



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

Decanato de Pesquisa e Pós-Graduação
Instituto de Ciências Biológicas
Instituto de Física
Instituto de Química
Campus Darcy Ribeiro
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências
Mestrado Profissional em Ensino de Ciências

ENSINO DE GENÉTICA: PROPOSTA PARA O ENSINO SUPERIOR

Danilo Rafael Santos de Brito

Brasília – DF
Junho
2018



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

Decanato de Pesquisa e Pós-Graduação
Instituto de Ciências Biológicas
Instituto de Física
Instituto de Química
Campus Darcy Ribeiro
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências
Mestrado Profissional em Ensino de Ciências

ENSINO DE GENÉTICA: PROPOSTA PARA O ENSINO SUPERIOR

Danilo Rafael Santos de Brito

Dissertação elaborada sob orientação da Professora Doutora Maria de Nazaré Klautau Guimarães e apresentado à banca examinadora como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Ensino de Ciências – Área de Concentração “Ensino e Aprendizagem”, pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências da Universidade de Brasília.

Brasília – DF
Junho
2018

FOLHA DE APROVAÇÃO

DANILO RAFAEL SANTOS DE BRITO

ENSINO DE GENÉTICA: PROPOSTA PARA O ENSINO SUPERIOR

Dissertação apresentada à banca examinadora como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Ensino de Ciências – Área de Concentração “Ensino e Aprendizagem”, pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências da Universidade de Brasília.

Aprovada em 04 de julho de 2018.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a Maria de Nazaré Klautau-Guimarães (Presidente)

Prof.^a Dr.^a Maria Márcia Murta (Membro Titular - (IQ/UnB))

Prof. Dr. Renato Caparroz (Membro Titular não vinculado ao Programa - UnB)

Prof.^a Dr.^a Alice M. Ribeiro (Membro Suplente - UnB)

*Há uma força motriz mais poderosa que o vapor, a
eletricidade e a energia atômica: a vontade.*

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

Ouvi certa vez, que os nobres não agradecem e não pedem desculpas.

Assim sendo, nunca serei um nobre.

Portanto, com toda humildade, primeiramente agradeço a todos aqueles que dão sentido a minha vida, minha família, meu pilar. Em especial aos meus pais, meus guias.

À minha filha, meu tudo.

À minha esposa, companheira e apoiadora, sempre resiliente às intempéries quando estive fisicamente ausente.

Aos meus irmãos que me presenteiam com sua amizade e bons estímulos.

Agradeço à minha orientadora, Prof^a Dr^a. Maria de Nazaré Klautau Guimarães que abundante em empatia, solicitude e competência, estendeu nobremente sua mão e me acolheu como orientando, fato que ostento com orgulho.

Aos meus amigos do PPGEC, que jamais esquecerei, obrigado pelas inestimáveis experiências e amizades.

Aos professores do PPGEC que tiveram a humildade de compartilhar seus enriquecedores conhecimentos.

Ao Instituto Federal do Maranhão, minha instituição, pela oportunidade proporcionada.

À Universidade de Brasília, que tenho no coração.

Obrigado sempre.

RESUMO

A variedade de abordagens desenvolvidas e utilizadas para o ensino e aprendizagem de conceitos científicos permite afirmar que os conceitos científicos são a pedra fundamental no ensino de Ciências. A aprendizagem de conceitos é algo moroso e não linear. Atualmente, é indiscutível a presença, em maior ou menor grau, da Ciência no cotidiano dos cidadãos. Nesse contexto, o ensino da Biologia, com especial ênfase no ensino da Genética, apresenta um papel importante no processo de formação de cidadãos conscientes e críticos frente às novidades científicas. Diversos autores apontam a Genética como a área da Biologia em que os estudantes apresentam, de longe, maior dificuldade de entendimento, independente do nível de ensino. A falta de contextualização no ensino de Genética faz com que os estudantes sejam incapazes de distinguir conceitos básicos como os de genoma, cromatina, gene, cromossomo e DNA e a prevalência dos conhecimentos prévios e concepções alternativas ao conhecimento científico que os estudantes carregam consigo e suas implicações na formação e desenvolvimento de conceitos. Consideramos primordial que o professor conscientize-se sobre a pluralidade de obstáculos que o processo de ensino e aprendizagem em Genética apresenta. Em vista dessa problemática, nosso objetivo foi a proposição e o desenvolvimento de uma Sequência Didática com o apoio de objetos de aprendizagem, apoiada na Teoria do Perfil Conceitual (TPC) do conceito de **genoma e suas relações**, que possibilitou tornar mais efetivo o ensino e aprendizagem dos conceitos básicos em Genética, levando em conta a utilização das novas tecnologias e novas abordagens metodológicas. Quanto à perspectiva metodológica, a pesquisa foi pautada na análise qualitativa, porém, os dados receberam tratamento quantitativo por meio de tabulações das informações. A pesquisa foi realizada de forma colaborativa com geração descritiva de dados, em uma turma de estudantes de graduação do curso de Licenciatura em Biologia na disciplina de Genética da UnB, Campus Darcy Ribeiro.

Palavras Chave: Genética; Ensino e Aprendizagem; Objetos de Aprendizagem.

ABSTRACT

The variety of approaches developed and used for the teaching and learning of scientific concepts makes it possible to affirm that scientific concepts are the cornerstone in science teaching. The learning of concepts is something slow and non-linear. Nowadays, the presence, to a greater or lesser degree, of Science in the daily life of citizens is indisputable. In this context, the teaching of Biology, with special emphasis on the teaching of Genetics, plays an important role in the process of training citizens who are aware and critical of scientific novelties. Several authors point to Genetics as the area of Biology in which students have, by far, greater difficulty in understanding, regardless of the level of education. The lack of contextualization in the teaching of genetics makes students unable to distinguish basic concepts such as genome, chromatin, gene, chromosome and DNA, and the prevalence of prior knowledge and alternative conceptions of scientific knowledge that students carry with them and their implications in the formation and development of concepts. We consider it essential that the teacher becomes aware of the plurality of obstacles that the teaching and learning process in Genetics presents. In view of this problem, our objective was the proposition and development of a Didactic Sequence with the support of learning objects, supported in the Conceptual Profile Theory (TPC) of the genome concept and its relations, which made teaching and learning of the basic concepts in Genetics, taking into account the use of new technologies and new methodological approaches. Regarding the methodological perspective, the research was based on the qualitative analysis, however, the data received quantitative treatment through tabulations of the information. The research was carried out in a collaborative way with a descriptive generation of data, in a group of undergraduate students of the Biology undergraduate course in the Genetics discipline of UnB, Campus Darcy Ribeiro.

Keywords: Genetics; Teaching and learning; Learning Objects.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Imagem 1 - Representação esquemática da metodologia de construção de um perfil conceitual de adaptação	43
Imagem 2 - Resposta ao primeiro item da questão 1 aplicada na atividade 2	63
Imagem 3 - Resposta ao segundo item da questão 1 aplicada na atividade 2	63
Imagem 4 - Resposta parcialmente satisfatória apresentada ao primeiro item da segunda questão na atividade 2	64
Imagem 5 - Resposta satisfatória apresentada ao primeiro item da questão 2 na atividade 2	65
Imagem 6 - Resposta insatisfatória apresentada ao segundo item da questão 2 na atividade 2	66
Imagem 7 - Resposta insatisfatória apresentada ao segundo item da questão 2 na atividade 2	66
Imagem 8 - Resposta satisfatória apresentada ao primeiro item da questão 3 na atividade 2	67
Imagem 9 - Resposta satisfatória apresentada ao primeiro item da questão 3 na atividade 2	68
Imagem 10 - Resposta satisfatória apresentada aos itens [b] e [c] da questão 3 na atividade 2	68
Imagem 11 - Resposta satisfatória apresentada aos itens [a] e [b] da questão 4 na atividade 2	69
Imagem 12 - Resposta satisfatória apresentada aos itens [a] e [b] da questão 4 na atividade 2	70
Imagem 13 - Resposta satisfatória apresentada aos itens [a] e [b] da questão 4 na atividade 2	70
Imagem 14 - Resposta satisfatória apresentada na atividade 3	73
Imagem 15 - Resposta satisfatória apresentada na atividade 3	74

