.	F	23/10/2017
B2	Porque a “textura lisa” é uma característica dominante e em um indivíduo heterozigoto ela está presente.	Pelo fato do fenótipo dominante estar em uma maior probabilidade.	M	23/10/2017
B3	Pois o alelo dominante é o “R”, sendo assim ele se sobressai ao alelo recessivo “r”.	A manifestação de um fenótipo é determinada através da expressão de um conjunto de base do genoma.	M	23/10/2017
B4	Pois o R é dominante e se manifesta, inibindo o alelo recessivo.	Não sei.	M	23/10/2017
B5	O alelo dominante é o (R), sendo assim ele sobrevive ao alelo recessivo (r).	Pelo fato de fenótipo dominante ter maior probabilidade.	M	23/10/2017

B6	Pois o alelo dominante é o R, sendo assim ele se sobressai ao alelo recessivo r.	A manifestação de um fenótipo é determinado através da expressão de um conjunto de bases do genoma.	M	23/10/2017
B7	Manifesta a característica “textura lisa” pois a característica “R” é dominante.	-	F	23/10/2017
B8	A textura lisa se manifesta porque ela é o gene dominante	Não sei	F	23/10/2017
B9	Por conta da presença do alelo dominante que está presente no genótipo homozigoto (RR) ou heterozigoto (Rr). A característica textura lisa prevalece sobre o alelo recessivo (rr).	-	F	23/10/2017
B10	Por conta do alelo dominante, o alelo R tem os “caracteres” da lisa, então mesmo sendo Rr ela ainda será lisa pois o R é dominante.	Não sei	M	23/10/2017
B11	Porque a textura lisa é dominante perante a textura rugosa (Rr)	Não sei	M	23/10/2017
B12	Porque o indivíduo heterozigoto possui um alelo dominante B	Não sei	F	23/10/2017
B13	Porque ele possui pelo menos um alelo que condiciona essa característica. A característica rugosa só se expressa se ambos os alelos fossem recessivos, caso não, será sempre lisa.	-	M	23/10/2017
B14	Porque a característica lisa dominantes se manifesta com apenas um alelo, já a rugosa recessiva necessita dois alelos iguais para manifestar.	-	M	23/10/2017
B15	Porque a característica lisa se dá	Durante o processo de	F	23/10/

	pelo alelo "R".	replicação uma proteína não se expressa.		2017
B16	Porque apresentará o gene dominante que determina a característica lisa.	-	F	23/10/2017
B17	Porque o caráter liso é predominante à rugosa. Sendo homozigoto ou heterozigoto. Se houver um gene com caráter liso já traz este fenótipo.	-	F	23/10/2017
B18	Porque a condição homozigota recessiva caracteriza a textura rugosa ou mutada.	-	F	23/10/2017
B19	Só é necessário um R para rolar o manifesto.	Não sei.	F	23/10/2017
B20	Pois ele só precisa de um R para se manifestar.	Não sei.	F	23/10/2017
B21	O alelo "R" é dominante, ou seja, a característica lisa está ligada à "R" e expressa-se quando existe no genótipo.	-	M	23/10/2017
B22	Pois a característica também se manifesta no indivíduo heterozigoto.	-	M	23/10/2017
B23	Porque o alelo R é dominante sendo homozigoto RR e heterozigoto Rr. Somente será rugosa se for rr.	Não sei.	F	23/10/2017
B24	No indivíduo heterozigoto a característica textura lisa se manifesta porque o gene dominante precisa de um alelo para ser expresso.	Significa que o alelo dominante inibe a expressão do recessivo.		
B25	Pois mesmo que seja heterozigoto o alelo dominante é A, que se encontra presente na ervilha de textura lisa.	Não sei.	F	23/10/2017

B26	A característica “textura lisa” se manifesta em alelos dominantes que podem se expressar mesmo com uma cópia de alelo dominantes (heterozigoto), ou com duas cópias (homozigoto)	Não sei	F	23/10/2017
-----	--	---------	---	------------

Aplicação 2

Pergunta 1 (P1). Considere as ervilhas de Mendel que exibem cor amarela ou verde. Houve constatação de que a cor verde é manifestada somente em condição homozigota (vv), enquanto a cor amarela se manifesta com genótipo homozigoto (VV) ou heterozigoto. Responda: Por que no indivíduo heterozigoto a característica “amarela” se manifesta?

Pergunta (P2). Quando um indivíduo possui um genótipo heterozigoto e exibe a característica dominante, a característica recessiva não se manifesta. O que isso significa na fisiologia? [em outras palavras, como a biologia funcional conseguiria explicar a manifestação de um fenótipo e o impedimento da manifestação de outro fenótipo?]

E	P1	P2	Gênero	D
A1	Porque o gene que define a cor amarela é dominante e se sobressai em cima do gene recessivo	Porque existe a expressão do gene dominante neste caso a cor da ervilha. Acaba não ocorrendo o processo da ativação do processo de transcrição e tradução do gene.	M	18/06/2018
A2	Teremos que os genes em questão irão explicar a produção da cor da ervilha. Neste ponto, a cor amarelada implica na síntese de proteínas que colore a ervilha assim como a verde. Porém, a condição amarela se faz fruto de alelo dominante em	Funcionalmente, isso indica que podem ocorrer alguns pontos. Primeiramente, pode significar que a molécula/proteína gerada pelo alelo recessivo será produzida em proporção maior do que a proteína dominante, logo há preferência de tradução pelo RNAm originado do dominante. Outro ponto é que a proteína gerada pelo recessivo	M	27/06/2018

