

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA GERAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GENÉTICA



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**ANÁLISE DAS CONCEPÇÕES SOBRE MEIOSE E SUA RELAÇÃO
COM CONCEITOS GENÉTICOS EM DIAGRAMAS RESOLVIDOS
POR ESTUDANTES DE LICENCIATURA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

ORIENTADO: LUÍS FONSECA GUERRA

ORIENTADORA: ADLANE VILAS-BOAS FERREIRA

CO-ORIENTADORA: MARINA DE LIMA TAVARES

BELO HORIZONTE

Fevereiro de 2019

Luís Fonseca Guerra

**ANÁLISE DAS CONCEPÇÕES SOBRE MEIOSE E SUA RELAÇÃO
COM CONCEITOS GENÉTICOS EM DIAGRAMAS RESOLVIDOS
POR ESTUDANTES DE LICENCIATURA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Genética do Departamento de Biologia Geral do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Genética.

Orientadora: Dra. Adlane Vilas-Boas Ferreira

Co-orientadora: Dra. Marina de Lima Tavares

Universidade Federal de Minas Gerais

Belo Horizonte 2019

043 Guerra, Luís Fonseca.

Análise das concepções sobre meiose e sua relação com conceitos genéticos em diagramas resolvidos por estudantes de licenciatura em Ciências Biológicas [manuscrito] / Luís Fonseca Guerra. – 2019.

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

Orientadora: Dra. Adlane Vilas-Boas Ferreira. Co-orientadora: Dra. Marina de Lima Tavares.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Biológicas, Departamento de Biologia Geral.

1. Genética. 2. Meiose. 3. Educação Superior. 4. Análise de erros (Matemática). I. Ferreira, Adlane Vilas-Boas. II. Tavares, Marina de Lima. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Biológicas. IV. Título

CDU: 575



Universidade Federal de Minas Gerais
Instituto de Ciências Biológicas
Programa de Pós-Graduação em Genética

ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Luís Fonseca Guerra

282/2019
entrada
1º/2017
CPF:
091.579.286-90

Às quinze horas do dia **26 de fevereiro de 2019**, reuniu-se, no Instituto de Ciências Biológicas da UFMG, a Comissão Examinadora de Dissertação, indicada pelo Colegiado do Programa, para julgar, em exame final, o trabalho intitulado: "**ANÁLISE DAS CONCEPÇÕES SOBRE MEIOS E SUA RELAÇÃO COM LEIS DE MENDEL EM DIAGRAMAS RESOLVIDOS POR ESTUDANTES DE LICENCIATURA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**", requisito para obtenção do grau de Mestre em **Genética**. Preliminarmente, foi informado que a orientadora Profa. Dra. Adlane Vilas-Boas Ferreira não será a presidente da banca, por questões de licença-saúde, sendo substituída pela Dra. Marina de Lima Tavares, coorientadora do discente. Abrindo a sessão, a Presidente da Comissão, Marina de Lima Tavares, após dar a conhecer aos presentes o teor das Normas Regulamentares do Trabalho Final, passou a palavra ao candidato, para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos Examinadores, com a respectiva defesa do candidato. Logo após, a Comissão se reuniu, sem a presença do candidato e do público, para julgamento e expedição de resultado final. Foram atribuídas as seguintes indicações:

Prof./Pesq.	Instituição	CPF	Indicação
Marina de Lima Tavares	UFMG	95174460553	Aprovado
Marina Assis Fonseca	UFMG	00232142602	Aprovado
Gustavo Campos e Silva Kuhn	UFMG	260136648-62	APROVADO

Pelas indicações, o candidato foi considerado: aprovado.
O resultado final foi comunicado publicamente ao candidato pela Presidente da Comissão. Nada mais havendo a tratar, a Presidente encerrou a reunião e lavrou a presente ATA, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora.

Belo Horizonte, 26 de fevereiro de 2019.

Marina de Lima Tavares - Coorientadora Marina de Lima Tavares
Marina Assis Fonseca Marina Assis Fonseca
Gustavo Campos e Silva Kuhn Gustavo Kuhn



Pós-Graduação em Genética
Departamento de Biologia Geral, ICB
Universidade Federal de Minas Gerais

Av. Antônio Carlos, 6627 - C.P. 486 - Pampulha - 31270-901 - Belo Horizonte - MG
e-mail: pg-gen@icb.ufmg.br FAX: (+31) - 3409-2570



**"ANÁLISE DAS CONCEPÇÕES SOBRE MEIOS E SUA RELAÇÃO
COM LEIS DE MENDEL EM DIAGRAMAS RESOLVIDOS POR
ESTUDANTES DE LICENCIATURA EM CIÊNCIAS
BIOLÓGICAS"**

Luís Fonseca Guerra

Dissertação aprovada pela banca examinadora constituída pelos Professores:

Marina de Lima Tavares - Coorientadora
UFMG

Marina Assis Fonseca
UFMG

Gustavo Campos e Silva Kuhn
UFMG

Belo Horizonte, 26 de fevereiro de 2019.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, à minha professora de graduação Raquel Junqueira Braga - por causa dela eu comecei a me interessar pelos estudos, gostar de Biologia e, principalmente, foi devido a ela que eu me apaixonei pela Genética;

Ao meu irmão e minha irmã que acreditaram em mim;

À minha tia Mafalda Guerra pelo apoio que sempre me deu durante os estudos;

À minha amiga Isabela Abreu que me animou em muitos momentos sombrios deste meu mestrado;

Aos professores do programa de pós-graduação em genética;

À professora Marta Svartman que no início do meu curso teve uma conversa franca sobre os caminhos que eu deveria tomar no mestrado;

À minha amiga e colega de laboratório Renata Haddad que foi uma grande companheira nesta minha trajetória;

À professora Rafaella Cardoso que me deixou conhecer o mundo dos professores de colégio. Eu gostaria de agradecer também às suas grandes contribuições para minha pesquisa;

À coorientadora Marina Tavares que, no meu ponto de vista, foi a peça chave desta pesquisa. As contribuições da professora Marina neste trabalho foram tão importantes que eu fico sem palavras para expressar a minha gratidão;

À minha orientadora Adlane Vilas-Boas, por sua dedicação e o tempo disponibilizado para as orientações durante a elaboração da dissertação. A professora Adlane foi a minha dupla neste mestrado, eu agradeço imensamente o seu incentivo que me fez seguir em frente neste curso, agradeço seus ensinamentos que foram muito importantes para meu crescimento profissional.

RESUMO

A análise de erros em tarefas escolares pode ser considerada uma ferramenta poderosa na investigação sobre a maneira como o estudante compreende conceitos e, mesmo, ideias que ele traz de sua aprendizagem anterior, formal ou informal. Nesse trabalho, um tipo tarefa de genética resolvida por estudantes de licenciatura em ciências biológicas foi analisado com o propósito de investigar sua compreensão sobre os conceitos genéticos envolvidos no processo da meiose. A tarefa em questão solicitava a diagramação da meiose partindo de uma célula com alguns pares de cromossomos com locos em heterozigose. Um banco de dados com 219 tarefas foi acessado pelos pesquisadores e um sistema de categorização dos erros de estudantes em diagramas de meiose foi desenvolvido para auxiliar na análise dessas tarefas. Além disso, esta pesquisa teve também uma abordagem qualitativa onde foi observado o processo de resolução da diagramação da meiose em uma turma de estudantes do curso de ciências biológicas da disciplina em que a tarefa vem sendo aplicada nos últimos anos. Os resultados da análise das tarefas mostraram que os estudantes não entendem bem o processo da meiose, cometendo erros ligados a replicação, disjunção e ploidia. Alguns equívocos identificados nas diagramações deste estudo incluíram a não representação do processo da replicação, a não ilustração de cromossomos duplicados e a representação errada da ploidia nos produtos meióticos. Entendemos que esses erros podem indicar a existência de concepções alternativas sobre meiose. Por outro lado, as soluções apresentadas pelos estudantes informaram que algumas características da meiose são bem compreendidas, como por exemplo, que o processo apresenta etapas de replicação, segregação, divisão, etc. Os dados apontam para a necessidade de maiores estudos sobre o processo de ensino-aprendizagem desses conceitos e para a proposição de formas mais efetivas de trabalho sobre o tema em salas de aula na tentativa de evitar a persistência dessas dificuldades nos estudantes.

Palavras-chave: Meiose; ensino superior; análise de erros; concepções alternativas

ABSTRACT

Analysis of mistakes in written assignments of students may be considered a powerful tool to investigate how students understand concepts and the ideas they bring from their previous learning process, be it formal or informal. In this study, a Genetics assignment done by biology licentiate students was analyzed to investigate their understanding on genetic concepts involved in meiosis. This assignment required students to diagram the meiosis process in one cell with three pairs of chromosomes with heterozygous loci. A database with 219 assignments was accessed by us and a system of categorization of the mistakes made by the students in meiosis diagrams was developed to help analyze them. Furthermore, this research had a qualitative approach where the process of completing the meiosis diagram in a group of biology students of the discipline in which the assignment has been given in the last few years. The results from the analysis of the assignments show that students do not understand the meiosis process well, making mistakes related to replication, disjunction and ploidy. Some misconceptions have been identified in the diagrams of this study included: failing in representing the replication process, not illustrating replicated chromosomes and the mistaken representation of ploidy in meiotic products. These mistakes may show the existence of alternative conceptions of meiosis. On the other hand, the solutions presented by the students show that some characteristics of meiosis are well understood, such as the fact that the process has stages of replication, segregation, division, etc. The data shows the need of further studies on the teaching-learning process of these concepts and of recommendations of more effective ways of applying this topic in the class in order to avoid persistence of these difficulties experienced by students.

Keywords: meiosis; higher education; analysis of mistakes; alternative conceptions

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: ENUNCIADO DA TAREFA – DIAGRAMAÇÃO DA MEIOSE.....	27
FIGURA 2: MODELO DE RESOLUÇÃO DA TAREFA DIAGRAMAÇÃO DA MEIOSE	28
FIGURA 3: EXEMPLO DE ANÁLISE DE DIAGRAMA (ESQUERDA) COM INDICAÇÃO DE POSSÍVEIS ERROS DO PROCESSO DE REPLICAÇÃO. AS SETAS INDICAM OS ERROS: 1B NÃO MOSTRA O PROCESSO DE REPLICAÇÃO; 2A 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.	30
FIGURA 4: SISTEMA DE CATEGORIZAÇÃO LOCOS HETEROZIGOTOS. A FIGURA CONTABILIZA OS ACHADOS, ACERTOS NAS ALTERNATIVAS EM NEGRITO E ERROS NAS DEMAIS ALTERNATIVAS EM FRAÇÕES PARA AS TAREFAS DADAS ANTES (DENOMINADOR 139) E APÓS (DENOMINADOR 80) A PRÁTICA....	38
FIGURA 5: REPRESENTAÇÃO DE CROMOSSOMOS SEM LOCOS EM HETEROZIGOSE. OS CROMOSSOMOS DA FIGURA NÃO APRESENTAM EM SEUS LOCOS CARACTERES INDICATIVOS.....	39
FIGURA 6: REPRESENTAÇÃO DE CROMOSSOMOS COM LOCO EM HEMIZIGOSE (A) E CROMOSSOMOS COM DOIS ALELOS EM UM MESMO LOCO (B). A SETA DA FIGURA A APONTA PARA UMA CÉLULA COM QUATRO CROMOSSOMOS COM GENES DIFERENTES UNS DOS OUTROS E A SETA DA FIGURA B APONTA PARA UMA CÉLULA FORMADA POR 12 CROMOSSOMOS COM GENES REPRESENTADOS POR DOIS CARACTERES, EXEMPLO, AA.	40
FIGURA 7: SISTEMA DE CATEGORIZAÇÃO LOCOS LIGADOS. A FIGURA CONTABILIZA OS ACHADOS, ACERTOS NAS ALTERNATIVAS EM NEGRITO E ERROS NAS DEMAIS ALTERNATIVAS EM FRAÇÕES PARA AS TAREFAS DADAS ANTES (DENOMINADOR 139) E APÓS (DENOMINADOR 80) A PRÁTICA....	41
FIGURA 8: REPRESENTAÇÃO DE CROMOSSOMOS COM LOCOS REPRESENTADOS MUITO DISTANTES UM DO OUTRO SENDO ASSIM NÃO CONSIDERADOS LIGADOS NA CORREÇÃO	42
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 ANTES (DENOMINADOR 139) E APÓS (DENOMINADOR 80) A PRÁTICA.	43
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	44
FIGURA 11: NÃO REPRESENTAÇÃO DE CROMÁTIDES UNIDAS PELO CENTRÔMERO.	45
FIGURA 12: SISTEMA DE CATEGORIZAÇÃO SINAPSE E CROSSING OVER. A FIGURA CONTABILIZA OS ACHADOS, ACERTOS NAS ALTERNATIVAS EM NEGRITO E ERROS NAS DEMAIS ALTERNATIVAS EM FRAÇÕES PARA AS TAREFAS DADAS ANTES (DENOMINADOR 139) E APÓS (DENOMINADOR 80) A PRÁTICA.	46
FIGURA 13: REPRESENTAÇÃO DE CROSSING OVER ENTRE CROMOSSOMOS HETERÓLOGOS.	47
FIGURA 14: SISTEMA DE CATEGORIZAÇÃO DISJUNÇÃO. A FIGURA CONTABILIZA OS ACHADOS, ACERTOS NAS ALTERNATIVAS EM NEGRITO E ERROS NAS DEMAIS ALTERNATIVAS EM FRAÇÕES PARA AS TAREFAS DADAS ANTES (DENOMINADOR 139) E APÓS (DENOMINADOR 80) A PRÁTICA.....	48
FIGURA 15: NÃO REPRESENTAÇÃO DA SEGREGAÇÃO DOS CROMOSSOMOS HOMÓLOGOS (A) E NÃO REPRESENTAÇÃO DA SEGREGAÇÃO DAS CROMÁTIDES-IRMÃS (B). A SETA A APONTA PARA UMA REPRESENTAÇÃO DA SEGREGAÇÃO DAS CROMÁTIDES-IRMÃS E A SETA B APONTA PARA A REPRESENTAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DAS CROMÁTIDES POR ENTRE AS CÉLULAS FILHAS.....	49
FIGURA 16: REPRESENTAÇÃO DA FRAGMENTAÇÃO DAS CROMÁTIDES. A SETA APONTA PARA A SEGUNDA DIVISÃO DA MEIOSE NA QUAL UM DOS PRODUTOS APRESENTA O TRECHO DE CROMOSSOMO QUE ALOCA O GENE A E OUTRO PRODUTO O TRECHO QUE ALOCA O GENE B.....	51
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 ANTES (DENOMINADOR 139) E APÓS (DENOMINADOR 80) A PRÁTICA.....	52
FIGURA 18: REPRESENTAÇÃO DE CÉLULA COM NÚMERO CROMOSSÔMICO ZIGÓTICO INCORRETO. A CÉLULA INICIAL APRESENTA METADE DOS CROMOSSOMOS EXIGIDO PELO ENUNCIADO DA TAREFA	53

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 ANTES (DENOMINADOR 139) E APÓS (DENOMINADOR 80) A PRÁTICA....	54
FIGURA 20: REPRESENTAÇÃO INDEFINIDA NA DIAGRAMAÇÃO. AS DUAS SETAS APONTAM PARA ILUSTRAÇÕES CRIATIVAS DE FASES DA MEIOSE	56
FIGURA 21: SOLUÇÃO APRESENTADA POR ESTUDANTE DA TAREFA DE DIAGRAMAÇÃO	70
FIGURA 22: REPRESENTAÇÃO DA HETEROZIGOSE	71
FIGURA 23: MODELOS DE CROMOSSOMOS UTILIZADOS NA PRÁTICA MEIOSE NO PAPEL	82

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: QUANTIFICAÇÃO DE ITENS DAS TAREFAS REPRESENTADOS CORRETAMENTE EM CADA	
CATEGORIA	36

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

COEP UFMG	Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG
DNA	Ácido Desoxirribonucleico
H	Estudante (sexo masculino)
M	Estudante (sexo feminino)
P	Professora
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	Apresentação do problema.....	11
1.2	Ensino de genética e concepções alternativas.....	13
1.4	Estudo de desenhos e concepções de estudantes sobre divisão celular	20
2.	OBJETIVOS	25
	Objetivo Geral.....	25
	Objetivos Específicos.....	25
3.	METODOLOGIA	26
3.1	Objeto de Estudo	26
3.2	Avaliação do arquivo de tarefas de diagramação da Meiose	26
3.3	Estudo da resolução da tarefa de diagramação em grupo	30
	3.31 Momento I da aula.....	31
	3.32 Momento II da aula.....	32
	3.33 Momento III da aula.....	32
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
4.1	Análise das tarefas de diagramação da meiose	34
4.2	Análise pontual das tarefas de diagramação da meiose	37
	4.21 Característica: Locos heterozigotos	37
	4.22 Característica: Locos ligados	41
	4.23 Característica: Replicação	42
	4.24 Característica: Sinapse e Crossing over.....	45
	4.25 Característica: Disjunção.....	47
	4.26 Característica: Ploidia.....	51
	4.27 Característica: Processo de divisão.....	53
4.3	Estudo da resolução da tarefa de diagramação da meiose em grupo	56
	4.31 Extratos selecionados e comentados	57
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	69
6.	REFERÊNCIAS	74
7.	APÊNDICE.....	79

8. ANEXOS.....	83
----------------	----

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação do problema

A genética é uma área de interesse para a sociedade por sua forte relação com patologias, hereditariedade, melhoramento animal e vegetal e, mais recentemente, com a biotecnologia. Academicamente, no entanto, é considerada como uma disciplina difícil. Muitos pesquisadores se debruçam sobre o que faz a genética ter este estigma e buscam na prática formas de contornar esta questão.

Knippels (2002), após uma revisão da literatura, aponta que as dificuldades dos estudantes em genética parecem residir em problemas como: 1) a extensa terminologia genética; 2) a probabilidade e a interpretação da simbologia da genética mendeliana usada nestes cálculos; 3) ao isolamento dos conteúdos de genética, como por exemplo, meiose e hereditariedade; 4) a desconexão dos níveis de organização biológica: macro (organismal), micro (celular) e submicro (molecular).

Uma preocupação a que nos ativemos neste trabalho se relaciona ao tema da meiose. Um processo essencial para se entender a variabilidade genética, mas que parece ser ensinado de forma que sua relação com as leis de Mendel não seja clara desde o ensino básico até o ensino superior.

Um arquivo com 219 tarefas escolares de genética foi reunido ao longo dos anos de 2014 a 2018 onde a professora coordenadora de algumas disciplinas de genética do ensino superior apontava erros comuns cometidos tanto por estudantes do primeiro período quanto dos períodos finais. Nas tarefas solicitava-se a diagramação do processo da mitose ou da meiose. Os autores das produções eram estudantes de licenciatura em ciências biológicas e estudantes de medicina.

Sabendo-se da relevância do ensino de biologia para formação de estudantes e os desafios enfrentados pelos professores para ensinarem a divisão celular, que compreende um importante tópico para o entendimento da genética, pretende-se avaliar, com este estudo, a compreensão deste tema entre

universitários do curso de ciências biológicas que estão se preparando para tornarem-se professores de ciências e/ou biologia.