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Correspondência entre a primeira questão aplicada no pré-teste e a meta B de aprendizagem.....	48
Quadro 2 - Correspondência entre a segunda questão aplicada no pré-teste e a Meta A de aprendizagem	49
Quadro 3 - Correspondência entre a segunda questão aplicada no pré-teste e as metas B, E e F de aprendizagem.....	51
Quadro 4 - Correspondência entre a quarta questão aplicada no pré-teste e as metas de aprendizagem	57
Quadro 5 - Correspondência entre a quinta questão aplicada no pré-teste e as metas de aprendizagem	59
Quadro 6 - Autoavaliações no pré-teste por questão	61
Quadro 7 - Autoavaliações no pré-teste por estudante	62
Quadro 8 - Primeira questão aplicada na atividade 2	63
Quadro 9 - Segunda questão aplicada na atividade 2	64
Quadro 10 - Terceira questão aplicada na atividade 2	67
Quadro 11 - Quarta questão aplicada na atividade 2	69
Quadro 12 - Quinta questão aplicada na atividade 2	71
Quadro 13 - Atividade 3 da intervenção didática	72
Quadro 14 - Correspondência entre a primeira questão aplicada no pós-teste e a meta de aprendizagem B	75
Quadro 15 - Correspondência entre a segunda questão aplicada no pós-teste e a meta de aprendizagem A	78
Quadro 16 - Correspondência entre a terceira questão aplicada no pós-teste e as metas de aprendizagem C, D e E	79
Quadro 17 - Correspondência entre a quarta questão aplicada no pós-teste e as metas de aprendizagem E e F	80

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Percentuais de respostas satisfatórias, parcialmente satisfatórias, insatisfatórias e não respondidas na primeira etapas de coleta de dados 84

Gráfico 2 - Percentuais de respostas satisfatórias, parcialmente satisfatórias, insatisfatórias e não respondidas na segunda etapa de coleta de dados 85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Visão geral das autoavaliações no pré-teste	61
Tabela 2 - Avaliação do jogo "combinar e recombinar com os dominós" realizada por estudantes do curso de graduação em Ciências Biológicas da Universidade de Brasília	87
Tabela 3 - Autoavaliação realizada pelos estudantes do curso de graduação em Ciências Biológicas da Universidade de Brasília	88

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EG	Estudante de Genética
OA	Objetos de Aprendizagem
PPGEC	Programa de Pós-Graduação de Ensino de Ciências
UnB	Universidade de Brasília
UAB	Universidade Aberta do Brasil
TPC	Teoria do Perfil Conceitual

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	14
1 INTRODUÇÃO	16
2 ENSINO DE GENÉTICA	20
2.1 OBSTÁCULOS AO ENSINO DE GENÉTICA	22
3 TEORIA DO PERFIL CONCEITUAL.....	24
4 UM PERCURSO HISTÓRICO PARA A HEREDITARIEDADE DO GENOMA.....	27
5 OBJETOS DE APRENDIZAGEM.....	35
5.1 JOGOS EDUCACIONAIS	37
5.2 COMBINAR E RECOMBINAR COM OS DOMINÓ	38
6 ELEMENTOS BÁSICOS DA PESQUISA	40
6.1 PROBLEMA.....	40
6.2 QUESTÕES NORTEADORAS	40
6.3 OBJETIVO GERAL.....	41
6.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	41
7 CONSTRUÇÃO DA PESQUISA: itinerário de delineamento metodológico..	41
8 ANÁLISE DOS DADOS	44
8.1 ANÁLISE QUALITATIVA.....	44
9 RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
9.1 ANÁLISE QUALITATIVA DAS RESPOSTAS DOS ALUNOS NA ATIVIDADE 1 (PRÉ-TESTE).....	48
9.2 ANÁLISE QUALITATIVA DAS RESPOSTAS DOS ALUNOS NAS ATIVIDADES 2 E 3	62
9.3 ANÁLISE QUALITATIVA DAS RESPOSTAS DOS ALUNOS NA ATIVIDADE 4 (PÓS-TESTE).....	75
9.4 ANÁLISE QUALITATIVA DO GRAU DE ADEQUAÇÃO E DA EVOLUÇÃO CONCEITUAL DAS VISÕES DOS ALUNOS SOBRE O CONCEITO DE GENOMA E SUAS RELAÇÕES	83
9.5 AVALIAÇÃO DO JOGO DOS DOMINÓS COMO ESTRATÉGIA PARA O ENSINO E APRENDIZAGEM DE CONCEITOS EM GENÉTICA	86
10 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	89
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95
APÊNDICE A - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.....	101
APÊNDICE B - Pré-teste em Genética	102
APÊNDICE C - Atividade 2 com a utilização do objeto de aprendizagem - “jogo dos dominós”	105
APÊNDICE D - Atividade 3 com a utilização do objeto de aprendizagem - “jogo dos dominós”	107
APÊNDICE E - Atividade 3 com a utilização do objeto de aprendizagem - “jogo dos dominós”	109
APÊNDICE F - Avaliação da intervenção didática.....	111

APRESENTAÇÃO

Sou o mais velho de quatro filhos de uma professora de Biologia da rede estadual de ensino do Maranhão e um pequeno comerciante, e o mais velho dos netos de agricultores e feirantes. Ludovicense, resido até hoje em São Luís-MA. Iniciei minha vida escolar primária próximo da minha casa, no Centro de Ensino Prof. Robson Campos Martins, escola estadual onde minha mãe leciona até hoje e onde, e que, coincidentemente, anos depois tive a oportunidade e o prazer de trabalhar, por dois anos, como professor de Ciências da Natureza. Hoje falo do prazer em lecionar, porém, recordo que durante minha graduação na Universidade Estadual do Maranhão - UEMA, em Licenciatura em Ciências com Habilitação em Biologia, ponderei vários caminhos profissionais como futuro biólogo, menos, por mais surpreendente que possa soar hoje, trabalhar como Professor. A bem da verdade, iniciei no ano de 2002 minha carreira como Professor, e como muitos contemporâneos, essa opção foi mais por necessidade econômica do que pelo direcionamento da minha formação inicial ou ainda por notada vocação.

Até hoje não sei precisar quando assumi a docência como minha profissão ou, quando passei a me ver como Professor, porém, não é de hoje que reconheço e afirmo que sou e sempre fui apaixonado por Ciências e que, a docência, apesar dos percalços, ampliou este sentimento. Hoje, como nenhuma outra profissão que eu já tenha exercido, a docência em sala de aula me dá uma enorme satisfação e sensação de completude. Assim, já rendido ao ambiente escolar, foi que desde o ano de 2009, assumi o cargo efetivo de professor EBTT de Biologia do Instituto Federal do Maranhão, com lotação atual no Campus de Pinheiro-MA, na baixada maranhense. Ocorreu que, com o passar dos anos não pude ignorar uma inquietude nascendo e crescendo em mim, pois, mesmo sempre tentando desenvolver melhor meu papel como Professor, muitas questões de natureza pessoal, assim como estruturais e conjunturais estavam provocando em mim uma sensação de engessamento, ou seja, a docência não estava mais me fascinando, já não estava mais me sentindo capaz de despertar o interesse e o encanto dos meus alunos pela Biologia e estava consciente que não conseguia mais acompanhar todas as inovações que a Biologia apresentava, muito menos transpor tais informações para o ambiente da sala de aula.