	relação a verde, logo a proporção de RNAm traduzido deste alelo dominante é muito mais do que a RNAm do verde, e assim ela se manifesta pela cor amarela.	pode não ser funcional e não também evidencia a dominância do outro alelo.		
A3	Porque a característica amarela é dominante em relação à verde, que é recessiva.	Que apesar de o indivíduo apresentar a informação genética contida em seu DNA, a mesma não é expressa (sem transcrição e tradução) ou, caso seja expressa, é silenciada.	F	27/06/2018
A4	Porque a característica amarela é manifestada pelo gene dominante.	Não sei	F	27/06/2018
A5	Porque a característica amarela domina sobre a verde. Na presença do gene V as sementes da planta vão ser todas amarelas pois esse gene (ou seja, as proteínas produzidas por ele) vão dominar o gene v.	As proteínas produzidas pelo gene dominante são as que vão determinar a característica. O gene recessivo fica silenciado, não produzindo proteínas.	F	27/06/2018
A6	Porque o gene que confere a característica amarela é dominante sobre o gene que confere a característica verde.	Não sei.	F	27/06/2018
A7	Devido a relação dominante, pois o gene é capaz de sintetizar seus RNAs com a presença de apenas uma cópia do mesmo.	Não sei	M	27/06/2018

A8	Por ser um alelo dominante, a característica se sobressai	A característica recessiva não se manifesta pois o alelo não está presente nos dois pares de cromossomos homólogos	M	05/07/2018
A9	Porque os alelos V_ se inibem a cor verde.	A não síntese de proteínas.	F	05/07/2018
A10	Pois a característica "amarela" possui dominância sobre a característica verde, ou seja, a amarela é dominante enquanto a verde é recessiva. Em heterozigoto sempre a característica dominante se manifesta.	Isso ocorre devido a transcrição do DNA	F	05/07/2018
A11	A característica amarela se manifesta, pois, o indivíduo heterozigoto possui gene(Vv), e segundo os estudos de Mendel, o gene (V) apresenta-se como dominante, ou seja, se manifesta suprimindo a manifestação do gene (v). Dessa forma os indivíduos heterozigotos expressam a cor amarela.	Não saberia dizer.	F	09/07/2018
A12	Porque o alelo V é dominante e dessa forma, ele inibe a manifestação do recessivo	Acontece por combinações gênicas, nas quais o recessivo só consegue se expressar quando em dose dupla. Já o dominante, como o próprio nome já diz, domina e se expressa sozinho	F	17/07/2018
A13	Por que a cor amarela e uma característica	Não tenho a menor ideia	F	18/07/2018

	dominante, logo se manifesta mesmo em heterozigose			
A14	Pela cor amarela estar associada ao V dominante, presente no homozigoto VV e no heterozigoto Vv.	Não sei	F F	17/10/2018
A15	Pois o alelo dominante vai determinar a coloração amarela (no caso o V); fazendo com que o alelo recessivo não seja expreso totalmente.	Significa que tal característica vai ser expressada por conta do dominante. Pois não vai inibir totalmente o alelo recessivo.	M	17/10/2018
A16	Isso acontece devido a dominância do alelo V sobre o alelo v. A dominância de um alelo sobre outro acontece quando em caso de heterozigose a característica de um dos genes se sobrepõe a característica do outro e somente ela é expressa.	A manifestação, em caso de heterozigose, a penas da característica dominante ocorre devido à supressão da expressão dos genes do alelo recessivo	F	17/10/2018
A17	Porque a cor verde é expressada por um gene recessivo, a partir do momento em que se tenha a presença de um alelo dominante a expressão da cor amarela já ocorre.	Fisiologicamente acontece um processo de inibição da síntese da proteína que expressaria a cor ou característica recessiva quando houvesse a presença desse genótipo heterozigoto, que possui um alelo dominante que consegue direcionar uma sinalização mais atuante no processo da síntese proteica da proteína que possui característica dominante.	F	17/10/2018
*A1	A cor amarela se manifesta	Do ponto de vista fisiológico, a	M	17/10/

8	mesmo no indivíduo heterozigoto pois o alelo V, sozinho, é capaz de determinar a característica fenotípica da cor amarela.	dominância de um fenótipo acontece pelo impedimento ou mascaramento da característica recessiva. A cor amarela das ervilhas, por exemplo, depende da produção de uma enzima que degrada a clorofila.		2018
A19	Porque a característica “amarela” é dominante sobre a “verde”, de modo que um alelo A seja suficiente para que o amarelo se expresse, enquanto para o verde são necessários 2 alelos vv (recessivos).	-	M	17/10/2018
A20	A característica amarela é dominante em relação a característica recessiva e portanto, quando há presença de pelo menos um alelo dominante a característica se manifesta.	A sobreposição de características se dá a partir da não expressão (ou não ativação) dos genes que são responsáveis pela manifestação da característica recessiva. Ou seja, na presença de ambos alelos (Vv), apenas o dominante será ativado e portanto manifestado.	F	17/10/2018
A21	A coloração amarela se manifesta devido ao heterozigoto (Vv) possuir um alelo correspondente a cada cor. Estes alelos detêm uma relação de dominância e recessividade entre eles, caracterizando assim com que o alelo dominante (no caso o V do amarelo) se sobressaia	Não me recordo do mecanismo molecular.	F	17/10/2018

