

DESENVOLVIMENTO DE UM MÉTODO DE ANÁLISE DE DIAGRAMAS SOBRE MEIOSE QUE AUXILIA AVALIAR ERROS DE COMPREENSÃO SOBRE A DIVISÃO CELULAR

Development of a method for analysis of meiosis diagrams to help evaluating misunderstandings about cell division

Luis Fonseca Guerra [luisfoguerra@gmail.com]
Rafaella Cardoso Ribeiro [rafaellacribeiro@gmail.com]
Marina de Lima Tavares [marina_tavares@hotmail.com]
Adlane Vilas-Boas [adlane@ufmg.br]

Universidade Federal de Minas Gerais
Avenida Antônio Carlos 6627 - Pampulha, Belo Horizonte - MG, 31270-901

Recebido em: 31/03/2020

Aceito em: 13/10/2020

Resumo

A meiose é um dos conteúdos de genética que os estudantes de ensino básico e superior têm mais dificuldades. Embora existam muitos trabalhos relatando este problema, poucos auxiliam os educadores a diagnosticá-lo. Esta pesquisa propõe um método avaliativo para diagnosticar erros em diagramações de meiose. Elaborou-se um método com base na observação e categorização das principais características e erros relatados na literatura sobre o processo da meiose, como na replicação, ploidia, segregação, etc. Com este método, foram analisadas 139 diagramações da meiose resolvidas por estudantes de graduação do curso de Ciências Biológicas de uma disciplina optativa de ensino de genética. Verificou-se que 82,8% das diagramações apresentavam erros de representação de cromossomos replicados, locos e alelos, o que indica dificuldades dos estudantes para compreender conceitos genéticos importantes. Consideramos que um esforço deve ser empreendido para se entender os percursos mentais de estudantes envolvidos na resolução desse tipo de tarefa, de modo a contribuir para os objetivos de aprendizagem de genética.

Palavras-chave: Aprendizagem de genética, diagramas de meiose, cromossomos, ploidia, licenciandos.

Abstract

Meiosis is one of the most difficult topics in genetics for both basic and higher education students. Although there are many reports on these failures, there are few that help educators to diagnose them. This research aimed at developing an evaluation method for diagnosing errors in diagrams of meiosis. In the present study, a method was developed based on the analysis of the main characteristics of the meiotic process, such as replication, ploidy, segregation, etc. With this method, we have analyzed 139 meiosis diagrams drawn by undergraduate Biology students during an elective course on genetics teaching. We found that 82,8% of the meiosis diagrams presented alternative ideas of representation of replicated chromosomes, loci and alleles, which indicates students' difficulties in understanding important genetic concepts. We believe that an effort should be made to better understand students' mental pathways involved in solving such tasks in order to contribute with genetics learning.

Keywords: genetics learning, meiosis diagrams, chromosomes, ploidy, licentiate students.

INTRODUÇÃO

Muitas pesquisas em ensino têm sido feitas com a intenção de levantar e/ou analisar o conhecimento e a compreensão que estudantes de ensino básico ou superior apresentam sobre o conteúdo de genética (DIKMENLI, 2010; GIL *et al.*, 2018; KINDFIELD, 1994; WRIGHT; NEWMAN, 2011; MOUL; SILVA, 2017). Na maioria destes trabalhos, observa-se que os conceitos elementares de genética não são bem compreendidos por estudantes ao final da escolaridade obrigatória. A divisão celular é um desses conceitos e é um tópico muito relevante para o ensino de genética, já que sua compreensão ajuda o/a estudante a esclarecer várias questões importantes da biologia, como a perpetuação das espécies, a variabilidade genética, o crescimento orgânico e a reposição celular (CARNEIRO; DAL-FARRA, 2011; LORBIESKI *et al.*, 2010). Vários fatores podem estar associados à dificuldade de compreensão de mitose e meiose, como a extensa e específica terminologia (definição de fases e estruturas celulares) adotada, que embora seja necessária para a caracterização, podem sobrecarregar o raciocínio do/a estudante durante a assimilação do conteúdo (KNIPPELS, 2002).

As divisões de mitose e meiose não são exclusivas do conteúdo de genética, já que fazem parte da ementa de várias disciplinas, como citologia, biologia vegetal, etc. Nas diferentes disciplinas, os processos são ensinados com diferentes perspectivas. Por exemplo, a citologia enfatiza as estruturas celulares e a visualização ao microscópio. No contexto da bioquímica, o foco está mais voltado para os componentes químicos e eventos moleculares do processo, como a ação de receptores e ligantes. Todavia, a complexidade do conteúdo de divisão celular implica na observação de vários tipos de erros em tarefas escolares (FURBERG; ARNSETH, 2009; KINDFIELD, 1991; LEWIS, 2004; LONGDEN, 1982; NEWMAN *et al.*, 2012).

É admirável que muitos estudantes tenham dificuldade em compreender o tópico de divisão celular, sendo que este conteúdo tem como base a teoria cromossômica da herança, uma ideia desenvolvida no início do século XX que apresenta seus pressupostos muito bem estabelecidos na literatura. Sendo assim, é esperado que a compreensão do processo da meiose estivesse mais consolidada entre os estudantes (SANTOS *et al.*, 2015). Por causa disso, muitos pesquisadores se debruçam sobre o que faz a genética ter este componente de dificuldade e buscam na prática formas de contornar esta questão.

Um modo de estudar sobre a aprendizagem de estudantes é observar as representações que trazem sobre conceitos e que muitas vezes são erradas na perspectiva da ciência. Tais concepções podem ser denominadas como *misconceptions* e traduzidas como concepções equivocadas (SANTOS, 1991). Muitas publicações utilizam de análise de tarefas de genética feitas por estudantes em sala de aula para analisar a ocorrência e as consequências das concepções equivocadas na aprendizagem (BROWN, 1990; GIL *et al.*, 2018; LEWIS, 2004; LONGDEN, 1982; NEWMAN *et al.*, 2012).

