



PERSISTÊNCIA DE CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS SOBRE MEIOSE NO ENSINO DE GENÉTICA ENTRE LICENCIANDOS DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

*PERSISTENCE OF ALTERNATIVE CONCEPTIONS ABOUT MEIOSIS IN GENETICS
TEACHING AMONG BIOLOGY UNDERGRADUATE STUDENTS*

Luís Fonseca Guerra

Mestre em Genética pelo Programa de Pós-Graduação em Genética (PPGGEN)

Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

luisfoguerra@gmail.com

Marina de Lima Tavares

Doutora em Educação

Professora Associada do Departamento de Métodos e Técnicas – FaE

Docente dos Programas de Pós-Graduação em Genética e Promestre Educação e Docência

Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

marina-tavares@ufmg.br

Adlane Vilas-Boas

Doutora em Genética

Professora Associada do Departamento de Genética, Ecologia e Evolução - ICB

Docente dos Programas de Pós-Graduação em Genética, em Ensino de Biologia (PROFBIO) e

Promestre Educação e Docência

Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

adlane@ufmg.br

Resumo

Meiose e leis de Mendel são importantes para o entendimento da hereditariedade, mas observa-se que podem ser temas de difícil compreensão entre estudantes de ensino básico e superior. O objetivo deste estudo foi compreender como licenciandos de Ciências Biológicas de uma universidade pública entendem a meiose no contexto da genética mendeliana e se apresentam concepções alternativas sobre o tema. Para tal, uma aula na qual os estudantes realizaram uma discussão a partir de uma tarefa de diagramação da meiose foi gravada e transcrita. Estabeleceu-se categorias a priori baseando-se em concepções alternativas sobre meiose descritas na literatura. Os resultados foram interpretados à luz da literatura, no sentido de avaliar porque erros conceituais nessa área de conhecimento são persistentes. As concepções alternativas observadas envolveram a conexão do processo de replicação com conceitos de loco e ploidia. Isso aponta uma dificuldade dos estudantes em relacionarem processos celulares e moleculares como célula, cromossomo, gene e DNA. Dada a importância da formação docente conclui-se que atenção deve ser dada pelo professor da licenciatura quanto à prospecção dos conhecimentos prévios dos licenciandos de forma a se identificar as concepções alternativas que estudantes possam ter e a busca de novas estratégias didáticas para lidar com o tema.

Palavras-chave: Concepções equivocadas. Divisão meiótica. Genética mendeliana. Diagramação de meiose. Estudante de Biologia.

Abstract

Meiosis and Mendel's Laws are important for the understanding of heredity, but these are subjects that can be difficult to understand among high school and undergraduate students. The aim of this study was to understand how Biology licentiate undergraduates from a public university of Brazil understand meiosis in the context of Mendelian genetics and whether their speeches indicate the presence of alternative conceptions. A class was analyzed in which students performed a discussion based on a meiosis diagramming task. To analyze the material, a priori categories were established based on alternative conceptions of meiosis often described in the literature. The results were analyzed, in order to assess why conceptual errors in this area of knowledge are persistent. The alternative conceptions that stood out in the analysis involved the connection of the replication process in meiosis with concepts of locus and ploidy. This points out a difficulty in relating cellular e molecular processes such as cell, chromosome, gene and DNA. Given the importance of teacher training, it is concluded that teachers should be aware of the importance of prospecting previous knowledge of undergraduates so to identify possible alternative conceptions and provide new didactic strategies to deal with the theme.

Keywords: Misconceptions. Meiotic division. Mendelian genetics. Diagramming of meiosis. Biology student.

1 INTRODUÇÃO

Este texto apresenta parte dos resultados de uma pesquisa de mestrado que teve como público-alvo estudantes de licenciatura de um curso de Ciências Biológicas de uma universidade pública federal do Brasil. De cunho qualitativo, esta pesquisa teve como objetivo conhecer os conceitos que os estudantes têm e como os usam para entender um processo celular, a divisão meiótica, e sua relação com a genética mendeliana. O estudo foi gerado a partir da análise de discussões em torno de uma tarefa de diagramação desenvolvida em uma disciplina do curso.

A genética é uma disciplina obrigatória na maioria dos cursos superiores ligados às áreas da Saúde e Ciências Biológicas. Dentre vários fatores, a subjetividade e a complexidade dessa disciplina contribuem para o surgimento de dificuldades no entendimento de conceitos e processos essenciais na área. Um dos conteúdos que tem sido avaliado como de difícil compreensão por estudantes é a meiose que, embora seja um conteúdo com bases muito bem estabelecidas no seu entendimento desde o início do século XX quando sua teoria foi formulada (SANTOS *et al.*, 2015), apresenta vários termos abstratos e complexos. Tais termos estão presentes nas características do processo como um todo, por exemplo: no comportamento dos cromossomos ao longo de suas divisões, *crossing over*, segregação independente dos genes, entre outras. Assim, a meiose é bastante complexa, pois apresenta uma densa terminologia para as fases e estruturas além de possuir vários mecanismos moleculares subjacentes (KNIPPELS, 2002). Trabalhos recentes, e também mais antigos, relatam uma distância entre o que é ensinado sobre meiose e o que os estudantes realmente compreendem deste processo (GIL; FRADKIN & CASTAÑEDA-SORTIBRÁN, 2018; LEWIS; LEACH & WOOD-ROBINSON, 2000; LONGDEN, 1982; NEWMAN; CATAVERO & WRIGHT, 2012; WRIGHT & NEWMAN, 2011). Como muitas vezes entender um conceito básico é requerimento para o avanço nos estudos é importante que se certificar de que seja ensinado e aprendido de forma mais correta possível.

No âmbito da educação científica, o termo *misconception* (em inglês) é usado para indicar pensamentos e ideias compartilhadas por estudantes que não são consistentes com o conhecimento científico (YIP, 1998). Em português o termo se traduz como concepção errônea ou concepção equivocada, e tem sido alvo de muitas pesquisas em várias áreas, incluindo a Biologia (KUMANDAŞ; ATESKAN & LANE, 2018). Pode-se entender uma concepção equivocada como uma falha de compreensão na conexão de um conceito com vários outros ou entre novos e velhos conceitos presentes na mente de estudantes, de forma que um conceito possa ser formado incorretamente (SUPRAPTO, 2020). No entanto, a denominação *misconception* é criticada por autores como Santos (1991) que ressalta que ela apresenta uma conotação negativa para tratar os erros dos estudantes, já que eles seriam vistos como respostas estranhas, irrelevantes e evitáveis e não como interpretações alternativas para conceitos. Assim, o termo concepção alternativa (*alternative conception*) seria mais adequado já que as concepções podem ser conhecidas, compreendidas em sua lógica de raciocínio e utilizadas como ponto de partida para o ensino de Ciências. Na perspectiva das concepções alternativas, erros e acertos não precisam ser vistos como conceitos imutáveis e impedidores do estudante alcançar uma explicação científica. Acredita-se que o desenvolvimento conceitual dependeria de outros aspectos, se caracterizando como um processo de esforço contínuo, ativo e criativo desempenhado pelo estudante para reparar ou eliminar as falhas ao longo da aprendizagem (GILBERT & WATTS, 1983). A ideia de concepções alternativas também sugere diferenças qualitativas entre as representações dos estudantes e os conceitos científicos. Mesmo que o

surgimento da concepção alternativa esteja ligado a um processo espontâneo, no início, o valor significativo da concepção alternativa é isolado e, progressivamente, torna-se mais geral e complexo. Sua construção ocorre do prolongamento de ideias prévias para concepções cada vez mais lógicas e coerentes para o estudante (SANTOS, 1991, p. 96). Ao menos três origens prováveis de concepções não científicas sobre os fenômenos científicos são sugeridas nos estudantes (YIP, 1998; LARKIN, 2012; KUMANDAŞ; ATESKAN & LANE, 2018; SUPRAPTO, 2020): 1) Concepções como fruto de uma experiência cotidiana que são trazidas pelos estudantes para a sala de aula; 2) Interpretações particulares dos estudantes durante a aula do professor; 3) Concepções alternativas propagadas por professores e eventuais erros presentes em livros didáticos. Concepções alternativas são tenazes, como afirma Viennot (1979), porque resistem à educação formal, podendo reaparecer mesmo após o estudante dar sinais de superação da dificuldade com o conceito científico. Reconhecer a origem da questão é de fundamental importância para se introduzir posturas que levem a uma melhor significância do ensino-aprendizagem.