	perante o recessivo (v do verde).			
*A2 2	Depende de um mecanismo fisiológico: o alelo V compromete a produção de uma enzima envolvida na síntese de clorofila. Um único alelo V no par de homólogos já é suficiente para inibir a síntese do pigmento, resultando na cor amarela.	Embora o mecanismo fisiológico dependa para cada característica, geralmente em heterozigose, a quantidade de proteína sintetizada diferente daquela envolvida na manifestação da característica recessiva, já é suficiente para impedir que o fenótipo recessivo se manifeste, por ausência da enzima necessária em uma série de reações.	M	17/10/ 2018
A23	A manifestação ocorre pois trata-se de uma característica de caráter dominante, pois o alelo V se manifesta em detrimento ao alelo recessivo v e produzindo a proteína de pigmento amarelo.	-	M	17/10/ 2018
A24	A cor amarela é expressada quando o alelo dominante está presente. Neste caso, V é o alelo dominante, então Vv e VV expressarão a característica amarela. Para expressar a cor verde, é necessário que os 2 alelos sejam recessivos.	A característica dominante se manifesta e a recessiva não porque a proteína que irá expressar a característica é mais expressiva do que a recessiva. Então ela não deixa de existir, apenas seria uma proteína mais “fraca”, que com a existência da dominância ela não consegue se manifestar.	F	17/10/ 2018
A25	Dominância	Expressão gênica	M	15/04/ 2019
A26	Pois a cor amarela é dominante em relação a verde	A característica dominante inibe a recessiva, mas não a elimina	F	15/04/ 2019

A27	Pois o gene dominante, ou seja, aquele que predomina no indivíduo heterozigótico, é justamente da cor amarela.	Não tenho certeza sobre essa resposta, mas esse processo de impedir a manifestação de uma característica me lembra o processo de metilação que genes inativos sofrem, como por exemplo o gene para a criação de dentes em aves.	M	15/04/2019
A28	Por causa do alelo dominante V, ou seja, para o amarelo se manifestar, basta apenas de um gene dominante, logo ele se manifesta tanto em VV (ambos dominantes), quanto Vv (com apenas um dominante).	Seria explicado que um gene ele além de expressar suas características (no caso, amarelo), conseguira ao mesmo tempo inibir a outra característica (verde).	M	15/04/2019
A29	Pois a cor amarela está presente no gene V.	Pois características que são recessivas não se manifestam.	F	15/04/2019
A30	Porque essa característica esta ligada ao gene dominando "V"	Não sei dizer	F	15/04/2019
A31	Porque é recessiva.	Significa que de acordo com a fisiologia, a característica seria melhor implementada e melhor adaptada.	F	15/04/2019
A32	Pois há a presença de um alelo com característica dominante.	Não sei.	F	21/06/2018
A33	Pois o indivíduo heterozigoto possui um genótipo dominante no qual pode ser característico por duas cores diferentes, devo a possibilidade de não ser homozigoto (apenas uma	Não sei	F	21/06/2018

	característica igual).			
A34	A característica “amarela” se manifesta devido a interferência que o alelo dominante (V) tem sobre a expressão do alelo recessivo (v), impedindo a produção da proteína que gera a cor verde (vv).	Acredito que as interações moleculares de um alelo dominante com a de um recessivo devem fazer com que somente o alelo dominante seja transcrito.	M	21/06/2018
A35	Porque não engloba apenas a manifestação do genótipo “V”, mas sim da influência do fenótipo (expressão incluindo a questão do meio).	Poderia ser em relação a influência de como um todo funciona naquele determinado meio e não considera apenas um único fenótipo expresso.	F	21/06/2018
A36	Pois o gene responsável pela manifestação da cor amarela é considerado dominante em relação ao gene de expressão da cor verde, se comportando como inibidor da característica do outro.	Não sei.	F	21/06/2018
A37	No cruzamento de alelos VV e vv, a característica de cor amarela V é predominante, se sobressai em relação a cor verde V, como se o alelo de cor amarela recobrisse o verde, ou seja, é “dominante”.	Acredito que uma se sobrepõe a outra por um fator ser dominante, por ter maior ocorrência.	F	21/06/2018
A38	Porque V é dominante e corresponde a cor amarela (no caso Vv ou VV) e vv é recessivo, corresponde a cor verde.	-	F	21/06/2018

A39	Porque o indivíduo heterozigoto, apesar de carregar os dois fatores genéticos, só vai expressar o dominante, que está relacionado com a cor amarela.	Não sei, não consigo pensar nessas duas coisas juntas.	F	21/06/2018
A40	A característica amarela se manifesta no indivíduo heterozigoto pois o amarelo é dominante sobre o verde.	As características fisiológicas são determinadas pela constituição genética do indivíduo.	F	21/06/2018
A41	A característica amarela se manifesta devido ao alelo V dominante, que domina o alelo recessivo v.	Acho que a manifestação tem, a ver com as características do ambiente, determinada condição externa e, também, a genética da pessoa e essa interação.	F	21/06/2018
A42	Porque a característica “amarela” é dominante em relação à “verde”, ou seja, ela se sobrepõe.	Eu acho que é porque a característica recessiva só vai se manifestar se for expressa exatamente com o genótipo recessivo, mas não sei explicar porquê isso aconteceria.	F	21/06/2018
A43	Pois a partir do momento que o indivíduo possui o fenótipo “V”, ele possui dominância para a cor amarela, com isso, a característica de cor verde não é expressa mesmo com o genótipo heterozigoto “Vv”.	Não sei.	M	21/06/2018
A44	O indivíduo heterozigoto (Vv) apresenta a característica amarela, pois esta é uma condição dominante que está no V.	Não sei	F	21/06/2018