Entrando numa fase em que já não enxergava mais outra alternativa para me resgatar foi que, por um mero acaso, descobri o programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências da UnB. Seria essa uma saída? O aperfeiçoamento no meu fazer docente, com vistas contribuir com a minha instituição e especialmente com a sociedade em que ela está inserida. Reconheço que mesmo com toda a disposição que possuo para desenvolver minha atividade, senti a necessidade de uma formação continuada ao nível de uma Pós-Graduação *Stricto Sensu*. A proposta do PPGEC se encaixou satisfazia perfeitamente meus anseios. Meu deparei com um mundo novo. Tive a oportunidade de desenvolver minha proposta de pesquisa sobre a formação de conceitos em Ciências, mais detidamente em Genética. Essa é uma problemática que sempre me chamou atenção. Várias pesquisas apontam os problemas do ensino na área das Ciências, caracterizado pela apresentação do conhecimento científico como fragmentado, factual, já construído, não modificável, mnemônico e permeado de ideologias, acabando por não levar os estudantes à compreensão do significado da Ciência, suas limitações e seu potencial de ação sobre a sociedade como um todo. Diversas são as dificuldades epistemológicas encontradas na aprendizagem das disciplinas de Biologia, que dificultam a compreensão das concepções científicas a respeito do mundo natural pelos estudantes. Entre elas, posso apontar primeiramente, a completa falta de sentido da Biologia apresentada na escola, fria e metódica, distante dos interesses dos estudantes, em segundo lugar, a compartimentalização do processo de ensino e em terceiro plano, porém não menos importante, é decorrente de uma péssima formação acadêmica, realidade nada incomum, que mitiga o desenvolvimento da epistemologia da Ciência dos professores em formação. São por essas razões que almejo, por intermédio do desenvolvimento deste trabalho, concretizar uma proposta que tornem as aulas de Biologia, em especial para esta pesquisa, as aulas de Genética, mais efetivas dentro de um processo dialógico de ensino e aprendizagem.

1 INTRODUÇÃO

. É sob essa perspectiva que Teixeira (2006), nos coloca que "com eles são expressas explicações, descritas propriedades e feitas previsões para os fenômenos". A formação e o desenvolvimento de conceitos científicos pelos estudantes segundo Lima; Aguiar Júnior e De Caro (2011), caracteriza-se como um dos temas de grande interesse da pesquisa em Educação em Ciências nas mais variadas orientações teóricas. Ainda de acordo com esses autores, a aprendizagem dos conceitos constitui elemento central da Educação em Ciências. Os conceitos são os instrumentos mediacionais por meio dos quais interpretamos e interagimos com as realidades que nos cercam (LIMA; AGUIAR JÚNIOR; DE CARO, 2011).

Similarmente, Nébias (1998) afirma que, pelo papel que os conceitos desempenham, "sua aprendizagem tem sido objeto de muitas investigações, principalmente quando se pensa na instrução formal e no papel da escola de facilitadora na construção do conhecimento científico por parte de seus alunos". Complementando esse pensamento, Brito (1996), fala que a aprendizagem de conceitos e princípios desempenham um papel fundamental na construção de conhecimentos de um indivíduo e, que esta aprendizagem se dá tanto em situações escolares, como em atividades e situações que ocorrem fora da sala de aula, isto é, em situações não programadas. A autora segue afirmando que, o estudo a respeito dos conceitos e da formação de conceitos não é novo e está presente nos trabalhos de vários teóricos e estudiosos em educação. Contudo, quando se procura compreender o que são conceitos científicos, e como ocorre o seu aprendizado, observa-se que não há consenso entre os vários estudiosos do assunto, entre eles Piaget, Ausubel e Vygotsky (AZEVEDO, 2008 e TEIXEIRA, 2006). Para Schroeder; Ferrari e Maestrelli (2009) "a aprendizagem sistematizada é centrada na aprendizagem dos conhecimentos científicos e seus fundamentos".

A aprendizagem de conceitos é algo moroso e não linear, neste sentido, Cenci e Costas (2012) chamam a atenção para os conceitos cotidianos, que segundo os autores são "são aqueles formados a partir de vivências, situações concretas e afetivas mediatas. Formam-se a partir das propriedades perceptivas, isto é, da coisa em si". Os autores seguem afirmando que em Vygotsky tais conceitos são denominados de conceitos espontâneos. No que tange à Vigotsky, Fonseca-Janes e Lima (2013), relatam que em seus trabalhos sobre o conhecimento humano, o estudioso utilizou um método experimental pautado

nos pressupostos filosóficos da teoria marxista do funcionamento dos processos mentais para realizar seus estudos sobre o processo de formação de conceitos. De acordo com as autoras:

[...] em seus trabalhos sobre o conhecimento humano, Vygotsky (1996, p. 115) demonstra que o “aprendizado humano pressupõe uma natureza social específica e um processo por meio do qual as crianças penetram na vida intelectual daquelas que as cercam”. Isso significa que, para se trabalhar no plano abstrato, são necessárias formulações de conceitos, entendidos como um ato complexo, dinâmico e interfuncional, construídos por meio da atuação e inserção do indivíduo na cultura, mediado pelas relações com as outras pessoas. Nesse entorno sociocultural, o indivíduo se apropria de conhecimentos por meio de aprendizados formais e não-formais promotores de subsídios para construção dos conceitos científicos e cotidianos (FONSECA-JANES e LIMA, 2013).

Dias et al (2014), qualifica como inovadora a proposta de Vigotski para a compreensão das funções psicológicas superiores. Os autores destacam que no trabalho de Vigotski, a linguagem é destacada como indispensável à formação de conceitos, "a qual começa na infância e prossegue desenvolvendo-se até a adolescência; mas este processo não é natural, ele é significativamente influenciado por aspectos sociais como, por exemplo, a escolarização" (DIAS et al, 2014). A esse respeito Galvão, Teixeira e Ruiz (2009) resumem:

Vygotsky (1998) apresenta em suas pesquisas, que o ser humano passa por dois processos de formação dos conceitos. O primeiro processo ocorre na fase infantil, quando a criança em suas experiências cotidianas desenvolve habilidades fora da escola, em convivência familiar e com outras pessoas. A esse processo, o autor classifica como formação de conceitos espontâneos e/ou cotidianos, considerados importantes no processo cognitivo da criança. O segundo processo apresentado por Vygotsky (1998), diz respeito à formação dos conceitos científicos, ocorrido na escola, sendo sistematizado por experiências de cunho científico, com maior grau de complexidade. Se esses conceitos não forem trabalhados de maneira significativa, não haverá formação de conceitos científicos. Assim, o aluno permanecerá com idéias do senso comum, idéias espontâneas sem avançar em seus esquemas mentais que favorecerão o desenvolvimento de outras habilidades.

Schroeder; Ferrari e Maestrelli (2009), afirmam com base em Vygotsky que, a aprendizagem dos conceitos científicos é possível graças à escola com seus processos de ensino organizados e sistemáticos, portanto, para esses autores, cabe à escola o papel fundamental de promover um deslocamento do estudante, imerso nas situações

cotidianas e das informações perceptuais imediatas do senso comum, para um modo de pensar distinto do pensamento cotidiano, tendo como referência as características da ciência (SCHROEDER; FERRARI e MAESTRELLI, 2009). Brito (1996), chega a afirmar que um dos principais objetivos da escola é o ensino de conceitos, pois, é corrente a ideia de que a partir da formação de conceitos que o estudante conseguirá aprender os princípios (regras, axiomas, etc) e na sequência, resolver problemas que envolvam esses conceitos e princípios.