Vários trabalhos relacionados com análise de diagramações do processo da meiose, produzidas por estudantes, avaliam a ocorrência e as consequências do aparecimento de concepções alternativas para aprendizagem (BROWN, 1990; KINDFIELD, 1991; GIL; FRADKIN & CASTAÑEDA-SORTIBRÁN, 2018; WRIGHT & NEWMAN, 2011). Nesses estudos, considera-se que os acertos que estudantes alcançam em tarefas escolares, embora positivos em avaliações, podem não representar uma aprendizagem significativa do conteúdo. Ademais, a resolução de tarefas, muitas vezes, é executada de forma mecânica, contribuindo para estas observações. Logo, se os mesmos estudantes fossem avaliados de outra maneira, possivelmente, teriam dificuldades em discorrer sobre o mesmo assunto (BARNI, 2010). Por exemplo, Longden (1982) entrevistou graduandos bem avaliados academicamente no curso de Biologia, mas que enfrentavam dificuldades em Genética. Em determinada entrevista, um estudante demonstrou que havia conseguido compreender mitose e meiose quando diagramadas, mas, quando questionado sobre estas divisões, o mesmo estudante se mostrou muito confuso para responder a certos detalhes importantes. Isto evidenciou na pesquisa o que o autor indica como os dois tipos de aprendizado no contexto da Genética: o mecânico, que é aquele em que estudante memoriza os estágios da meiose e o aprendizado significativo, aquele no qual o estudante entende o processo e função.

Alguns conceitos de genética podem sofrer influência das experiências cotidianas. O trabalho de Lewis (2004) apresenta um destes exemplos. A pesquisadora explorou a questão da natureza das concepções alternativas no contexto do senso comum. Ela realizou sua pesquisa fora do ambiente escolar, ou seja, em um ambiente neutro, porque sugeriu-se que o fato dos estudantes estarem na escola, seria um impeditivo para se extrair dos entrevistados explicações mais pessoais ou cotidianas do termo *gene*. Os resultados do estudo apontaram que os estudantes produzem novos significados para explicar fenômenos científicos. A título de exemplo, os estudantes conceituaram o gene no contexto da herança biológica baseando-se nos princípios do direito sucessório de bens e patrimônios, mostrando a forte influência cultural nesta conceituação.

Heim (1991) também discute concepções alternativas e senso comum. O autor informa que os conteúdos de genética sobre dominância e recessividade são frequentemente mal interpretados, de modo que ele considera que o senso comum influencia de alguma maneira os conceitos envolvendo estes dois termos. Este pesquisador relata que os estudantes acreditam que o alelo dominante apresenta características de ser o mais poderoso em relação à sua contraparte recessiva. Este senso comum sobre o alelo dominante também apresenta outros desdobramentos, segundo o pesquisador. No contexto da biologia evolutiva, outros estudantes

do estudo também consideraram que o alelo dominante (*o mais poderoso*) seria o mais comum nas populações.

As dificuldades dos estudantes em genética podem ainda ser influenciadas pela organização geral do ensino e a formação dos professores. Lawson e Thompson (1988) observaram que os estudantes tiveram maior tendência em aplicar as ideias de Lamarck em previsões de heranças de características simples e passageiras, como cor do cabelo, e menor em previsões de características mais elaboradas e permanentes, como a amputação das falanges. A teoria da herança dos caracteres adquiridos, segundo os pesquisadores, pode ser desenvolvida pelos estudantes antes do ensino formal. Dessa forma, eles admitem que os estudantes são menos propensos a desenvolver explicações próprias para fenômenos mais complexos que para eventos mais simples.

No presente trabalho pesquisou-se os tipos de conceitos que os estudantes usam para construir seus modelos mentais sobre os processos de divisão celular e sua relação com a hereditariedade. Nos interessou identificar erros dificultadores da compreensão do processo da meiose expressos nas falas dos estudantes por meio de concepções alternativas. Focamos especialmente na meiose como representação de um processo essencial para se entender a variabilidade genética e as leis de Mendel. Isto independe se falamos do ensino básico ou superior, pois há relatos indicando que o problema dos estudantes com este conteúdo é antigo, mas ocorre na atualidade (BROWN, 1990; GIL; FRADKIN & CASTAÑEDA-SORTIBRÁN, 2018; GUERRA *et al.*, 2020; KINDFIELD, 1991; WRIGHT & NEWMAN, 2011). Estas observações são um desafio para o ensino de genética de maneira geral. Em um estudo anterior, que fez parte desta pesquisa, diagramas de meiose de licenciandos em Ciências Biológicas nos últimos anos de formação, foram analisados e os resultados quantitativos observados apontaram para dificuldades em representar este processo de forma que fosse mostrado uma compreensão do ciclo e sua relação com a genética (GUERRA *et al.*, 2020). Desta forma, no presente trabalho a avaliação qualitativa de falas de estudantes com o mesmo perfil foi escolhida como uma maneira de aprofundar nos resultados previamente observados e trazer luz à questão de porquê persistem erros na representação e entendimento sobre a meiose mesmo com a repetição deste conteúdo desde o ensino básico até o superior (inclusive em diferentes disciplinas) e esforços de desenvolvimento e aplicação de muitos materiais didáticos temáticos.

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS: CONTEXTO E SUJEITOS DA PESQUISA

O presente estudo foi realizado tendo como sujeitos estudantes da disciplina Laboratório de Ensino de Genética do curso de licenciatura de Ciências Biológicas de uma universidade federal brasileira. Esta disciplina é optativa e podem se matricular os estudantes que estão cursando os períodos finais do curso de Ciências Biológicas e que já tenham cursado as disciplinas obrigatórias de Genética. A aula acompanhada pelos pesquisadores abordava o assunto meiose e as leis de Mendel. É nessa aula que os estudantes são avaliados sobre seu conhecimento anterior relacionado ao tópico de meiose e o potencial do material apresentado a eles para uso na docência do ensino médio. A professora coordenadora da disciplina observou, por muitos anos, o comportamento de seus alunos com relação às dificuldades que eles apresentavam sobre os conceitos de genética relacionados a esse tema (A. Vilas-Boas, comunicação pessoal). Diante disso, e dos resultados de um estudo quantitativo sobre os erros cometidos por alunos com o mesmo perfil em tarefas escolares de diagramação do processo da

meiose coletadas entre 2014 e 2018 (GUERRA *et al.*, 2020), os pesquisadores buscaram, numa abordagem qualitativa, aprofundar em suas análises os conceitos de genética em sala de aula.