A45	Pois a cor amarela é dominante, assim ele vai se manifestar em VV e Vv, a probabilidade de ser amarelo é maior.	Nesta questão vale aquele ditado, “8 ou 80” se você é dominante ou recessivo, ou você tem uma característica ou tem outra.	M	21/06/2018
A46	A característica amarela se manifesta pois o indivíduo heterozigoto apresenta um dos alelos dominantes, responsável pela cor amarela.	Não sei.	M	21/06/2018
A47	Porque ela possui uma característica heterozigótica o que irá se manifestar.	Há falta de informação na questão.	F	21/06/2018
A48	O tipo de dominância exercida pelo gene é nesta situação de dominância total. Assim mesmo em heterozigóticos sua função é expressa sem fenótipos intermediários.	Desisti.	M	21/06/2018
A49	Porque a característica amarela é dominante	Não sei. Supressão do alelo? Mas como ocorre?		21/06/2018
A50	Uma vez que o alelo dominante é expresso pela coloração amarela, este ao se expressar em conjunto com outro alelo recessivo, mantém sua característica.	As características de um ser vivo são determinadas pela expressão de genes, basicamente, se avaliarmos a expressão de um par de alelos sendo um recessivo, a características cuja informação está contida no gene recessivo não é expressa se estiver acompanhado por um outro dominante, que atuará como se silencia-se ou se sobressaísse sobre o recessivo.	F	02/03/2020
A51	Pois os genes relativos à	Estes genes não irão codificar as	M	02/03/

	característica observada como cor amarela possui expressão dominante em relação aos genes relativos à coloração amarela, a qual não se manifesta. Significa que...	proteínas que causam a coloração esverdeada.		2020
A52	A característica amarela manifesta-se devido ao cruzamento de espécies diferentes, podendo ser visível fisicamente, tornando-se um fenótipo ou não.	Ao exibir a característica dominante (exemplo A ₋), conclui-se que houve o cruzamento de ambos indivíduos heterozigotos ou de um heterozigoto com um homozigoto dominante. Na primeira situação, nota-se a proporção de $\frac{3}{4}$ para manifestar determinada característica. Já na segunda hipótese, somente 50%.	F	02/03/2020
A53	A característica amarela se manifesta no heterozigoto Vv pois o alelo V é dominante sobre o alelo recessivo v, que inibe o fenótipo verde.	O alelo dominante é manifestado sozinho enquanto que o alelo recessivo precisa de um par para ser representado no fenótipo. Acredito que essa seja a fisiologia para o impedimento da manifestação do fenótipo.	F	02/03/2020
A54	No indivíduo heterozigoto a característica amarela se manifesta pois é dominante sobre a cor verde, ou seja, um indivíduo com ambos os genes irá apresentar somente o que domina sobre o outro, a esse determinamos a representação com letra maiúscula (V) e o recessivo, aquele que só se	Significa que o indivíduo carrega um gene mas não o manifesta. Questões químicas e funcionais permitem a decodificação de um ao invés do outro.	F	02/03/2020

	apresenta na forma homozigota determinamos a letra minúscula (v)			
A55	No indivíduo heterozigoto, a característica “amarela” se manifesta, pois o gene é dominante, ou seja, a característica se sobressai em relação a outra, chamada de recessiva.	O gene recessivo não se manifesta, portanto proteínas e outras substâncias que o gene incentivaria os organismos a produzir, não são produzidos. Sendo assim, apenas o gene dominante se manifesta.	-	02/03/2020
A56	No indivíduo heterozigoto, a característica amarela se manifesta porque a cor amarela é ligada ao alelo dominante, sendo dominante em relação a cor verde.	Isso é explicado pelo processo de dominância do fenótipo, sendo que o “mais forte” é o que se manifesta.	F	02/03/2020
A57	Pois o gene que manifesta o fenótipo amarelo é dominante sobre o que manifesta o verde, dessa forma, o indivíduo que apresenta ambos os genes (heterozigotos) apresentará cor amarela, pois este é dominante sobre o outro.	Não sei	-	02/03/2020
A58	Porque a característica “amarela” é dada pelo gene dominante, de forma que este silencia o gene diferente presente no indivíduo.	Os genes da característica dominante expressam proteínas que silenciam o gene da característica recessiva, que não consegue ser expresso.	F	02/03/2020
A59	A característica “amarela” se manifesta no indivíduo heterozigoto pela presença do gene dominante V.	A característica recessiva é inibida pelo gene dominante, por isso não é manifestada.	F	02/03/2020

A60	Pois o gene que expressa a cor amarela é dominante, em relação ao gene que expressa a cor verde, sendo assim os indivíduos heterozigotos possuindo a cor amarela.	Que a característica dominante se sobressai sobre a recessiva, manifestando esta característica. Não sei.	-	02/03/2020
A61	Pois na cor amarela está manifestado a condição dominante, o que leva a cor amarela mesmo com a presença de um recessivo.	Significa que de certo modo a característica dominante se intensifica de maneira que somente ela é expressada.	F	02/03/2020
A62	Ela se manifesta pois o V é uma característica dominante no alelo.	Acho que a expressão do gene recessivo não ocorre pois está desativada, de forma que não há leitura das bases para a expressão das proteínas e resposta celular.	-	02/03/2020
A63	A característica amarela se manifesta em heterozigotos porque o alelo determinante da cor amarela é o V e é dominante em relação ao v. Sendo assim, é necessário apenas um alelo V para expressar a condição amarela e dois v para expressar a verde.	Do ponto de vista fisiológico as proteínas existentes nos genes do alelo dominante inativam a expressão do recessivo. Impedindo sua manifestação.	M	02/03/2020
A64	A característica “amarela” deriva da manifestação que o alelo “V” que domina, ou seja, mesmo na presença do alelo “v”, que “traz” a característica verde, ele se manifesta.	Um alelo recessivo pode ter como resultado de sua expressão uma ausência de característica ou substância.		02/03/2020
A65	De acordo com a matemática do jogo da	A porcentagem da manifestação de uma característica recessiva	F	02/03/2020