No entanto, como alerta Pedrancini et al (2007), verifica-se que nem sempre o ensino promovido no ambiente escolar tem permitido que o estudante se aproprie dos conhecimentos científicos de modo a compreendê-los, questioná-los e utilizá-los como instrumento do pensamento que extrapola situações de ensino e aprendizagem eminentemente escolares. Pedrancini et al (2007) apoiada em Mortimer (1996) afirma que grande parte do saber científico transmitido na escola é rapidamente esquecida (o que devemos encarar com naturalidade), prevalecendo idéias alternativas ou de senso comum bastante estáveis e resistentes, identificadas, até mesmo, entre estudantes universitários. Vale consignar a argumentação de Lima; Aguiar Júnior e De Caro (2011), na qual a aprendizagem de conceitos é um processo lento, complexo e sempre inacabado, pois os conceitos vão sendo revistos e ampliados. Do mesmo modo como os conceitos mudam ao longo da história do pensamento científico, os sentidos que vamos construindo acerca deles também mudam. Entende-se por sentidos, os modos pessoais de compreender ou se apropriar de um conceito, enquanto os significados são os sentidos que se estabilizam com o tempo, fruto de uma construção e acordo coletivos. Os sentidos, portanto, remetem aos indivíduos, e os significados, às comunidades científicas.

Ainda sobre essa temática, Teixeira (2006), considera que conceber conceitos como a articulação de conhecimentos caracteriza-os como algo dinâmico, pois, dependendo do que for articulado, teremos variações no produto final. Um mesmo indivíduo tanto pode dar diferentes direções para a sua rede conceitual, diversificando o conteúdo do conceito, quanto variar a quantidade de informações com as quais ele lida. Portanto, estamos admitindo a possibilidade de um mesmo indivíduo ativar informações diferentes, de modo a apresentar, como produto, conceitos diferenciados para um mesmo fato ou fenômeno. Conseqüentemente, o conceito entendido como uma rede de conhecimentos não é algo fixo, que o indivíduo tem ou não tem, limitando de modo claro as propriedades que ele abarca, identificando com precisão os atributos

relacionados ao mesmo e, invariavelmente, empregado com um significado único (TEIXEIRA, 2006). Cientes da complexidade do tema, concordamos com Dias et al (2014) quando aponta que o processo da formação de conceitos é um tema ainda não esgotado, possuindo lacunas, sendo, dessa forma, necessário o desenvolvimento de novas pesquisas, importantes, ao nosso ver, ao desenvolvimento do Ensino em Ciências.

Neste sentido, tomando como pontos de partida, não só a importância de se considerar os conhecimentos prévios ao conhecimento científico que os estudantes carregam consigo e suas implicações na formação de conceitos, como também o fato de consideramos primordial que o professor desenvolva consciência sobre a pluralidade de significados que um conceito a ser ensinado pode adquirir. Avaliamos importante a proposição e o desenvolvimento de uma Sequência Didática com o apoio de objetos de aprendizagem, que favoreça trabalhar com a Teoria do Perfil Conceitual (TPC) do conceito de genoma e suas relações, com a finalidade de tornar mais efetivo o ensino e aprendizagem em Genética, levando em conta a utilização das novas tecnologias e novas abordagens metodológicas. Neste trabalho, para fundamentar as discussões e propostas acerca da Educação em Ciências utilizarei a TPC que foi proposta e desenvolvida inicialmente por Eduardo Fleury Mortimer (1994; 1995; 2000), baseada na noção bachelardiana de perfil epistemológico. A Teoria do Perfil Conceitual se mostra como uma proposta inovadora, o que, segundo diversos autores, é de grande importância para a educação, pois tais estratégias possuem a capacidade de modificar a visão tradicional do ensino, além de conduzir os professores a uma tomada de consciência não só sobre aspectos epistemológicos, como didáticos e pedagógicos implicados do processo de ensino e aprendizagem de conceitos científicos. Assim, acreditando que a formação e apropriação de um conceito percorre, muitas vezes, tortuosos meandros do processo de ensino e aprendizagem, defendo o pressuposto de que, somente o caminho metodológico que recorra a pluralidade de entendimentos que determinado conceito pode apresentar é que se pode estruturar um ensino mais efetivo e significativo.

2 ENSINO DE GENÉTICA

Atualmente, é indiscutível a presença, em maior ou menor grau, da Ciência no cotidiano dos cidadãos e como destacam Pedracinni et al (2007), isso vem "causando profundas transformações econômicas, sociais e culturais". Lima et al (2007), afirmam que não podemos ficar alheios ou passivos a essas implicações, cabendo a todos refletir e até opinar sobre os benefícios e prejuízos que possam advir dos avanços e aplicações da ciência. Martins e Paiva (2005), afirmam que a mídia, de forma generalizada, populariza a ciência, no entanto, as informações passadas ao público possuem um caráter superficial, casuístico e sem compromissos com a formação educacional. Assim, para Justina et al (2000) conforme citado por Martins e Paiva (2005); Lima et al (2007), "o cidadão, para compreender e se posicionar diante destas informações precisa de conhecimentos que podem e devem ser oferecidos pela escola".

Tendo por base essas preocupações iniciais, o ensino da Biologia, com especial ênfase no ensino da Genética, apresenta um papel importante no processo de formação de cidadãos conscientes e críticos frente às novidades científicas. Para Franzolin (2013), "com o avanço da Genética, novas discussões surgiram sobre a inclusão de seus conhecimentos nos currículos da educação básica". Caballero (2008), afirma que os conhecimentos em Genética são os que mais se popularizaram em toda Biologia. O conhecimento sobre o genoma, o DNA, a clonagem e a determinação de paternidade, por exemplo, são cada vez mais profusos em meios de comunicação. As diversas fontes de informação existentes hoje, fazem com que os estudantes quando em contato com o conhecimento científico, não o façam de maneira totalmente alienada. Esse conjunto de conhecimentos constituem a base para estabelecer suas ideias e concepções sobre o mundo, ocorre que, por estarem fortemente arraigadas, suas concepções são consideradas, sem qualquer criticidade, plenamente corretas. Essa realidade, deve fazer surgir a preocupação e a necessidade de atenção para o papel que estes conhecimentos prévios exercem sobre conhecimento científico desenvolvido, configurando um passo fundamental para reflexões sobre as diversos matizes que influenciam o ensino e aprendizagem em Ciências.

Xavier (2006), referenciado por Moura et al (2013), em suas considerações sobre o ensino da Biologia, avalia como negativo o fato de não estar sendo garantida uma formação cidadã crítica no ambiente acadêmico. Neste sentido, Moura et al (2013), arremata certificando que "grande parte dos alunos não contextualiza o ensino de

biologia que se tem na escola com a sua realidade, com especial destaque aos conteúdos de genética". O ensino da Genética não deve restringir-se somente ao desenvolvimento das temáticas básicas como material genético, genoma, gene e transmissão hereditária, muito pelo contrário, deve considerar também seus vertiginosos avanços, com implicações diretas em questões culturais, sociais e éticas globais. É necessário trabalhar temas que ultrapassem os conteúdos tradicionalmente abordados em sala de aula, tais como diferenciação e controle da vida celular, da manipulação gênica, da produção e utilização de organismos transgênicos, clonagem terapêutica, reprodução assistida, entre outros (ANDRADE, 2017; SCHNEIDER et al, 2010; LIMA et al, 2007; PEDRACINNI et al, 2007; MARTINS e PAIVA, 2005).

Contudo, o processo de ensino e aprendizagem de conceitos da Biologia, de acordo com Schneider et al (2010), é desafiador tanto para discentes como para docentes, pois existem variadas e constantes dificuldades em diversas fases dos processos. A Genética é apontada por vários autores como a área da Biologia em que os estudantes apresentam, de longe, maior dificuldade de entendimento, independente do nível de ensino (MOURA et al, 2013; SCHNEIDER et al, 2010; LIMA et al, 2007; PEDRACINNI et al, 2007; KLAUTAU-GUIMARÃES et al, 2009). Lima et al (2007), apoiado nos trabalhos de Lewis et al (2000a, b e c); Wood-Robinson et al (2000); Marbach-Ad, (2001); Chattopadhyay (2005) comenta:

Vários estudos internacionais mostram que os conteúdos de genética são difíceis de serem compreendidos tanto por alunos como por professores. Estudos realizados com estudantes mostraram que eles têm dificuldade de entender e aprender os conceitos e processos genéticos (LIMA et al, 2007).