A abordagem da pesquisa é de natureza qualitativa e envolveu a realização de coleta dos dados durante aula sobre meiose e leis de Mendel. O convite para participar da pesquisa foi feito à classe, sendo o termo de consentimento livre e esclarecido apresentado aos estudantes. Todos os 15 estudantes presentes aceitaram participar da pesquisa, permitindo também a gravação da voz e a filmagem de suas atividades. Câmeras foram posicionadas estrategicamente na sala de aula e gravadores distribuídos entre os grupos de estudantes, que se reuniram para uma tarefa com objetivo colaborativo no qual componentes dos grupos discutiriam entre si a produção da diagramação do processo da meiose. Os pesquisadores também utilizaram bloco de notas para auxiliar em sua coleta de dados e observações. As falas dos sujeitos foram transcritas e analisadas de modo a observar a presença de concepções alternativas durante o desenvolvimento da atividade. Amparados pela análise de conteúdo de Bardin (2011), seguiu-se três fases que incluíram a pré-análise, exploração do material transcrito e tratamento dos resultados, com inferência e interpretação dos dados à luz da literatura. Para a análise, estabelecemos categorias *a priori* baseando-se em algumas concepções alternativas em torno do tema descritas frequentemente na literatura: locos heterozigotos; locos ligados; replicação; sinapse e *crossing over*; disjunção; ploidia; e processo de divisão (GIL; FRADKIN & CASTAÑEDA-SORTIBRÁN, 2018; LEWIS; LEACH & WOOD-ROBINSON, 2000; LONGDEN, 1982; NEWMAN; CATAVERO & WRIGHT, 2012; WRIGHT & NEWMAN, 2011; GUERRA *et al.*, 2020). Esta metodologia consistiu, desta forma, em reunir um grupo de elementos sob um título genérico em razão das características apresentadas (BARDIN, 2011, p.147). Os códigos que emergiram após leitura e análise das transcrições permitiram criar subcategorias dentro das categorias pré-estabelecidas. Extratos de falas que representam concepções alternativas dos estudantes sobre o processo da meiose e leis de Mendel foram destacados e analisados. Padronizou-se em nomear os participantes da pesquisa com letras e números (**E1**, **E2** etc. –para estudantes- e a professora **P**). A aula durou aproximadamente 2h e 30min e apresentou três momentos.

O início do primeiro momento da aula foi marcado pela orientação da professora para a primeira tarefa a ser executada individualmente e sem consulta. Foi pedido que cada estudante diagramasse, em uma folha de papel, o processo da meiose partindo de uma célula contendo três pares de cromossomos, apresentando três locos em heterozigose, sendo dois deles em ligação. Foi indicado que não era preciso registrar as fases ou nomes das estruturas celulares da divisão. Porém, demonstrar a relação da meiose com a produção de gametas carregando alelos, conforme o enunciado, era fundamental na resposta. As dúvidas sobre o enunciado do problema foram esclarecidas pela própria professora e, em 10 minutos, os estudantes tiveram que concluir a primeira parte da aula, ou seja, a diagramação da meiose e da formação de gametas.

No segundo momento, a professora pediu que a classe se organizasse em três grupos com cinco componentes cada (grupo I, II e III). A professora solicitou que a tarefa fosse refeita com os colegas, e que fossem debatidos os acertos e erros daquela diagramação individual para construção de um novo desenho da meiose em conjunto. Neste momento, câmeras filmadoras e gravadores foram acionados e teve início a anotação das atividades e comportamentos dos alunos e professora em um bloco de notas. A professora atuou na orientação da diagramação, visitando cada grupo repetidas vezes para instigar os estudantes a pensarem nos conceitos de genética, certos ou errados, presentes na divisão meiótica.

O último momento da aula teve início à medida que os grupos foram encerrando as tarefas. Dos três grupos, dois rapidamente passaram à seguinte atividade, sendo que um grupo

gastou quase o dobro do tempo para a conclusão da diagramação. Em seguida, os estudantes fizeram uma atividade denominada *Meiose no Papel* (disponível no Portal do Professor-MEC). Todos os grupos concluíram a atividade com pouca ou nenhuma interferência direta da docente. A aula foi encerrada com uma discussão sobre a proposta da aula e os pontos fortes e fracos da atividade *Meiose no Papel* como estratégia de ensino em sala de aula para o ensino médio.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresenta-se nesta seção a análise de extratos de falas explicitados durante as aulas, mais especificamente, dos momentos II e III, quando os estudantes realizaram a atividade de diagramação *Meiose no Papel* e discutiram os conceitos de meiose e a relação com as leis de Mendel. No início da discussão foi pedido que os estudantes descrevessem seu trabalho individual de diagramação da meiose feito anteriormente (momento I).

O interesse dos pesquisadores era observar se, ao longo do desenvolvimento desta tarefa colaborativa, havia erros dificultadores da compreensão do processo da meiose expressos nas falas dos estudantes por meio de concepções alternativas. A escuta das falas de todos os integrantes dos três grupos foi feita, as falas foram transcritas e os extratos de falas mais elucidativos da presença de concepções alternativas foram destacados (são apresentados na seção a seguir). Tais extratos revelam erros conceituais relevantes para a resolução da diagramação da meiose, muitos deles já presentes em trabalhos de diagramação de meiose realizados por turmas anteriores, como relatado por Guerra *et al.* (2020).

Com base nos principais erros observados na literatura sobre a diagramação do processo da meiose realizada por estudantes (GIL; FRADKIN & CASTAÑEDA-SORTIBRÁN, 2018; LEWIS; LEACH & WOOD-ROBINSON, 2000; LONGDEN, 1982; NEWMAN; CATAVERO & WRIGHT, 2012; WRIGHT & NEWMAN, 2011; GUERRA *et al.*, 2020), optou-se pela análise de concepções alternativas que, por ventura, ocorressem nas discussões gravadas entre estudantes e professora sobre: locos heterozigotos; locos ligados; replicação; sinapse e *crossing over*; disjunção; ploidia; e processo de divisão.

No Quadro 1 estão indicados os extratos de falas aqui discutidos, relacionando-os com as categorias que, pela literatura, sabe-se serem passíveis de concepções alternativas no tema divisão celular. Cada categoria apresenta uma ou duas subcategorias, que emergiram no processo de análise das transcrições.

Quadro 1: Categorias de concepções alternativas sobre ciclo celular e suas representações nas falas dos estudantes.

Categorias <i>a priori</i> passíveis de concepção alternativa	Temas das subcategorias	Representações de falas
Locos heterozigotos	Homologia dos cromossomos	Extrato 3 (grupo I)
	Alelos dominantes e recessivos	Extrato 3 (grupo I)
Locos ligados	<i>Crossing over</i>	Extrato 10 (grupo I)
	Alelos dominantes e recessivos	Extrato 10 (grupo I)
Replicação	Cromossomo como xizinho	Extrato 3 (grupo I); Extrato: 6 (grupo I); Extrato 2 (grupo I)

Sinapse e <i>crossing over</i>	Homologia dos cromossomos	Extrato: 8 (grupo I)
	Alelos ligados	Extrato 10 (grupo I)
Disjunção	Comportamento dos cromossomos	Extrato: 9 (grupo I); Extrato 3 (grupo I)
Ploidia	Multiplicar, somar, dividir	Extrato 1 (grupo III); Extrato 2 (grupo I)
	Cromossomos simples e duplos	Extrato 5 (grupo I), Extrato: 7 (grupo I); Extrato 4 (grupo II)
Processo de divisão	Comportamento dos cromossomos	Extrato 1 (grupo III); Extrato 3 (grupo I); Extrato: 2 (grupo I)
	Produtos da divisão	Extrato 1 (grupo III); Extrato 3 (grupo I)

Fonte: Elaborado pelos autores.

Apresentaremos a seguir a transcrição e análise dos extratos de fala 1 a 10 explicitando as ideias emergentes nas subcategorias. É importante frisar que a análise deixa evidenciado que um mesmo extrato se relaciona com diferentes categorias de concepções alternativas e temas das subcategorias.

Identificamos na fala do estudante (E1), ao descrever sua diagramação, a compreensão do número correto da ploidia da célula inicial. No entanto, a explicação dos passos seguintes da diagramação demonstra que ele não compreendeu bem os processos que alteram a quantidade ou modificam a estrutura dos cromossomos na meiose.

E1: “primeiro eu coloquei a célula normal, $2n$, seis cromossomos e aí depois, e aí depois começou a bagunça, porque eu fiquei sem entender direito, porque tem aquela questão primeiro multiplica, depois divide, depois soma. Aí eu fui, depois coloquei, depois eu coloquei uma célula como se ela tivesse multiplicado com dois cromossomos só que aí nisso, eu já passei direto para ela formando os gametas. Que são quatro, formando quatro e aí o que eu fiquei mais em dúvida é tipo assim, não sei não lembro, tipo assim como é que vai o cromossomo e vai para o gameta (...)”