O presente estudo iniciou-se com a análise de uma amostra desse arquivo que correspondia a produções diagramáticas do processo da meiose realizadas por estudantes de licenciatura em ciências biológicas. O primeiro trabalho consultado na literatura para orientar nossa análise foi de Wright; Newman (2011). Este trabalho é muito semelhante ao que estávamos propondo estudar no sentido que queríamos medir o efeito de uma aula prática nas diagramações. Estes autores trabalharam com diagramas de meiose comparando dois tipos de aula, uma tradicional, dada no curso de biologia com base em livro-texto, e outra inovadora, moldada para esclarecer o comportamento do cromossomo durante a divisão e a ploidia. Os pesquisadores usaram diagramações como termômetro deste estudo comparativo. O artigo foi importante, porque nos norteou na análise das tarefas. No entanto, percebemos que era importante aprofundar na análise quantitativa destas tarefas para, em um segundo momento, partir para uma análise qualitativa onde poderíamos entender o pensamento do estudante enquanto realizava a diagramação. Os erros em testes não evidenciam, necessariamente, o que os estudantes não sabem e nem os acertos mostram o que eles dominam. A análise destas concepções, no entanto, ajuda a entender, mais de perto, como se dá a apropriação do saber para esses estudantes.

Nosso interesse no estudante de ciências biológicas é pelo papel que muitos terão como professores do ensino básico e pela responsabilidade que uma universidade pública tem na sua formação. Os professores podem, entretanto, ser considerados importantes agentes propagadores de concepções alternativas para os estudantes. No estudo de Yip (1998), professores de biologia de ensino básico apresentaram muita dificuldade com relação a conteúdos elementares tais como: metabolismo celular; processo nutricional; troca gasosa; sistema circulatório, homeostase; e reprodução e variação. Os pesquisadores alertam que os cursos de graduação estão muito abrangentes e por isso devem estar pecando no preparo efetivo de professores para o mercado de trabalho. Estudantes de licenciatura que participaram do estudo de Dikmenli (2010) cometeram muitos erros em produções diagramáticas de

divisão celular e durante entrevistas sobre este mesmo tema. As dificuldades dos estudantes estavam mais associadas ao processo de divisão meiótica que mitótica. Os pesquisadores sugerem que os professores precisam conhecer os erros de seus alunos, bem como, suas causas para poder melhorar as práticas educativas.

Na literatura não há muitos trabalhos recentes sobre o estudo com diagramações de meiose, sendo a maior parte deles publicada no século passado. No entanto, este problema dos estudantes vem sendo relatado até os dias de hoje. Por que ainda persistem os erros sobre a divisão celular neste século? Como pode o professor focar no ensino de um tópico tão básico quanto a meiose e leis de Mendel e, ao mesmo tempo, apresentar ao estudante ideias da genética moderna como regulação gênica, clonagem, transgenia, epigenética, terapia gênica, entre outros?

As seções a seguir apresentarão um relato breve dos estudos que tem sido feito com a identificação e análise das concepções alternativas de estudantes no âmbito do ensino de genética, em especial, a divisão celular. Em seguida será apresentada a pesquisa propriamente dita com todos os seus elementos: objetivos, metodologia, resultados e discussão e, por fim, as considerações finais.

1.2 Ensino de genética e concepções alternativas

Os cursos superiores ligados à área da saúde e das ciências biológicas, geralmente apresentam na grade curricular a disciplina de genética. Dentre os conteúdos abordados nesta disciplina está a divisão celular que também faz parte de ementas de outras disciplinas como citologia, biologia vegetal, etc. Mitose ou meiose representam talvez as atividades mais importantes desempenhadas pelas células, sendo assim muito pertinente a compreensão destes processos. Nas diferentes disciplinas os processos são ensinados com diferentes perspectivas, como por exemplo, na citologia onde existe uma ênfase nas estruturas celulares e visualização ao microscópio. De toda maneira, estas duas divisões celulares são muito complexas, pois apresentam uma densa terminologia para as fases e estruturas além de que há vários mecanismos moleculares subjacentes (KNIPPELS, 2002, p. 24-38).

O que se vê é que há uma dificuldade no aprendizado desses processos como é apresentado na literatura e se mostra um tema importante de ser estudado. Além disso, educadores e pesquisadores da área de ensino de genética continuam relatando em seus trabalhos a grande defasagem entre o que é ensinado de meiose e o que os estudantes realmente compreendem deste processo (GIL; FRADKIN; CASTAÑEDA-SORTIBRÁN, 2018; KINDFIELD, 1991; LEWIS; LEACH; WOOD-ROBINSON, 2000; LONGDEN, 1982; WRIGHT; NEWMAN, 2011).

Para minimizar essa defasagem escolar, muitos professores costumam abordar dentro de sala de aula situações cotidianas em sua disciplina para que os fenômenos científicos sejam visualizados mais facilmente pelos estudantes. Carneiro; Dal-Farra, (2011) apresentaram em uma pesquisa tarefas escolares envolvendo situações-problema a respeito do tópico de divisão mitótica. Estes pesquisadores foram inserindo, gradualmente, textos sobre mitose com propósito de que eles pudessem compreender a situação-problema. Depois, os estudantes articularam o conhecimento teórico com os problemas para executarem a prática. No fim das situações-problema, os estudantes contaram com a participação do professor para propor alterações necessárias de suas soluções. Desse modo, os pesquisadores conseguiram conectar os fundamentos da mitose com situações cotidianas como, por exemplo, o crescimento orgânico, a reposição celular e a regeneração.

Para Mori; Pereira; Vilela (2011) os tópicos de meiose e leis de Mendel são importantes para o entendimento da hereditariedade e, de um ponto de vista mais pragmático, espera-se que estudantes com esta base entendam melhor a transmissão das patologias genéticas, conseguindo até estimar a probabilidade de um casal vir a ter filhos afetados. Eles também afirmam que a meiose e as leis de Mendel, bem como, os demais princípios da genética são importantes para discutir temas polêmicos da biotecnologia como os alimentos geneticamente modificados, a terapia gênica e a clonagem.

A genética está muito inserida no cotidiano das pessoas por causa de vários aspectos como em temas polêmicos, a tecnologia, divulgação científica, etc. Por causa disso, alguns vocábulos genéticos, como “cromossomo”, “DNA”, e

“gene”, passaram a fazer parte dos discursos das pessoas. Entretanto, muitas vezes, são utilizados de maneira equivocada (TEMP; CARPILOVSKY; GUERRA, 2011).

No âmbito da educação científica, estas ideias utilizadas equivocadamente são julgadas como assimilações incorretas de modelos científicos. O termo *misconception*, que pode ser traduzido como concepção errada, é utilizado na literatura em língua inglesa para apontar representações não científicas produzidas por estudantes. Muitas publicações se utilizaram de análise de tarefas de genética feitas por estudantes em sala de aula para analisar sua ocorrência e as consequências do seu aparecimento para aprendizagem (BROWN, 1990; GIL; FRADKIN; CASTAÑEDA-SORTIBRÁN, 2018; LEWIS, 2004; LONGDEN, 1982; NEWMAN; CATAVERO; WRIGHT, 2012).

Misunderstanding também é outro termo inglês, que se pode traduzir como compreensão errada, e também é utilizado nos estudos sobre ensino de ciências. *Misconception* e *misunderstanding* apresentam conotação negativa para tratar os erros dos estudantes, porque são vistas como respostas estranhas, irrelevantes e evitáveis. Não contribuem para o entendimento do conceito científico, do contrário, se mantidas impedem a aprendizagem (SANTOS, 1991)

Antes da alfabetização científica formal, as pessoas já apresentam um grande repertório de concepções alternativas. Estas concepções sofrem grande influência cultural, vêm de uma experiência de vida baseada em observações e percepções dos fenômenos científicos. As concepções alternativas, muitas vezes, tornam o processo de aprendizagem muito difícil, porque a representação cotidiana dos fenômenos naturais na mente dos estudantes fica tão forte que dificilmente uma explicação científica conseguirá eliminá-la (BAHAR, 2003).

Por outro lado, é através da linguagem cotidiana que os estudantes partilham seus significados com outros estudantes. A produção de significados permite o sujeito associar o correto significado ao seu significante, isto é, o significado é definido como sendo uma representação mental estável criada pelo sujeito para ajudá-lo a identificar, descrever ou classificar as coisas abstratas ou

concretas. Assim, o significante seria uma impressão psíquica que nossos sentidos nos dão testemunho em todas as vezes que temos a intenção de expressar algo. O significado e o significante estabelecem juntos uma união e esta união é denominada de signo (SAUSSURE, 1995).

No entanto, o sujeito pode não conseguir estabelecer a combinação correta de significado e significante, criando um conceito particular como significação. Furberg; Arnseth (2009) sugerem que os signos apresentam grande potencial de produção de significado, porque em uma situação interacional, os estudantes usam e assimilam os signos de diferentes maneiras e, assim, promovem a formação de muitas concepções alternativas tanto para aquele estudante que explica algo quanto para aquele outro que ouve e abstrai a informação.

O aprendizado em ciências está muito voltado para substituição das concepções alternativas em ideias cientificamente aceitas. Mas, as concepções alternativas podem ser importantes para a aprendizagem se for considerada outra perspectiva, a de que o erro pode auxiliar nas respostas dos estudantes. Erros cometidos por estudantes em tarefas de escola não implicam que ele não saiba o conteúdo e nem os acertos indicam que o estudante os compreenda de fato (CURY, 2007, p.13-15). Os caminhos tomados por diferentes estudantes para alcançar uma mesma resposta, certa ou errada, geralmente são diferentes (CAZORLA, 2002, p. 132).

Muitos estudantes que resolvem e acertam questões, não garantem adequada aprendizagem, pois esta resolução é muitas vezes executada mecanicamente. Logo, se estes mesmos estudantes forem avaliados de outra maneira, possivelmente, terão dificuldades em discorrer sobre o mesmo assunto (BARNI, 2010, p. 85-86). Longden (1982) entrevistou graduandos bem avaliados academicamente no curso de ciências biológicas, 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 mostrava muito confuso para responder.

Os erros não precisam ser vistos como conceitos imutáveis que impeçam o estudante em alcançar a explicação científica. O desenvolvimento conceitual depende dos erros e este processo é um esforço contínuo, ativo e criativo desempenhado pelo estudante para reparar ou eliminar suas falhas no processo de aprendizagem (GILBERT; WATTS, 1983). Sendo assim, o estudante pode apresentar um entendimento de um conceito científico que não seja o aceito pela ciência e também ter uma visão de mundo específica sua e ser influenciado por questões cognitivas, culturais e sociais. O termo *alternative conception* ou traduzido, concepção alternativa, é assim utilizado e, diferente dos termos citados acima, tem uma conotação positiva.

Em nossa revisão da literatura, encontramos trabalhos de análise de tarefas de genética que além de abordar a questão de *misconception* também abordam as concepções alternativas dos conceitos científicos (HEIM, 1991; LEWIS, 2004; LONGDEN, 1982). A concepção alternativa sugere diferenças qualitativas entre as representações dos estudantes e os conceitos científicos. As concepções alternativas dos estudantes são criadas espontaneamente. No início o valor significativo da concepção alternativa é isolado, mas progressivamente tornam-se mais gerais e complexos. Sua construção ocorre do prolongamento de ideias prévias para concepções cada vez mais lógicas e coerentes para o estudante (SANTOS, 1991). Entretanto, são tenazes como afirma Viennot (1979), porque resistem a educação formal, podendo reaparecer mesmo após o estudante dar sinais de superação da dificuldade com o conceito científico.

Yip (1998) apresenta três origens prováveis de concepções não científicas de estudantes sobre os fenômenos científicos:

- Concepções fruto de uma experiência cotidiana que são trazidas pelos estudantes para dentro da sala de aula;
- Interpretações particulares dos estudantes durante a aula do professor;
- Concepções alternativas propagadas por professores e eventuais erros presentes em livros didáticos.

Alguns conceitos de genética podem sofrer influência das experiências cotidianas. O trabalho de Lewis (2004) apresenta este exemplo. O pesquisador

explorou a questão da natureza das concepções alternativas no contexto do senso comum. Ele 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 apontam 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.

Heim (1991) também discute no seu trabalho concepções alternativas e senso comum. O autor informa que os conteúdos de genética sobre dominância e recessividade são muito mal interpretados, de modo que ele considera que o senso comum esteja influenciando de alguma maneira os conceitos destes 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 pensaram que o alelo dominante (*o mais poderoso*) seria o mais comum nas populações.

As dificuldades dos estudantes em genética podem também ser influenciadas pela organização geral do ensino e as instruções dos professores. Lawson; Thompson (1988) observaram em seu estudo 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 pesquisadores, pode ser desenvolvida pelos estudantes antes do ensino formal, então eles admitem que os estudantes são menos propensos desenvolver explicações próprias para fenômenos mais complexos que para eventos mais simples.

O grande volume de informações dado aos estudantes durante o ensino de genética pode acarretar em dificuldade de aprendizagem. Paiva; Martins (2005)

informam que uma aprendizagem é mais significativa quando o estudante consegue relacionar suas concepções alternativas com os novos conteúdos que lhes são apresentados. No estudo destes pesquisadores, os estudantes não foram capazes de associar conhecimentos sobre a biologia molecular com questões vinculadas pelos meios de comunicação.

Posner et al. (1982) propôs um modelo de mudança conceitual para lidar com as concepções alternativas no contexto da aprendizagem. Estes pesquisadores implicaram a mudança conceitual como um recurso para aprender os conceitos científicos. Na visão da mudança conceitual, uma nova concepção substituiria a concepção alternativa do estudante por uma mais razoável. Esta nova concepção, agora na mente do estudante, provocaria uma reorganização das ideias prévias existentes para construir a nova compreensão sobre algo.

A aprendizagem é tanto mais significativa quanto mais relações com o sentido o estudante conseguir estabelecer entre suas concepções alternativas e o conhecimento adquirido como objeto de aprendizagem (PAIVA; MARTINS, 2005). Por isso, as concepções alternativas apresentam importância no processo de ensino-aprendizagem:

“Suprimir essas 'concepções alternativas', no entanto, significaria suprimir o pensamento de senso comum e seu modo de expressão, a linguagem cotidiana. Uma expectativa irreal e inútil. A linguagem cotidiana é o modo mais abrangente de se compartilhar significados e permite a comunicação entre os vários grupos especializados dentro de uma mesma língua. Suprimi-la seria instaurar uma babel, impedindo que diferentes grupos pudessem compartilhar de significados numa mesma cultura” (MORTIMER, 1996, p. 26).

Enquanto na abordagem de mudança conceitual se estabelece que o estudante abandone uma concepção alternativa por uma nova, em contrapartida, no perfil conceitual, uma teoria que propõe a descrição da evolução das ideias, as concepções alternativas do estudante são mantidas e devem conviver com as concepções científicas. No entanto, o uso de uma ou outra, dependerá do contexto (DRIVER et al., 1999; MORTIMER, 1996). Portanto, as observações e percepções sobre as coisas são interiorizadas de uma maneira diferente por cada estudante. Um determinado fenômeno científico pode ser explicado por diferentes perspectivas de concepções

alternativas em resposta aos elementos do meio. Os estudantes não guardam de uma instrução sempre as mesmas características (SANTOS, 1991).

1.4 Estudo de desenhos e concepções de estudantes sobre divisão celular

Na educação científica, os desenhos representam um outro tipo de linguagem, a não-verbal. Esta pode contribuir para acessar diferentes concepções que os estudantes podem apresentar diante de determinado assunto (BAPTISTA, 2009). A partir da análise de desenhos, Bowker (2007) estudou as percepções de crianças em grupos sociais diferentes. Os pesquisadores acreditaram que poderia haver alguma diferença nas ilustrações de estudantes com níveis diferentes de escolarização. No estudo, as crianças desenharam a floresta tropical antes e após a visita ao bioma. Os desenhos produzidos após a visita ao bioma do grupo de crianças com menor nível de escolarização foram muito mais detalhados que dos demais grupos. Assim os pesquisadores argumentaram que os desenhos permitem que os estudantes expressem mais claramente suas ideias que pela escrita.

Os desenhos diagramáticos podem ser vistos como valiosos objetos para pesquisas pedagógicas na área de ensino de ciências. Desse modo, Bahar et al. (2008) utilizaram a análise de desenhos para sondar os erros de professores de ciências. No estudo, os professores avaliados tiveram a oportunidade de assistir aulas práticas de anatomia cardíaca para facilitar as ilustrações sobre as estruturas internas do coração. Os resultados revelaram que os desenhos das estruturas internas do coração apresentaram vários equívocos. Os pesquisadores sugerem que o método do desenho possa ter gerado dificuldades para os professores na representação cardíaca, mas eles não descartam este método de análise, porque pode ser útil como ferramenta diagnóstica de equívocos de conceitos mais simples.

Os desenhos diagramáticos podem, 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). Mertens; Walker (1992) identificaram muitos erros em diagramas de divisão celular desenvolvidos por estudantes de ensino superior. Os

estudantes tiveram dificuldades relacionadas aos locos, replicação, sinapse, segregação e até em ploidia. Neste estudo foi adotada a estratégia de Bajema, um dos primeiros pesquisadores relatados pela literatura que teve a preocupação de estudar os erros de estudantes sobre meiose a partir de diagramações. Esta estratégia utilizada na pesquisa propõe diagramas prontos de meiose para que os estudantes, possam nas produções, relacionar a meiose com as leis de Mendel e a segregação independente. Os pesquisadores defendem a estratégia de Bajema, porque permite que os estudantes manipulem a simbologia genética na resolução dos diagramas, podendo tornar os problemas de genética mendeliana mais simples e menos abstratos. Além disso, eles informam que os estudantes que conseguem relacionar o comportamento dos cromossomos durante a meiose também apresentam mais facilidade em compreender as leis de Mendel.

Para tentar medir o entendimento conceitual sobre o mitose e meiose a partir de diagramações, Dikmenli (2010) avaliou futuros professores que cursavam o ensino superior. O cientista classificou os desenhos em cinco categorias: sem diagrama, diagramas não representativos, diagramas com erro, diagramas parciais e diagrama de representação abrangente. Os resultados desta pesquisa revelaram que aproximadamente metade das diagramações sobre mitose e meiose estariam enquadrados na categoria diagramas com erro.

Vários outros pesquisadores utilizaram a análise de diagramas para diagnosticar o entendimento dos estudantes sobre o ciclo celular. Os trabalhos têm mostrado que os estudantes cometem muitos erros sobre mitose e, principalmente, de meiose (DIKMENLI, 2010; GIL; FRADKIN; CASTAÑEDA-SORTIBRÁN, 2018; KINDFIELD, 1994; WRIGHT; NEWMAN, 2011). Por exemplo, Wright; Newman (2011) estudaram um coorte de 144 graduandos de biologia e descobriram que apenas 4% das diagramações de meiose produzidas por estes estudantes podiam ser consideradas corretas. Os erros identificados nas produções estavam relacionados às características de replicação, sinapse, segregação e ploidia. Praticamente os mesmos observados por Mertens; Walker (1992) a quase vinte anos atrás. Nesse estudo de Wright; Newman (2011), os estudantes já haviam sido expostos ao

tópico de divisão celular pelo menos uma vez no curso, enquanto outros, mais avançados no curso, haviam visto o tema três vezes em conteúdo de genética.