Pedracinni et al, (2007), que, corroborando com a citação acima, afirma ser:

[...] evidente que o modo como o ensino é organizado e conduzido está sendo pouco eficaz em promover o desenvolvimento conceitual. Um exemplo das implicações do ensino promovido dessa forma é a incompreensão ou compreensão equivocada dos atuais avanços biotecnológicos (PEDRACINNI et al, 2007).

A academia, sendo o mais conspícuo ambiente onde os estudantes poderão ter acesso ao conhecimento e aprendizagem mais estruturados, sistêmicos e

contextualizados, é também o ponto de partida para se identificar quais os principais fatores limitantes ao domínio dos conceitos científicos, sendo essa uma das propostas da abordagem da TPC alargada por Mortimer (1994; 1995; 2000) que nos propomos a desenvolver neste trabalho, com foco em Genética.

2.1 Obstáculos ao ensino de Genética

Em nossa revisão bibliográfica, os obstáculos encontrados no ensino de Genética fazem parte de uma problemática que afeta professores e estudantes. Em relação aos professores, Moura (2007), em referência aos trabalhos de Vilela (2007) e Vasconcelos (2002), destaca o despreparo e desatualização de alguns professores como um problema bem comum, justificando esse aspecto através da excessiva carga horária a que muitos profissionais estão submetidos. Este mesmo autor se alinha a Schneider et al (2010), quando ambos declaram ser contumaz, a indisponibilidade de recursos pedagógicos que favoreçam uma atuação docente qualificada e a ausência de formações continuadas que ajudem o professor a superar suas deficiências. Para Carneiro e Dal-Farra (2011), os educadores, apesar de serem essenciais no desenvolvimento do processo cognitivo dos estudantes, na definição do currículo e na definição de estratégias de aprendizagem, apresentam muitas dificuldades em encontrar a harmonia entre suas prerrogativas e suas práticas pedagógicas. Compreendo perfeitamente a natureza desses obstáculos, visto que foram os motivadores a procurar e cursar o Mestrado em Ensino de Ciências da UnB, porém, estes integram problemáticas que devem ser investigadas na vereda da formação de professores, seja ela inicial ou continuada.

Interessou-nos, para este estudo, nos atermos aos obstáculos apresentados pelos estudantes, apesar de reconhecer que estes estão estreitamente relacionados àqueles apresentados pelos professores. Neste particular, Moura et al (2013) e Lima et al (2007), enfatizam que uma das raízes da problemática está na falta de contextualização no ensino de Genética, o que faz com que os estudantes sejam incapazes de distinguir conceitos básicos como os de genoma, cromatina, gene, cromossomo e DNA. Por seu turno, Schneider et al (2010), em suas análises verificam que há uma grande dificuldade dos estudantes em associar os conceitos biológicos básicos da genética aos processos biológicos mais complexos, os autores consideram, assim como Pedracinni et al, (2007), fundamental para o entendimento das recentes descobertas da Genética a apropriação pelos estudantes dos conceitos como os de DNA e gene. Em alguns estudos

(KLAUTAU-GUIMARÃES et al, 2009; PEDRACINNI et al, 2007; MARTINS e PAIVA, 2005) nota-se que os conceitos cientificamente incorretos apresentados pelos estudantes são derivados das ideias espontâneas e concepções alternativas que eles possuem em Genética. Em sua revisão bibliográfica, Andrade (2017), identificou algumas dificuldades que acompanham o ensino de Genética e, de forma substancial, a autora aponta que os problemas mais comuns são: erros conceituais nos livros didáticos e na prática pedagógica dos professores, o excesso de conteúdo curricular e falta de contextualização. Baseada em suas constatações, a autora afirma que "o ensino de genética, e pode-se afirmar o ensino de ciências como um todo, segue continuamente apresentando desafios a serem superados" (ANDRADE, 2017).

Em seu estudo com foco em divisão celular, Carneiro e Dal-Farra (2011), salientam que os estudantes apresentam dificuldades em contextualizar a divisão celular e relacionar suas implicações com os processos mais amplos da biologia humana, em especial, a permutação gênica durante a meiose. Temp et al (2014), em seu artigo buscaram identificar o nível de conhecimento em genética entre estudantes universitários ingressantes dos cursos de Ciências Biológicas, Fonoaudiologia e Fisioterapia e perceberam que a maioria dos estudantes não conseguiam fazer a correlação correta entre os conceitos de gene-cromossomos-DNA, conceitos base para o entendimento da Biologia. Os pesquisadores também registraram, com grande preocupação, um significativo número de erros em conceitos fundamentais para compreensão da Genética, tais como, células gaméticas e somáticas, cromossomos, alelos, homozigoto e heterozigoto, genótipo e fenótipo, evidenciando, portanto, um conhecimento aquém do desejado para este nível de ensino. Giacóia (2006), observa em seu trabalho a grande influência que possuem os conhecimentos prévios em estudantes de graduação em Biologia quando se trata de diferenciar genes e cromossomos, evidenciando uma aprendizagem insatisfatória desses conceitos. Mais um fato que chamou atenção da autora foi que os graduandos não conseguiram estruturar e concatenar suas ideias com relação aos conceitos de mitose e meiose e eventos como o *crossing-over*, apresentando, por vezes, respostas ininteligíveis, evidenciando também a má compreensão desses conteúdos.

As ideias alternativas que os estudantes desenvolvem sobre o mundo são abordadas em vários estudos e são denominadas de várias maneiras por diversos autores. Segundo Caballero (2008), Ausubel chamou de "preconceitos", Novak denominou de "concepções errôneas", Osborne e Freyberg as apelidaram de "ideias das

crianças", Pozo e Carretero consideraram como "concepções espontâneas" e Giordan e De Vecchi as chamaram de "representações". Nos últimos anos os termos "concepções alternativas" e "ideias prévias" estão sendo empregados para evitar a sedimentação de que todas as ideias e concepções não científicas apresentadas pelos estudantes estão equivocadas. As concepções alternativas e os conceitos científicos representam momentos distintos de um mesmo processo de desenvolvimento de conceitos, deste modo, ambos apresentam características singulares. Concordamos com Caballero (2008), quando coloca que o conhecimento e compreensão, pelos professores, das ideias prévias carregadas pelos estudantes é muito importante para poder direcionar e desenvolver a aprendizagem de qualquer conteúdo científico. Esses obstáculos são, indiscutivelmente, desafios a serem superados com o desenvolvimento de estratégias didáticas para o ensino efetivo de Genética, que revertam essa realidade que estão imersos, atualmente, muitos estudantes e professores.

3 TEORIA DO PERFIL CONCEITUAL

No intuito de modelar a rica e invariável heterogeneidade de pensamentos e falas existentes em qualquer sala de aula e, opondo-se ao paradigma de que os estudantes, para aprender ciências e seus conceitos devem rescindir todo vínculo com suas concepções prévias, a Teoria do Perfil Conceitual (TPC) apresenta-se como uma "ferramenta de análise de modos de pensar" (MORTIMER et al, 2009). Segundo Vairo e Filho (2013), muitos pesquisadores e educadores vêm direcionando esforços para identificar que perspectiva epistemológica melhor contribui para o processo de ensino-aprendizagem dos conceitos científicos. É dessa forma que, para Mortimer (2006), "o ensino-aprendizagem de ciências ganha um novo enfoque se pensado como uma mudança de perfil conceitual". Ainda de acordo com o autor, o perfil conceitual pode ser compreendido como "modelos usados por indivíduos para significar suas experiências a partir de diferentes modos de ver e conceituar o mundo, que são representados por zonas distintas" (MORTIMER et al., 2014).

O perfil conceitual pode se constituir num instrumento para planejamento e análise do ensino de ciências. A partir dele, obstáculos à aprendizagem dos conceitos podem ser identificados e trabalhados em sala de aula numa visão de aprendizagem de ciências como mudança de perfis conceituais, onde o aluno não necessariamente tem de abandonar as suas concepções ao aprender novas ideias científicas,

mas tornar-se consciente dessas diversas zonas e da relação entre elas (AMARAL E MORTIMER, 2001).