O aprendizado em ciências está muito voltado para substituição das concepções equivocadas em ideias cientificamente aceitas. Mas, as concepções equivocadas podem ser importantes para a aprendizagem se forem consideradas sob outra perspectiva, a de que o erro pode auxiliar nas respostas dos estudantes. Erros cometidos por estudantes em tarefas escolares não implicam que eles não saibam sobre o conteúdo, nem os acertos indicam que o estudante os compreenda de fato (CURY, 2007). Os caminhos tomados por diferentes estudantes para alcançar uma mesma resposta, certa ou errada, geralmente são diferentes (CAZORLA, 2002).

A análise de respostas de estudantes em tarefas que solicitam a produção de desenhos para explicar eventos ou processos podem mostrar ao professor o entendimento a partir de uma linguagem não verbal. Este tipo de tarefa pode contribuir para acessar diferentes concepções que os estudantes apresentam diante de determinado assunto (BAPTISTA, 2009). Desse modo, desenhos diagramáticos¹ podem ser vistos como valiosos objetos para pesquisas pedagógicas na área de ensino de ciências podendo, inclusive, auxiliar professores em implementações de novas práticas didáticas.

A divisão celular é um tema da biologia que é especialmente explorado com ajuda de imagens e desenhos (diagramas), haja vista a aplicação em diversos trabalhos como o de Dikmenli, (2010) que analisou os erros cometidos por estudantes de licenciatura em produções diagramáticas sobre divisão celular (meiose e mitose). Erros em diagramações também foram identificados por Wright e Newman (2011), onde vários estudantes de ensino superior apresentaram dificuldades ligadas aos termos haploide e diploide.

Mertens e Walker (1992) defendem a produção de diagramações da divisão celular, porque elas permitem que os estudantes manipulem a simbologia genética na sua resolução, podendo tornar os problemas de genética mendeliana mais simples e menos abstratos. Além disso, eles informam que estudantes que conseguem relacionar o comportamento dos cromossomos durante a meiose também apresentam mais facilidade em compreender as leis de Mendel.

Sabendo-se da relevância do ensino de genética para formação cidadã de estudantes e os desafios enfrentados pelos professores para ensinarem a divisão celular, que compreende um tópico importante para entender genética e outras disciplinas, pretendeu-se com este estudo desenvolver um método avaliativo de erros em diagramações de meiose, uma tarefa muito estudada no meio científico e que pode ser aplicada dentro de sala de aula para diagnosticar o entendimento dos estudantes com relação a este tipo de divisão celular. Partimos de diagramas previamente desenhados para rastrear as dificuldades dos estudantes com relação ao conteúdo de meiose. O modelo de análise auxiliou no levantamento das ideias alternativas encontradas, bem como para compreender os raciocínios envolvidos no desenvolvimento da tarefa e contrastar os resultados com a literatura da área de Ensino de Genética. Os resultados do estudo orientaram professores e pesquisadores na elaboração de uma nova estratégia para esclarecer melhor aos estudantes o conceito de meiose.

METODOLOGIA

A proposta deste trabalho partiu de uma tarefa de diagramação do processo de meiose, que vem sendo desenvolvida por uma professora do curso de Ciências Biológicas de uma universidade federal brasileira para trabalhar com os erros cometidos por estudantes dos últimos anos da licenciatura. A escolha deste público considerou dois fatores principais: o papel que muitos terão

¹Nesse artigo utiliza-se o termo diagramação da meiose para se referir a um desenho que pretende explicar como algo funciona. Esta definição vai ao encontro da utilizada em trabalhos como os de Dikmenli (2010), Gil *et al.* (2018), Kindfield (1991) e Wright e Newman (2011).

como professores de ensino básico após a licenciatura e a preocupação pela responsabilidade das universidades públicas na formação dos educadores do país.

Foi analisado um arquivo de tarefas de diagramação de meiose resolvido por estudantes entre 2014 e 2018 durante aulas de uma disciplina optativa que aborda o ensino de genética (total de 9 turmas). Todos estudantes já haviam cursado as disciplinas obrigatórias de Genética. O arquivo analisado é composto por 139 tarefas. O enunciado da tarefa de diagramação da meiose solicitava que os estudantes fizessem um desenho do processo da meiose em uma célula seguindo algumas orientações específicas, ilustradas na Figura 1.

Desenhe o processo de meiose em uma célula:

- $2n= 6$;
- Heterozigota para 3 locos, sendo dois ligados;

Dar ênfase ao processo e aos gametas (e não às fases e organelas).

Figura 1. Enunciado da tarefa – Diagramação da meiose.

O enunciado da tarefa variou sutilmente entre as turmas; por exemplo, em algumas turmas a orientação da tarefa era $2n= 6$, enquanto em outras era $2n= 4$; ou solicitava-se que a célula fosse “heterozigota para 3 locos, sendo dois ligados”, ou apenas “heterozigota para 2 locos”.

Como as diagramações do arquivo não tinham sido avaliadas em detalhe pela professora, foi necessário criar uma resposta padrão para guiar a análise da diagramação da meiose na identificação dos erros e das soluções corretas. A elaboração desta resposta se baseou em uma das figuras do trabalho de Kindfield (1991) e nos erros relatados em trabalhos que avaliaram diagramações de meiose resolvidas por estudantes (DIKMENLI, 2010; MERTENS; WALKER, 1992; WRIGHT; NEWMAN, 2011). Trata-se, assim, de uma resolução simplificada (Figura 2) que pode ser considerada como correta para a diagramação da meiose sugerida, já que a proposta enfatizava os genes e o processo de formação dos gametas.