Extrato 1 (grupo III)

Verbos comuns do vocabulário da matemática estão presentes na fala de E1: multiplicar, dividir, somar. A presença destes termos pode trazer alguma confusão com o processo biológico, porque, embora a meiose implique numa multiplicação celular biologicamente falando, linguisticamente, talvez, isto não faça sentido. De qualquer forma, E1 entendeu a configuração dos produtos da meiose ainda que não tenha demonstrado como se dá o processo. Longden (1982) sugere que a linguagem genética é muito lógica e precisa, tal como é a matemática, devido à adoção de muitas regras e convenções no uso dos diferentes símbolos do vocabulário genético. Desse modo, é compreensível que alguns estudantes de biologia apresentem dificuldade em compreender seus tópicos. Além dos verbos citados por E1, o tópico da meiose em si incorpora muitos elementos da matemática como a duplicação, divisão, permuta etc. Já foi reportado que termos contraditórios como dividir, replicar, copiar, compartilhar, separar, reproduzir e multiplicar confundem os estudantes (LEWIS *et al.*, 2000).

Na duplicação dos cromossomos está implícita a duplicação do material genético pelo processo molecular de replicação. Por exemplo, um dos principais livros didáticos da ementa de disciplinas de genética, o livro de Snustad e Simmons (2017), traz o termo duplicação no capítulo de reprodução celular, mas menciona replicação no capítulo onde se lida com síntese do DNA. Embora duplicação e replicação apresentem o mesmo sentido na genética, o termo duplicação remete mais à matemática que o termo replicação. Por causa disso, consideramos que muitos estudantes também estejam desenvolvendo concepções alternativas devido às associações realizadas com as operações matemáticas e os eventos de síntese e segregação de DNA que ocorrem durante a divisão celular. Portanto, a replicação/duplicação pode representar um fator dificultador para o entendimento do processo da meiose. Numa abordagem quantitativa de análise de diagramação da meiose, viu-se que estudantes também deixaram de representar a etapa de replicação/duplicação no processo mesmo após uma revisão do tema com o uso de uma atividade didática (GUERRA, 2019).

Ainda no extrato 1, E1 informou que preferia diagramar os produtos finais sem expor o processo da meiose. Podemos inferir que esta apresentação simplificada da meiose esteve também relacionada com sua confusão com os eventos sobre a alteração da quantidade ou estrutura do material genético. Comportamento semelhante a este, para tentar resolver a equação da divisão celular, foi observado no trabalho de Ozcan, Yildirim e Ozgur (2012) em uma universidade da Turquia. A maioria dos estudantes de biologia do referido estudo sabia que antes da divisão ocorre a duplicação do DNA, porém não conseguiram explicar na mitose o fato de que ao final do processo os produtos devem permanecer os mesmos da célula parental. As análises de diagramações do processo da meiose realizado por Guerra (2019) indicaram que a representação correta da ploidia final ocorreu em 61,6% de 219 diagramações analisadas, mas apenas em 25,5% delas foi apresentado o processo corretamente. Enquanto essas informações podem não significar que esses estudantes não entendam o processo (já que foram omitidos eventos importantes nas diagramações), no caso de E1 podemos sugerir que sua confusão com os processos que ocorrem durante a meiose possa tê-la levado à representação direta dos produtos finais.

Com relação à representação pictórica do material cromossômico, outro estudante mostra um possível obstáculo para racionalizar como um cromossomo simples (chamado de “pauzinho”) passaria pelo processo de duplicação.

E2: “é porque então de alguma forma é, porque assim, não tem como né? É o que vai acontecer, não tem como um pauzinho, do nada, virar outro pauzinho sem antes ele desespiralizar... é, duplicar e depois virar o outro pauzinho. Esta é a minha questão, porque se eu pulo de cá para cá, cadê a parte que ele desespiraliza, copia e vira um pauzinho?”

Extrato: 2 (grupo I)

Na fala desse estudante, percebemos que existe não somente uma dificuldade de visualização do processo de replicação como também uma desconexão entre conteúdos moleculares e celulares. Desespiralizar e espiralizar são conceitos subjacentes à visualização microscópica dos cromossomos e, muitas vezes, são usados para auxiliar na denominação das fases das divisões celulares. Aqui, o estudante consegue perceber que por trás desse evento microscópico existe um complexo processo molecular que envolve a reestruturação da cromatina. Pela fala de E2 entendemos que há uma desconexão dos subprocessos e a meiose, e isto pode ter relação com a dificuldade de estudantes estabelecerem relação entre os termos célula, cromossomo, gene e DNA. Esta desconexão, no estudo de Quinn; Pegg e Panizzon (2009), foi observada em uma entrevista em que um estudante descreve as cromátides como

sendo DNA nuclear de cadeia simples, mas se perde no raciocínio quando as perguntas cobram o número de cadeias de DNA de um cromossomo simples e duplicado.

Geralmente, os conteúdos de metabolismo dos ácidos nucleicos e os tipos de divisões celulares são aplicados em aulas diferentes, quando não, em disciplinas diferentes. Além do mais, as aulas de biologia molecular que seguem livro didático, frequentemente, abordam a síntese de DNA primeiro que a síntese de RNA e proteínas. Qual seria a lógica disto? Qual seria a melhor sequência didática? Seria aquela que sabe respeitar uma suposta ordem transcrição, tradução e replicação? Ou o melhor seria a didática do professor que trabalha do micro ao macro (apresenta primeiros os processos moleculares e depois os celulares)? De toda forma, Knippels (2002, p. 24-38) lembra que “a fragmentação dos conteúdos contribui para a natureza abstrata da Genética” e isto deve ser levado em consideração pelo docente nas suas escolhas didáticas.

A título de exemplificação, reproduzimos, na figura 1, um erro comum observado em diagramas (GUERRA, 2019) no qual o estudante apresenta a duplicação de cromossomos simples seguida de junção dos cromossomos homólogos simples, formando cromossomos duplos heterozigotos. Nestes casos, subte-se que não há entendimento sobre a replicação a partir de uma fita de DNA formando uma fita igual, representadas por alelos iguais nas duas cromátides do cromossomo duplo recém-formado.

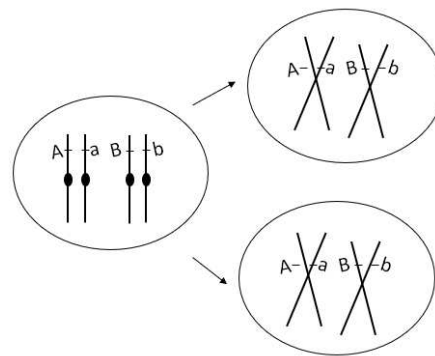


Figura 1 - Erro comum de diagramação de passos da meiose em que os cromossomos homólogos com diferentes alelos são representados após duplicação como se fossem heterozigotos.

No extrato a seguir, é possível identificar duas concepções alternativas diferentes provenientes deste tipo de erro.

P: por que que você não desenhou... por exemplo, você tinha desenhado aqui essa fita, os palitinhos aqui em cima ó: azão bezão, azão bezão, azinho bezinho, e azinho bezinho. Por que que você não juntou azão bezão com azão bezão para fazer o xizinho e, sim, você juntou azão bezão com azinho bezinho para fazer o x?

E3: eu entendi o que você perguntou, mas o que tava na nossa cabeça é como se tivesse juntado os que são homólogos. Só que nessa coisa, só que aqui, só juntaria os que são homólogos quando tem a fusão dos gametas.

E4: mas aqui é porque fica heterozigoto dessa forma, né?