Gil; Fradkin; Castañeda-Sortibrán (2018) analisaram as produções diagramáticas de estudantes de graduação do quinto período do curso de biologia. Foi pedido que os estudantes diagramassem alguns estágios da meiose e mitose selecionados pelos pesquisadores e indicassem a fonte que usaram de referência. Neste estudo foi identificado muitos erros nas diagramações do processo citológico como por exemplo não indicar em quais fases os cromossomos têm uma ou duas cromátides (ainda que o conceito de cromátide implica em sempre duas cromátides por cromossomo!), orientação incorreta dos cromossomos na metáfase mitótica ou metáfase I e II, além de outros erros com relação ao crossing over. Os pesquisadores sugerem que estudantes que interpretam mal as imagens consultadas não conseguem compreender nem diagramar adequadamente. Além disso, eles consideram que as imagens disponíveis na internet podem ajudar na construção de conceitos errôneos já que trazem omissões e simplificações de parte do processo de ciclo celular.

Já Kindfield (1994) oferece uma análise de diagramações de estudantes de diferentes níveis de especialização em genética incluindo, dentre os experientes, um professor universitário, professor visitante, estudante de pós-graduação, estudante de iniciação científica; como inexperientes foram convidados cinco estudantes em início da graduação em biologia. Seu estudo envolveu a resolução de problemas de genética junto com a representação de cromossomos e do processo de divisão meiótica. Foi mostrado que as produções eram mais elaboradas quanto maior fosse a especialização do entrevistado. Nenhum estudante inexperiente de graduação conseguiu apresentar o processo da meiose inteiramente correto (o mesmo se deu com um dos experientes). De um modo geral, todos os diagramas analisados compartilharam características corretas nas produções. Assim, em todos os diagramas havia a representação dos cromossomos e estes cromossomos se modificavam à medida que nas ilustrações eram incluídos processos como replicação, sinapse, crossing over e segregação.

Apenas a análise de desenhos de estudantes para acessar as diferentes concepções sobre determinado assunto pode ser insuficiente, se nenhum outro método avaliativo como entrevistas for implementado nos estudos (BAHAR et al., 2008). Kindfield (1991) reforça esta ideia propondo que tarefas escolares que solicitam a diagramação de algum fenômeno científico, devem pedir também que o aluno deixe registrado por escrito seu pensamento.

Knippels (2002, p.46-50) realizou entrevistas abertas para examinar concepções de estudantes sobre mitose e meiose, solicitando que estudantes de ensino médio expusessem o raciocínio no papel de maneira escrita e pelo desenho. A entrevista realizada neste estudo teve um papel importante, porque mostrou outras competências destes estudantes, como a capacidade deles de identificar relações e conexões entre os dois tipos de divisão celular. Dikmenli (2010) considera ser necessário associar entrevistas às análises de diagramação de ciclo celular para obter mais dados. Por exemplo, alguns estudantes, durante a entrevista, confundiram os conceitos dos seguintes termos: mitose e meiose; haploide e diploide; cromátides-irmãs e cromossomos homólogos; centrômero e centrômero; cromatina, cromátide e cromossomo.

Em uma pesquisa semelhante, Kindfield (1991) solicitou aos universitários a diagramação do processo de divisão meiótica. Foi observado no estudo um equívoco importante cometido por estudantes sobre a estrutura cromossômica e a ploidia celular. Alguns estudantes consideram que a estrutura do cromossomo, enquanto simples (antes da replicação) ou enquanto duplicado (após a replicação), poderia determinar a ploidia celular. A pesquisadora implica este erro nas diagramações às instruções de professores, porque quando os professores utilizam o termo “cromossomo” em referência ao material replicado, naturalmente deixam subtendido a estrutura do DNA. Para evitar problemas instrucionais, Sanders (1993) alerta que os professores precisam ser informados sobre: 1) os estudos relacionados ao diagnóstico de erros em tarefa escolares; 2) as concepções de estudantes sobre vários conceitos biológicos que persistem após o ensino formal; 3) os fatores que estimulam a produção de erros; 4) e que o professor pode ser tanto um agente propagador quanto remediador de erros.

A compreensão de estudantes sobre os conceitos de genética tem sido um foco de pesquisa no ensino de ciências, em especial a meiose. Os estudos consultados mostraram que os estudantes cometem muitos erros ao diagramarem a meiose. Alguns trabalhos também trouxeram múltiplas concepções alternativas de conceitos de genética. Embora a identificação das causas dos erros seja um passo importante para um ensino de genética de qualidade, um estudo sobre a identificação dos erros e as concepções alternativas de futuros professores sobre a meiose é essencial para projetar estratégias instrucionais que visem prevenir ou reduzir tais erros, porque estes estudantes quando se formarem provavelmente serão professores e poderão propagar erros para as próximas gerações de estudantes.

2. OBJETIVOS

Objetivo Geral

- Investigar a compreensão de estudantes de licenciatura em ciências biológicas sobre meiose e sua relação com conceitos genéticos a partir da análise da resolução de exercícios de diagramas de ciclo celular.

Objetivos Específicos

- Diagnosticar, por meio da análise de diagramas de meiose, os erros conceituais que residem no entendimento dos estudantes;
- Estudar a resolução de diagramas de meiose realizada individualmente e o processo de resolução realizada em grupo;
- Articular os achados das análises das tarefas individualmente e em grupo para melhor entender a compreensão dos estudantes de licenciatura sobre meiose e seus conceitos genéticos.

3. METODOLOGIA

Esta pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais (COEP UFMG) conforme a Resolução 196/96 do Conselho Nacional de Saúde. O documento de aprovação do COEP UFMG e o termo de consentimento livre e esclarecido encontram-se no anexo 1.

A presente pesquisa possui caráter quantitativo e qualitativo. Os dados quantitativos foram obtidos a partir da análise de um arquivo de tarefas de genética de uma professora coordenadora de disciplinas ligadas a genética. A aplicação das tarefas foi feita antes e depois da atividade prática denominada *Meiose no Papel* (ver apêndice 2). Os dados qualitativos foram obtidos durante algumas aulas práticas de uma disciplina que aborda o ensino de genética.

3.1 Objeto de Estudo

A pesquisa teve como objeto de estudo tarefas de genética resolvidas por estudantes dos anos finais do curso de licenciatura em ciências biológicas de uma universidade federal brasileira matriculados em uma disciplina optativa que aborda o ensino de genética. Além disso, uma segunda parte da pesquisa utilizou-se da análise de falas de estudantes que realizaram a tarefa em grupo, enquanto cursando esta mesma disciplina.

3.2 Avaliação do arquivo de tarefas de diagramação da Meiose

A professora coordenadora da disciplina optativa disponibilizou um arquivo de tarefas de diagramação de meiose que foi coletado e guardado durante os anos de 2014 a 2018 (total de 9 turmas). Este arquivo continha 219 tarefas, sendo 139 de diagramações realizadas antes da atividade prática *Meiose no Papel: cromossomos e segregação independente* (Descrição da atividade em apêndice 1), enquanto 80, eram diagramações realizadas após esta prática.

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. Essas orientações estão 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.

Durante a análise das diagramações foi observado que o enunciado da tarefa de diagramação da meiose variou sutilmente entre as turmas, por exemplo, em algumas tarefas a orientação era $2n= 6$, enquanto em outras $2n= 4$; ou solicitava-se que a célula fosse heterozigota para 3 locos, sendo dois ligados, ou apenas heterozigota para 2 locos.

Foi elaborada uma resposta modelo para a tarefa, adaptada de desenho apresentado em trabalho de Kindfield (1991). Trata-se de uma resolução simplificada que pode ser considerada como correta para a tarefa de diagramação da meiose sugerida, já que a proposta era ênfase nos genes e no processo de formação dos gametas (**Figura 2**).

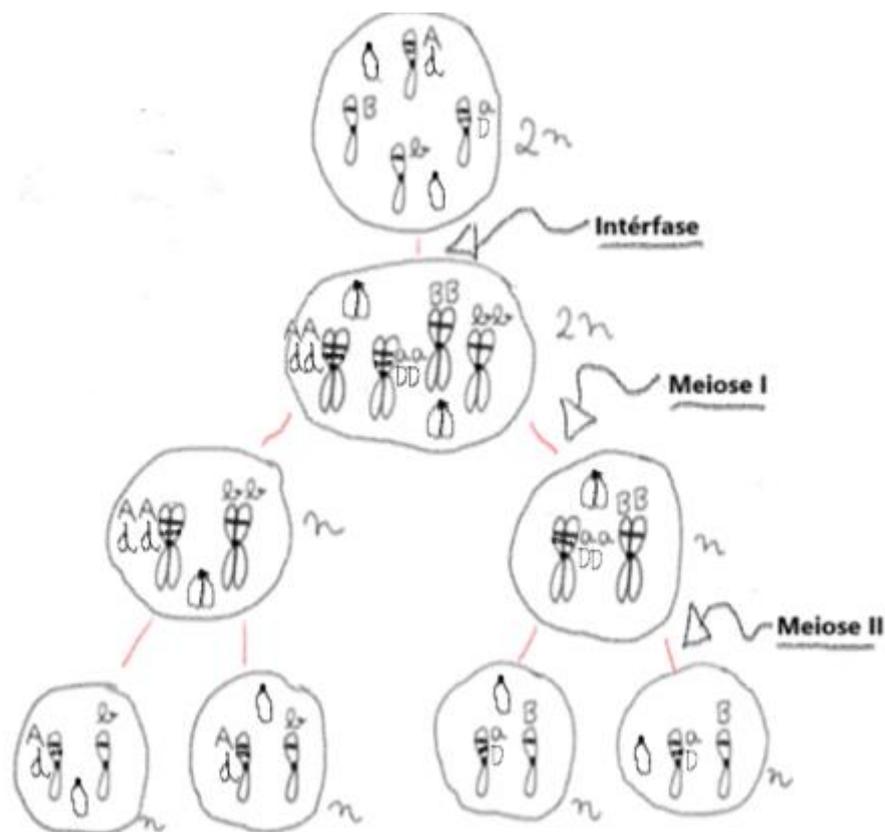


Figura 2: Modelo de resolução da tarefa diagramação da meiose

A **Figura 2** apresenta a diagramação do processo da meiose. As ilustrações circulares representam as células e dentro de cada uma, estão seus cromossomos simples e 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. A escolha desta resposta se baseou nos erros relatados em trabalhos que avaliaram diagramações de meiose resolvidas por estudantes (DIKMENLI, 2010; MERTENS; WALKER, 1992; WRIGHT; NEWMAN, 2011). Esta resposta foi elaborada, porque as diagramações do arquivo não tinham sido avaliadas pela professora. Este modelo de resposta guiou a análise quantitativa da diagramação da meiose na identificação dos erros e das soluções corretas.

Os erros e acertos observados nas tarefas constituíram um banco de dados de possibilidades para correção, usando um sistema de categorização que pudesse fornecer dados mais robustos. Assim, as características analisadas das diagramações do processo da meiose envolveram: *Locos heterozigotos*; *Locos ligados*; *Replicação*; *Sinapse e Crossing over*; *Disjunção*; *Ploidia*; e *Processo de divisão*. Esse sistema de categorização foi composto por assertivas¹ e alternativas² específicas para cada uma destas características. Também se levou em conta o trabalho de Newman (2011) para a escolha dessas características. A seguir 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 a representação dos genes ligados nos cromossomos; e observou a localização dos dois genes no cromossomo;
- **Replicação:** a análise observou a representação deste processo; e a ilustração de cromossomos replicados.
- **Sinapse e Crossing-over** não se considerou como obrigatório a avaliação desta característica. O motivo disto se deveu à sugestão de resposta para a tarefa de diagramação apresentada na **Figura 2**. No entanto, para aqueles diagramas onde a sinapse e o crossing over foram representados observamos os cromossomos que foram ilustrados neste processo de permuta de material genético;
- **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** avaliou-se as diagramações da intérfase e fase M. No entanto, o enunciado da tarefa não exigiu a representação dos estágios da meiose, mas muitos diagramas trouxeram isto, assim observamos também nestes casos, a diagramação das subfases.

¹ As assertivas nos sistemas de categorização são afirmações do diagnóstico dos erros

² As alternativas nos sistemas de categorização são as variações dos erros identificados na diagramação.

A Figura 3 mostra um exemplo da análise realizada nos diagramas. Na figura há um diagrama (à esquerda) e um sistema de categorização (à direita). O sistema de categorização da replicação nesta figura, apresenta duas assertivas e cada assertiva, por sua vez, com suas alternativas. O diagrama mostrado está sendo avaliado para a característica replicação. Os números e letras destacados na diagramação representam a assertiva e a alternativa correspondente. No sistema de categorização, as alternativas em negrito indicam as opções corretas.

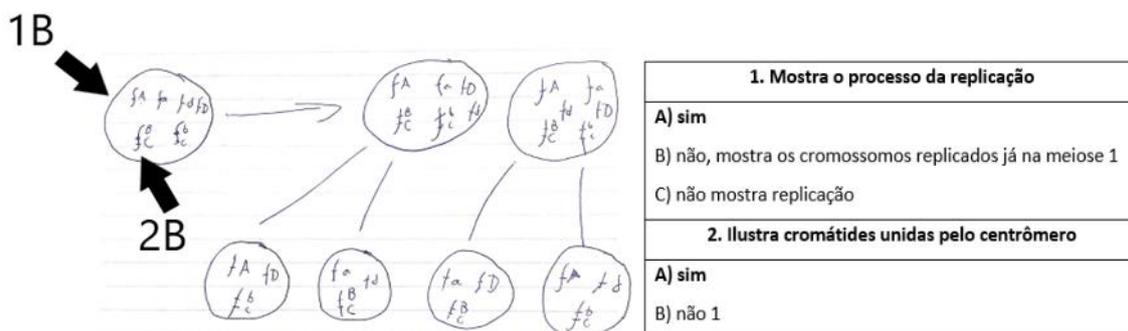


Figura 3: Exemplo de análise de diagrama (esquerda) com indicação de possíveis erros do processo de replicação. As setas indicam os erros: 1B não mostra o processo de replicação; 2A as cromátides-irmãs não estão unidas pelo centrômero. O Sistema de categorização replicação (direita) contabiliza os achados, acertos nas alternativas em negrito e erros nas demais alternativas.

Portanto, nesta diagramação acima (**Figura 3**) o estudante não apresentou o processo de replicação (1B), isto é, 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).

3.3 Estudo da resolução da tarefa de diagramação em grupo

Foi realizado o acompanhamento da aula sobre meiose e leis de Mendel dada pela professora coordenadora da disciplina que aborda o ensino de genética. É nesta aula que os estudantes são testados sobre seu conhecimento anterior relacionado ao tópico de meiose como um estímulo para identificarem na prática que será apresentada a eles, o potencial para ser utilizado na docência do ensino médio. Dois pesquisadores, além da professora, auxiliaram na condução da pesquisa durante a aula. Antes do início das atividades, os pesquisadores esclareceram para a classe que gostariam de presenciar a aula daquele dia para fins de pesquisa. Assim, foi pedido a cada estudante que

analisasse e, se de acordo, assinasse duas cópias do termo de consentimento livre e esclarecido (vide anexo 2), sendo uma delas para o estudante e outra para o arquivo dos pesquisadores.

Os pesquisadores utilizaram bloco de anotações, gravadores de voz e câmeras filmadoras. Todos os 15 estudantes presentes aceitaram participar da pesquisa, permitindo também a gravação da voz e a filmagem de suas atividades. Os áudios obtidos dos gravadores de voz dos grupos I, II e III foram ouvidos e transcritos. Os participantes foram nomeados com letras e números (**H1**, **M2**, etc. –para homens e mulheres- e a professora **P**). Dionísio (2000) acrescenta que as transcrições a serem feitas devem ser centradas na produção dos sujeitos estudados e nunca nas interpretações e adaptações do pesquisador. A aula durou aproximadamente 2h30 e apresentou três momentos.

3.31 Momento I da aula

A aula teve início e a professora passou na lousa a orientação para realização individual da diagramação da meiose (Figura 1 – vide metodologia). A Figura 1 apresenta as regras para a tarefa da diagramação da meiose. Os estudantes precisavam apresentar em uma folha avulsa o desenho do processo da meiose a partir de uma célula contendo três pares de cromossomos, apresentando três locos em heterozigose, sendo dois deles em ligação. Não era preciso registrar na produção do processo da meiose as fases nem os nomes das estruturas da divisão.

Antes que os estudantes pudessem iniciar a diagramação propriamente dita, a professora perguntou à classe se havia alguém com dúvidas sobre o enunciado. Assim, uma pessoa se manifestou e a professora esclareceu o que seria a representação de locos ligados e locos em heterozigose. Durante a realização da meiose, a professora passou um novo comando: era preciso apresentar na resolução do problema alguma interface com as leis de Mendel. Este primeiro momento durou aproximadamente 20 minutos e 14 estudantes realizaram a diagramação. Apenas um estudante não participou, pois havia chegado muito atrasado.

3.32 Momento II da aula

No segundo momento, a professora pediu que a classe se organizasse em três grupos com cinco componentes cada (grupo I, grupo II e grupo III). Os estudantes de cada grupo começaram a discutir sobre suas diagramações. Depois, a professora pediu que eles refizessem a tarefa com os colegas, procurando debater os acertos e erros daquela diagramação individual para construção de uma nova meiose em conjunto.

Quando a produção do novo diagrama de meiose pelos grupos começou, as câmeras foram posicionadas, uma para registrar atividade de um grupo específico (Grupo II) e outra para filmar a atividade geral da sala de aula. Os gravadores de voz foram deixados sobre a carteira de um componente de cada grupo. A professora realizou visitas em cada grupo para acompanhar a dinâmica da atividade. Um dos pesquisadores descreveu as atividades em bloco de anotações e enquanto outro, responsabilizou-se pela manutenção das câmeras e gravadores de voz a fim de evitar que a pesquisa ficasse comprometida na aquisição dos dados digitais.

3.33 Momento III da aula

Este momento teve início à medida que os grupos foram encerrando as diagramações. Os grupos II e III rapidamente entraram no momento III da aula, que foi a realização da atividade prática *Meiose no Papel* (ver apêndice 1). Porém o grupo I gastou quase o dobro do tempo que os demais para terminar a discussão da meiose. Todos os grupos conseguiram concluir a prática *Meiose no Papel* seguindo o roteiro entregue. A professora interferiu pouco no prosseguimento da atividade prática, ou seja, os grupos realizaram a prática com pouca interação direta da docente.

No final da aula a professora abriu espaço para falar sobre a atividade *Meiose no Papel* aos licenciandos como material didático para uso futuro com seus alunos do ensino médio.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O tema divisão celular pode ser abordado de formas bastante distintas dentro das diferentes disciplinas da biologia. No contexto da bioquímica, por exemplo, o foco está voltado mais para os componentes químicos e eventos moleculares do processo como a ação de receptores e ligantes. Na citologia, a divisão celular tem uma abordagem mais morfofuncional caracterizando os estágios e estruturas organelares. Já na perspectiva da genética, ainda que os componentes celulares e moleculares sejam importantes, a atenção está voltada mais para a transmissão de caracteres genéticos. Como a mitose e meiose estão conectadas com a preservação e a transmissão dos caracteres genéticos? Qual a relação entre a teoria cromossômica da herança e a genética molecular? Pode o ensino de genética passar ao largo dessas relações? Assim, no contexto deste trabalho, foi importante entender qual a percepção dos futuros professores de biologia sobre a relação do processo da meiose com as leis de Mendel.