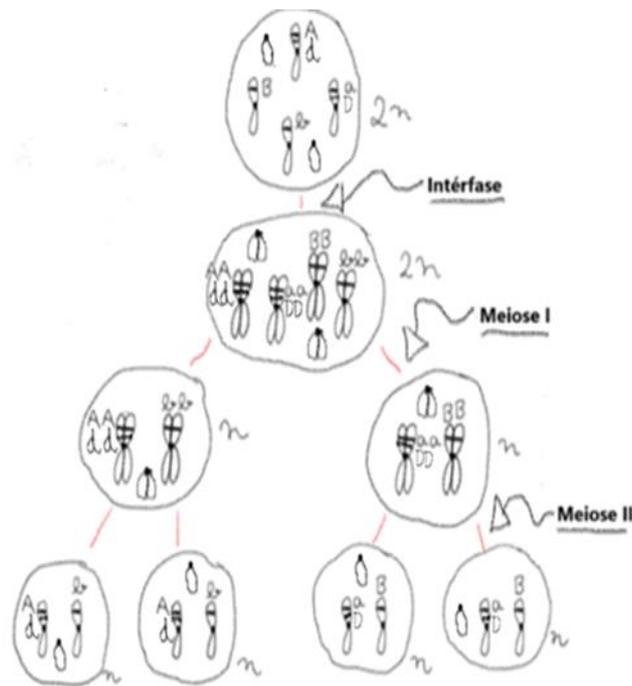


Figura 2. Resposta padrão da tarefa diagramação da meiose

As ilustrações circulares da diagramação do processo da meiose na Figura 2 representam as células; e, dentro de cada uma, estão seus cromossomos simples ou duplicados. As linhas transversais em cada cromossomo indicam os locos gênicos. A primeira célula da ilustração representa o processo em sua fase pré-divisional, ou seja, em intérfase. As demais células, ilustradas abaixo desta, correspondem ao processo em fase divisional (fase M). Conforme o enunciado da tarefa, a célula inicial apresenta três pares de homólogos com locos em heterozigose e genes ligados. O processo do *crossing-over* não está representado nesta ilustração.

Para construir o método de avaliação, os erros e acertos observados em uma amostra das tarefas foram utilizados para criar um sistema de categorização com as possibilidades para correção. Assim, as características analisadas das diagramações do processo da meiose envolveram a representação de: *Locos heterozigotos*; *Locos ligados*; *Replicação*; *Sinapse e Crossing over*; *Disjunção*; *Ploidia*; e *Processo de divisão*. Esse sistema de categorização foi composto por assertivas² e alternativas³ específicas para cada uma destas características. Também se levou em conta o trabalho de Wright e Newman (2011) que usou algumas dessas características para identificar a questão conceitual de ploidia na análise de diagramação de meiose. A seguir, estão descritos os critérios utilizados para avaliar cada uma delas nos diagramas de meiose:

- **Locos heterozigotos:** buscou-se avaliar se houve representação de locos em heterozigose; e a disposição dos locos nos cromossomos;
- **Locos ligados:** avaliou-se a representação dos genes ligados nos cromossomos, observando-se a localização dos dois genes no cromossomo;

² As assertivas nos sistemas de categorização são afirmações do diagnóstico dos erros

³ As alternativas nos sistemas de categorização são as variações dos erros identificados na diagramação.

- **Replicação:** observou-se a representação deste processo e a ilustração de cromossomos replicados.
- **Sinapse e *Crossing-over*:** não se considerou como obrigatória a representação desta característica, pois a sugestão de resposta para a tarefa de diagramação apresentada na Figura 2 não levou em conta o item. No entanto, em diagramas onde a sinapse e o *crossing over* foram representados, os cromossomos ilustrados neste processo de permuta de material genético deveriam ser avaliados;
- **Disjunção:** observou-se a representação da segregação dos homólogos e cromátides;
- **Ploidia:** observou-se a representação do número cromossômico zigótico e dos produtos finais da primeira e segunda divisão da meiose;
- **Processo de divisão:** avaliaram-se as diagramações da intérfase e fase M. No entanto, o enunciado da tarefa não exigiu a representação dos estágios da meiose, mas, nos diagramas onde eram indicadas, as subfases deveriam ser avaliadas.

RELATO DE EXPERIÊNCIA E DISCUSSÃO

A Figura 3 mostra um exemplo de análise realizada nos diagramas utilizando-se o método de avaliação construído neste trabalho. Na figura está representado um diagrama (à esquerda) e um item do sistema de categorização (à direita). O sistema de categorização da replicação nesta figura apresenta duas assertivas e cada assertiva, por sua vez, suas alternativas. Os números e letras destacados na diagramação representam a assertiva e a alternativa correspondente, respectivamente. No formulário do sistema de categorização, as alternativas em negrito indicam as opções corretas.

1. Mostra o processo de replicação	
A) sim	B) não, mostra os cromossomos replicados já na meiose (1)
C) não mostra replicação	
2. Ilustra cromátides unidas pelo centrômero	
A) sim	B) não (1)

Figura 3. Exemplo da análise do diagrama (esquerda). As setas apontam para os erros presentes no processo de replicação diagramado: 1B não mostra o processo de replicação; 2B as cromátides-irmãs não estão unidas pelo centrômero. O Sistema de categorização replicação (direita) contabiliza os achados, acertos nas alternativas em negrito e erros nas demais alternativas.

Portanto, no exemplo de diagramação acima (Figura 3), ‘o estudante não teria representado de forma correta o processo de replicação (1B), afinal, não ilustrou uma célula inicial com cromossomos não replicados, seguido de outra célula contendo cromossomos replicados. Nesta diagramação também não há ilustrações de cromátides-irmãs unidas pelo centrômero (2B).

A seguir, apresentaremos os resultados das análises feitas de acordo com cada item do sistema de categorização. A ordem com que estão apresentados é a ordem que sugerimos para a análise dos diversos itens: ou seja, presença da representação de locos heterozigotos e/ou ligados; replicação; sinapse e *crossing-over*; disjunção; ploidia; processo da meiose.

O uso desta metodologia possibilitou a análise das 139 tarefas de diagramação coletadas ao longo de cinco anos, proporcionando-nos uma visão das dificuldades que os licenciandos têm para conceitualizar o processo e suas etapas. No arquivo havia 24 resoluções que foram consideradas como corretas (17,2%), ou seja, que houve acertos em todas as características analisadas.