Extrato: 3 (grupo I)

Os componentes do grupo tinham em mente que a fusão dos gametas, isto é, a fertilização do gameta masculino com a célula ovo, daria a função heterozigota à célula. No entanto, o

conceito de heterozigose está ligado aqui ao conceito de cromossomos homólogos. A concepção alternativa de E3 é que a representação dos cromossomos como um X se deve ao fato de serem homólogos. Essa ideia de E3 já foi documentada na literatura por Kindfield (1991) que identificou este erro em várias diagramações do processo de fertilização produzidas por estudantes universitários; eles representaram duas células gaméticas, uma com informação genética A , e outra com informação genética a e esses dois gametas se uniriam na representação esquemática para originar uma célula identificada como $2n$ e composta por apenas um cromossomo com informação genética A/a . Segundo Quinn; Pegg e Panizzon (2009), são muito comuns entre os estudantes estas concepções alternativas que giram em torno da formação dos homólogos, das diferenças entre homólogos e cromossomos replicados, e sobre a separação de cromossomos homólogos mantendo o genoma completo ao final da meiose. Estes pesquisadores extraíram trechos de entrevistas de alguns estudantes que denominaram cromossomos homólogos como sendo cromossomos duplicados e, dentre as razões desta ambiguidade, apontaram a resposta de um estudante que não via diferença entre os termos homólogo e irmã (de cromátide-irmã), afirmando que os DNAs das estruturas são sempre idênticos.

Já a fala de E4, contextualizada com o apontamento no desenho do cromossomo duplicado, indica que o estudante entendeu que, ao ser duplicado, o cromossomo, simbolizado pelo X , possibilitaria chamar essa célula de heterozigota, representando os diferentes alelos nas duas cromátides. Não foi encontrada na literatura consultada menção à concepção alternativa sobre a ideia apresentada por E4, ou seja, a heterozigose surgindo na replicação do cromossomo. Por outro lado, em 28 de 219 diagramações de estudantes desta mesma disciplina (GUERRA, 2019) foram representados cromossomos duplicados formados por cromátides homólogas. Esse problema não foi identificado em trabalhos de outros autores, mas apareceu em 10% da amostragem desse nosso estudo anterior. É plausível que muitos estudantes que produziram aqueles diagramas partilhem da concepção que E4 pareceu ter. É interessante notar que esta concepção não seria percebida caso o enunciado da diagramação não solicitasse a representação dos locos. A grande importância da representação dos locos com as letras maiúsculas e minúsculas nesta tarefa é a conexão entre os conteúdos de genética e a biologia celular, porque o estudante precisa utilizar seus conhecimentos sobre comportamento e estrutura dos cromossomos durante a divisão e aplicá-los nos termos da genética. Todavia, muitos pesquisadores que estudam diagramações de divisão celular focam suas análises mais nas características de biologia celular que propriamente de genética, ou seja, não observam a representação de locos nos diagramas (DIKMENLI, 2010; GIL; FRADKIN & CASTAÑEDA-SORTIBRÁN, 2018; WRIGHT & NEWMAN, 2011). Como os dois conteúdos, biologia celular e genética, estão muito relacionados entre si, é importante atribuir neste tipo de tarefa a representação dos locos.

O vocábulo genético utilizado para representar os locos (A/a) é apresentado aos estudantes durante as aulas sobre as leis de Mendel. Historicamente, a genética Mendeliana é ensinada usando a lógica e cronologia dos estudos de Mendel seguidos pela Teoria Cromossômica da Herança. Muitas vezes, por simplificação, o professor não volta ou não introduz a ideia da localização cromossômica dos alelos. Para resolver exercícios de probabilidade de herança, o quadrado de Punnet segue sendo uma ferramenta muito explorada neste tópico. Mas é possível que o quadrado de Punnet influencie os estudantes a desenvolverem novas concepções alternativas? É clara a relação de alelos e segregação dos cromossomos com essa abordagem ou ela segue sendo um apoio que os estudantes usam mecanicamente? Cho; Kahle e Nordland (1985) criticam o uso do quadrado de Punnet em aulas de genética, porque as combinações dos alelos são alcançadas por sorteios independentes e a

informação mais importante sobre os dois caracteres controlados por um par de alelos em cromossomos separados, fica apenas subentendida nas explicações.

No ensino da biologia celular costuma-se caracterizar todas as etapas de compactação do DNA na divisão celular. Desse modo, a definição de cromossomos no âmbito dessa disciplina refere-se unicamente às estruturas que estão no grau máximo de compactação da cromatina e bastante identificáveis ao microscópio. Na genética os cromossomos são representados, muitas vezes, de maneira mais simples em desenhos da divisão celular. Por exemplo, no vocabulário genético, costuma-se nomear o material genético presente na prófase I como cromossomo e o processo que ocorre na fase S, como duplicação cromossômica. Esta generalização do termo cromossomo também ocorre entre professores e estudantes, mas o pensamento parte da ideia que ele seja uma estrutura formada por duas cromátides-irmãs (KINDFIELD, 1991). Embora exista este tipo de pensamento na genética, esta generalização parece trazer confusão aos estudantes. Quinn; Pegg e Panizzon (2009) apontam a persistência na confusão da conceituação entre os termos cromossomo e cromátide. Nesse estudo, uma estudante que participou da pesquisa diz nunca ter entendido a diferença entre cromossomo e cromátide, pois seus professores do ensino básico usavam a mesma palavra para designar o material genético antes e depois da replicação. No extrato 4 do nosso trabalho (abaixo), a discussão se passou no momento da representação dos cromossomos na célula inicial da diagramação. O cromossomo nesse estágio deve ser representado como uma estrutura simples.

P: é curioso que o outro grupo tá tendo dúvidas semelhantes, mas em outro lugar, porque é (...) a minha pergunta seria, por que que os cromossomos estão é (...) um xizinho lá no início, lá na primeira célula, por que vocês colocaram desse jeito?

E5: porque a gente consegue identificar a célula assim no microscópio.

P: então, assim no microscópio, vocês já viram estas células no microscópio? O cromossomo no microscópio?

E5: já, uma célula diploide fica desse jeito.

Extrato: 4 (grupo II)

Baseado nas suposições de generalizações do vocabulário da genética sobre o cromossomo, apontamos o estudante E5 que afirmou já ter visto o cromossomo no microscópio e, por isso, tinha uma imagem de estrutura cromossômica pré-formada (em ‘xizinho’). Isto acaba corroborando com esta suposição sobre a visão generalista utilizada no vocabulário genético. A concepção alternativa que E5 apresentou sobre a estrutura dos cromossomos, possivelmente, é enraizada nas suas experiências como estudante, leitura de material didático, instruções de professores e conhecimento prévio. Ele relacionou a ploidia à presença de cromossomos duplicados na célula. Segundo Trandredi e Caballero (2011) considerar o conhecimento prévio do estudante contribui para construção de uma aprendizagem significativa e crítica. Utilizar diferentes ferramentas de ensino que ofereçam condições de aprendizagem e que levem em conta experiências anteriores pode ajudar na construção do conhecimento do estudante, já que isto permite maior reflexão sobre o conteúdo e sua própria aprendizagem.

Relacionado ainda à representação inicial dos cromossomos, outro erro comum entre os estudantes é a conceituação de ploidia. Um estudante expôs sua dificuldade sobre a duplicação cromossômica. O extrato a seguir mostra a concepção alternativa de E6 para a ploidia.

E6: não sei. Eu entendi que o n era cromossomo e daí, tipo, se é 2, ou não é, ser duplicado o cromossomo, ser duplicado ou não. É isto que me confunde.

P: como é que é? Repete.

E6: por exemplo, o n seria como, não... eu acho que eu tou confundindo. Eu pensei que o n seria como se fosse a quantidade de cromossomos e o dois seria o cromossomo, tipo, ser duplicado ou não, isso que me confunde.