	velha mendeliano, há 50% de chances do genótipo ser heterozigoto, ou seja, a cor amarela se manifestaria.	pode ser muito baixa, ocasionando na manifestação apenas das características dominantes.		
A66	A característica amarela pode se manifestar em um indivíduo heterozigoto pois basta ele ter um gene dominante, no caso V, para que essa característica se manifeste.	O fenótipo vai expressar a característica gênica, ou seja, a informação contida nos genes. Quando um indivíduo é heterozigoto, a característica dominante se sobrepõe e, fisiologicamente, ela que será expressa.	F	02/03/2020
A67	O alelo que determina a cor amarela é dominante e se manifesta mesmo na presença do alelo v que é recessivo.	Apenas o gene considerado dominante é expresso, isto é, transcrito molecularmente.	M	02/03/2020
A68	Porque o V é dominante sobre o v, então a característica que se manifesta é do V.	Que a presença de uma característica dominante bloqueia ou se sobrepõe à manifestação de outra característica.	F	02/03/2020
A69	O indivíduo heterozigoto faz um cruzamento com o homozigoto	Por ser recessiva, a característica pode não aparecer	F	02/03/2020
A70	Pois o gene da cor amarela é dominante em relação ao da cor verde, portanto, em um indivíduo heterozigoto o gene da cor amarela (V) se sobressai ao de cor verde.	Ao manifestar-se o fenótipo dominante, o fenótipo recessivo acaba sendo impedido de se manifestar, uma vez de o primeiro se sobressaiu a ele.	F	02/03/2020
A71	Porque há a presença de um gene dominante que se sobrepõe ao recessivo.	Penso que pela maior afinidade já que genes recessivos parecem fugir do padrão como uma mutação.	M	02/03/2020
A72	Pois a característica amarela é dominante sobre	O fenótipo que se manifesta é mais "forte".	F	02/03/2020

	a verde.			
A73	Ao analisar os conceitos de gene dominante e gene recessivo, temos que o indivíduo manifestará a característica “amarela” caso possua o gene “V”, independente de possuir a condição VV ou Vv, pois V mostra-se dominante sobre v.	Esse fenômeno é explicado pelo fato da produção do gene dominante codificar sua característica independentemente do recessivo. Em outras palavras, a proteína a ser codificada não levará em conta a característica expressa pelo gene recessivo caso o gene dominante estiver presente.	M	02/03/2020
A74	Por causa de relações de dominância e recessividade. O alelo V, dominante, terá sua característica expressa em dose única.	Na prática, os dois alelos são fisiologicamente funcionais e irão produzir, por exemplo, alguma proteína específica. Todavia, veremos apenas a característica dominante no indivíduo, por favores variados, como a quantidade de proteína do alelo recessivo produzido ser insuficiente em dose única.	M	02/03/2020
A75	Porque o alelo “V”, que determina o fenótipo amarelo, é dominante em relação ao alelo “v”.	A síntese proteica lê “apenas” uma característica fenotípica, traduzindo os ácidos nucleicos do alelo dominante e suprimindo o recessivo.		02/03/2020
A76	Por se tratar de um gene dominante.	Devido ao fato de que os genes (dominante) ocorrem com maior frequência fenotípica.		02/03/2020
A77	A cor amarela é manifestada por gene dominante, presente no indivíduo heterozigoto ou homozigoto dominante.	O fenótipo dominante impede a expressão de características recessivas, pois ele seria uma regra e a recessiva exceção.		02/03/2020
A78	Pois o alelo dominante (V) se expressa com maior	Significa que ao existir uma relação heterozigota, possa existir	M	02/03/2020

	intensidade que o recessivo (v), então a característica amarela é expressada pelo alelo dominante.	um mecanismo que a reconhecer um fenótipo identifique um fator que dá a característica dominante e , a partir disso, “ignore” a recessiva.		
--	--	--	--	--

**APÊNDICE C – RESPOSTAS E PONTUAÇÃO DOS PARTICIPANTES PARA A
AVALIAÇÃO DAS ASSERTIVAS**

Participante	Número da assertiva												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	E	E	D	D	E	E	D	D	E	A	B	B	B
2	E	C	B	B	C	C	B	D	B	A	C	C	C
3	E	E	D	E	B	B	A	E	E	C	D	A	A
4	A	D	B	B	D	D	B	B	D	A	D	C	B
5	D	D	D	D	B	C	A	D	E	B	B	A	A
6	B	C	B	B	A	B	B	D	A	A	D	C	B
7	-	-	B	D	D	E	A	D	B	A	D	A	B
8	E	E	E	B	E	E	A	B	A	A	E	A	A
9	E	E	E	E	C	C	B	C	B	B	C	C	B
10	E	E	E	E	C	C	B	C	B	B	C	C	B
11	B	C	B	B	E	D	A	A	A	A	C	B	A
12	D	E	D	D	D	E	B	C	D	B	B	D	A
13	D	E	A	A	D	C	E	E	B	A	C	C	A
14	A	D	B	B	D	E	A	D	B	D	D	D	C
15	E	E	B	A	E	E	A	E	A	A	A	A	E
16	A	B	D	A	A	A	A	A	A	A	A	D	A
17	B	C	B	B	E	E	B	B	B	B	A	E	E
18	B	E	A	A	E	E	A	B	B	A	E	D	A
19	D	E	D	E	D	C	A	B	E	D	C	E	D
20	C	B	B	A	E	B	A	A	B	A	A	A	A
21	B	D	B	A	B	C	B	A	B	E	D	A	B
22	E	E	E	E	E	E	E	E	E	A	E	E	E
23	B	D	A	A	B	B	C	A	A	A	A	A	A