A Teoria do Perfil Conceitual desenvolvida por Mortimer possui claramente fundações bachelardianas. A partir de Gaston Bachelar (1978), no intento de compreender os diferentes argumentos e interpretações que um mesmo conceito possa revelar, a denominada noção de perfil epistemológico, utiliza uma graduação nas discussões, que são as visões epistemológicas ou também chamadas de zonas. Um mesmo indivíduo pode utilizar diferentes zonas para um determinado conceito, utilizando-as convenientemente. As zonas possuem uma hierarquia que é determinada pela frequência e domínio em que ela se apresenta, compondo deste modo um perfil. E, como destaca Mortimer (1996), "à medida que se percorre esse perfil epistemológico, qualquer conceito vai se tornando mais complexo ao longo do perfil, e também mais racional".

Contudo, os indivíduos em uma sociedade, apesar de lidarem com conceitos, representações e significados comuns e similares a todos em uma gama de situações, o que permite uma comunicação efetiva, podem apresentar perfis bem distintos para um mesmo conceito, resultado de um espectro de aportes filosóficos que um dado conceito possa apresentar e das experiências que um indivíduo carrega consigo (SEPULVEDA et al, 2013; SOUZA, 2008; AMARAL e MORTIMER, 2001; MORTIMER, 1996).

Dentre as características que a TPC partilha com a noção de perfil epistemológico bachelardiana, vale destacar, a hierarquização entre as diferentes zonas. Contudo, o mais interessante, são os diferenciais entre as duas propostas teóricas. Na TPC, os conceitos científicos são passíveis de terem seu perfil construído levando em consideração delineamento de zonas distintas, ascendentes em complexidade, a partir de seus compromissos epistemológicos e ontológicos. Estes últimos por sua vez, são os mecanismos responsáveis por sedimentar a compreensão de como cada conceito deve ser utilizado em cada zona. As zonas também são entendidas como formas de pensar coletivas, ou seja, são compartilhadas por indivíduos em um mesma cultura (SEPULVEDA et al 2013; AMARAL e MORTIMER, 2001). De acordo com Mortimer (1996), é importante perceber essas diferenças "uma vez que muitos dos problemas na aprendizagem de conceitos científicos têm sido relacionados com a dificuldade em se mudar as categorias ontológicas as quais os conceitos são designados" (MORTIMER, 1996).

Cabe destacar, oportunamente, que segundo a TPC, as concepções prévias não podem ser refutadas ou diminuídas, a priori. As ideias baseadas em conhecimentos prévios, podem conviver e relaciona-se com conceitos cientificamente aceitos, cabendo ao professor, durante o processo ajudar na conscientização pelo próprio aluno, quando torna-se mais conveniente aplicá-la, promovendo assim, a evolução conceitual por meio de uma mudança de perfil conceitual. Um dos aspectos relevantes para que ocorra o processo de ensino-aprendizagem é a tomada de consciência, pelo aluno, de seu próprio perfil conceitual. Essa consciência permite ao aluno comparar as diferentes zonas que constituem seu perfil, bem como avaliar seu domínio sobre cada uma delas (MORTIMER, 2006).

Mortimer (2006), desenvolveu sua pesquisa sob três pressupostos básicos: o desenvolvimento cognitivo individual, a história e a filosofia da ciência e o desenvolvimento social de ideias em sala de aula. A partir do terceiro eixo, evidencia-se que a abordagem dos perfis conceituais está pautada numa ótica sócio-interacionista, visto que permite avaliar os conceitos numa variedade de contextos socialmente construídos, coletivamente impostos, apesar de, particular e convenientemente empregados. Assim, na intenção de identificar as formas, qualitativamente distintas, que os estudantes utilizam para compreender e definir a sua realidade, definições e compreensões, estas pertencentes a um sistema supra-individual, convém considerar e recorrer a teoria sócio-histórico-cultural em Vigotsky. Segundo Sepulveda (2013):

Ela também pode ser pensada a partir da perspectiva sociocultural de Vigotski (2001) sobre o desenvolvimento das funções mentais superiores, segundo a qual o pensamento individual é constituído através da internalização de mediadores simbólicos construídos socioculturalmente, entre eles a linguagem, disponibilizados através das interações sociais (SEPULVEDA, 2013).

Como Mortimer (2009) aponta, deve-se levar em consideração três dos domínios genéticos apresentados por Vigotsky, quais sejam, os domínios sócio-cultural (realizando estudos históricos sobre as idéias científicas), ontogenético (utilizando dados da literatura sobre concepções alternativas de estudantes, ou realizar estudos empíricos, resgatando concepções que são representativas dos processos ontogenéticos de construção do conhecimento da vida cotidiana, presentes na cultura e que são frequentemente utilizados na sala de aula) e microgenético (evidenciar a gênese de um conceito em um curto espaço de tempo), para construção de zonas de perfis conceituais,

numa perspectiva de ir além da simples categorização. Nesse particular, Vairo e Filho (2013), reafirmam essas etapas necessárias para o levantamento de zonas de um perfil conceitual:

O primeiro domínio a ser trabalhado é o sociocultural, a partir da realização de estudos históricos sobre as ideias científicas. O segundo é o domínio ontogenético, que pode ser contemplado a partir de um levantamento de dados da literatura sobre concepções alternativas de alunos e/ou com o uso de questionários ou entrevistas, para resgatar concepções representativas da construção do conhecimento do grupo pesquisado. Além disso, deve-se buscar acessar o domínio microgenético por meio de métodos, como entrevistas, e a partir da observação de atividades didáticas que permitam evidenciar a gênese de um conceito em um curto período (VAIRO e FILHO, 2013).

Deste modo, apontamos o uso da Teoria do Perfil Conceitual como um valioso e efetivo instrumento para o planejamento e análise do ensino e aprendizagem em Ciências, em particular da Biologia, fornecendo todo aporte para análise da heterogeneidade de significados que o conceito de genoma possa apresentar.

4 UM PERCURSO HISTÓRICO PARA A HEREDITARIEDADE DO GENOMA

Sinalizando ser uma conjuntura intrincada, Pedrancini (2008) chama a atenção para o contrassenso entre vivermos em uma época em que os avanços científicos transformam rapidamente o mundo e, a mesmo tempo, possuímos uma população com severas barreiras para compreensão desses progressos. Um dos fatores interessantes destacados pela autora está no ensino ahistórico das Ciências em geral e da Biologia em particular e aponta amparada em diversos estudos (BASTOS, 1992; CARNEIRO; GASTAL, 2005; GASPARIN, 2003; GEBARA, 2005; GIORDAN; VECCHI, 1996; JUSTINA, 2001; PARANÁ, 2006; 2007) que "o emprego da histórica da Ciência nos vários níveis de escolaridade tem sido considerado uma ferramenta fundamental no confronto e superação das idéias alternativas apresentadas pelos estudantes e, conseqüentemente, na formação de sujeitos cientificamente alfabetizados e críticos" (PEDRANCINI, 2008).

Para Teoria do Perfil Conceitual há uma grande importância na abordagem da história e da filosofia da Ciência no desenvolvimento de uma proposta de ensino. França (2015), ponderando sobre como os conceitos científicos são construídos e

sofrem explícitas influências históricas, sociais, políticas e econômicas, afirma que "a utilização da história da ciência tenha potencial de direcionar olhares para uma ressignificação dos conteúdos abordados nas aulas de biologia" (FRANÇA, 2015). Deste modo, buscaremos neste momento realizar uma digressão histórica desde a antiguidade, do conceito de genoma e suas relações para tentar fornecer elementos que auxiliem na compreensão dos fenômenos relacionados à herança.