Extrato: 5 (grupo I)

Pela fala de E6, inferimos que o conceito que o estudante tem sobre ploidia confunde-se com o que ele identifica como estrutura de um cromossomo, isto é, para E6, n são os cromossomos simples e $2n$, os cromossomos duplos. Esta concepção alternativa apresentada por E6 foi sugerida na análise de diagramas realizada por estudantes no trabalho de Kindfield (1991) no qual determinado estudante diagramou a meiose indicando como sendo $2n$ todas as células que continham moléculas de DNA formadas por duas cromátides-irmãs e n , as moléculas formadas apenas por cromossomos simples.

Haploide e diploide são termos elementares da genética e apresentados para o estudante durante o ensino médio e retomados no ensino superior com menos profundidade. É possível que muitos professores do ensino superior suponham que seus alunos já tenham aprendido toda essa terminologia básica da genética antes do ingresso à universidade. No entanto, alguns pesquisadores apontam que o vocabulário genético é muito extenso e complexo (KNIPPELS, 2002; LONGDEN, 1982) e o professor tem que estar atento para esclarecimentos mesmo em conteúdos previamente ensinados. Para se entender, por exemplo, o conceito de ploidia, o estudante precisa conhecer o significado de outros termos da genética como cromossomos, homologia, alelos, genes etc. Desse modo, é compreensível que o estudante possa chegar no ensino superior com dificuldades em genética, seja porque ele tenha interpretado mal os conceitos ou por não ter compreendido a genética, ou mesmo, o professor tenha propagado concepções alternativas (YIP, 1998; LORBIESKI; RODRIGUES & GRÉGIO D'ARCE, 2010; SUPRAPTO, 2020).

Professores pouco preparados em termos de conteúdo e atualização podem contribuir por alimentar o ciclo de equívocos dos estudantes sobre os conceitos científicos de genética (YIP, 1998), seja ao apresentarem ideias não compatíveis com as científicas ou organizarem conhecimentos de modo que dê margem para os estudantes realizarem outras interpretações durante as aulas, que não as almejadas. Dificuldades em genética não resolvidas no ensino básico ou no ensino superior podem ter consequências na futura atuação profissional do licenciando. Assim, é essencial que existam pesquisas que se proponham a levantar e compreender concepções alternativas de estudantes sobre genética e a partir daí, promover formas/metodologias para trabalhar os conceitos centrais desta área de conhecimento, tanto na educação básica, quanto no ensino superior, de modo a favorecer a sua aprendizagem.

Os quatro extratos a seguir (extratos 6, 7, 8 e 9) foram transcritos de um grupo em quatro momentos diferentes da aula. A análise das falas deste grupo nos possibilitou categorizá-las em diferentes itens de concepções alternativas. O extrato 6 foi obtido no início da diagramação em grupo, o extrato 7 no meio da produção da diagramação, o extrato 8 no final da diagramação, e o extrato 9, durante a atividade prática *Meiose no Papel*. Neste grupo todos os componentes participaram da discussão, mas E7 e E8 protagonizaram a discussão, trazendo mais elementos de concepções alternativas que os demais.

P: pois é, isso que vocês colocaram, o xizinho, significa o que? Por que que a gente representa o cromossomo com xizinho. O que que é isso?

E7: um da mãe e um do pai ligados.

Extrato: 6 (grupo I)

E2: aqui não tá duplicado no caso.

E1: aqui?

E2: aqui tá duplicado, tá um do lado do outro, duplicado.

E1: não, mas assim tá uma célula normal, seis cromossomos.

E2: não, a célula normal teria três cromossomos.

Extrato: 7 (grupo I)

P: não pode esquecer de pôr o centrômero não. Não! Aí parece que é ... você tá vendo que aqui são três cromossomos duplos? E aqui também?

E8: entendi... agora faz todo sentido.

P: ai que lindo (euforia e palmas).

Extrato: 8 (grupo I)

P: O que vocês estão fazendo?

E8: oi?

P: Pera aí, pera aí, pera aí!

E8: ahn?

E7: pode juntar não?

E8: a gente cruzou (risos)

P: não estou acreditando, nós tivemos aquela discussão inteira de (...)

E7: ah não, a gente juntou para ver como ficou a questão genética dele.

P: mas não junta não.

E7: mas aí a gente está juntando só a questão do cromossomo, porque no caso ele só fica assim juntos, aliás separados no caso.

Extrato: 9 (grupo I)

Nos quatro extratos, observa-se que a questão girou em torno da estrutura do cromossomo com os componentes do grupo tendo muita dificuldade em compreender a representação da estrutura do cromossomo não replicado e replicado no processo da meiose. Esta confusão sobre a estrutura cromossômica pode ter relação com um erro bem frequente, percebido no estudo de Murtonen; Nokkala e Södervik (2018) em que os estudantes de biologia que participaram da pesquisa confundiram os conceitos de bivalentes e cromossomos duplicados nas diagramações de divisão celular.

No extrato 6, E7 mostrou que havia ilustrado, na célula inicial, cromossomos duplicados com a informação genética *A/a*. A explicação que ofereceu para a professora sobre a representação refere-se a origens parentais distintas destes. Sobre esta ideia, Newman; Catavero e Wright (2012) apontam que estudantes de biologia podem não transferir com sucesso o conhecimento sobre a estrutura do cromossomo para conceitos que envolvam informação genética. Estes pesquisadores observaram que 67% dos estudantes analisados entendiam que os cromossomos duplicados tinham que ser formados por duas cadeias de DNA; por outro lado, o fato de que cada cromossomo apresenta a informação genética de apenas um genitor foi compreendida por somente 33% dos estudantes daquele estudo.

A literatura ressalta que as concepções alternativas dos estudantes são pessoais e que são fortemente influenciadas pelo contexto do problema (SANTOS, 1991; VIENNOT, 1979). Neste caso, o extrato 6 traz uma explicação particular da estudante E7 sobre a estrutura do cromossomo (*“um da mãe e um do pai ligados”*). Já no extrato 7, a partir de alguns esclarecimentos da professora, este mesmo estudante apresenta outra explicação.

No caso específico deste grupo pode parecer que a atividade colaborativa, as explicações da professora e a atividade prática não tenham resultado em uma compreensão completa da meiose, porque alguns erros persistiram. No entanto, há que se considerar que a aprendizagem é um processo que não implica em resoluções imediatas de problemas e sim uma construção gradual de conhecimentos. Além disso, a abordagem prática desta aula trouxe inquietações e problematizações que desafiaram os estudantes a repensar suas explicações, o que é considerado um passo importante para uma aprendizagem significativa. A localização dos genes nos cromossomos e a relação de proximidade dos locos também foi explorada na atividade analisada.

Outro fato relativo às concepções alternativas é a resistência a mudanças por parte dos estudantes (MORTIMER, 1996; VIENNOT, 1979). Componentes do grupo I demonstraram ter entendido o processo da meiose quando finalizaram a diagramação com a professora (extrato 8), mas um estudante comete o mesmo erro durante a atividade *Meiose no Papel* (extrato 9). Os componentes deste grupo tiveram oportunidade debater sobre a diagramação da meiose por mais de uma hora, contaram com a ajuda da professora na discussão, leitura do roteiro da atividade *Meiose no Papel* e, ainda assim, mostraram dificuldades em compreender os aspectos estruturais do cromossomo na divisão que indicaram ter entendido os conceitos genéticos implicados no tema.

E3: Mas eu não entendi: sendo dois deles ligados.

E2: Eles, tipo assim, é só o risquinho, é que tá, ó, de boas fica a mais a, Azão azinho e tal. Ok tem como marcar isso aqui só que eu estou falando assim ... numericamente é que como ele estivesse separando eles inteiros e depois aqui que ele vai dividir...

...

E1: professora eu tava com uma dúvida na verdade quando eles são ligados. Quando eles são ligados, necessariamente tem que ser os dois dominantes? Ou pode ser azão e bêzinho e aí eles separam azão, bêzinho?

Extrato 10 – Grupo I

Neste extrato, a dificuldade de compreensão do conceito de ligação gênica foi explicitamente colocada por E3. No exercício aplicado, o aluno deveria representar 3 locos em 3 pares cromossomos sendo dois ligados, o que deixaria um par sem representação de um loco.