A seguir, mostraremos os resultados de cada item analisado com a intenção de avaliar aqueles percebidos com mais erros e mais acertos (Tabela 1).

Tabela 1 - Quantificação de características das tarefas representadas corretamente em cada categoria

Característica/ Categoria analisada	Porcentagem de diagramas corretos
Locos Heterozigotos	97,1%
Ligação	93,5%
Replicação	50,3%
Sinapse e <i>Crossing over</i>	94,9%
Disjunção	69,7%
Ploidia	30,9%
Processo de divisão	39,5%

Consideramos que 17,2% é um número de acerto baixo, uma vez que os/as autores/as das produções diagramáticas são estudantes em final de formação do curso de licenciatura em ciências biológicas. No entanto, esta observação vai ao encontro da pesquisa de Wright e Newman (2011) na qual avaliaram diagramas de meiose resolvidos por estudantes americanos do segundo ano e dos anos finais do curso de graduação em biologia. Estes estudantes tiveram que ilustrar o processo de divisão, bem como identificar a ploidia de cada subfase. Os resultados mostraram que 20% deles/as desenharam o processo corretamente, mas 96% erraram na representação da ploidia. Já no trabalho de Gil *et al.* (2018) com estudantes de uma universidade do México, a demonstração de entendimento da meiose em diagramas foi insatisfatória, não havendo sequer um estudante da amostra representando o curso de biologia que conseguisse realizar uma diagramação da meiose clara e correta (ainda que os itens analisados por eles diferissem dos escolhidos por nós). Outros autores também apontam para a baixa porcentagem de estudantes de ensino superior que resolvem diagramações de meiose corretamente. No trabalho de Dikmenli (2010), aproximadamente, metade das diagramações de mitose e meiose realizadas por futuros professores de uma universidade na Turquia continham erros. Santos *et al.* (2015) consideram que a falta de eixos integradores entre as disciplinas do conteúdo de biologia, mais especificamente, as poucas relações estabelecidas entre os tópicos de genética e biologia celular podem ser um dificultador da compreensão dos alunos neste tópico.

Observa-se nos dados da Tabela 1 que houve acertos para as diversas características, sugerindo que os erros ocorrem em diferentes momentos da diagramação com uma frequência variável na representação das diversas características. A alta porcentagem verificada na característica *Sinapse e Crossing over* ocorreu porque muitos diagramas analisados não mostraram estes eventos na diagramação. No entanto, na resposta sugerida (vide metodologia) estes processos

não foram representados. Desse modo, não consideramos como obrigatória esta característica nos diagramas.

Os estudantes tiveram maior facilidade em ilustrar os locos heterozigotos (97,1%) e genes ligados (93,5%) e menos, para representar a ploidia (30,9%). Mas, em qual aspecto dessas representações se encontram os erros? Existe algum padrão de resposta? Uma avaliação mais profunda e minuciosa de cada característica (*Locos heterozigotos; Locos ligados; Replicação; Sinapse e Crossing over; Disjunção; Ploidia; e Processo de divisão*) foi realizada para tentar identificar e contabilizar os erros das tarefas.

Uma característica da meiose considerada por nós como muito importante no entendimento do processo é a duplicação ou replicação do DNA. A duplicação do material genético é um dos requisitos necessários para a divisão celular e este processo é o primeiro a ser ilustrado pelo estudante ao realizar a tarefa de diagramação. Desse modo, supomos que estudantes que erram a representação da replicação não entendem as funções que permitem uma célula mãe gerar, no final do processo, quatro células filhas com a metade do material genético da mãe.

Para avaliar a característica *Replicação* nos diagramas, analisou-se a demonstração do processo e a ilustração dos cromossomos replicados. A Figura 9 mostra a avaliação desta característica e os números observados nos diagramas. Como pode ser visto, tem-se duas assertivas para a característica *Replicação* e suas possibilidades. As alternativas em negrito indicam a opção correta. Em cada alternativa há uma fração de denominador 139 entre parênteses para contabilizar o achado daquela opção.

1. Mostra o processo da replicação
<p>A) sim (80/139) B) não, mostra os cromossomos replicados já na meiose (37/139) C) não mostra replicação (22/139)</p>
2. Ilustra cromátides unidas pelo centrômero
<p>A) sim (107/139) B) não (32/139)</p>

Figura 9. Sistema de categorização replicação. A figura contabiliza os achados, acertos nas alternativas em negrito e erros nas demais alternativas em frações para as tarefas dadas.

Um dos erros mais comuns na categoria *Replicação* foi a não demonstração do processo de replicação durante a intérfase (37/139). O estudante autor da diagramação da Figura 10 optou por ilustrar o processo da replicação depois da intérfase; além disso, cometeu o erro de representar os alelos em heterozigose neste momento, não atentando para o fato de fitas mãe e filha terem que ser idênticas.

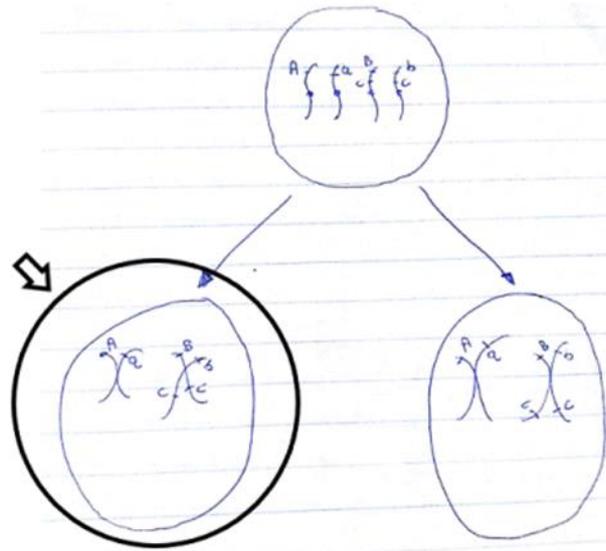


Figura 10. Representação de cromossomos já duplicados na meiose. A seta aponta para uma célula produto da primeira divisão onde os cromossomos aparecem sendo duplicados.