A primeira parte da análise do trabalho, que envolveu a análise de tarefas de nove turmas ao longo de cinco anos nos deu uma dimensão das dificuldades que os licenciandos já quase em final de formação tem para conceitualizar o processo. Ainda nesta fase do trabalho, tivemos a oportunidade de rever as tarefas dos estudantes após terem conhecido uma atividade prática onde toda a teoria era exposta e o uso de cromossomos recortados em papel ajudava a representar cada passo do processo em detalhe, conectando com as leis de Mendel. Foi feita uma análise dos diagramas antes e depois da prática, mas no contexto deste trabalho não buscamos analisar a contribuição da referida prática em si, mas sim a exposição do aluno ao assunto em um período curto de tempo e sua habilidade para se referenciar para a realização de uma nova tarefa de diagramação. A segunda parte do trabalho foi importante para avaliar o desenvolvimento do raciocínio na realização da tarefa e analisar os conceitos que trazem os estudantes e que podem refletir nos erros que se observam na resolução das tarefas. Desta forma, a seguir estão descritas as duas partes do trabalho, que tendo abordagens quantitativas e qualitativas se complementaram para que tivéssemos uma melhor visão do problema.

4.1 Análise das tarefas de diagramação da meiose

Este trabalho teve início com a análise das tarefas de diagramação da meiose feitas durante os anos de 2014 a 2018, em nove turmas de disciplina sobre ensino de genética do curso de licenciatura em ciências biológicas. Em seis destas nove turmas foi pedido que a tarefa de diagramação da meiose fosse realizada após uma atividade prática. As tarefas formaram um arquivo com 219 diagramações subdivididas em 139 tarefas realizadas antes da *Meiose no Papel* (vide apêndice 1) e 80 tarefas depois desta mesma prática. Fez-se necessário inicialmente montar um modelo de resolução para se estabelecer critérios de correção das tarefas e definir o grau de complexidade exigido para o fim proposto.

As características escolhidas para análise do processo da meiose foram: *Loco heterozigoto; Loco ligado; Replicação; Sinapse e Crossing over; Disjunção; Ploidia; e Processo de divisão* (ver metodologia para os detalhes buscados em cada item).

Assim, foi feita a análise de 219 tarefas das quais 56 (25,5%) foram consideradas como resoluções corretas. Consideramos este número de acerto baixo, uma vez que os autores destas produções diagramáticas são estudantes que estão na reta final do curso. Além disso, o tópico explorado nesta tarefa fundamenta-se na teoria cromossômica da herança, uma ideia desenvolvida no início do século XX que apresenta seus pressupostos muito bem estabelecidos na literatura, ou seja, o conceito do processo da meiose deveria estar mais consolidado por entre os estudantes. Santos et al. (2015) consideram que faltam eixos integradores entre as disciplinas do conteúdo de biologia, mais especificamente relação entre os tópicos de genética e biologia celular. Os pesquisadores realizaram um estudo qualitativo com estudantes brasileiros de ensino médio observaram que os estudantes também apresentam dificuldades em compreender o tópico da teoria cromossômica da herança.

Das 139 tarefas de diagramação da meiose realizada pelos estudantes antes da *Meiose no Papel*, 24 (17,2%) apresentaram a resolução do processo representado de forma inteiramente correta. Isto nos pareceu um número de acerto também baixo, mas vai ao encontro da pesquisa de Wright e Newman

(2011) na qual avaliou-se 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 desenharam o processo corretamente, mas 96% erraram na representação da ploidia. Já no trabalho de Gil; Fradkin; Castañeda-Sortibrán (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).

Nas turmas onde pediu-se para se repetir a diagramação após a atividade prática, foi observado que 32 (40%) das 80 tarefas apresentaram a resolução da meiose de modo correto. Isto representou um aumento na porcentagem de acertos, um pouco mais que o dobro visto anteriormente. Alguns estudantes apresentam concepções alternativas tão consolidadas que propostas dinâmicas, novos roteiros de aula ou aplicações de materiais didáticos, como foi caso, dificilmente conseguiriam contornar as dificuldades dos estudantes. Por outro lado, estas iniciativas costumam ser bem-sucedidas entre os professores e, por isso, não podem ser omitidas em sala de aula. A título de exemplo, os pesquisadores Wright; Newman (2011) perceberam melhora no desempenho de estudantes americanos em tarefa de diagramação da meiose partindo de uma célula com três pares de cromossomos em pós-teste de aula moldada para esclarecer dúvidas ligadas à ploidia celular do processo da meiose. No entanto, não identificaram bom desempenho quando apenas uma aula tradicional - baseada em livro texto - da disciplina de genética foi dada.

Embora tenham sido identificadas poucas diagramações certas, algumas características do processo da meiose foram representadas corretamente antes da prática *Meiose no Papel* (Tabela 1). Em seguida, mostraremos os resultados de cada item analisado com a intenção de avaliar aqueles onde houve mais erros e mais acertos.

Tabela 1: Quantificação de itens das tarefas representados corretamente em cada categoria

Característica/Categoria analisada	Porcentagem de diagramas corretos (antes da prática)	Porcentagem de diagramas corretos (após a prática)
Locos heterozigotos	97,1%	86,2%
Locos ligados	93,5%	98,7%
Replicação	50,3%	72,5%
Sinapse e Crossing over	94,9%	91,2%
Disjunção	69,7%	67,5%
Ploidia	30,9%	33%
Processo de divisão	39,5%	58,7%

Observa-se nos dados da Tabela 1 que, na coluna dos diagramas realizados antes da prática, 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. Os estudantes tiveram mais facilidade em ilustrar os locos heterozigotos e genes ligados e mais dificuldade de representar a ploidia correta. A alta porcentagem verificada na característica *Sinapse e Crossing over* se deveu aos muitos diagramas analisados que não mostraram estes eventos na diagramação. Na resposta sugerida (vide metodologia) estes processos não estão

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

A segunda coluna da Tabela 1 apresenta o resultado da avaliação das diagramações após os estudantes terem realizado a atividade prática *Meiose no Papel*. De modo geral, pode-se perceber pouca mudança no desempenho dos estudantes após a realização da prática *Meiose no Papel* (vide apêndice 1). As características que mais se destacaram na segunda realização da diagramação foram: *Replicação* e *Processo de divisão*. Enquanto na primeira diagramação 50,3% dos estudantes haviam representado a replicação corretamente, na segunda diagramação a porcentagem de estudantes subiu para 72,5%. Já para *Processo de divisão* a porcentagem de estudantes que apontou corretamente as fases da meiose subiu de 39,5% para 58,7%. No entanto, o desempenho dos estudantes foi menor na representação dos locos heterozigotos; o número caiu de 97,1% para 86,2%. Por que os estudantes persistem com erros em uma diagramação sem consulta após uma aula prática onde a teoria é revisitada e um diagrama correto é feito ao final de sua realização? Em qual aspecto dessas representações se encontram os erros? Esses erros representam concepções alternativas por parte dos alunos? Uma avaliação mais profunda e minuciosa de cada característica foi realizada para tentar identificar se existia algum padrão de resposta ou a existência de concepções alternativas.

4.2 Análise pontual das tarefas de diagramação da meiose

Cada diagrama foi revisitado e as sete características (*Locos heterozigotos*; *Locos ligados*; *Replicação*; *Sinapse e Crossing over*; *Disjunção*; *Ploidia*; e *Processo de divisão*) foram analisadas. Contabilizou-se também os erros dos dois tipos de tarefa: antes e depois da prática.

4.2.1 Característica: *Locos heterozigotos*

Na análise da característica *Locos heterozigotos* procurou-se observar se houve a representação dos locos gênicos e como se mostravam sua disposição nos cromossomos. A **Figura 4** mostra como foi feita esta análise em cada diagrama e os resultados encontrados estão entre parênteses em cada subitem.

1. Apresenta os locos
A) em heterozigose (119/139) (71/80) B) em homozigose (10/139) (6/80) C) em hemizigose (3/139) (0/80) D) não apresenta (8/139) (3/80)
2. Se apresenta loco, os alelos estão
A) no mesmo loco (123/139) (74/80) B) em diferentes locos (8/139) (3/80) C) não se aplica (8/139) (3/80)
3. Se apresenta loco, representa
A) os alelos um em cada cromátide (106/139) (72/80) B) os dois alelos na mesma cromátide (2/139) (0/80) C) alelos diferentes nas cromátides irmãs (23/139) (5/80) D) não se aplica (8/139) (3/80)

Figura 4: Sistema de categorização locos heterozigotos. A figura contabiliza os achados em frações para as tarefas dadas antes (denominador 139) e após (denominador 80) a prática. Os acertos estão nas alternativas em negrito e os erros nas demais alternativas.

A **Figura 4** apresenta as três assertivas para a característica *Locos heterozigotos* e suas possibilidades. As alternativas em negrito indicam a opção correta. Em cada alternativa há duas frações entre parênteses, uma para contabilizar o achado da diagramação realizada antes (denominador 139) e outra para contabilizar os achados das diagramações realizadas depois (denominador 80) da prática da *Meiose no Papel*. As alternativas “não se aplica” do sistema de categorização são para diagramações que não demonstraram locos heterozigotos ou homozigotos nas ilustrações.

O enunciado de todas as tarefas de meiose solicitou a diagramação partindo de uma célula com genótipos heterozigotos. No entanto, a análise dos diagramas mostrou que alguns estudantes representaram os locos em homozigose, hemizigose ou simplesmente não representaram loco algum. A **Figura 5** apresenta uma diagramação exemplo para retratar a não representação dos locos, ainda que a presença de traços coloridos nas duas primeiras células possa indicar alguma preocupação por parte do/a estudante.

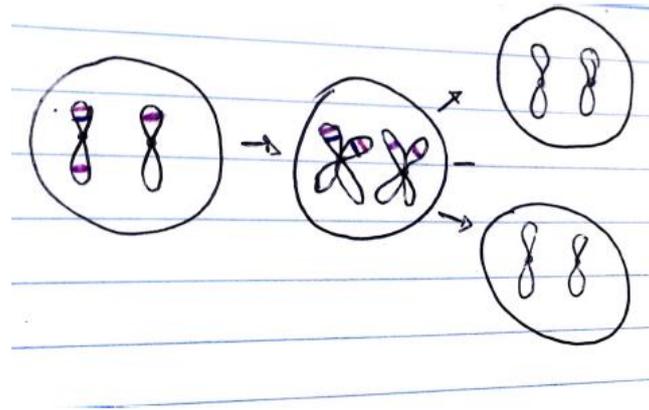


Figura 5: Representação de cromossomos sem locos em heterozigose. Os cromossomos da figura não apresentam em seus locos caracteres indicativos.

Grande parte dos estudantes representou corretamente os cromossomos e os locos em heterozigose na etapa inicial da diagramação dando nomes aos alelos com as letras *A/a*, *B/b* e *C/c* em sua maioria (85,61% das diagramações realizadas antes da prática; e 88,75% das diagramações realizadas após a prática). Foram observadas, apenas nas diagramações antes da prática, algumas representações de hemizigose, ou seja, falha na representação de cromossomos homólogos (3/139) e também diagramas representando dois alelos em um único loco (2/139). A Figura **6A** e **6B** apresentam estes dois exemplos, respectivamente.

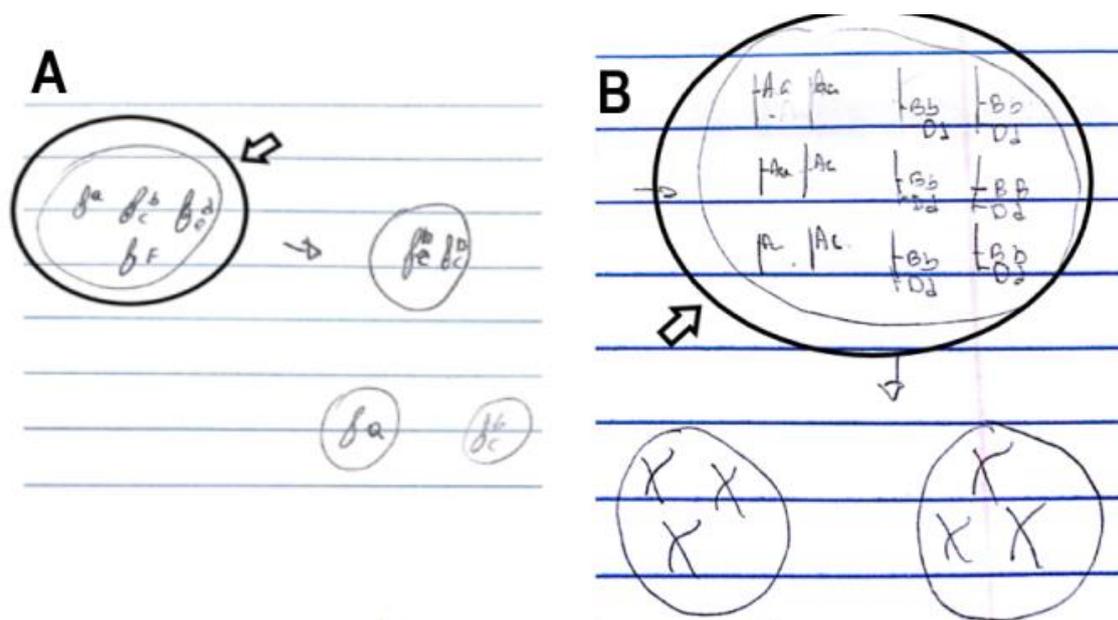


Figura 6: Representação de cromossomos com loco em hemizigose (A) e cromossomos com dois alelos em um mesmo loco (B). A seta da figura A aponta para uma célula com quatro cromossomos com genes diferentes uns dos outros e a seta da figura B aponta para uma célula formada por 12 cromossomos com genes representados por dois caracteres, exemplo, Aa.

Na diagramação da Figura 6A, a seta aponta para uma célula com quatro cromossomos constituídos por genes distintos, ou seja, os cromossomos da célula diagramada não apresentam alelos gênicos. Já na Figura 6B, todas cromátides ilustradas apresentam dois alelos (exemplo A/a) ou dois genes (exemplo A/c) nos locos. Brown (1990) avaliou tarefas de meiose realizadas por universitários ingleses do curso de biologia e também identificou erros relacionados a representação dos locos, por exemplo, os cromossomos homólogos na tarefa foram representados pelos estudantes com genes em apenas uma das cromátides irmãs, enquanto outros, a representação de alelos diferentes em cada cromátide irmã. No trabalho de Corbacho; De (2009) com graduandos argentinos foi reportada, em alguns deles, dificuldade em compreender as diferenças entre cromátides-irmãs e cromossomos homólogos. Neste estudo, os estudantes precisaram determinar o genótipo e o fenótipo em tarefas de genética sobre cruzamentos de organismos. Os pesquisadores observaram nas produções dos estudantes alelos diferentes no mesmo loco das cromátides-irmãs e representação do mesmo alelo em diferentes locos cromossômicos.

4.22 Característica: Locos ligados

A análise da característica *Locos ligados* observou a presença de ligação e a disposição dos pares de genes nos cromossomos. A Figura 7 apresenta a relação desta análise.

1. Se apresenta loco, os genes estão ligados
A) sim (77/139) (58/80)
B) não, um gene (9/139) (1/80)
C) não se aplica (53/139) (21/80)

Figura 7: Sistema de categorização locos ligados. A figura contabiliza os achados em frações para as tarefas dadas antes (denominador 139) e após (denominador 80) a prática. Os acertos estão nas alternativas em negrito e os erros nas demais alternativas.

A Figura 7 apresenta uma assertiva para a característica *Locos ligados* e suas possibilidades. As alternativas em negrito indicam a opção correta. Em cada alternativa há duas frações entre parênteses, uma para contabilizar o achado da diagramação realizada antes (denominador 139) e outra para contabilizar os achados das diagramações realizadas depois (denominador 80) da prática da *Meiose no Papel*. A alternativa “não se aplica” do sistema de categorização é para diagramações que não demonstraram locos heterozigotos ou homozigotos nas ilustrações e para as turmas onde não foi solicitada a representação de genes ligados.

A análise da característica *Locos ligados* identificou um achado bastante comum que foi a representação errônea dos dois locos ligados (diagramação antes da prática: 31/139; após a prática: 38/80). A Figura 8 apresenta este exemplo:

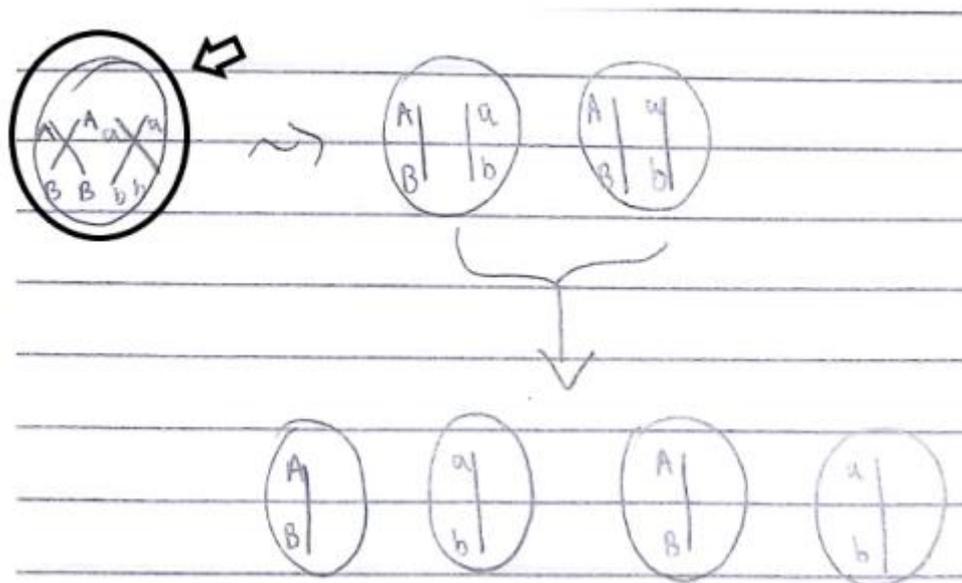


Figura 8: Representação de cromossomos com locos representados muito distantes um do outro sendo assim não considerados ligados na correção

Na Figura 8 não há representação de ligação dos genes *A* e *B*, porque um está alocado na extremidade do braço p e o outro na extremidade do q. Possivelmente, estudantes que fazem representações semelhantes a esta da Figura 8 devem desconhecer que a proximidade física entre os genes permite que eles tenham mais ou menos chance de serem transmitidos juntos para a próxima geração. Mesmo que ao nível de ensino médio esta não proximidade dos locos possa ser apenas um detalhe, ou seja, estar no mesmo cromossomo pode ser uma explicação simples de ligação (geralmente chamada de *linkage* nos livros didáticos deste nível), temos aí um importante conceito genético. Sendo assim, das 135 tarefas que ilustraram cromossomos com dois genes, 69 apresentaram ilustrações de locos muito distantes um do outro. Por isso, para nosso trabalho esta correção iria ser muito exigente para esta característica, desse modo desconsideramos este detalhe nas produções

4.23 Característica: Replicação

A duplicação do material genético é um passo importante de se avaliar na diagramação do ciclo celular. Aqui preferimos nos referir a ela por replicação. Para avaliar a característica *Replicação* nos diagramas analisou-se a demonstração do processo e a ilustração dos cromossomos replicados. A Figura 9 mostra como foi realizada esta correção em cada diagrama.

1. Mostra o processo da replicação
A) sim (80/139) (62/80)
B) não, mostra os cromossomos replicados já na meiose (37/139) (10/80)
C) não mostra replicação (22/139) (8/80)
2. Ilustra cromátides unidas pelo centrômero
A) sim (107/139) (68/80)
B) não (32/139) (12/80)

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 antes (denominador 139) e após (denominador 80) a prática.