Esta é uma situação pouco comum nas ilustrações de livro texto e, por isso, pode se apresentar como um obstáculo para entendimento do conceito. A dúvida foi aparentemente sanada pelo(a) colega, mas, no mesmo grupo, E1, no entanto, apresentou à professora uma dúvida que mostra uma concepção alternativa sobre o conceito de ligação gênica relacionando com o fato dos alelos serem dominantes ou recessivos. Não está claro para E1 que a sequência de DNA contida nos cromossomos é que vai determinar os alelos dos locos em questão. Esta concepção errônea também se relaciona com a não compreensão do efeito da variabilidade gênica devido ao *crossing over*, ou seja, que gametas recombinantes podem ser criados a partir da permuta dos cromossomos resultando em arranjos em *cis* ou em *trans*.

4 CONCLUSÕES

A Genética é uma área da Biologia que teve muitos avanços tecnológicos e científicos nas últimas décadas sendo um grande desafio para o ensino em todos os níveis escolares. A escolha dos temas dentro do extenso conteúdo traz um desafio ainda maior para o ensino-aprendizagem e, muitas vezes, o tempo dedicado a temas de base para o entendimento de questões mais complexas não é suficiente. É de se entender que pouca atenção seja dada a conteúdos como divisão celular no ensino superior dada a grande demanda para se completar o programa cada vez mais extenso. Nossos dados reforçam ao professor de genética de nível superior que seus esforços possam ser avaliados no sentido de não apenas contemplar o tema de divisão celular como também modificar sua estratégia de ensino para articular a biologia celular com a genética de forma mais profícua. Entender quais dificuldades são comuns a estudantes deste nível e buscar quais os conhecimentos prévios e concepções alternativas dos seus próprios alunos podem ajudar para que seu plano de ensino aconteça de forma mais adequada.

Tarefas escolares realizadas em sala de aula em grupos que apresentam momentos de mediação e interação instigam os estudantes a repensarem acerca dos conceitos científicos trabalhados em contextos diferentes do estudado, possibilitando que o estudante realize inúmeras reelaborações conceituais e reavalie seus mapas mentais. Nessas atividades, é muito comum o professor observar linhas de raciocínio específicas entre os grupos ou similaridades de pensamentos no desenvolvimento da tarefa, mas de todo modo, como Moul, Bezerra de Sá e Leão (2019) apontam, em ambas as situações fica evidente a aprendizagem dos conceitos.

Como conclusão deste trabalho, apontamos de forma mais direta três principais concepções alternativas que observamos com este estudo com sugestões de ações que podem auxiliar professores do ensino superior e básico na construção de conceitos mais cientificamente embasados do tema meiose e genética mendeliana.

- A junção de dois cromossomos de origens distintas dá origem a um cromossomo duplo representado por um X. O professor pode explorar a representação da estrutura do cromossomo em X no sentido de evitar esse erro.

- Ploidia está relacionada com a forma simples ou duplicada dos cromossomos; o professor pode atentar para o uso qualificado dos termos divisão, multiplicação e soma, pois eles podem ser um entrave para o entendimento sobre a replicação dos cromossomos.

- Os termos heterozigotos e homólogos são equivalentes ou base para confusão. Embora o professor possa não ter ideia de que essa confusão ocorra, isso foi evidenciado pelo fato que o exercício pedia que os locos em heterozigose fossem representados. É, assim, importante que

se introduzam tarefas onde os locos sejam representados e os produtos sejam explicitados pois, assim, poder-se-á esclarecer a diferença de heterozigoto com homólogo dentro do processo de replicação dos cromossomos.

Além dessas concepções alternativas, ficou implícita a dificuldade de se relacionar processos celulares e moleculares como célula, cromossomo, gene e DNA. Seria aconselhável que sejam feitas correlações com outras disciplinas, trazendo à memória dos estudantes tais conceitos no novo contexto.

Foi visto que há dificuldades em diferentes aspectos da replicação do material genético no início da diagramação da meiose. O professor deve se atentar ao fato que a representação e conceito de cromossomo no âmbito da biologia celular e genética tem formas distintas, com complexidades diferentes (mais simples na genética) e isto pode levar a erros conceituais. Dessa maneira é importante que, quando possível, essas diferenças sejam apontadas pelo docente.

Ressaltamos, também, que o professor do ensino superior não deve superestimar o conhecimento do aluno nas disciplinas básicas de genética. Tanto a presença de conceitos errôneos quanto ausência de exposição a certos conteúdos poderão ter consequências no entendimento de conteúdos mais complexos. Assim, atenção deve ser dada quanto à prospecção dos conhecimentos prévios de forma a se entender as concepções alternativas que eles carregam. Larkin (2012) cita o prefácio do famoso livro de educação em psicologia de David Ausubel, que traz uma frase do autor onde este insiste que o mais importante no aprendizado é o que já existe no aprendiz, e que desta forma será possível que o docente possa ensinar de forma adequada.

O uso de material como a Meiose no papel, que foi desenhado para uso no ensino médio (e por isso é executada nesta disciplina optativa como alternativa para introdução à herança mendeliana) merece destaque, pois representa um material de baixo custo, simples exequibilidade e que pode resultar em ganhos cognitivos para o estudante de disciplinas básicas de genética.

REFERÊNCIAS

BARDIN, Laurence. Análise de conteúdo. São Paulo: Edições 70, 2011.

BARNI, G. S. A importância e o sentido de estudar Genética para estudantes do terceiro ano do ensino médio em uma escola da rede estadual de ensino em Gaspar (SC).

Dissertação de Mestrado Profissional em Ciências Naturais e Matemática - Universidade Regional de Blumenau, Blumenau. 2010. Disponível em:

<http://www.uniedu.sed.sc.gov.br/wp-content/uploads/2013/10/Graziela-dos-Santos-Barni.pdf>

BROWN, C. R. Some misconceptions in meiosis shown by students responding to an Advanced level practical examination question in biology. **Journal of Biological Education**, v. 24, n. 3, p. 182–186. 1990. Disponível em:

<https://doi.org/10.1080/00219266.1990.9655138>

BUMA, A.; NYAMUPANGEDENGU, E. Investigating teacher talk moves in lessons on basic genetics concepts in a teacher education classroom. **African Journal of Research in Mathematics, Science and Technology Education**, v. 24, n. 1, p. 92–104. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/18117295.2020.1731647>

CHO, H.-H.; KAHLE, J. B.; NORDLAND, F. H. An investigation of high school biology

textbooks as sources of misconceptions and difficulties in genetics and some suggestions for teaching genetics. **Science Education**, v. 69, n. 5, p. 707–719. 1985. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/sce.3730690512>

DIKMENLI, M. Misconceptions of cell division held by student teachers in biology: A drawing analysis. **Scientific Research and Essay**, v. 5, n. 2, p. 235–247. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.5897/SRE.9000654>

GIL, S. G. R.; FRADKIN, M.; CASTAÑEDA-SORTIBRÁN, A. N. Conceptions of meiosis: misunderstandings among university students and errors. **Journal of Biological Education**, v.53, n.2, p. 1–14. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00219266.2018.1469531>

GILBERT, J. K.; WATTS, D. M. Concepts. Misconceptions and Alternative Conceptions: Changing Perspectives in Science Education. **Studies in Science Education**, v. 10, n. 1, p. 61–98. 1983. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/03057268308559905>

GUERRA, L. F. G. **Análise das concepções sobre meiose e sua relação com conceitos genéticos em diagramas resolvidos por estudantes de licenciatura em ciências biológicas**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Biologia Geral, Belo Horizonte. 2019.