Pode-se observar na Figura 10 que a célula mãe contém cromossomos não duplicados enquanto as células-filhas têm cromossomos duplicados, indicando o entendimento que o processo de replicação ocorreu durante a divisão celular, ou seja, após a intérfase. Não se pode dizer se o/a estudante tinha em mente que a duplicação ocorria e fez a tentativa de demonstrar isso mesmo sem saber em que ponto acontecia ou se quis simplificar todo o processo não mostrando sequer o processo de segregação que se segue à metáfase I. Dikmenli (2010) também encontrou várias diagramações de divisão celular de estudantes de licenciatura em biologia na Turquia retratando a replicação fora da intérfase. Neste estudo, alguns estudantes foram selecionados aleatoriamente para participarem de uma entrevista estruturada. Durante a entrevista, perguntas como “quando a replicação ocorre na célula?” foram respondidas por alguns estudantes como sendo na prófase ou entre a prófase e a metáfase. Já Longden (1982) pôde observar, a partir de entrevistas com estudantes da Inglaterra, outras ideias sobre o evento da replicação na prófase I. Determinado estudante de graduação em biologia disse que a replicação deveria ocorrer no início da prófase I porque, durante a intérfase, o DNA estaria em repouso e, na prófase I, ele se tornaria mais ativo.

Muitos eventos importantes da meiose ocorrem logo no início do processo, como a replicação, o pareamento dos homólogos e a permuta. São muitos detalhes apresentados quase que sucessivamente aos estudantes em aulas de divisão celular. Em entrevistas estruturadas sobre didática em sala de aula, Öztap et al. (2003) obtiveram de professores de biologia de ensino básico turcos informações de que a prófase I é o tópico mais difícil de se ensinar para os estudantes e que é muito difícil passar para os alunos a ideia das relações existentes entre DNA e cromossomo. De fato, há um problema intrínseco à representação dos cromossomos no processo de divisão celular já que quando eles começam a ser visíveis ao microscópio eles já estão duplicados. Assim, a representação de cromossomos simples representados por uma linha com o centrômero não é real.

Trinta e duas tarefas (23%) realizadas no presente trabalho não ilustraram cromátides-irmãs unidas pelo centrômero nas diagramações. A Figura 11 mostra um recorte da diagramação da meiose produzida por um/a estudante onde são representadas cromátides-irmãs isoladas, ou seja, não unidas pelo centrômero. Se o/a estudante no momento da diagramação tinha a intenção de representar a replicação, ele/a não demonstrou compreensão do mecanismo de síntese de DNA ou da estrutura do cromossomo replicado.

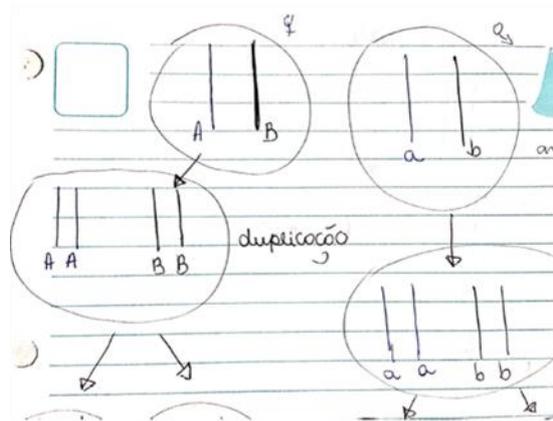


Figura 11. Não representação de cromátides unidas pelo centrômero.

O entendimento da geração das quatro células haploides no final da meiose não exige apenas a compreensão pelo estudante da replicação, mas também do conceito de ploidia celular. Entretanto, observamos pelo levantamento dos erros que a característica ploidia foi a menos acertada entre os estudantes. Para a característica Ploidia observou-se a representação do número cromossômico zigótico e a ploidia dos produtos da primeira e segunda divisão da meiose. A Figura 17 apresenta três assertivas para a característica Ploidia e suas possibilidades. As alternativas “não se aplica” do sistema são para diagramas que:

- Assertiva 2: as meioses são incompletas e não chegam na etapa da primeira divisão celular; não há representação dos locos;
- Assertiva 3: as meioses são incompletas e não chegam na etapa da segunda divisão celular; não há representação dos locos.

1. O número cromossômico zigótico está
A) correto (102/139) B) incorreto (37/124)
2. A ploidia dos produtos da meiose I está
A) correta (62/139) B) incorreta (64/139) C) não se aplica (13/139)
3. A ploidia dos produtos da meiose II está
A) correta (75/139) B) incorreta (26/139) C) não se aplica (38/139)

Figura 17. Sistema de categorização ploidia. A figura contabiliza os achados, acertos nas alternativas em negrito e erros nas demais alternativas em frações para as tarefas dadas.

Alguns estudantes não indicaram o número cromossômico zigótico correto (37/139), e tampouco a ploidia dos produtos da primeira (64/139) e segunda divisão (26/139). No estudo de Lewis et al. (2000) com estudantes britânicos de ensino básico, em que foram avaliadas suas respostas sobre a relação entre os produtos da meiose, 31% disseram que o número de cromossomos reduz pela metade, 34% reconheceram que a informação genética deveria ser diferente, e apenas 14% afirmaram saber estas duas informações. Em outro trabalho, aproximadamente 89% dos estudantes brasileiros de cursos preparatórios para o ingresso em universidades cometeram erros em questionários ligados à estrutura organizacional dos cromossomos e ploidia celular (Belmiro e Barros, 2017).

Na Figura 18 apresenta-se o recorte da diagramação de um estudante retratando a célula inicial. Nela, o número cromossômico zigótico está representado de forma incorreta (37/139).