Considerando que $A=-2$, $B=-1$, $C=0$, $D=1$ e $E=2$, temos as seguintes pontuações por participante:

Participante	Pontuação
A1	9
A2	-4
A3	4
A4	-4
A5	-2
A6	-10
A7	-3
A8	0
A9	4
A10	4
A11	-11
A12	5
A13	-1
A14	1
A15	-1
A16	-19
A17	-5
A18	-4
A19	10
A20	-17
A21	-8
A22	22
A23	-18

APÊNDICE D – TRANSCRIÇÃO DA DISCUSSÃO REALIZADA APÓS A COLETA DE DADOS NO GPEB

Primeira sessão:

A1: o questionário um me fez pensar em muita coisa que eu pelo menos não aprendi durante a graduação. Me fez pensar muito, porque tinha várias opções, aí você fica assim: é, ou não é? Ou é mais ou menos? Então é bem mais complicado...

Pesquisador(a) 1: o questionário que tinha as afirmações (assertivas) te fez pensar mais?

A1: sim.

Pesquisador(a) 1: e qual foi o efeito das questões discursivas?

A1: em algumas deu um branco geral, tipo eu falei: que isso? Algumas eu achei que não entendi a pergunta. Quando eu li eu pensei numa coisa, mas aí eu li de novo e aí eu pensei: será que é isso? Não é? O que será?

Pesquisador(a) 1: tem mais um efeito de paralisar?

A4: eu percebi que a segunda questão tem mais essa ideia de te jogar na parede, assim: ok, você jogar o conceito ali e falar “ah, porque o gene é dominante e o outro não é”.

A2: você percebe que você nunca parou para pensar naquilo.

A3: resposta batida né, que você só cospe assim...

A6: é como se você tivesse perguntado “por quê”? Por que é assim? E a gente não se pergunta direito. A gente aprende o que é dominante e o que é o recessivo. Agora, como isso acontece...

A2: por que isso acontece a gente nunca se perguntou...

A2: Mas na questão dois também né, como que fisiologicamente ele vai ser expresso, ele não vai ser expresso. Aí, nossa, verdade né? É porque um é maiúsculo e o outro é minúsculo? A gente fica preso nessa genética escrita né...

[Risos]

A1: Para mim sempre foi o “A” e o “a” e era isso que acontecia, o universo cuidava do resto... o que acontece é obra do destino

[Risos]

A4: responder sobre o resultado do fenômeno... até eu que sou formado e a A5 olha a cara que ela está fazendo. É até muito interessante porque de certa forma a gente não observa o que existe dentro do fenômeno né, quais são os mecanismos. Simplesmente nomeia, né, “dominante”, “recessivo”.

A5: mas alguém ensinou para a gente o mecanismo? Não me recordo, não.

[...]

Pesquisador(a) 1: está claro para vocês se vocês aprenderam isso? Não estou perguntando se aprenderam e esqueceram, mas se alguém ensinou.

A2: a fisiologia de como ocorre o alelo dominante e recessivo, não.

[...]

Pesquisador(a) 1: e no albinismo... por que o heterozigoto tem pigmentação normal?

A1: porque a pigmentação normal é dominante.

Pesquisador(a) 1: “porque a pigmentação normal é dominante”... e o que isso quer dizer?

A1: que a pigmentação normal se sobressai.

Vários: que é a expressão de proteínas.

A2: que o recessivo não tem expressão porque tem inibição? Um inibe o outro? Ou um já é inibido?

A7: o dominante tem mais compatibilidade para expressar proteínas naquele do que o recessivo naquele organismo?

Pesquisador(a) 1: “o dominante tem mais compatibilidade”?

A7: é tipo, ele expressa mais proteínas que o recessivo...

Pesquisador(a) 1: “ele expressa mais proteínas”...

A7: é porque ele tem mais facilidade de expressar o fenótipo, aí sei lá, eu não sei usar os termos... vamos dizer que a expressão sejam duas tortas. A torta do dominante é muito melhor para a criança no corpo que vai expressar aquela característica. A criança prefere muito mais. Para ela é muito melhor a torta do dominante do que a do recessivo.

Pesquisador(a) 1: seria dizer que a dominância acontece porque a “característica melhor” é expressa no heterozigoto? A que é melhor para o organismo... mas será que é isso?

A1: uma pergunta: não existem certas doenças que são dominantes? Nesse caso não seria exatamente benéfico...

Pesquisador(a) 1: então vc acabou de derrubar a hipótese, ok.

[...]

A7: a compatibilidade que aquele gene tem em expressar uma proteína. Essa proteína pode ser melhor ou pode ser pior. Mas para ser dominante ela tem que ter mais compatibilidade do que a recessiva.

A3: tipo a facilidade dele de se expressar. Seria mais fácil do que se expressar o recessivo, talvez seja mais difícil.

A5: mas o que torna mais fácil?

A4: mas é compatibilidade do que com que? é compatibilidade dos genes com o maquinário que vai traduzir esses genes?

A7: é, isso! É tipo mais ou menos isso. O maquinário que vai produzir aquele fenótipo daquele gene tem mais afinidade química com o gene dominante do que com o recessivo.

[...]

Pesquisador(a) 1: ser dominante é ser mais frequente na população?

Vários: não.