O termo genoma nos remete à hereditariedade e, já muito remotamente, diversas questões referentes à hereditariedade têm ocupado e incomodado a mente de pensadores e pesquisadores. Conforme Caldas (2017), os estudiosos da natureza na antiguidade buscavam elucidar a própria natureza pela conjecturação de hipóteses puramente filosóficas, por exemplo, Alcmeôn de Crotona (500 a.C.) e a formação dos embriões, Anáxagoras de Clazomene (500-428 a.C.) e a sua reformulação da pangênese, Empédocles de Acragas (490-430 a.C.) e o calor do útero na determinação do sexo. Vê-se portanto que a herança e as características transmitidas de pais para filhos e as formas como essas características eram transmitidas, apesar de serem preocupações muito relevantes, ainda possuíam muitas ideias vagas e indefinidas (CALDAS, 2017).

Segundo Moore (1986) e Barros Júnior (2017), Hipócrates de Cós (460-377 a.C.), por diversas literaturas considerado o pai da medicina ocidental (Moore e Amabis, indo mais além, afirmam que poderia ser considerado um dos pais da genética), em meados de 410 a.C., defendia a teoria da pangênese como uma hipótese para explicar a hereditariedade, sua base estava no conhecimento da população dos macrocéfalos que, mesmo sabendo ser este um atributo adquirido de maneira artificial, acreditava que se tornara, com o passar do tempo, uma característica hereditária. Assim, de acordo com a pangênese de Hipócrates, a hereditariedade baseava-se na produção de partículas ou gêmulas por todas as partes do corpo que eram em seguida transferidas aos órgãos sexuais, para então serem transmitidas para a descendência no momento da concepção.

Apesar de bem articular a teoria da pangênese, Aristóteles (384-322 a.C.), se opunha a ela. Caldas (2016) referenciando Ramos (2009), informa que Aristóteles não adotava a pangênese porque acreditava que macho e fêmea contribuíam de maneira desigual para o desenvolvimento do embrião. As ideias de Aristóteles sobre a hereditariedade, de acordo com Moore (1986), estavam apoiadas na crença de que existia uma base física da hereditariedade no sêmen produzido pelos através dos fluidos sanguíneos, como acreditava que só o pai contribui, não podia aceitar que o sêmen viesse de todas as partes do corpo. Aristóteles não adotava o atomismo grego como

Hipócrates, ao invés disto, adotava a ideia do *Nous*. Tal ideia é compreendida como uma energia organizadora da matéria, como uma forma que atua sobre a matéria, atribuindo aos objetos as suas características (CALDAS, 2017; CALDAS e SAALFELD, 2016).

Por um longo período, que abarcou da Idade Média (finalizando com o Renascimento), a hegemonia sobre o pensamento humano praticamente interrompeu qualquer progresso científico. Nessa linha de pensamento Moore (1986), colabora afirmando que durante muito tempo, "a falta de progresso na compreensão da hereditariedade foi consequência principalmente da incapacidade de formular perguntas precisas que pudessem ser estudadas com a metodologia disponível". Segundo Barros Júnior (2017), "somente após o século XVII, com as reflexões do médico William Harvey (1578-1657) os conhecimentos sobre a hereditariedade tiveram um avanço significativo". Para Harvey, todo animal se originaria a partir de um ovo produzido pela fêmea, e fertilizado pelo sêmen do macho (*ex ovo omni*). A partir de suas ideias, apareceram as teorias da epigênese recuperada e defendida por Caspar Friedrich Wolff (1733-1794) e da pré-formação ou performismo defendida por Charles Bonnet (1720-1793). A primeira dizia que os embriões se formavam nos ovos a partir de uma matéria indiferenciada e homogênea e a última, de maneira simplificada, pregava que, em um dos gametas, feminino ou masculino, já havia um ser pré-formado (BARROS JÚNIOR, 2017).

Durante os séculos XVIII e XIX, o procedimento padrão de se procurar informações a respeito de hereditariedade era por meio de cruzamentos. Eram feitos cruzamentos entre indivíduos com estados contrastantes das características e a descendência era analisada. Até hoje esse é um dos procedimentos mais poderosos para se obter informações a respeito de hereditariedade. Contudo, pouco progresso foi feito no campo da hereditariedade até o final do século XIX. Assim, poucas coisas relevantes no campo do estudo da hereditariedade aconteceram no período entre Aristóteles (384-322 a.C.) e Gregor Mendel (1822-1884), mas nesse período foram estabelecidas as bases da investigação científica (MOORE, 1986).

Há porém, nesse período, um invento relativamente simples que abriu as portas para um novo pequeno grande mundo, o microscópio. A microscopia proporcionou avanços significativos ao estudo da hereditariedade. Reconhecidamente Anton van Leeuwenhoek (1632-1723), desenvolveu e aprimorou os primeiros microscópios, chegando a observar os espermatozoides em 1667, os quais denominou de

“animálculos”. Robert Hooke (1635-1703) também foi um dos primeiros cientistas a fazer uso dessas lentes de aumento, propondo, após observação de pequenos compartimentos em tecido vegetal, o termo célula. Leeuwenhoek era espermista, desta maneira, acreditava que a maior contribuição para a formação do embrião era realizada apenas pelo macho. Ocorre que, segundo Mayr (1998), referenciado por Caldas (2017), quase todos os biólogos mais importantes do século XVII e XVIII, tais como o italiano Marcello Malpighi (1628-1694), o suíço Albrecht von Haller (1708-1777), o francês Charles Bonnet (1720- 1793) e o italiano Lazzaro Spallanzani (1729-1799), eram ovulistas.

Os ovulistas acreditavam que toda a contribuição realizada durante a formação do embrião era apenas da fêmea, o que levou, por exemplo, o padre e cientista italiano Lazzaro Spallanzani em 1784, a erroneamente afirmar que os espermatozóides não participavam do processo de fertilização. Após a demonstração definitiva de que espermatozóide e óvulos animais são células consolidou-se a idéia de que um novo ser surge sempre a partir da união de gametas. Somente na segunda metade do século XIX que se afirmou a idéia de que, a formação de um novo ser envolve a fusão de apenas duas células, processo fecundação ou fertilização. (AMABIS e MARTHO, 2004).

Ainda de acordo Amabis e Martho (2004), em 1841 o anatomista e fisiologista suíço Rudolf Albert von Kölliker (1817-1905), ao estudar a estrutura microscópica dos testículos, demonstrou que o espermatozóide eram células modificadas e não parasitas do sistema reprodutor masculino. Pouco tempo depois, o naturalista inglês George Newport (1803-1854) obteve evidências que os espermatozóides de rã entram no óvulo durante a fecundação. O médico holandês Regnier de Graaf (1641-1673) relacionou os inchaços observados nos ovários de fêmeas de mamíferos com a formação de elementos reprodutivos. Em 1828, o naturalista alemão Karl Ernest von Baer (1792-1876) descobriu o óvulo, mas somente em 1861 que o anatomista alemão Karl Gegenbaur (1826-1903) demonstrou que o óvulo dos animais vertebrados é uma única célula (AMABIS e MARTHO, 2004).

Em 1869, o cientista Friedrich Miescher (1844-1895), ainda na juventude deu os primeiros passos para desvendar a natureza química do material genético, isolando grandes moléculas ricas em fósforo do núcleo, as quais chamou de nucleína, sendo portanto as primeiras evidências de DNA nuclear. A partir daí, outros cientistas confirmaram a natureza ácida da nucleína. Foi então que em 1880, o alemão, Albrecht Kossel (1883-1927), evidenciou que a nucleína era estruturalmente formada por bases

nitrogenadas, esclarecendo o fato dela ser rica em nitrogênio, ele havia identificado as bases nitrogenadas adenina, citosina e timina. Pouco tempo depois, Richard Altmann (1852-1900), que foi aluno de Miescher, obteve a nucleína com alto grau de pureza extraído de pâncreas bovino, comprovando sua natureza ácida e cunhando uma denominação mais adequada, ácido nucléico (AMABIS e MARTHO, 2004; HAUSMANN, 2002).