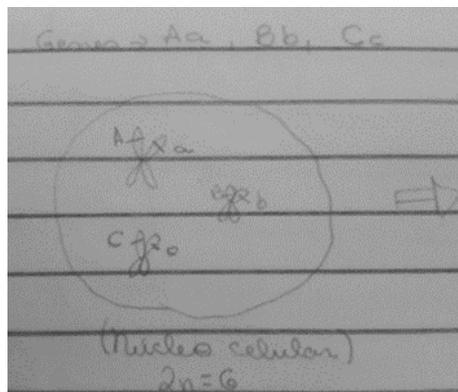


Figura 18. Representação de célula com número cromossômico zigótico incorreto. A célula inicial apresenta metade dos cromossomos exigido pelo enunciado da tarefa

O/a estudante autor/a da diagramação da Figura 18 iniciou a meiose com uma célula com três cromossomos diferentes e neles deixou por escrito três genótipos heterozigotos. A partir destas informações, pode-se inferir que por causa do trecho do enunciado da tarefa de diagramação (heterozigota para 3 locos), o/a estudante tenha optado por desenhar cromossomos com um alelo dominante em uma de suas cromátides-irmãs e o recessivo na outra cromátide. Semelhante a esta ideia, alguns estudantes ingleses de graduação em biologia que participaram do estudo de Brown (1990) utilizaram caracteres diferentes em cromátides-irmãs para indicar a heterozigose em modelos didáticos de cromossomos. O pesquisador sugere que o grupo teve, ao longo do estudo, dificuldade na compreensão dos conceitos de heterozigose e alelo.

A nomenclatura e o nome das estruturas da meiose não ajudam muito o estudante no entendimento do processo meiótico. Conhecer este processo, ou seja, o movimento cromossômico ao longo da divisão ajuda o estudante assimilar melhor a função da meiose. Porém, ela foi a segunda característica com maior número de erros (Tabela 1).

Para a análise da característica Processo de divisão, avaliaram-se as diagramações da intérfase e fase M (Figura 19). O enunciado da tarefa não exigiu a representação das fases e estruturas da meiose, mas, muitos diagramas as trouxeram. Assim, observamos também, nestes casos, as diagramações das subfases.

Longden (1982) estudou as fontes de dificuldade do aprendizado a partir de tarefas de genética e entrevistas sobre o mesmo assunto e aponta um graduando inglês em biologia que apresentou muita preocupação em explicar detalhadamente durante a entrevista as fases da meiose em vez de falar do processo em si. A Figura 19 apresenta quatro assertivas para a característica Processo de divisão e suas possibilidades. As alternativas “não se aplica” do sistema são para diagramas que:

- Assertiva 3: as fases não foram representadas; as fases representadas estão diagramadas corretamente;
- Assertiva 4: as fases não foram representadas; as fases representadas estão diagramadas corretamente; as fases representadas incorretamente não são fases da mitose.

1. Diagrama a intérfase
A) sim (97/139) B) não (42/139)
2. A diagramação da divisão
A) é completa (98/139) B) se dá até a meiose I incompleta (12/139) C) se dá até a meiose I completa (28/139) D) se dá até a meiose II incompleta (1/139)
3. Se há diagramação das fases, está
A) correta (31/139) B) incorreta (48/139) C) não se aplica (60/139)
4. Se incorreta, a fase é
A) confundida com a da mitose (15/139) B) não se aplica (125/139)

Figura 19. Sistema de categorização processo de divisão. A figura contabiliza os achados, acertos nas alternativas em negrito e erros nas demais alternativas em frações para as tarefas dadas.

Dentre as diagramações das fases que estavam incorretas, muitas indicaram fases mitóticas na divisão da meiose (10,79%). Lewis *et al.* (2000) aplicaram um questionário com perguntas de genética para estudantes ingleses de ensino básico e identificaram que somente alguns foram capazes de distinguir mitose de meiose. Com base em entrevistas e outros trabalhos consultados, Bahar *et al.* (1999) informaram que a confusão entre mitose e meiose pode estar relacionada com a forma que estes conteúdos são abordados em classe, isto é, se ensinadas em mesma aula podem prejudicar o estudante na assimilação do conteúdo.

Identificamos fases indefinidas nas diagramações, como a mostrada na Figura 20, em que o/a estudante encerra a metáfase I representando um processo errôneo de divisão celular. As setas A e B mostram a ilustração de um processo “alternativo” de divisão celular e segregação de cromátides. Podemos observar, inclusive, outros erros como a representação repetida do gene A e a representação errada da estrutura dos cromossomos (formado por duas cromátides homólogas). Em contrapartida, o/a estudante mostra algum conhecimento do processo ao representar a replicação. Podemos concluir, assim, que o/a estudante entende o que seja heterozigoto pela representação de alelos diferentes e que a meiose apresenta duas divisões consecutivas, dando a entender que o/a estudante sabe que existe um processo que “puxa” os cromossomos para distribuí-los entre as células filhas.