A7: porque a maioria não tem mais que cinco dedos.

Pesquisador(a) 1: polidactilia, não é? [...] então não, dominante não é a mais frequente. Então o que é uma característica dominante?

A2: não sei, eu estava pensando em quantidade de proteínas, né. Porque dominante só precisa de um alelo né para ser expresso e o recessivo precisa de dois.

[...]

Pesquisador(a) 1: gente, o que ela falou é importante. Embora a fisiologia ainda seja uma caixa preta, é inquestionável que o dominante seja o que se expressa em dupla de alelo ou sozinho.

A1: ela falou da quantidade de proteína... será que o dominante não influencia lá na hora de fazer a transcrição do DNA?

Pesquisador(a) 1: influencia como?

A1: por exemplo, ela falou da quantidade de proteínas e ele da afinidade. Será que na hora de transcrever, será que a dominante não acaba se sobressaindo e se sobrepondo ao recessivo?

A3: pode ser o efeito de algumas proteínas, tendo um efeito inibitório da produção de proteínas.

A4: ou as proteínas do recessivo serem não funcionais, mesmo que sejam produzidas no heterozigoto, mas não funcionarem.

A2: tipo aquele limiar né... tem que atingir até o limiar para ter a cor, mas o recessivo para atingir esse limiar, ele precisa ter dois assim.

A1: ah sim, igual potencial de ação...

Pesquisador(a) 1: pessoal, a gente usou os termos “sobressair”, “sobrepor”, “inibição” e “não funcional”.

A6: mas nem todo recessivo é “não funcional”. No albinismo, sim, mas em outros... tem doenças né... não que eu tenha certeza...

[...]

Pesquisador(a) 1: desenhem colunas com dominância completa, dominância incompleta e codominância. Três bolinhas vazias embaixo de cada nome. Pintem a primeira bolinha de cada coluna: a bolinha um de cada uma das três. Numerem as bolinhas (1, 2 e 3). 1 é pai, 2 é mãe, 3 é filho. Na dominância completa, 3 é pintado também. Na dominância incompleta, 3 é pintado bem clarinho. Na codominância, 3 tem bolinhas pretas. Dominância completa ele seria preto, dominância completa seria cinza e codominância ele seria branco de bolinhas pretas.

Segunda sessão:

B7: deu uma tristeza em responder, real, porque a gente já tinha estudado para o vestibular e já esqueceu. Dei uma travada na hora de responder o heredograma.

B4: eu estou confuso só, porque entre aspas são respostas diretas do que a gente estudou no ensino médio, é só a gente responder o que a gente estudou, só que a questão não é essa, vai um pouquinho mais a fundo do que isso, sabe? Por exemplo, não existe motivo pelo qual a dominância só é expressa, é porque ela é dominante e já era sabe? A gente aprende assim, basicamente, no ensino médio. Tem o alelo dominante e tem o recessivo. Dominante é o que expressa característica e a gente aprende desse jeito. É seco, assim. E daí é meio complicado, porque você está tentando perguntar para a gente por que isso acontece.

B5: porque acontece!

Pesquisador(a) 1: por que vocês estão com essa cara?

B1: Me deu uma tristeza. Uma decepção...

(risos coletivos)

B3: quando você recebe um “por que” de uma coisa que você nunca recebeu na vida, é muito “back”. Me faz lembrar das minhas aulas de química no ensino médio. Eu era muito o aluno que perguntava “por que?” e ele me respondia “porque é assim”, tipo “é isso que acontece” e “não tem por que eu explicar o porquê para você, se você não vai usar para nada”.

Pesquisador(a) 1: paralisa, né? Vamos “desparalisar”. Temos uma caixa preta a ser desvendada, não é? Hipóteses? O que vocês conseguiram escrever de hipóteses?

B5: eu nem coloquei.

Pesquisador(a) 1: então vocês foram de “não sei”?

B4: na minha cabeça estava só que se uma característica é dominante, na minha cabeça está que ao mesmo tempo que o recessivo está ali deve acontecer alguma coisa ali, sabe? Mas ao mesmo tempo está na minha cabeça que quando é dominante só aquilo que é expresso então a minha hipótese seria que se é dominante o dominante deixa o recessivo inativo. Eu não sei explicar, sabe? Só que aí, tinha umas perguntas do questionário que eu não sei (risos).

B7: Eu comecei um pouco mais para trás, porque para mim simplificava. Porque para mim você ir voltando na vida, porque para mim no começo células estavam nadando lá no mar e eu não sei tipo se já tinha naquela época dominante e recessivo. Eu não sei se foi criado com o tempo, com o cruzamento, ou a partir do momento que surgiu espécie ou se foi antes disso. Então eu penso que talvez seja como se fosse uma afinidade, é a minha hipótese atual. E que antes não tinha, mas que aconteceu uma mutação que passou a ter. E por não ser algo padrão, é mais difícil de se expressar.

Pesquisador(a) 1: você foi para uma vertente histórica. De fato, quando a gente tem a dominância, nem sempre ela existiu. Para existir a dominância, tem que existir dois. Então historicamente, quando a gente tem um traço dominante, no passado ele foi uma versão única. E desde que eu tenha uma versão só, não existe a dominância. Então, vamos pensar assim: será que o passado da ervilha de Mendel era verde, ou será que o passado da ervilha de Mendel era amarelo? Em algum momento surgiu uma mutação, sim. E aí no heterozigoto, o dominante é o amarelo. E aí você me diz então, que o amarelo é o dominante porque... aí você tem uma hipótese para justificar por que o amarelo seria o dominante porque...