A Figura 9 apresenta duas assertivas para a característica *Replicação* e suas possibilidades. As alternativas em negrito indicam a opção correta. Em cada alternativa há duas frações entre parênteses, uma para contabilizar o achado da diagramação realizada antes (denominador 139) e outra para contabilizar os achados das diagramações realizadas depois (denominador 80) da prática da *Meiose no Papel*.

Um dos erros mais encontrados na categoria *Replicação* foi a não demonstração do processo de replicação durante a intérfase (diagramação antes da prática: 37/139; após a prática: 10/80). O estudante autor da diagramação da Figura 10 optou por representar o processo da replicação depois da intérfase; além disso, comete o erro de representar os alelos em heterozigose neste momento, não atentando para o fato de fitas mãe e filha terem que ser idênticas.

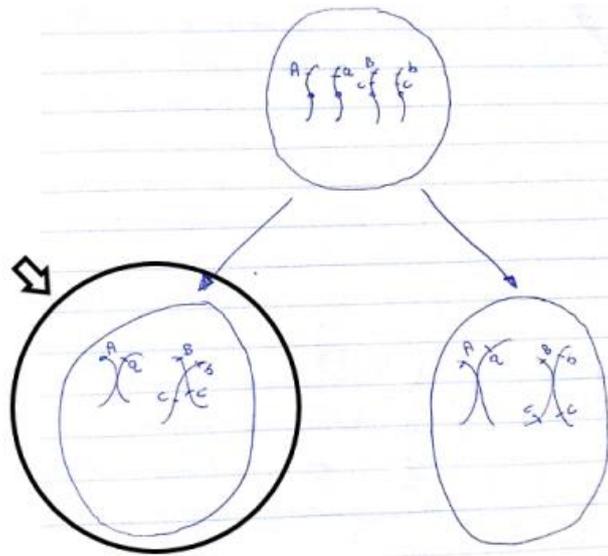


Figura 10: Representação de cromossomos já duplicados na meiose. A seta aponta para uma célula produto da primeira divisão onde os cromossomos aparecem sendo duplicados

Pode-se observar que na Figura 10, a célula mãe contém cromossomos não duplicados enquanto as células-filhas têm cromossomos duplicados, indicando 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 segue a metáfase I. Dikmenli (2010) também encontrou várias diagramações de divisão celular de estudantes turcos de licenciatura em biologia 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) conseguiu observar, a partir de entrevistas com estudantes da Inglaterra, concepções alternativas 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; Özay; Öztap (2003) obtiveram de professores turcos de biologia de ensino básico 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.

Trinta e duas tarefas (23%) realizadas antes da prática e 12 (15%) após a prática 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 presas pelo centrômero. Se o/a estudante no momento da diagramação tinha a intenção de representar a replicação, ele/a provavelmente não tinha ciência do mecanismo de síntese de DNA ou da estrutura do cromossomo replicado.

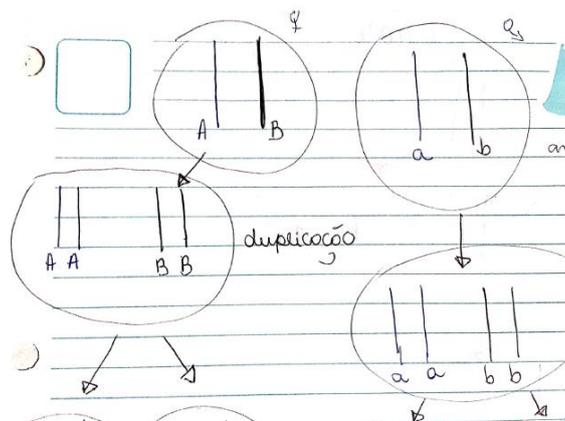


Figura 11: Não representação de cromátides unidas pelo centrômero.

4.24 Característica: Sinapse e Crossing over

Sobre a característica *Sinapse e Crossing over*, a análise não considerou como obrigatória a representação destes dois eventos, uma vez que, na resposta sugerida (vide metodologia - **Figura 2**) a representação desta característica na diagramação não foi representada. No entanto, para aqueles diagramas onde a o pareamento e a permuta foram exibidos observou-se os cromossomos nestes processos. A Figura 12 mostra como foi realizada esta análise em cada diagrama.

1. Se mostra emparelhamento e crossing over, os cromossomos representados no processo são
A) cromossomos homólogos (87/139) (61/80)
B) cromossomos heterólogos (7/139) (7/80)
C) não se aplica (45/139) (12/80)

Figura 12: Sistema de categorização Sinapse e Crossing over. A figura contabiliza os achados, acertos nas alternativas em negrito e erros nas demais alternativas em frações para as tarefas dadas antes (denominador 139) e após (denominador 80) a prática.

A Figura 12 apresenta uma assertiva para a característica *Sinapse e Crossing over* e suas possibilidades. As alternativas em negrito indicam a opção correta. Em cada alternativa há duas frações entre parênteses, uma para contabilizar o achado da diagramação realizada antes (denominador 139) e outra para contabilizar os achados das diagramações realizadas depois (denominador 80) da prática da *Meiose no Papel*. A alternativa “não se aplica” do sistema de categorização é para as diagramações que não demonstraram a sinapse nem o crossing over.

O/a autor/a da diagramação da Figura 13 ilustra o crossing over entre cromossomos que não apresentam o mesmo loco. Nesta diagramação há vários outros erros como a não representação da replicação e a demonstração de apenas uma divisão. Por outro lado, o/a estudante reconhece que o cromossomo apresenta duas configurações diferentes no processo (na forma / e em X) e que durante a divisão os cromossomos são repartidos de maneira equitativa por entre as células filhas.

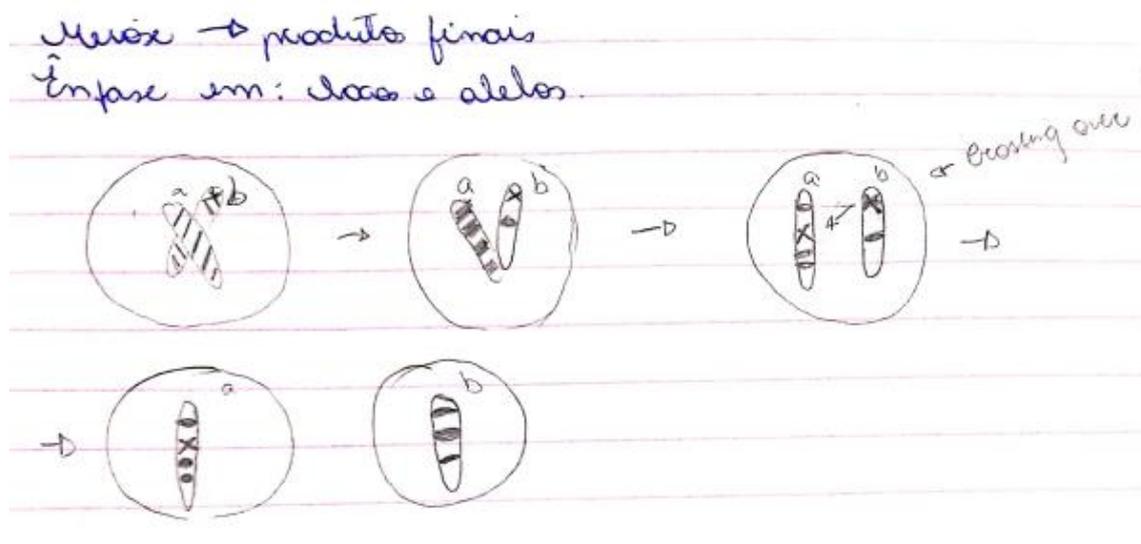


Figura 13: Representação de crossing over entre cromossomos heterólogos.

Gil; Fradkin; Castañeda-Sortibrán (2018), em sua pesquisa com estudantes de graduação do quinto ano do curso de biologia, também identificaram, em diagramações de fases da meiose, representações errôneas dos momentos do crossing over como sendo em metáfases e anáfases de mitose. Além disso, estes pesquisadores também analisaram erros nas diagramações de paquíteno (subfase da prófase I). Observou-se que alguns destes estudantes desenharam e organizaram os cromossomos na subfase paquíteno como se eles estivessem na metáfase I, ou seja, com região centromérica evidente e cromossomos encurtados organizados lado a lado ou, um em cima do outro.

4.25 Característica: Disjunção

Na avaliação da característica *Disjunção* observou-se a representação da segregação dos homólogos e cromátides. A Figura 14 mostra como foi realizada esta análise em cada diagrama.

1. Demonstra segregação dos homólogos na meiose I
A) sim (94/139) (62/80) B) não (35/139) (17/80) C) não se aplica (10/139) (1/80)
2. Demonstra segregação das cromátides na meiose II
A) sim (56/139) (49/80) B) não (48/139) (19/80) C) não se aplica (35/139) (12/80)
3. Na representação da disjunção da meiose II,
A) os centrômeros foram divididos verticalmente (63/139) (51/80) B) não, havia ilustrado cromossomos simples nos produtos da meiose I (32/139) (16/80) C) não, ilustrou fragmentos das cromátides nos produtos da meiose II (1/139) (0/80) D) não se aplica (43/139) (13/80)

Figura 14: Sistema de categorização Disjunção. A figura contabiliza os achados, acertos nas alternativas em negrito e erros nas demais alternativas em frações para as tarefas dadas antes (denominador 139) e após (denominador 80) a prática.

A Figura 14 apresenta três assertivas para a característica *Disjunção* e suas possibilidades. As alternativas em negrito indicam a opção correta. Em cada alternativa há duas frações entre parênteses, uma para contabilizar o achado da diagramação realizada antes (denominador 139) e outra para contabilizar os achados das diagramações realizadas depois (denominador 80) da prática da *Meiose no Papel*. As alternativas “não se aplica” do sistema são para diagramas que:

- Assertiva 1: as meioses são incompletas e não chegam na etapa da primeira divisão celular; os cromossomos não apresentam loco;
- Assertivas 2 e 3: as meioses são incompletas e não chegam na etapa da segunda divisão celular;

A maioria dos diagramas analisados retratou as disjunções de material genético representadas no momento correto da divisão. Mas em alguns diagramas não havia a representação da disjunção na primeira divisão (35/139; 17/80) e/ou na segunda divisão (48/139; 19/80).

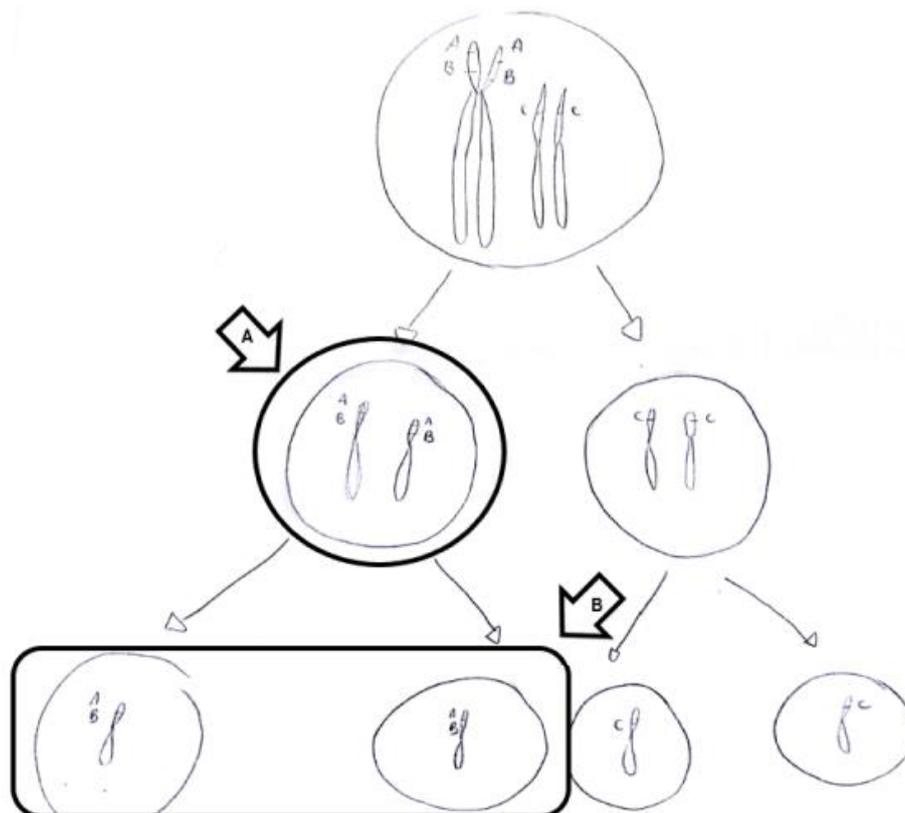


Figura 15: Não representação da segregação dos cromossomos homólogos (A) e não representação da segregação das cromátides-irmãs (B). A seta A aponta para uma uma representação da segregação das cromátides-irmãs e a seta B aponta para a representação da distribuição das cromátides por entre as células filhas.

As setas da diagramação na **Figura 15** apontam para os erros relacionados à característica *Disjunção*, mas é possível identificar outros erros nesta meiose, como a não ilustração do processo de replicação, ou seja, não está representada uma célula com cromossomos não replicados seguida de outra com cromossomos replicados; tampouco se vê locos heterozigotos. Poder-se-ia concluir, inclusive, que os produtos da primeira divisão da meiose são diploides, pois cada célula filha ilustrada abriga um par de cromossomos homólogos. Por outro lado, o/a estudante entende que o processo da meiose apresenta duas divisões consecutivas; e a cada divisão celular, nota-se que o/a estudante reparte igualmente os cromossomos entre as células filhas.

A maior parte dos erros encontrados na análise dos diagramas para a característica *Disjunção* se deveu a produções incompletas, isto é, os estudantes podem não ter tido tempo suficiente para representar o processo da meiose como um todo ou, simplesmente, não se lembravam ou não sabiam

ilustrar a meiose. No estudo de **Hernández; Caraballo (1993)**, os pesquisadores utilizaram um teste diagnóstico de genética mendeliana e meiose com estudantes porto-riquenhos do curso de ciências biológicas oriundos de nove diferentes faculdades. Como no nosso estudo, estes pesquisadores também observaram muitos estudantes com dificuldades associadas à representação da segregação do material genético durante a divisão meiótica. **Brown (1990)** também identificou em sua pesquisa, estudantes ingleses do curso de biologia com dificuldade em segregar os cromossomos a partir de modelos utilizados em aula prática de meiose. O pesquisador informa que os estudantes podem não saber, ou não se lembrar, que durante a metáfase I os cromossomos devem estar alinhados na placa metafásica e organizados em pares.

Na diagramação mostrada na Figura 16 podemos observar alguns erros que podem inferir conhecimentos sobre as formas com que o/a autor/a desta produção construiu seu entendimento sobre a meiose. Na ilustração da segunda divisão nesta produção diagramática, a célula mãe apresenta um cromossomo com informação genética *A/B* e suas células filhas, uma com cromossomo *A* e outra com cromossomo *B*. A partir desta observação podemos supor que o estudante sabe que quando ocorre uma divisão celular o material genético deve ser dividido entre as células filhas. Esta diagramação também apresenta outro erro e que também sugere que o estudante apresenta alguma ideia sobre o processo. Desse modo, na célula inicial representada, pode-se visualizar quatro cromossomos simples e, na célula seguinte, dois cromossomos duplos. Embora, tenha havido uma redução do número de cromossomos de uma ilustração para outra, o estudante representou o processo de replicação, ou seja, cromossomos simples em uma célula e cromossomos duplos na célula de baixo.

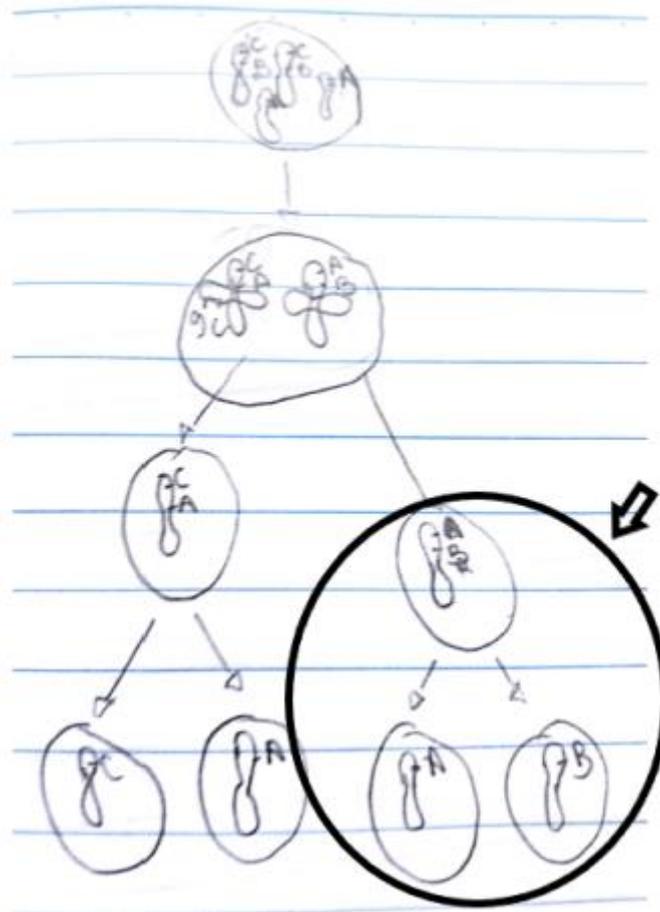


Figura 16: Representação da fragmentação das cromátides. A seta aponta para a segunda divisão da meiose na qual um dos produtos apresenta o trecho de cromossomo que aloca o gene A e outro produto o trecho que aloca o gene B

Semelhante ao erro apontado pela seta na Figura 16, estudantes americanos de ensino básico, nos estudos de Stewart; Dale (1989, 1990), foram avaliados para mostrar o processo da meiose a partir de material didático utilizando modelos de cromossomos. Alguns estudantes partiram os braços cromossômicos em todos os pontos de loco gênico. Muito além da descrição do erro apontado na Figura 16, e subjacente a isto, pode haver um desconhecimento do que o estudante entende por cromossomo e por gene. Temp; Carpilovsky; Guerra, (2011) sugerem em seu trabalho que muitos estudantes acreditam que cromossomo e gene são as mesmas estruturas.

4.26 Característica: Ploidia

Para a característica *Ploidia* observou-se a representação do número cromossômico zigótico e a ploidia dos produtos finais da primeira e segunda divisão da meiose.

1. O número cromossômico zigótico está
A) correto (102/139) (69/80) B) incorreto (37/124) (11/85)
2. A ploidia dos produtos da meiose I está
A) correta (62/139) (52/80) B) incorreta (64/139) (26/80) C) não se aplica (13/139) (2/80)
3. A ploidia dos produtos da meiose II está
A) correta (75/139) (60/80) B) incorreta (26/139) (8/80) C) não se aplica (38/139) (12/80)

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 antes (denominador 139) e após (denominador 80) a prática.

A Figura 17 apresenta três assertivas para a característica *Ploidia* e suas possibilidades. As alternativas em negrito indicam a opção correta. Em cada alternativa há duas frações entre parênteses, uma para contabilizar o achado da diagramação realizada antes (denominador 139) e outra para contabilizar os achados das diagramações realizadas depois (denominador 80) da prática da *Meiose no Papel*. As alternativas “não se aplica” do sistema são para diagramas que:

- Assertiva 1: as meioses são incompletas e não chegam na etapa da primeira divisão celular; não há representação dos locos;
- Assertiva 2: as meioses são incompletas e não chegam na etapa da segunda divisão celular; não há representação dos locos.