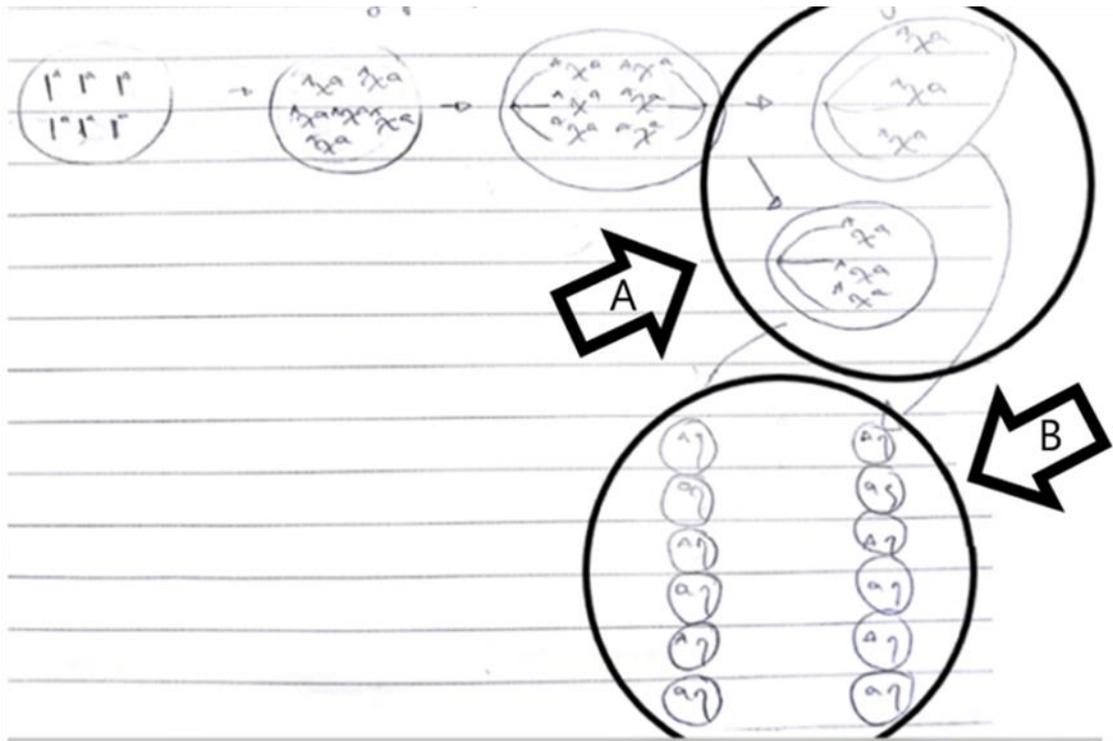


Figura 20. Representação indefinida na diagramação. As duas setas apontam para ilustrações de fases erradas da meiose

Na diagramação da Figura 20, o erro apontado pela seta B (Figura 20), em que cada gameta aparece com apenas um tipo de gene, também foi encontrado nas análises de diagramas de meiose do estudo de Strand e Boes (2019). Estes pesquisadores implicaram este erro à dificuldade de estudantes com o princípio da segregação mendeliana. No trabalho de Gil *et al.* (2018), no qual os estudantes de biologia precisavam diagramar alguns estágios da meiose a partir da visualização de imagens de diversas fontes de sua escolha, determinado estudante cometeu um erro na diagramação anáfase I muito semelhante a este que a seta A aponta. Os autores descrevem este erro informando que conjuntos cromossômicos foram puxados paralelamente para os polos celulares.

Os resultados obtidos pelo sistema de categorização desenvolvido nesse trabalho são apresentados como uma coleção de concepções equivocadas de estudantes que os professores podem usar como parâmetro para elaborar estratégias didáticas que minimizem estes equívocos. Essas concepções equivocadas estão presentes em várias circunstâncias pedagógicas, como em tarefas avaliativas, anotações de aula, interpretações de uma leitura de material didático ou também nas assimilações do conteúdo de divisão celular durante uma aula. Portanto, faz-se necessário que o professor tenha

conhecimento de que os estudantes são capazes de criar inúmeras concepções equivocadas de um conteúdo a partir de interpretações pessoais. Professores que se familiarizam com as possibilidades de concepções equivocadas conseguem orientar melhor os estudantes no momento de esclarecer dúvidas de estudantes, ter avaliações diferentes nas correções das provas, preparar com outros critérios uma aula, etc.

Recomendamos que o professor busque trabalhos que apresentem concepções equivocadas de outros conteúdos também, se não, construir o próprio sistema de categorização. Nesse caso, o professor não terá apenas uma coleção de concepções equivocadas própria para auxiliá-lo em várias questões de sala de aula, mas também conhecerá o efeito de sua didática sobre seus estudantes, permitindo compreender o que o estudante assimilou do conteúdo e o que ainda precisa ser trabalhado. As nossas experiências didáticas, utilizando modelos de cromossomos em papel (Meiose no Papel—Portal do Professor-<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula=51679>), têm nos permitido compreender as concepções dos estudantes sobre a temática, e ainda, esclarecer pontos importantes para o entendimento dessa divisão (Rocha, Ribeiro e Vilas-Boas, manuscrito em preparação).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A meiose é um tópico da genética muito importante, mas, notamos pela literatura e por nossas observações que é bastante complexa e difícil de ser entendida para muitos estudantes. Neste estudo foi observado que os erros identificados em diagramações resolvidas por futuros professores poderiam oferecer informações sobre a compreensão de alguns conceitos de genética. Identificamos em nossas análises um número pequeno de estudantes apresentando a solução completamente correta da diagramação, o que pode ser considerado um dado preocupante.

Este estudo mostrou que a observação dos erros traz importantes informações sobre a extensão da compreensão dos estudantes sobre o processo da meiose. Ao analisar pontualmente algumas características desse processo nos diagramas de meiose percebemos que os estudantes apresentam em suas soluções alguns detalhes que sugerem que existam diferentes níveis de compreensão sobre o processo da meiose. Por isso, realizar uma análise mais cuidadosa das soluções permite detectar não só as dificuldades, mas, também entender, mais de perto, como se dá a apropriação do saber pelos estudantes.

A análise detalhada das respostas das tarefas realizadas pelos(as) estudantes só foi possível por causa do desenvolvimento de um sistema de categorização de erros. É importante que os professores tenham em mente que correções acompanhadas de algum método, como a categorização de erros, permitem que se possa extrair das respostas dos estudantes mais informações sobre a compreensão do assunto do que simplesmente através de correções por comparação entre certo e errado.

É importante destacar que uma das características que os estudantes mais tiveram dificuldade em relação à diagramação da meiose foi a representação da replicação. Das 139 tarefas avaliadas, 59 apresentaram erros relacionados à não demonstração do processo de replicação e/ou não ilustração de cromossomos duplicados, eventos importantes para a compreensão do processo. Estudantes que falham nesta representação apresentam uma ideia pouco clara do processo já que a replicação é um dos requisitos mais importantes para haver multiplicação celular.