B7: então, aí depende de qual lado você define como padrão. Se vai ser o amarelo... pode ter passado tanto tempo que o dominante ele sofreu tal mutação que se tornou o gene recessivo ou esse dominante já era o amarelo. Aconteceu uma mutação e por afinidade, quando ele aparece, ele se expressa.

Pesquisador(a) 1: vocês querem tentar pensar o albinismo? [relembramos as características do albinismo]

B7: o albinismo não favorece a síntese proteica de melanina?

Pesquisador(a) 1: essa é a explicação fisiológica? Não tem síntese proteica de melanina?

B7: eu acho que é ausente a síntese de melanina. Por isso não expressa nenhuma cor.

Pesquisador(a) 1: no homozigoto.

B7: sim.

Pesquisador(a) 1: e no heterozigoto, o que aconteceu ali?

B3: no caso como o alelo recessivo não tem expressão de nada, quando você tem a expressão de alguma coisa, você tem alguma coisa mais nada. Que dá aquela alguma coisa, que dá aquela melanina, o pigmento da pele.

Pesquisador(a) 1: então a gente continua com a hipótese de que o “a” não expressa nada.

B5: quando você fala de “nada” não deixa de ser alguma coisa, é uma característica que é expressada.

B8: eu também penso assim.

B10: eu não estou entendendo nada.

B7: a característica é a ausência de produzir melanina e a dominante é produzir.

B10: tem uma pergunta no questionário que ela fala assim “se o gene dominante anula o recessivo, ele não anula ele tá ali ele só não está expresso”...

Pesquisador(a) 1: você diz que ele está ali, é estruturalmente...?

B10: isso!

Pesquisador(a) 1: é um problema de linguagem que está acontecendo aqui. Um problema na genética é a palavra “expressar”, que pode dizer síntese proteica. DNA fazendo proteína. Dizer que o alelo expressou parece dizer que ele fez proteína. Mas a biologia também usa o “expressar” para dizer que o alelo fez o fenótipo. Estava acontecendo uma ambiguidade na nossa conversa. A pergunta

então é: o alelo do albinismo não expressa proteína? Ele expressa o albinismo, como fenótipo. Mas ele expressa proteínas?

Todos: não.

Pesquisador(a) 1: Uh, unanimidade.

[Risos.]

B8: essa proteína que você está falando seria a melanina? Porque se for, não expressa, senão não seria albino!

Pesquisador(a) 1: é?

B10: o melhor é que ela responde a gente com outra pergunta.

B3: muito bom!

B10: mas é muito bom, senão a gente não pensa.

Pesquisador(a) 1: é assim que é o grupo... se a gente der a resposta, acaba o pensamento. Então uma unanimidade hoje foi a de que o alelo recessivo não expressa proteínas. A outra afirmação do questionário era o alelo A inibe o a?

Vários: sim.

B7: não sei dizer.

B8: inibe, mas não anula.

B9: "fica quieto, mas você está aí".

B10: "cala boca, eu que vou falar".

B3: não sei, acho que a expressão "inibe" é uma expressão muito forte, porque a expressão do alelo a é não expressar nada. Então ele não está inibindo, é só não expressar nada.

Pesquisador(a) 1: a causa de ele não expressar nada, é a inibição?

[mostrei o desenho do colega que indica inibição de um alelo pelo outro]

[desenhei dois cromossomos homólogos, dois locos gênicos e dois alelos, redesenhando o desenho do aluno]

[...]

B2: eu acho que eu vejo muito mais o a não conseguindo se expressar pelo A do que o A impedindo o a. O A não está nem aí para o a.

B7: Não é que uma inibe a outra. Mas porque a outra é tão chamativa que a verde não consegue se expressar. Eu penso como se fosse essa caneta aqui. O A é a parte de fora da caneta e o a é a parte interna da caneta. Você não consegue chegar no tubo de tinta quando é Aa.

B2: Acho que influenciado pela pergunta, eu imagino um dado viciado. E a dominância completa, eu imagino um dado muito viciado por uma coisa. Poderia ser codificado tanto o A, como o a. Acho que por isso que bate com a questão da afinidade. Mas a questão da dominância se daria como um dado viciado.

Pesquisador(a) 1: afinidade é probabilidade de acontecer?

B2: sim.

APÊNDICE E – INFORMAÇÕES SOBRE A PESQUISA E TERMO DE CONSENTIMENTO - QUESTIONÁRIO ESCRITO

Pesquisa de concepções acerca do fenômeno de dominância completa

Este questionário foi elaborado com a finalidade de atender a uma pesquisa acadêmica referente à formação de professores de biologia, uma investigação financiada pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). O objetivo de investigação está centrado nas concepções de graduandos acerca do fenômeno genético de dominância completa.

Lembramos que este questionário é anônimo e todos os seus dados serão tratados de forma confidencial e jamais serão associadas ao seu nome. Não haverá prejuízo do ponto de vista físico ou psicológico a você e a participação não é obrigatória, podendo-se desistir de participar a qualquer momento.

Responda de forma espontânea e, caso não saiba responder, esteja à vontade para apontar suas hipóteses de resposta ou para dizer que não sabe a resposta.

Termo de consentimento

Eu declaro ter sido devidamente informado(a) e concordo em participar, como voluntário(a), desta investigação de diagnóstico de concepções de graduandos de Ciências Biológicas acerca de dominância completa, financiada pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), cuja elaboração é de autoria da doutoranda Beatriz Ceschim sob orientação da Professora Dra. Ana Maria de Andrade Caldeira.

Concordo e confirmo a permissão para divulgação anônima dos dados fornecidos por mim nas respostas.