Alguns estudantes não indicaram o número cromossômico zigótico correto (diagramação antes da prática 37/139; e após 11/80), ou tampouco a ploidia dos produtos da primeira (64/139; 26/80) e segunda divisão (26/139; 8/80). No estudo de Lewis; Leach; Wood-Robinson (2000) com estudantes britânicos de ensino básico, em relação aos produtos da meiose, 31% disseram que o número de cromossomos reduz pela metade, 34% reconheceram que a informação genética deveria ser diferente, mas apenas 14% afirmaram saber destas 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; BARROS, 2017).

Na Figura 18 apresenta-se o recorte da diagramação retratando a célula inicial. Nela, o número cromossômico zigótico está representado de forma incorreta (37/139; 11/80, antes e depois da prática, respectivamente).

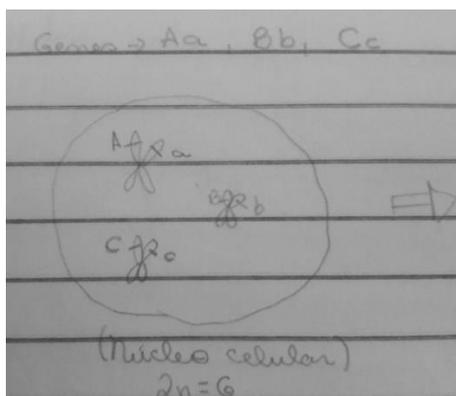


Figura 18: Representação de célula com número cromossômico zigótico incorreto. A célula inicial apresenta metade dos cromossomos exigido pelo enunciado da tarefa

O/a estudante autor/a da diagramação acima 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 no estudo de Brown (1990) utilizaram caracteres diferentes em cromátides-irmãs para indicar a heterozigose em modelos didáticos de cromossomos. Os pesquisadores sugerem que o grupo de estudantes teve, ao longo do estudo, dificuldade na compreensão dos conceitos de heterozigose e alelo.

4.27 Característica: Processo de divisão

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

subfases. Longden (1982) estudou as fontes de dificuldade do aprendizado em genética a partir de tarefas de genética e entrevistas sobre o mesmo assunto. No estudo, determinado graduando inglês em biologia apresentou muita preocupação em explicar detalhadamente as fases da meiose do que falar do processo em si durante a entrevista.

1. Diagrama a intérfase
A) sim (97/139) (64/80) B) não (42/139) (16/80)
2. A diagramação da divisão
A) é completa (98/139) (68/80) B) se dá até a meiose I incompleta (12/139) (3/80) C) se dá até a meiose I completa (28/139) (9/80) D) se dá até a meiose I incompleta (1/139) (0/80)
3. Se há diagramação das fases, está
A) correta (31/139) (31/80) B) incorreta (48/139) (19/80) C) não se aplica (60/139) (30/80)
4. Se incorreta, a fase é
A) confundida com a da mitose (15/139) (9/80) B) não se aplica (125/139) (71/80)

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 antes (denominador 139) e após (denominador 80) a prática.

A Figura 19 apresenta quatro assertivas para a característica *Processo de divisão* e suas possibilidades. As alternativas em negrito indicam a opção correta. Em cada alternativa há duas frações entre parênteses, uma para contabilizar o achado da diagramação realizada antes (denominador 139) e outra para contabilizar os achados das diagramações realizadas depois (denominador 80) da prática da *Meiose no Papel*. As alternativas “não se aplica” do sistema são para diagramas que:

- Assertiva 3: as fases não foram representadas; e 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.

Dentre as diagramações das fases que estavam incorretas, muitos indicaram fases mitóticas na divisão da meiose (10,79% das diagramações que ocorreram antes da prática e 11,25% das diagramações que ocorreram depois). Lewis; Leach; Wood-Robinson (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. Bahar; Johnstone; Hansell (1999) informam em seu trabalho que a confusão entre mitose e meiose pode estar relacionada com a forma que estes conteúdos são abordados em classe, recomendando, portanto, que mitose e meiose sejam ensinadas em aulas diferentes.

Identificamos nas diagramações fases indefinidas. Na Figura 20, 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 o/a estudante sabe que existe um processo que puxa os cromossomos para distribuí-los entre as células filhas.

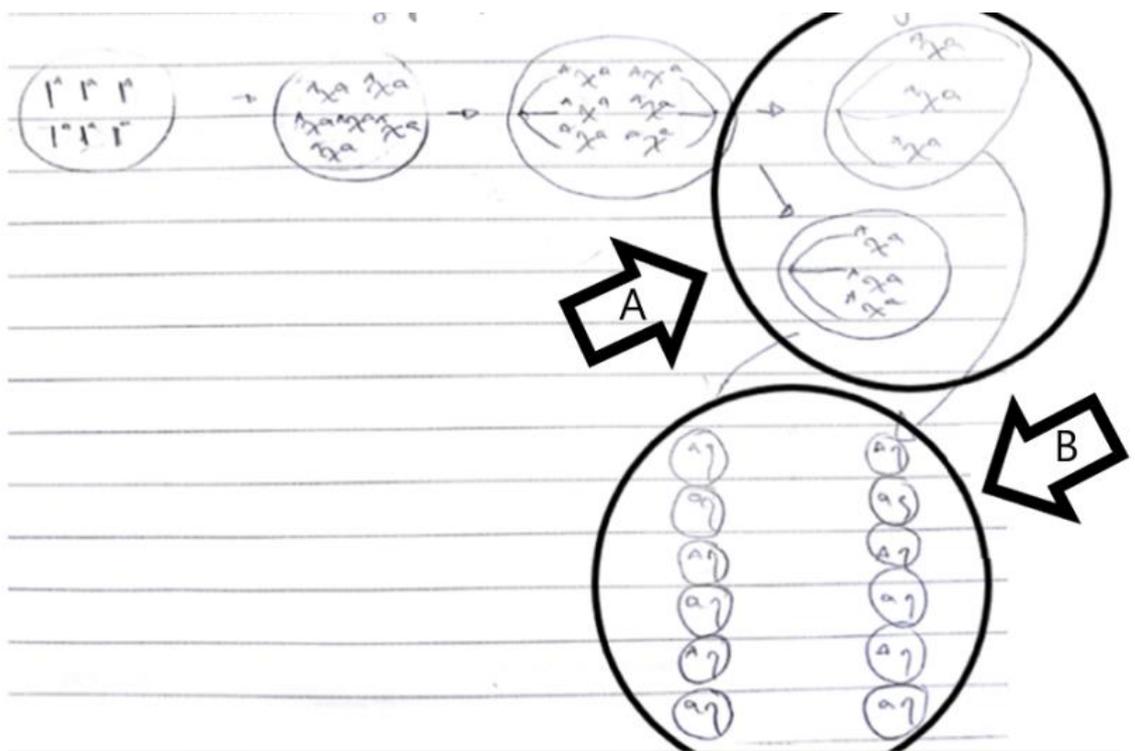


Figura 20: Representação indefinida na diagramação. As duas setas apontam para ilustrações criativas de fases da meiose

Os pesquisadores Wright; Newman (2011) também não identificaram lógica ou clareza em 18% das diagramações de meiose realizadas por estudantes americanos do curso de biologia. No trabalho de Gil; Fradkin; Castañeda-Sortibrán (2018) no qual os estudantes mexicanos em 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. O autor descreve este erro informando que conjuntos cromossômicos foram puxados paralelamente para os polos celulares.

4.3 Estudo da resolução da tarefa de diagramação da meiose em grupo

O estudo da resolução da tarefa de diagramação sobre a meiose aconteceu em sala de aula durante uma atividade em grupo sob a coordenação da professora da classe. A turma se organizou em três grupos com cinco integrantes cada. Anteriormente a esta organização, a professora havia solicitado que cada estudante desenhasse em uma folha avulsa o processo da divisão da meiose partindo de uma célula com três pares de cromossomos com três locos

heterozigotos e dois ligados, como as tarefas analisadas na parte 1 deste trabalho (ver metodologia para mais detalhes).

Com os grupos organizados, a professora pede novamente que os estudantes diagramem o processo da meiose, mas agora em atividade colaborativa entre os componentes do grupo. Este seria um momento de interação, onde os estudantes poderiam discutir os conceitos que tinham, falar sobre suas dúvidas. Em termos de pesquisa, nosso interesse era exatamente perceber com esta atividade colaborativa se havia erros limitantes para a compreensão do processo que poderiam surgir por causa da existência de concepções alternativas. Quando se iniciou a atividade, a professora passou a circular entre os grupos com o objetivo de auxiliá-los na tarefa e observá-los trabalhando. Este acompanhamento da professora de grupo em grupo é importante, porque orienta os estudantes no processo para compreender os conceitos científicos explorados na diagramação da meiose. Um professor pode promover maior interação entre os componentes do grupo, facilitar a discussão sobre os conceitos e coordenar melhor a condução da tarefa (FURBERG; ARNSETH, 2009). No final da diagramação coletiva, os grupos realizaram a prática *Meiose no Papel* (ver apêndice 1).

No primeiro momento desta atividade coletiva da diagramação o gravador de voz, usado para registrar a interação entre os componentes do grupo e destes com a professora, causou um incômodo que foi superado em pouco tempo. Para esta pesquisa todos os diálogos foram escutados e, em sua grande parte, transcritos. Escolheram-se extratos ou trechos dos dados orais que abordaram situações interacionais entre os componentes do grupo ou entre os componentes e a professora que revelavam importantes conceitos sobre a resolução da diagramação da meiose. Estivemos especialmente atentos às dificuldades que estudantes apresentaram em turmas anteriores como reveladas na parte 1 deste trabalho.

4.31 Extratos selecionados e comentados

É possível identificar na fala da estudante M1 a compreensão do número correto da ploidia da célula inicial. No entanto M1 demonstra que não

compreende bem os processos que alteram a quantidade ou modificam a estrutura dos cromossomos na meiose.

M1: 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

A presença dos termos matemáticos multiplicação, soma, divisão muitas vezes traz confusão com o processo biológico em si. A divisão celular implica uma multiplicação celular biologicamente falando e linguisticamente talvez isto não faça sentido. A estudante M1, no entanto, sabe sobre a configuração dos produtos da meiose ainda que não saiba como se dá o processo. Longden (1982) informa que a linguagem genética é muito lógica e precisa tal como é a matemática devido a adoção de muitas regras e convenções no uso dos diferentes símbolos do vocabulário genético. Desse modo, é até compreensível que alguns perfis de estudantes de biologia apresentem dificuldade em compreender seus tópicos.

O conteúdo de meiose também apresenta muitos elementos da matemática: duplicação, divisão, permuta, etc. Já foi reportado que termos contraditórios como dividir, replicar, copiar, compartilhar, separar, reproduzir e multiplicar confundem os estudantes (LEWIS; LEACH; WOOD-ROBINSON, 2000). Na duplicação dos cromossomos está implícita a duplicação do material genético pelo processo molecular de replicação. Os principais livros didáticos da ementa da disciplina de genética, por exemplo, o livro de Snustad; Simmons (2006) trazem o termo duplicação no capítulo de reprodução celular e replicação no

capítulo de 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. Identificamos nas análises das diagramações de meiose da parte 1 que 26,6% de tarefas realizadas antes da prática *Meiose no Papel* não representaram o processo de replicação e um pouco menos nas tarefas após a prática (12,5%); ou seja, a duplicação/replicação do DNA representa um fator dificultador para o entendimento do processo da meiose.

No extrato 1, M1 informa que preferiu apresentar na sua diagramação da meiose os produtos finais sem apresentar o processo da meiose. Podemos supor que esta representação simplificada da meiose esteve relacionada com sua confusão com os eventos sobre a alteração da quantidade ou estrutura do material genético. Na nossa análise inicial de diagramas verificamos que a representação correta da ploidia final ocorreu em 61,6% das 219 diagramações analisadas, mas apenas 25,5% das diagramações apresentaram o processo correto. Estas informações não significam apenas que o estudante não saiba o processo. Não podemos informar porque foram omitidos eventos importantes e nem porque identificamos muitos equívocos nas produções, mas no caso de M1 podemos supor que a representação direta dos produtos finais possa ter levado em consideração sua confusão com os processos que ocorrem durante a meiose.

Outra estudante (M2) demonstra obstáculo para racionalizar como um cromossomo simples (“pauzinho”) passaria pelo processo de duplicação.

M2: 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

Na fala dessa estudante, percebemos que existe não só 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 a estudante consegue perceber que por trás desse evento microscópico existe um complexo processo molecular que envolve a reestruturação da cromatina.

Geralmente os conteúdos de metabolismo dos ácidos nucleicos e os tipos 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 a lógica disso? Qual seria a melhor sequência didática? Seria aquela que sabe respeitar a cronologia dos eventos biológicos: transcrição, tradução e replicação? Seria melhor a didática do professor que trabalha do micro ao macro, isto é, 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.

No extrato abaixo é possível identificar duas concepções alternativas diferentes provenientes de um erro em comum: a ilustração de um cromossomo passando pela duplicação com locos identificados como *A/a*.

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?

M3: 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.

M4: mas aqui é porque fica heterozigoto dessa forma, né?

Extrato: 3

Os componentes do grupo tinham em mente que a fusão dos gametas é responsável pela heterozigose da célula. No entanto, o conceito de heterozigose está ligado aqui ao conceito de cromossomos homólogos. A concepção alternativa de M3 que surge é que a representação do cromossomo em X se deve ao fato de serem homólogos; além disso, essa ideia já foi documentada na literatura por Kindfield (1991) que identificou este erro em diagramações do processo de fertilização produzidas por três dos cinco estudantes americanos de graduação em biologia que participaram do estudo. Os estudantes representaram duas células gaméticas, uma com informação genética A, e outra com informação genética a. Estes dois gametas se uniram na representação esquemática para originar uma célula identificada como $2n$ e composta por apenas um cromossomo duplicado com informação genética A/a.

Não foi encontrada na literatura consultada menção à concepção alternativa sobre a ideia apresentada por M4. Por outro lado, 28 das 219 diagramações analisadas representaram cromossomos duplos formados por cromátides homólogas, isto é, as cromátides dos cromossomos foram ilustradas com alelos diferentes no mesmo loco gênico. É plausível que muitos estudantes que produziram estes diagramas partilhem desta concepção. 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 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 mais suas análises nas características de biologia celular que propriamente da genética, ou seja, não observam a representação de locos em 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 neste evento celular.

Este vocábulo genético utilizado para representar os locos (A/a) é apresentado aos estudantes durante as aulas de leis de Mendel. Historicamente, a genética mendeliana é ensinada usando a lógica e cronologia dos estudos de Mendel (ou de seus redescobridores) seguida 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 será que o quadrado de Punnet influencia os estudantes a desenvolverem novas concepções alternativas? Será que fica claro a relação de alelos e segregação dos cromossomos com essa abordagem ou ela segue sendo um apoio que os estudantes usam mecanicamente? Cho; Kahle; 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 de que os dois caracteres são controlados por um par de alelos em cromossomos separados, fica apenas subentendida nas explicações.

A biologia celular caracteriza todas as etapas de compactação do DNA na divisão celular. Desse modo, a definição de cromossomo neste conteúdo remete à estrutura que está no grau máximo de compactação da cromatina.

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?

H5: 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?

H5: já, uma célula diploide fica desse jeito.

Extrato: 4

Na genética os cromossomos são tratados de maneira mais simples na 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).

No extrato 4, a discussão se passa no momento da representação dos cromossomos na célula inicial da diagramação. O cromossomo neste estágio deve ser representado como uma estrutura simples. Baseado nas suposições de generalizações do vocabulário da genética sobre o cromossomo, temos o estudante H5 que relata já ter visto o cromossomo no microscópio e por isso tem 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 H5 apresenta sobre a estrutura dos cromossomos, possivelmente, é enraizada nas suas experiências como estudante, leitura de material didático e instruções de professores.

Ainda relacionado à representação inicial dos cromossomos, outro erro que é comum entre estudantes, numa conversa com um dos representantes do grupo

expôs uma concepção alternativa sobre a duplicação do cromossomo. No extrato a seguir, o termo $2n$ trouxe confusão ao estudante H6.

H6: *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.*

H6: *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

Pela fala de H6 (extrato 5), podemos identificar sua concepção alternativa sobre os termos n e $2n$. O estudante acredita que a ploidia determina a estrutura do cromossomo, n sendo um cromossomo simples e $2n$, um duplicado. Esta concepção alternativa apresentada por H6 foi sugerida na análise de diagramas realizada por estudantes no trabalho de Kindfield (1991) no qual determinado estudante americano de biologia diagramou a meiose indicando como sendo $2n$ todas as células que continham moléculas de DNA formadas por cromátides-irmãs e como 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, uma vez que os professores universitários supõem que os estudantes já tenham aprendido toda esta terminologia básica da genética. No entanto, alguns pesquisadores notam que o vocabulário genético é muito extenso e complexo (KNIPPELS, 2002; LONGDEN, 1982). 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 o estudante 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 este tipo de concepção (LORBIESKI; RODRIGUES; GRÉGIO D'ARCE, 2010).

Os professores pouco preparados podem ser responsáveis por alimentar ciclo de equívocos dos estudantes sobre os conceitos científicos de genética e outros conteúdos. Os professores podem apresentar para os estudantes algumas ideias não muito compatíveis com o conhecimento científico ou aplicar uma sequência didática que dê margem para os estudantes trazerem outras interpretações durante as aulas. Alguns estudantes podem chegar no ensino superior com esta defasagem que não foi resolvida no ensino básico e, possivelmente, se manterá no ensino superior e depois como profissional. Caso o estudante pretenda tornar-se professor as concepções alternativas poderão fazer parte de suas aulas. Para isso é importante que elas sejam detectadas e um programa instrucional seja criado e debatido mesmo que seja após a graduação desses estudantes, como em uma especialização ou curso de extensão, por exemplo.

Os quatro extratos a seguir (extratos 6, 7, 8 e 9) foram transcritos de um grupo em quatro momentos diferentes da aula. 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*.

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?

M7: um da mãe e um do pai ligados.

Extrato: 6

M2: aqui não tá duplicado no caso.

M1: aqui?

M2: aqui tá duplicado, tá um do lado do outro, duplicado.

M1: não, mas assim tá uma célula normal, seis cromossomos.

M2: não, a célula normal teria três cromossomos.

Extrato: 7

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

M8: entendi... agora faz todo sentido.

P: ai que lindo ((euforia e palmas)).

Extrato: 8

P: O que vocês estão fazendo?

M8: oi?

P: Pera aí, pera aí, pera aí!

M8: ahn?

M7: pode juntar não?

M8: a gente cruzou (risos)

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

M7: ah não, a gente juntou para ver como ficou a questão genética dele.

P: mas não junta não.

M7: 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

Dentre os três grupos que participaram da atividade prática, este apresentou mais dificuldades em relação à meiose que os demais. Este grupo precisou de uma hora e 35 minutos para concluir a diagramação da meiose inicial, isto é, mais do que o dobro do tempo gasto pelos outros dois grupos. Todos os componentes participaram da discussão, mas M7 e M8 protagonizaram as discussões trazendo muitos elementos de suas concepções alternativas na produção diagramática.