Neste trabalho, o tema principal da tarefa analisada foi a meiose mas a análise nos permitiu avaliar outros tópicos do ensino de biologia, como biologia molecular e citogenética. O estudo mostrou o perfil de estudantes em fase final do curso de Ciências Biológicas que pretendem ser professores, mas que, em grande número, apresentam dificuldades em compreender a meiose e outros conceitos da genética. Por isso, consideramos que outras pesquisas são necessárias para auxiliar o processo de ensino e aprendizagem da genética no nível de graduação em Biologia na tentativa de melhorar este cenário da educação já que estes serão os futuros profissionais que estarão em sala de aula ensinando Ciências e Biologia para estudantes mais jovens.

REFERÊNCIAS

- Bahar, M.; Johnstone, A. H. & Hansell, M. H. (1999). Revisiting learning difficulties in biology. *Journal of Biological Education*, 33 (2), 84–86.
- Baptista, G. C. S. Os desenhos como instrumento para investigação dos conhecimentos prévios no ensino de ciências: um estudo de caso. (VII Enpec) Encontro Nacional de Pesquisas em Educação em Ciências. **Anais**. Florianópolis: 2009, Acesso em 10 de Dez, 2017, <http://posgrad.fae.ufmg.br/posgrad/viiienpec/pdfs/395.pdf>.
- Belmiro, M. S. & Barros, M. D. (2017). Ensino de genética no ensino médio: uma análise estatística das concepções prévias de estudantes pré-universitários. *Revistas do Unifoa*, 9 (17), 95–102.
- Brown, C. R. (1990) Some misconceptions in meiosis shown by students responding to an advanced level practical examination question in biology. *Journal of Biological Education*, 24(3), 182–186.
- Carneiro, S. P. & Dal-Farra, R. A. (2011) As situações-problemas no ensino de genética: Estudando a mitose. *Genética na Escola*, 6 (2), 30–34.
- Cazorla, I. M. (2002) A relação entre a habilidade viso-pictórica e o domínio de conceitos estatísticos na leitura de gráficos. Campinas: Universidade Estadual de Campinas.
- Cury, H. N. (2007) *Análise de erros - o que podemos aprender com as respostas dos alunos*. 1ª Ed. São Paulo Sp: Gutenberg Ltda.
- Dikmenli, M. (2010) Misconceptions of cell division held by student teachers in biology: a drawing analysis. *Scientific Research and Essay*, 5 (2), 235–247.
- Furberg, A. & Arnseth, H. C. (2009) Reconsidering conceptual change from a socio-cultural perspective: analyzing students' meaning making in genetics in collaborative learning activities. *Cultural Studies of Science Education*, 4 (1), 157–191.
- Gil, S. G. R., Fradkin, M. & Castañeda-Sortibrán, A. N. (2018) Conceptions of meiosis: misunderstandings among university students and errors. *Journal of Biological Education*, 1–14.
- Kindfield, A. C. H. (1991) Confusing chromosome number and structure: a common student error. *Journal of Biological Education*, 25 (3), 193–200.
- Kindfield, A. C. H. (1994) Understanding a basic biological process: expert and novice models of meiosis. *Science Education*, 78 (3), 255–283.
- Knippels, M. C. P. J. (2002) *Coping with the abstract and complex nature of genetics in biology*

education - the yo-yo learning and teaching strategy. Utrecht, The Netherlands: Proefschrift Universiteit Utrecht.

Lewis, J. (2004) Traits, genes, particles and information: re-visiting students' understandings of genetics. *International Journal of Science Education Int. J. Sci. Educ*, 6 (2), 195–206.

Lewis, J., Leach, J. & Wood-Robinson, C. (2000) Chromosomes: The missing link — young people's understanding of mitosis, meiosis, and fertilisation. *Journal of Biological Education*, 34 (4), 189–199.

Longden, B. (1982) Genetics—are there inherent learning difficulties? *Journal of Biological Education*, 16 (2), 135–140.

Lorbieski, R., Rodrigues, L. S. S. & Grégio D'arce, L. P. (2010) Trilha meiótica: o jogo da meiose e das segregações cromossômica e alélica. *Genética na Escola*, 5 (1), 25–33.

Mertens, T. R. & Walker, J. O. (1992) A paper-&-pencil strategy for teaching mitosis & meiosis, diagnosing learning problems predicting examination performance. *The American Biology Teacher*, 54 (8), 470–474.

Moul, R. A.T.M & Silva, F.C.L. 2017. A modelização em genética e biologia molecular: ensino de mitose com massa de modelar. *Experiências em Ensino de Ciências* 12 (2), 118–128.

Newman, D. L., Catavero, C. M., & Wright, L. K. (2012) Students fail to transfer knowledge of chromosome structure to topics pertaining to cell division. *Cbe—Life Sciences Education*, 11 (4), 425–436.

Öztap, H., Özay, E. & Öztap, F. (2003) Teaching cell division to secondary school students: an investigation of difficulties experienced by turkish teachers. *Journal of Biological Education*, 38 (1), 13–15.

Santos, F. D., Silva, A. F. G. & Franco, F. F. (2015) 110 anos após a hipótese de sutton-boveri: a teoria cromossômica da herança é compreendida pelos estudantes brasileiros? *Ciência & Educação (Bauru)*, 21 (4), 977–989.

Santos, M. E. V. (1991) Tendências e resultados no interior da linha de investigação sobre concepções alternativas. In: *Mudança conceptual na sala de aula*. 4. Ed. Lisboa: Livros Horizonte, P. 90–125.

Strand, S. & Boes, K. E. (2019) Drawing a link between genetic inheritance and meiosis: a set of exercises for the undergraduate biology classroom. *Journal of Microbiology & Biology Education*, 20 (2). Acesso em 31 mar, 2020, <https://www.asmscience.org/content/journal/jmbe/10.1128/jmbe.v20i2.1733>

Wright, L. K. & Newman, D. L. (2011) An interactive modeling lesson increases students' understanding of ploidy during meiosis. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 39 (5), 344–351.

Yip, D. (1998) Identification of misconceptions in novice biology teachers and remedial strategies for improving biology learning. *International Journal of Science Education*, 20 (4), 461–477.