GUERRA, L. F. G.; RIBEIRO, C. R.; TAVARES, M. L.; VILAS-BOAS, A. Desenvolvimento de um método de análise de diagramas sobre meiose que auxilia avaliar erros de compreensão sobre a divisão celular. **Experiência em Ensino de Ciências**. v. 15, n. 3, p. 108-123. 2020. Disponível em: https://if.ufmt.br/eenci/artigos/Artigo_ID771/v15_n3_a2020.pdf

HEIM, W. G. What is a Recessive Allele? **The American Biology Teacher**, v. 55, n. 2, p. 94–97. 1991. Disponível em: <https://online.ucpress.edu/abt/article/53/2/94/14613/What-Is-a-Recessive-Allele>

KINDFIELD, A. C. H. Confusing chromosome number and structure: a common student error. **Journal of Biological Education**, v. 25, n. 3, p. 193–200. 1991. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00219266.1991.9655206>

KINDFIELD, A. C. H. Understanding a basic biological process: Expert and novice models of meiosis. **Science Education**, v. 78, n. 3, p. 255–283. 1994. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/sce.3730780308>

KNIPPELS, M.-C. P. J. **Coping with the abstract and complex nature of genetics in biology education - The yo-yo learning and teaching strategy**. Tese de doutorado. Proefschrift Universiteit Utrecht, Utrecht, The Netherlands. 2002. Disponível em: <https://dspace.library.uu.nl/bitstream/handle/1874/219/full.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

KUMANDAŞ, B.; ATESKAN, A.; LANE, J. Misconceptions in biology: a meta-synthesis study of research, 2000–2014. **Journal of Biological Education**. v.53 n.4, p. 1-16. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00219266.2018.1490798>

LARKIN, D. Misconceptions about “misconceptions”: preservice secondary science teachers’ views on the value and role of student ideas. **Science Education**. v. 96. n. 5, p. 1-33. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/sce.21022>

LAWSON, A. E.; THOMPSON, L. 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. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/tea.3660250904>

- LEWIS, J. Traits, genes, particles and information: re-visiting students' understandings of genetics. **International Journal of Science Education**, v. 6, n. 2, p. 195–206. 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/0950069032000072782>
- LEWIS, J.; LEACH, J.; WOOD-ROBINSON, C. Chromosomes: the missing link — young people's understanding of mitosis, meiosis, and fertilisation. **Journal of Biological Education**, v. 34, n. 4, p. 189–199. 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00219266.2000.9655717>
- LONGDEN, B. Genetics—are there inherent learning difficulties? **Journal of Biological Education**, v. 16, n. 2, p. 135–140. 1982. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00219266.1982.9654439>
- LORBIESKI, R.; RODRIGUES, L. S. S.; GRÉGIO D'ARCE, L. P. Trilha meiótica: o jogo da meiose e das segregações cromossômica e alélica. **Genética na Escola**, v. 5, n. 1, p. 25–33. 2010. Disponível em: https://7ced070d-0e5f-43ae-9b1c-aef006b093c9.filesusr.com/ugd/b703be_927bc61a068946669405feebcc34e2e1.pdf
- MELLO, M. L. S.; CORTELAZZO, A. L. Uma proposta de dramatização como complemento didático para o estudo sobre cromatina e cromossomos. **Genética na Escola**, v. 2, n. 2, p. 83–86. 2006. Disponível em: https://7ced070d-0e5f-43ae-9b1c-aef006b093c9.filesusr.com/ugd/b703be_8afcf10482e0b45e98ce4302480dab09d.pdf
- MORI, L.; PEREIRA, M. A. Q. R.; VILELA, C. R. Meiose e as leis de Mendel. **Genética na Escola**, v. 6, n. 1, p. 23–30. 2011. Disponível em: https://7ced070d-0e5f-43ae-9b1c-aef006b093c9.filesusr.com/ugd/b703be_77245845f7e543c0af6a8a208f7068ed.pdf
- NEWMAN, D. L.; CATAVERO, C. M.; WRIGHT, L. K. Students fail to transfer knowledge of chromosome structure to topics pertaining to cell division. **CBE—Life Sciences Education**, v. 11, n. 4, p. 425–436. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1187/cbe.12-01-0003>
- MORTIMER, E. Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos? *Istigações em Ensino de Ciências*. v. VI, n. 1, p. 20-39. 1996. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/645/436>
- MOUL, R. A. T.; BEZERRA DE SÁ, R. G.; LEÃO, A. M. A. Análise semiolinguística do discurso de estudantes de licenciatura: expressões de uma abordagem sistêmicocomplexa em biologia celular e molecular. **Revista Dynamis**. v. 25, n. 1, p. 3-25. 2019. Disponível em: <https://proxy.furb.br/ojs/index.php/dynamis/article/view/7703/4175>
- MURTONEN, M.; NOKKALA, C.; SODERVIK, I. Challenges in understanding meiosis: fostering metaconceptual awareness among university biology students. **Journal of Biological Education**. v. 54, n. 1. 2020. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00219266.2018.1538016?journalCode=rjbe20>
- OZCAN, T.; YILDIRIM, O.; OZGUR, S. Determining of the University freshmen students' misconceptions and alternative conceptions about mitosis and meiosis. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 46, n. 1, p. 3677–3680. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.06.126>
- QUINN, F.; PEGG, J.; PANIZZON, D. First-year biology students' understandings of meiosis: An investigation using a structural theoretical framework. **International Journal of Science Education**, v. 31, n. 10, p. 1279–1305. 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/09500690801914965>

MOUL, R.A.T.M.; BEZERRA DE SÁ, R.G.; LEÃO, A.M.A.C. Análise semiolinguística do discurso de estudantes de licenciatura: expressões de uma abordagem sistêmico-complexa em biologia celular e molecular. **Revista Dynamis**, v. 25, n.1, p. 03-25. 2019. Disponível em: <https://proxy.furb.br/ojs/index.php/dynamis/article/view/7703>

SANTOS, M. E. V. Tendências e resultados no interior da linha de investigação sobre concepções alternativas. In: SANTOS, M. E. V (Orgs.). **Mudança Conceptual na Sala de Aula**. 4. ed. Lisboa, Portugal: Livros Horizonte. 1991. p. 90-125.

SANTOS, F. D.; SILVA, A. F. G.; FRANCO, F. F. 110 anos após a hipótese de Sutton-Boveri: a teoria cromossômica da herança é compreendida pelos estudantes brasileiros? **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 21, n. 4, p. 977–989. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1516-731320150040012>

SNUSTAD, D. P.; SIMMONS, M. J. **Fundamentos de Genética**. 7 ed. Rio de Janeiro. RJ: Guanabara Koogan. 2017.

SUPRAPTO, N. Do we experience misconceptions?: An ontological review of misconceptions in science. **Studies in Philosophy of Science and Education**. v. 1, n. 2, p. 50-55. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.46627/sipose.v1i2.24>

TANCREDI, D. D.; CABALLERO, C. Evolución de significados del concepto de gen en estudiantes de educación superior de la carrera docente de biología. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 16, n. 3, p. 443 - 472. 2011. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/221>

TEMP, D. S.; CARPILOVSKY, C. K.; GUERRA, L. Cromossomos, Gene e DNA: Utilização de Modelo Didático. **Genética na Escola**, v. 6, n. 1, p. 9–11. 2011. Disponível em: https://7ced070d-0e5f-43ae-9b1c-aef006b093c9.filesusr.com/ugd/b703be_e3d05592824b439889cfbb7fd871a9b1.pdf

VIENNOT, L. Spontaneous reasoning in elementary dynamics. **European Journal of Science Education**, v. 1, n. 2, p. 205–221. 1979. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/0140528790010209>

WRIGHT, L. K.; NEWMAN, D. L. An interactive modeling lesson increases students' understanding of ploidy during meiosis. **Biochemistry and Molecular Biology Education**, v. 39, n. 5, p. 344–351. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/bmb.20523>

YIP, D. Identification of misconceptions in novice biology teachers and remedial strategies for improving biology learning. **International Journal of Science Education**, v. 20, n. 4, p. 461–477. 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/0950069980200406>