A grande questão deste grupo girou em torno da estrutura do cromossomo. Os componentes tiveram muita dificuldade de visualizar a representação da estrutura do cromossomo não replicado e replicado no processo da meiose. No extrato 6, a estudante M7 mostra que havia ilustrado cromossomos duplicados

com a informação genética *A/a* na célula inicial e explica para a professora que eles apresentam origens parentais distintas. Sobre esta ideia de representar a estrutura errada do cromossomo Newman; Catavero; Wright (2012) consideram que estudantes de biologia não transferem com sucesso o conhecimento sobre a estrutura do cromossomo para conceitos que envolvam informação genética. Os pesquisadores observaram que 67% dos estudantes americanos de biologia entendiam que os cromossomos duplicados tinham que ser formados por duas cadeias de DNA, enquanto somente 33% sabiam que cada cromossomo devia apresentar a informação genética de um genitor apenas.

A análise deste grupo nos possibilitou visualizar todas as características de uma concepção alternativa. A literatura informa que as concepções alternativas dos estudantes são pessoais. Neste caso, o extrato 6 traz uma explicação particular da estudante sobre a estrutura do cromossomo (“*um da mãe e um do pai ligados*”). Pela literatura, concepção alternativa é fortemente influenciada pelo contexto do problema. Enquanto no extrato 6, ou seja, no início da diagramação o estudante expôs sua explicação sobre a estrutura do cromossomo, no extrato 7 a partir de alguns esclarecimentos da professora, este mesmo estudante apresenta outra explicação. Finalmente, a literatura caracteriza as concepções alternativas como sendo resistentes a mudanças. O grupo demonstra ter entendido o processo da meiose quando finalizam a diagramação com a professora (extrato 8), mas comete o mesmo erro durante a atividade *Prática Meiose no Papel* (extrato 9). Os componentes deste grupo tiveram mais de uma hora para debater sobre a diagramação da meiose, além da ajuda da professora, leitura do roteiro da atividade prática *Meiose no Papel* e ainda assim não conseguiram compreender os aspectos estruturais do cromossomo na divisão.

Embora possa parecer que a atividade em grupo, as explicações da professora e atividade prática não tenham mostrado resultados positivos, porque alguns erros persistiram, esta abordagem com os estudantes foi importante. Primeiro, porque a aprendizagem é um processo que não implica em soluções imediatas. Segundo, porque outros conceitos podem ter sido percebidos e não explicitados nas suas falas. A partir desta vivência, provavelmente, a

compreensão sobre os conceitos de genética avançará no processo de aprendizagem de cada um destes estudantes.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A meiose é um tópico da genética muito importante, mas elaborada e abstrata para os estudantes. Neste estudo investigou-se que informações os erros identificados em diagramações resolvidas por futuros professores poderiam oferecer sobre a compreensão de alguns conceitos de genética.

Identificamos em nossas análises um número pequeno de estudantes apresentando a solução completamente correta da diagramação (aproximadamente 25,5% das 219 tarefas analisadas). Porém, estes dados podem não dizer muita coisa sobre a compreensão deles sobre os conceitos de genética, pois como informa Cury (2007 p.13-15) nem os erros, muito menos os acertos, identificados pelo professor em tarefas escolares podem medir o conhecimento dos estudantes.

Sob outra perspectiva, este estudo mostrou que os erros trazem muito mais informações sobre a compreensão dos estudantes que propriamente os acertos. Ao analisar pontualmente algumas características do processo da meiose percebemos que os estudantes apresentam em suas soluções alguns detalhes que sugerem que exista alguma compreensão sobre o processo da meiose. A **Figura 21** mostra uma produção diagramática do/a estudante contendo vários erros e informações que nos permitem inferir o que o/a estudante entende do processo.

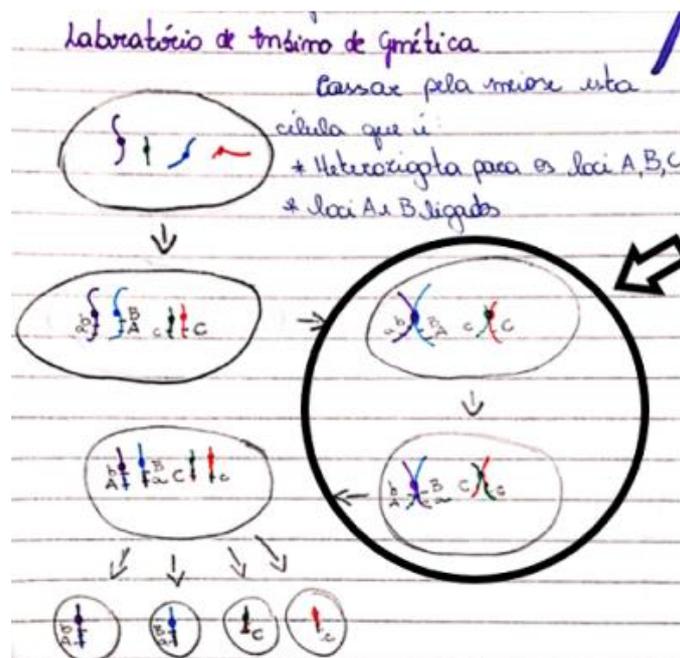


Figura 21: Solução apresentada por estudante da tarefa de diagramação

Na **Figura 21** a diagramação da meiose está representada de maneira equivocada, incluindo a apresentação dos produtos finais. Por outro lado, pela análise desta produção podemos afirmar que o/a estudante sabe que o material genético apresenta duas conformações diferentes no processo (em forma de *I* e na forma de *X*), e sabe, inclusive, que durante a meiose ocorre o *crossing over* (já que representou a permuta entre os locos na terceira e quarta células diagramadas) também podemos supor que estudante igualmente entende que o processo da meiose gera quatro células filhas a partir de uma célula mãe. Portanto, analisar as soluções de tarefas escolares permite detectar as dificuldades dos estudantes, mas também entender, de mais de perto, como se dá a apropriação do saber por estes estudantes.

Embora a análise de tarefas traga alguma informação sobre o conhecimento dos autores das produções, esta abordagem ainda é insuficiente para uma investigação mais completa do conhecimento dos futuros professores sobre a meiose e os conceitos de genética. Por isso, foi muito importante estudar as concepções alternativas dos estudantes a partir das transcrições durante a realização da diagramação em grupo.

O estudo qualitativo complementou nossa investigação sobre os erros, pois as concepções alternativas aqui analisadas revelaram gargalos na aprendizagem

desses futuros professores. Os estudantes apresentam perspectivas diferentes sobre os conceitos científicos, pois foi observado que um mesmo erro identificado nas diagramações de meiose apresentou diferentes concepções alternativas. Porém, não encontramos muitos trabalhos na literatura consultada que realizaram tanto a análise de erros e quanto o estudo das concepções alternativas sobre os conceitos de genética (FURBERG; ARNSETH, 2009; LONGDEN, 1982).

O estudo das concepções alternativas deste trabalho possibilitou entender as razões que levaram os estudantes a cometer seus erros. Por exemplo, na **Figura 22** a seta aponta para um equívoco.

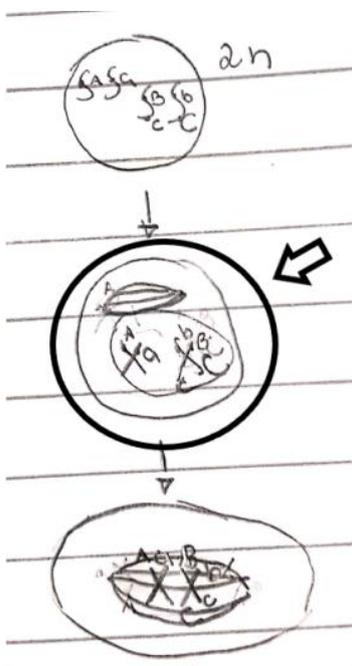


Figura 22: Representação da heterozigose

A representação da figura acima foi bastante observada nas tarefas (foi vista em 28 das 219 diagramações). No estudo das concepções alternativas, determinado estudante explicou que esta apresentação do cromossomo apontada na **Figura 22** Erro! Fonte de referência não encontrada. (um cromossomo duplo ilustrado com alelos diferentes nas cromátides-irmãs) se referiria à heterozigose. Interessante notar que a simples avaliação das tarefas não nos permite supor este tipo de raciocínio. Por isso, consideramos que é muito importante estudar as informações que os estudantes proporcionam

sobre suas dificuldades no processo de ensino que apenas as representações identificadas em tarefas escolares.

Os pesquisadores conceituam as concepções alternativas como sendo particulares, influenciadas pelo contexto do problema e resistentes ao ensino formal (MORTIMER, 1996; VIENNOT, 1979). No nosso estudo, identificamos todas estas características das concepções alternativas, mas principalmente a persistência. Sabemos que a aprendizagem é um processo, então mesmo que o estudante tenha persistido no erro, este tipo comportamento é como um ponto de partida importante no caminho que conduz o pensamento do estudante para a compreensão dos conceitos científicos.

Como no trabalho presente estudo, o trabalho de Dikmenli (2010) também mostra que futuros professores de biologia cometem vários erros conceituais sobre o tópico da meiose. A dificuldade dos estudantes em nossa pesquisa pode ser atribuída a vários aspectos, desde a organização geral do conteúdo de genética, aulas dos professores até fatores ligados ao senso comum.

É importante destacar que uma das características que os estudantes tiveram mais dificuldade em relação à diagramação da meiose foi a representação da replicação. Das 219 tarefas avaliadas, 94 apresentaram erros relacionados à não demonstração do processo de replicação e/ou não ilustração de cromossomos duplicados. Além disso, no estudo das diagramações realizadas em grupo, muitos estudantes relataram concepções alternativas sobre o processo de replicação e a estrutura do material genético. Diante disso, será que este perfil de estudante apresenta dificuldades associadas aos outros tópicos moleculares como transcrição e tradução? Será que eles compreendem as características da síntese de material genético como a replicação semiconservativa, complementariedade, antiparalelismo, especificidade de pareamento e a helicoidização?

A partir deste trabalho outras pesquisas poderão ser realizadas que venham a incrementar o processo de ensino-aprendizagem da genética no nível de graduação em biologia. Destacamos algumas questões que consideramos relevantes. Que materiais poderiam ser explorados por professores do ensino superior que garantissem um melhor entendimento das leis de Mendel e sua

relação com a teoria cromossômica da herança? Existem outras áreas da genética que estudantes prestes a se graduar como professores apresentem dificuldades? Estão os estudantes universitários brasileiros tendo experiências diferentes daqueles de outros países? Que experiências de sucesso nacionais e internacionais poderiam ser examinadas para implementação em disciplinas de uma universidade pública brasileira? Os livros textos de genética são adequados para o ensino no Brasil? Em um século onde a Internet permeia todas as atividades, qual tem sido o uso dos livros-textos? Não há dúvidas que a genética é uma disciplina que está evoluindo a uma razão muito alta, com práticas na sociedade que pedem por esclarecimentos científico-tecnológicos e éticos como nunca se viu. Está o professor de biologia pronto para auxiliar nessa demanda da sociedade? As pesquisas na área de ensino de genética poderão certamente auxiliar na resposta a algumas dessas questões.

6. REFERÊNCIAS

- BAHAR, M. Misconceptions in Biology Education and Conceptual Change Strategies. **Educational Sciences: Theory & Practice**, v. 3, n. 1, p. 55–64, 2003.
- BAHAR, M. et al. Science student teachers' ideas of the heart (PDF Download Available). **Journal of Baltic Science Education**, v. 07, n. 02, p. 78–85, 2008.
- BAHAR, M.; JOHNSTONE, A. H.; HANSELL, M. H. Revisiting learning difficulties in biology. **Journal of Biological Education**, v. 33, n. 2, p. 84–86, mar. 1999.
- BAPTISTA, G. C. S. **Os desenhos como instrumento para investigação dos conhecimentos prévios no ensino de ciências: um estudo de caso**. (VIIEnpec, Ed.) Encontro Nacional de Pesquisas em Educação em Ciências. **Anais...** Florianópolis: 2009, 2009 Disponível em: <<http://posgrad.fae.ufmg.br/posgrad/viienpec/pdfs/395.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2017
- BARNI, G. DOS 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)**. Blumenau: Universidade Regional de Blumenau, 2010.
- BELMIRO, M. S.; BARROS, M. D. DE. Ensino de genética no ensino médio: uma análise estatística das concepções prévias de estudantes pré-universitários. **Revistas.Unifoa.Edu.Br**, v. 9, n. 17, p. 95–102, 2017.
- BOWKER, R. Children's perceptions and learning about tropical rainforests: an analysis of their drawings. **Environmental Education Research**, v. 13, n. 1, p. 75–96, fev. 2007.
- 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, set. 1990.
- CARNEIRO, S. P.; DAL-FARRA, R. A. As situações-problemas no ensino de Genética: estudando a mitose. **Genética na Escola**, v. 06, n. 02, p. 30–34,

2011.

CAZORLA, I. M. **A relação entre a habilidade viso-pictórica e o domínio de conceitos estatísticos na leitura de gráficos**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2002.

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, out. 1985.

CORBACHO, V.; DE, P. **ENSEÑANZA DE LA GENÉTICA EN LA EDUCACIÓN DE NIVEL SUPERIOR: DIFICULTADES PARA COMPRENDER CONCEPTOS Y RESOLVER PROBLEMAS**. VIII Congresso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias. **Anais...Revista de investigación y experiencias didácticas**, 2009Disponível em: <<http://enciencias.uab.xn--espg1020-bza>>. Acesso em: 25 dez. 2018

CURY, H. N. **Análise de erros - o que podemos aprender com as respostas dos alunos**. 1ª ed. São Paul SP: Gutenberg LTDA, 2007.

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.

DIONÍSIO, A. P. Análise da Conversação. In: EDITORA, C. (Ed.). . **Introdução a Linguística - Domínios e Fronteiras**. 4ª ed. São Paulo: 2004, 2000. p. 270.

DRIVER, R. et al. Construindo conhecimento científico na sala de aula. **Química Nova na Escola**, n. 9, p. 31–40, 1999.

FURBERG, A.; ARNSETH, H. C. Reconsidering conceptual change from a socio-cultural perspective: analyzing students' meaning making in genetics in collaborative learning activities. **Cultural Studies of Science Education**, v. 4, n. 1, p. 157–191, 2 mar. 2009.

GIL, S. G. R.; FRADKIN, M.; CASTAÑEDA-SORTIBRÁN, A. N. Conceptions of meiosis: misunderstandings among university students and errors. **Journal of**

Biological Education, p. 1–14, 9 maio 2018.

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, 26 jan. 1983.

HEIM, W. G. What is a Recessive Allele? **The American Biology Teacher**, v. 55, n. 2, p. 94–97, 1991.

HERNÁNDEZ, V.; CARABALLO, J. N. **Development of a diagnostic test to detect misconceptions in mendelian genetic and meiosis**. Publisher: Misconceptions Trust Publisher Location: Ithaca, NY. **Anais...Ithaca, NY: Misconceptions Trust, 1993**Disponível em: <http://www.mlrg.org/proc3pdfs/Hernandez_Genetics.pdf>. Acesso em: 7 out. 2018

KINDFIELD, A. C. H. Confusing chromosome number and structure: a common student error. **Journal of Biological Education**, v. 25, n. 3, p. 193–200, set. 1991.

KINDFIELD, A. C. H. Understanding a basic biological process: Expert and novice models of meiosis. **Science Education**, v. 78, n. 3, p. 255–283, jun. 1994.

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

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, dez. 1988.

LEWIS, J. Traits, genes, particles and information: re-visiting students' understandings of genetics. **International Journal of Science Education INT. J. SCI. EDUC**, v. 6, n. 2, p. 195–206, 2004.

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, set. 2000.

LONGDEN, B. Genetics—are there inherent learning difficulties? **Journal of Biological Education**, v. 16, n. 2, p. 135–140, 13 jun. 1982.

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. 05, n. 01, p. 25–33, 2010.

MERTENS, T. R.; WALKER, J. O. A Paper-&-Pencil Strategy for Teaching Mitosis & Meiosis, Diagnosing Learning Problems Predicting Examination Performance. **The American Biology Teacher**, v. 54, n. 8, p. 470–474, nov. 1992.

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.

MORTIMER, E. F. Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos? **Investigações em Ensino de Ciências**, v. VI, n. 1, p. 20–39, 1996.

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, dez. 2012.

ÖZTAP, H.; ÖZAY, E.; ÖZTAP, F. Teaching cell division to secondary school students: an investigation of difficulties experienced by Turkish teachers. **Journal of Biological Education**, v. 38, n. 1, p. 13–15, dez. 2003.

PAIVA, A. L. B.; MARTINS, C. M. C. Concepções prévias de alunos de terceiro ano do Ensino Médio a de temas na área de Genética. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 7, n. 3, p. 182–201, 2005.

POSNER, G. J. et al. Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. **Science Education**, v. 66, n. 2, p. 211–227, abr. 1982.

SANDERS, M. Erroneous ideas about respiration: The teacher factor. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 30, n. 8, p. 919–934, out. 1993.

SANTOS, F. D. DOS et al. 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, dez. 2015.

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

SAUSSURE, F. Natureza do signo linguístico. In: **Curso de linguística geral**. 20^a ed. São Paulo: Cultrix, 1995. p. 79–93.

SNUSTAD, D. P.; SIMMONS, M. J. **Fundamentos de Genética**. 4^a ed. Rio de Janeiro - RJ: 2012, 2006.

STEWART, J.; DALE, M. High School Students' Understanding of Chromosome/ Gene Behavior During Meiosis. **Science Education**, v. 73, n. 4, p. 501–21, 1989.

STEWART, J.; DALE, M. Students' Alternate Views of Meiosis. **The American Biology Teacher**, v. 52, n. 4, p. 228–232, abr. 1990.

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.

VIENNOT, L. Spontaneous Reasoning in Elementary Dynamics. **European Journal of Science Education**, v. 1, n. 2, p. 205–221, 25 jan. 1979.

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, set. 2011.

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, 23 abr. 1998.

7. APÊNDICE

Meiose no Papel: Cromossomos e Segregação Independente

Abaixo o roteiro da atividade prática *Meiose no Papel: Cromossomos e Segregação Independente* e na sequência os modelos utilizados nesta atividade (**Figura 23**). Esta prática foi desenvolvida pela professora Adlane Vilas-Boas e uma versão foi publicada por Diego Dayvison e Adlane Vilas-Boas nos portais pontociência (<http://pontociencia.org.br/>) e portal do professor (<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/index.html>). Esta atividade tem como principal objetivo facilitar a compreensão da função da meiose e sua repercussão nas leis de Mendel. A prática também ajuda o estudante a entender melhor o mecanismo da variabilidade genética dos gametas, o crossing-over, a segregação independente, a relação existente entre meiose e mitose e o processo da divisão meiótica.

A prática *Meiose no Papel* pode ser realizada em laboratório ou em sala de aula. O tempo gasto para a prática é de, aproximadamente, 30 minutos. Supõe-se que os estudantes apresentem os seguintes conhecimentos prévios: noções de genética mendeliana, gametogênese e fecundação. Os materiais necessários para a realização da prática são: recortes de desenhos de cromossomos, tesouras, envelopes simples e fita adesiva.

Roteiro
1) Você (ou o seu grupo) recebeu um envelope, que representa uma célula $2n$, contendo um conjunto de 6 cromossomos que representarão o DNA não replicado ($2n=6$). Os cromossomos sexuais não estão representados, o sexo do indivíduo doador da célula está escrito na parte externa do envelope [escreva no lado externo os símbolos ♀ e ♂]. As cores diferentes representam a sua origem (paterna ou materna, ou seja, se esse indivíduo recebeu um determinado cromossomo de seu pai ou de sua mãe).
2) Observe que cada cromossomo apresenta letras; elas representam alguns loci gênicos da célula. Anote o genótipo do indivíduo que você recebeu.
3) Considere, agora, que esta célula iniciará seu processo de divisão, e faça um desenho esquemático de como os cromossomos se apresentam nesse momento anterior à divisão.

4) Antes de iniciar a divisão observe se os cromossomos já estão duplicados.
5) Faça a duplicação (ou replicação) do DNA abrindo os cromossomos. Como é chamada cada parte que aparece duplicada agora? [cromátide]
6) O que acontece com os genes em destaque nos braços dos cromossomos? [eles são duplicados e copiados identicamente do DNA - Destacar que o cromossomo dá origem a outro cromossomo igual]
7) Os braços dos cromossomos que foram duplicados são idênticos aos que serviram de molde?[sim, a não ser que tenha havido algum erro resultando em uma mutação]
Evidencie a duplicação dos genes escrevendo seus nomes nas cromátides que acabaram de se formar.
8) Qual o evento mais importante nesta fase inicial (prófase I) da meiose para a geração de novos gametas? [o crossing-over]. Por quê? [mesmo que nesta longa fase da meiose outros eventos importantes ocorram é o crossing-over o processo que permite a recombinação entre pedaços de DNA]
9) Pinte um círculo na região do centrômero.
10) Como se dá o crossing-over (ou seja, o que precisa acontecer primeiro com os cromossomos)? [é preciso que haja pareamento dos cromossomos homólogos]
11) Identifique os cromossomos homólogos. Forme três pares colocando-os um sobre o outro, emparelhados, formando tétrades, de acordo com os locos gênicos. Diferencie as cromátides-irmãs das cromátides não-irmãs.
12) Agora que os cromossomos estão bem perto um dos outro os genes podem ser trocados. Faça isso cortando um pedaço que contenha letra em cada cromossomo e cole (no lugar onde estava o gene equivalente no outro cromossomo homólogo), utilizando fita adesiva. [uma informação importante é que existem estimativas que ocorre pelo menos um crossing over por par de homólogos por divisão meiótica em células humanas]. A troca tem que ser recíproca![pode-se levantar a questão de que poderia ser gerada uma duplicação/deleção se não fosse troca recíproca]
13) Discuta com seus colegas a importância do evento que vocês acabaram de completar.
14) Imagine que a célula tem um lado esquerdo e direito. Nessa primeira

divisão meiótica, quem se separa de quem? [os cromossomos homólogos] O lado da célula para o qual cada cromossomo se desloca é influenciado por algo ou este é um processo aleatório?[é um processo aleatório e o lado da células para o qual cada cromossomo migra depende de como eles se ligaram às fibras do fuso]

15) Use uma moeda para decidir o destino dos cromossomos maternos e paternos. Escolha um dos cromossomos homólogos, materno ou paterno. Jogue a moeda. Se der cara, esse cromossomo vai para o lado direito. Se der coroa, para o lado esquerdo (e, obviamente, o contrário com o outro homólogo). Após terminar a segregação dos cromossomos, em que fase a célula se encontra neste momento? [telófase I]

16) Agora, você tem duas células que precisam se dividir de novo para terminar a formação de gametas haploides. As duas cromátides ainda estão ligadas pelo centrômero. Corte os cromossomos ao meio e proceda à divisão usando a moeda novamente como no item anterior.

17) Observe os genes nas células finais haploides. Anote o genótipo de cada um dos gametas formados.

18) Discuta com seus colegas porque é inviável que um gameta apresente um número $2n$ de cromossomos.

Parte II - Fertilização

1. Sorteie um dos 4 gametas formados para participar do cruzamento. Escolha um gameta formado por outro grupo (de sexo oposto) para que ocorra a fertilização [mediação do professor neste momento pode ser importante para manter o foco nas células].

2. Qual o genótipo do indivíduo que acabou de se formar?[pode ser interessante escrever no quadro os genótipos dos pais de cada grupo e o genótipo do indivíduo formado]. É diferente do genótipo dos pais? [pode ser um bom momento para finalizar, discutindo sobre a importância da meiose para o surgimento de novos genótipos, junto com a própria segregação].

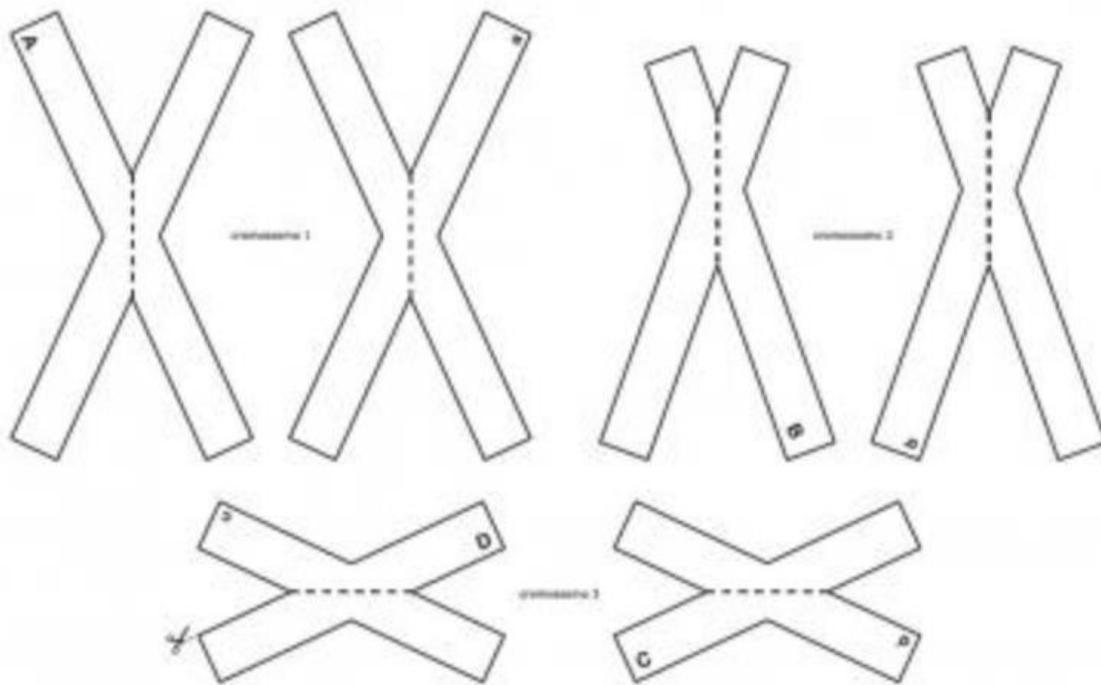


Figura 23: modelos de cromossomos utilizados na prática Meiose no Papel

8. ANEXOS

8.1 ANEXO 1 - Parecer do Comitê de Ética em Pesquisa (COEP)

PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Profissão cientista: um olhar dos estudantes de graduação e de professores universitários sobre 'ser cientista' **Pesquisador:** Adlane Vilas-Boas **Área**

Temática:

Versão: 2

CAAE: 36703714.2.0000.5149

Instituição Proponente: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do

Parecer: 854.699

Data da Relatoria:

30/10/2014

Apresentação do Projeto:

Em enquetes de percepção pública da ciência realizadas no Brasil tem-se notado um desconhecimento sobre instituições de pesquisa existentes, e uma dificuldade na taxa de recuperação de nomes de cientistas contemporâneos importantes. Além disso, estudos sobre a imagem do cientista para estudantes do ensino básico muitas vezes refletem uma distorção da realidade onde o cientista não é tido como uma pessoa comum. Esta situação muda quando os alunos conhecem de fato um cientista por meio de palestras, encontros ou contato por internet. Ao mesmo tempo em que se usa o termo "cientista" para aplicação de um questionário sobre percepção da ciência, não se vê uma clareza sobre a denominação "cientista" para pesquisadores e professores universitários, seja na mídia ou na própria academia, ficando uma lacuna de entendimento sobre quem é o ser humano que exerce a profissão de cientista. Assim, a pesquisa que se propõe aqui visa a conhecer o posicionamento de professores universitários que atuam em pesquisa em C&T a respeito do "ser cientista", incluindo sua auto-denominação como "cientista" e analisar a percepção dos estudantes de graduação sobre a imagem do cientista em geral e dos seus professores enquanto cientistas. Pretende-se com esta pesquisa inicial contribuir para a compreensão dos fatores que constroem o imaginário da sociedade sobre o cientista e na formulação e implantação de políticas públicas de C&T.

Metodologia: têm-se como público desta pesquisa dois perfis diferentes: 1) profissionais da ciência, atuantes no ensino superior como professor (adjunto, associado ou titular) e como pesquisador em algumas das unidades acadêmicas da Universidade Federal de Minas Gerais. A amostragem pretende cobrir 10% do público alvo, entre professores efetivamente exercendo atividades de pesquisa e com produção acadêmica documentada no sistema de currículos Lattes. Na primeira etapa, a pesquisa será feita no ICB com um grupo de aproximadamente 30 professores. O recrutamento será feito por e-mail individual a cada um deles e se necessário, para um grupo maior caso não haja resposta ao pedido. 2) estudantes de graduação de cursos ligados à C&T, seja na modalidade bacharelado como licenciatura. Na primeira etapa, cerca de 70 estudantes devem ser incluídos, sendo que o recrutamento terá de ser feito para todo o grupo de estudantes através do Colegiado do Curso de Ciências Biológicas. Presumindo que a formação acadêmica que escolheram modifica de alguma forma a imagem que os estudantes têm do cientista, serão entrevistados dois grupos, nos períodos iniciais e finais da graduação, afim de que talvez possa ser possível detectar essa diferença. Os dados serão obtidos a partir da aplicação de questionários estruturados ou semi-estruturados, por formulário online nesta primeira etapa, podendo vir a ser adicionada a etapa de entrevistas em outras etapas. Os questionários estão nos anexos III e IV e exceto as perguntas que identificam o indivíduo, todas são importantes para o contexto da pesquisa. Não existem riscos para o indivíduo sendo que os desconfortos ou constrangimentos que porventura viessem a ocorrer serão minimizados ao se expressar que a identidade do entrevistado não será revelada e será incluído no convite o item que ele pode escolher a qualquer momento, não participar da pesquisa se assim o desejar. Ao abrir o link para o questionário, o indivíduo será convidado a ler o termo de consentimento e, apenas se consentir com os termos, dará sequência ao preenchimento das respostas. Os dados serão coletados automaticamente organizados em planilhas do Microsoft Office Excel e serão analisados pelo software livre GNU-PSPP com a estatística descritiva, análise das freqüências e cruzamento de dados. Os questionários serão inicialmente validados por indivíduos que responderão às questões, as quais não serão incluídas na análise dos resultados. Pequenas modificações advindas desta validação poderão ser introduzidas se não forem modificar o objetivo da pesquisa. As respostas descritivas, quando houver, serão analisadas por metodologia de análise do discurso (Bakhtin, 1985) e utilizando a técnica da análise de conteúdo proposta por Bardin (2009).

Objetivo da Pesquisa:

Objetivo Primário: "Frente aos questionamentos levantados para os quais não encontramos respostas na literatura, consideramos que um estudo que englobasse essas relações dentro de uma Universidade seria de importância para uma melhor compreensão de como é feita a ciência e como atuam conhecer o posicionamento de professores universitários que atuam em pesquisa em C&T a respeito do "ser cientista" e da auto-denominação como "cientista" seus componentes no País. Pretende-se assim: conhecer o posicionamento de professores universitários que atuam em pesquisa em C&T a respeito do "ser cientista" e da auto-denominação como "cientista". Pretende-se também analisar a percepção dos estudantes de graduação sobre a imagem do cientista em geral e dos seus professores enquanto cientistas".

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Segundo a proponente:

Riscos: Sem riscos.

Benefícios: Auxiliar no entendimento sobre o desenvolvimento científico e na implantação de políticas públicas em Ciência e Tecnologia.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

O projeto de pesquisa parece viável e não foram identificados desvios éticos. Os resultados dessa pesquisa poderão contribuir para uma melhor compreensão do papel do professor universitário na construção do imaginário popular sobre ser cientista.

As solicitações do COEP foram atendidas:

1) Anexar o roteiro de entrevista, mencionando o tipo de dado de interesse na pesquisa;

Resposta: Anexos III e IV incluídos. Cuidado foi tomado para que as perguntas levantassem dados de interesse. Assim todos são, a princípio de interesse, exceto os de identificação do entrevistado. 2) Caracterizar os possíveis desconfortos ou constrangimentos que podem ocorrer durante a entrevista já que, de acordo com a Resolução 466/2012, não existe pesquisa isenta de riscos. Mencionar as medidas que serão adotadas para minimizar tais desconfortos, se for o caso.

Resposta: Não mais serão feitas entrevistas pessoalmente nesta etapa, e sim online, o que minimiza ainda mais os riscos. Além disso, foi mencionado na metodologia que não há riscos e incluído nos TCLEs a opção de não participar se o respondente se sentir desconfortável ou constrangido.

3) Detalhar quantos alunos e quantos professores serão recrutados, dentro do total de 100 informado;Resposta: Detalhado na metodologia. No máximo 30 professores e 70 alunos nesta etapa.

4) Explicitar o modo de recrutamento dos professores e estudantes;Resposta: Explicitado na metodologia. Por e-mail.

5) Rever a interpretação dos desfechos mencionados no projeto como "Desfecho Primário.

Resposta: Modificado no projeto e incluído na parte de Considerações finais e resultados esperados. 6) Descrever de forma clara e detalhada a metodologia, considerando a utilização de gravação de áudio e a forma de coleta, explicitando se será por entrevista presencial ou preenchimento de questionários online.

Resposta: Modificada a metodologia pois não haverá tempo útil para gravação nesta fase.

7) Nesse último caso, informar o modo de obtenção de TCLE.

Resposta: Modificado na metodologia.

TCLE: revisar o português, retirar a abreviatura C&T. Descrever de forma clara e direta a forma de coleta de dados, explicitar que a unidade de origem do professor não será identificada.

Resposta: Introduzido na metodologia o modo de acesso ao termo, a forma de coleta de dados. Não há como garantir a não identificação da Unidade do professor devido ao caráter da pesquisa. A Unidade de origem irá eventualmente ser identificada pois é um dado de interesse, por se tratar de um trabalho de alunos do curso de Ciências Biológicas que poderá vir a ser utilizado em melhorias de enquetes de percepção pública da ciência.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Documentos apresentados: projeto de pesquisa formatado pela Plataforma Brasil e projeto em word; folha de rosto assinada pela Diretora do Instituto de Ciências Biológicas da UFMG (ICB/UFMG); parecer consubstanciado constando aprovação "ad referendum" do Departamento de Biologia Geral; termo de compromisso assinado pela pesquisadora responsável; TCLE: apresentado em duas versões, sendo uma direcionada para os professores e outra para os graduandos, carta resposta ao COEP, questionário aos estudantes, questionário para professores.

Recomendações:

Recomenda-se a aprovação do projeto de pesquisa.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Somos favoráveis à aprovação do projeto "Profissão cientista: um olhar dos estudantes de graduação e de professores universitários sobre 'ser cientista'" da Pesquisadora Profa. Dra. Adlane Vilas-Boas.

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

Considerações Finais a critério do CEP:

Aprovado conforme parecer.

Assinado por:
Telma Campos Medeiros Lorentz
(Coordenador)

8.2 ANEXO 2 - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO PARA PESQUISA NA ÁREA DE ENSINO-APRENDIZAGEM EM GENÉTICA

Título do Projeto: “Ensino de Genética Conceito e aprendizagem”

Pesquisadores responsáveis: Profª Drª Adlane Vilas-Boas, Profª Drª Marina de Lima Tavares, Profª Drª Rafaella Cardoso Ribeiro, Jeovânio José da Rocha, Luís Fonseca Guerra, Mayana Flávia Ferreira Pimenta, Renata Figueiredo Haddad

e-mail: adlane@ufmg.br / fones: 3409-2980/996511464

1. Esta seção fornece informações acerca do estudo em que você estará envolvido(a):

A. Você está sendo convidado(a) a participar de uma pesquisa que visa a avaliar o aprendizado em Genética dos estudantes de ensino básico. Seus pais permitiram que você participe. Os resultados deste estudo poderão fornecer maiores informações do processo de ensino e aprendizagem que envolvem conceitos de Genética no ensino básico e, além disso, possibilitar o desenvolvimento de estratégias pedagógicas envolvendo os temas estudados.

B. Em caso de dúvida, você pode entrar em contato com a pesquisadora responsável através dos telefones e endereço eletrônico fornecidos nesse termo. Em caso de dúvida quanto às questões éticas, você poderá entrar em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa (COEP) da Universidade Federal de Minas Gerais pelo telefone (31) 3409 4592, pelo email coep@prpq.ufmg.br ou pelo endereço: Avenida Antônio Carlos, 6627 – Unidade Administrativa II – 2º andar, sala 2005 – Campus Pampulha, Belo Horizonte, MG – CEP: 31270 901.

C. Se você concordar em participar deste estudo, você será convidado para realização de uma atividade prática de Genética em data de sua conveniência. Sua participação é importante para a pesquisa, porque o estudo busca entender as dificuldades que os estudantes enfrentam com alguns tópicos da Genética. O tempo estimado de duração para realização de tal atividade é de aproximadamente 20 minutos.

D. O seu nome será retirado de todos os trabalhos e substituído por um pseudônimo, caso seja necessário citar pessoas.

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

- A. Você pode fazer perguntas sobre a pesquisa a qualquer momento e tais questões serão respondidas.
- B. A sua participação é confidencial. Apenas os pesquisadores responsáveis terão acesso a sua identidade. No caso de haver publicações ou apresentações relacionadas à pesquisa, nenhuma informação que permita a sua identificação será revelada.
- C. Sua participação é voluntária. Você é livre para deixar de participar na pesquisa a qualquer momento, bem como para se recusar a responder qualquer questão específica sem qualquer punição.
- D. Este estudo envolve riscos mínimos. As perguntas poderão causar desconforto e/ou constrangimento mínimos; de qualquer forma, todo cuidado será tomado para que suas respostas sejam confidenciais.

3. Esta seção indica que você está dando seu consentimento para se realizar a pesquisa:

Participante:

A pesquisadora Prof^a Dr^a Adlane Vilas-Boas, professora do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), solicita minha participação neste estudo intitulado “Ciclo celular e Genética: uma análise de conceitos de estudantes de licenciatura em Ciências Biológicas”

Eu li e compreendi as informações fornecidas e recebi respostas para qualquer questão que coloquei acerca dos procedimentos de pesquisa. Eu entendi e concordo com as condições do estudo como descritas. Eu entendo que assinarei duas vias deste formulário de consentimento e que uma das vias ficará em meu poder.

Eu, voluntariamente, aceito participar desta pesquisa. Portanto, concordo com tudo que está escrito acima e dou meu consentimento.

_____, _____ de _____ de 2018.

Nome legível:

Assinatura:

Pesquisador(a):

Eu garanto que este procedimento de consentimento foi seguido e que eu respondi quaisquer questões que o participante colocou da melhor maneira possível.

_____, ____ de _____ de 2018.

Assinatura do(a) Pesquisador(a)