Para Ferrari e Scheid (2008), os citologistas observaram que a divisão celular envolviam alterações nos cromossomos e, referenciando (Martins, 1999b, p. 236), afirmam que as primeiras sugestões de que os cromossomos estavam relacionados à hereditariedade são atribuídas a Wilhelm Roux (1850-1924) e August Weismann (1834-1914). Houveram avanços significativos no conhecimento da estrutura do DNA em 1912, com Phoebus Levine (1869-1940) e Walter Jacobs (1883-1967) quando ambos concluíram que o componente básico dos ácidos nucléicos era uma estrutura composta por uma unidade que se constituía numa base nitrogenada ligada a uma pentose, e esta por sua vez, ligada a um fosfato. Esta unidade foi denominada de nucleotídeo. Em 1944 o DNA foi reconhecido por Oswald Avery (1877-1955), Colin Munro MacLeod (1909-1972) e Maclyn McCarty (1911-2005) como sendo o material genético (LOPES, 2005).

Os cientistas franceses Henri Dutrochet (1776-1847) e François Raspail (1794-1878) e os alemães Mathias Jakob Scheiden (1804-1881), Theodor Schwann (1810-1882) e Rudolf Virchow (1821-1902), ente outros, chegaram a conclusão de que a célula é o constituinte fundamental dos seres vivos e a sede dos processos vitais. Em 1855, Rudolf Virchow resumiu na frase em latim “*omnis cellula ex cellula*”. Em 1873, Friedrich Anton Schneider (1831-1890) publicou uma das primeiras descrições das complexas alterações nucleares que ocorreram durante a divisão da célula, hoje chamada mitose. Em 1882, o anatomista alemão Walther Flemming (1843-1905) descreveu o comportamento dos filamentos nucleares no decorrer da divisão de uma célula. O alemão Heinrich Wilhelm Gottfried Waldeyer (1836-1921), em 1888, chamou esses filamentos de cromossomos. Os primeiros estudiosos da mitose logo verificaram que o número, o tamanho e a forma dos cromossomos variam de espécie para espécie. (AMABIS e MARTHO, 2004).

Em 1885, o biólogo alemão August Friedrich Leopold Weismann (1834-1914) propôs uma hipótese para explicar a constância do número de cromossomos de uma geração para outra. Ele previu, acertadamente, que, na formação dos gametas, devia ocorrer um tipo diferente de divisão celular, em que o número de cromossomos das

células-filhas seria reduzido à metade. Esse processo é atualmente conhecido como meiose. Três citologistas merecem referência especial nos estudos pioneiros sobre os cromossomos na meiose: os biólogos alemães Theodor Heinrich Boveri (1862-1915) e Wilhem August Oskar Hertwig (1849-1922) e o biólogo belga Edouard van Beneden (1846-1912). Eles descobriram que, durante a formação dos gametas, ocorrem duas divisões celulares sucessivas, após uma única duplicação cromossômica, de modo que as quatro células-filhas formadas ficam com metade do número de cromossomos existente na célula original (AMABIS e MARTHO, 2004).

No mesmo período, muitas outras ideias sobre hereditariedade, fluidas ou particuladas, surgiram. Como nos informa Caldas e Saalfeld (2016), por exemplo, sobre a perigênese de Ernst Heinrich Philipp August Haeckel (1834 - 1919), que em 1866 propôs que o núcleo da célula armazenariam informações hereditárias, e posteriormente em 1876, ele tenta explicar o fenômeno da hereditariedade em um trabalho com o título de '*Die Perigenesis der Plastidule*' (A perigênese dos plastídulos). A pangênese de Charles Darwin (1809-1882) que passou a aplicar um modelo de herança fluida, por meio das gêmulas. A teoria da pangênese é explicada por meio da descendência de gêmulas. Para Darwin os germes ou gêmulas de cada parte originalmente não eram pré-formadas, elas se multiplicavam por auto-divisão e estavam sempre sendo produzidas em qualquer idade de forma contínua e algumas eram herdadas de gerações precedentes. Mayr (1998) citado por Caldas (2017) aponta que a teoria da pangênese de Darwin é a segunda teoria da hereditariedade mais importante da época. Francis Galton (1822 - 1911), primo de Darwin, formulou sua primeira teoria sobre hereditariedade em 1869. Em 1875 ele cunhou pela primeira vez o termo 'Estirpes' que foram definidas como "a soma total de gêmulas no óvulo recém fertilizado". Ele também acreditava que as gêmulas circulavam por todo o organismo vivo (CALDAS e SAALFELD, 2016). Hugo de Vries (1848-1935) propõem em 1889 traz a ideia de unidades de herança conhecidas por pangenes, menores e mais complexas que as células quanto a suas propriedades.

Para Caldas (2017), é necessário conhecer o húngaro Imre Festetics (1764-1847), que realizou alguns trabalhos estudando o cruzamento de ovinos. Também morador de Brünn, realizou alguns estudos importantes sobre hereditariedade e foi o primeiro a observar empiricamente a segregação de caracteres de híbridos na segunda geração híbrida e a observar as consequências da seleção e seu papel na hereditariedade. Gregor Mendel (1822-1884) utilizou-se da teoria das combinações de matemático e

físico austríaco Andréas von Etingshausen (1796-1878), em 1865, conseguiu formular suas leis (Lei da segregação dos fatores e Lei da Independência dos Fatores). As leis de Mendel que ficaram esquecidas por 35 anos e foram redescobertas em 1900 quando surgiram, de forma independente, três artigos escritos por Hugo de Vries (1848-1935), Carls Correns (1864-1933) e Erich von Tschermak (1871-1962) que acabaram por abrir os caminhos para o surgimento de uma nova ciência que viria a ser chamada de Genética (CALDAS, 2017).

Amabis e Martho (2004); Caldas (2017) referenciando Keller (2002) afirmam que durante as primeiras quatro décadas do século XX, os avanços na área da genética foram cumulativos e constantes e, descrevem o surgimento novas ideias e pesquisas relacionadas a hereditariedade. Hugo de Vries (1848-1935) adotou o termo mutação em 1901 para descrever as mudanças na qualidade do material hereditário. Walter Sutton (1877-1916) e Theodor Boveri (1862-1915) em 1903 de forma independente correlacionaram as leis de Mendel com o comportamento dos cromossomos na meiose, e sugeriram que os fatores hereditários deveriam estar nos cromossomos. Poucos anos mais tarde, o termo “genética” foi cunhado pela primeira vez em 1906 por Willian Bateson (1861-1926). Wilhelm Ludvig Johannsen (1857-1927) cunha o termo de gene em 1906. Três anos mais tarde, em 1909 ele cunhou os termos fenótipo e genótipo.

Em 1920, Hans Winkler cunha o termo genoma. Conveniente trazer à baila alguns conceitos de genoma. Borges-Osório e Robinson (2013), entendem o genoma como um conjunto completo de informações hereditárias de qualquer organismo, consistindo em uma longa sequência de ácido nucleico, denominado ácido desoxirribonucléico, ou DNA, composto por nucleotídeos formados por bases nitrogenadas, açúcar e fosfato. Strachan e Read (2016), nos informam que o genoma humano é subdividido em um grande genoma nuclear, com mais de 26 mil genes e um genoma mitocondrial circular muito pequeno, com apenas 37 genes. E mesmo após o Projeto Genoma Humano ter produzido a primeira referência para a sequência do genoma humano, persistem muitas incertezas acerca do total de genes em humanos.

Para Lewin (2009), um genoma consiste em um conjunto completo de cromossomos de qualquer organismo em particular. Este compreende, portanto, uma série de moléculas de DNA (uma para cada cromossomo), cada uma com muitos genes. A definição final de um genoma está na determinação da sequência de DNA de cada cromossomo. O autor também afirma que o genoma contém o conjunto completo da informação hereditária para qualquer organismo. Para Griffiths (2008) genoma é a

coleção de todos os genes em um organismo. Segundo Klug (2010), é o conjunto haplóide completo do DNA específico do organismo considerado.

A compreensão de como os caracteres hereditários são transmitidos deve-se principalmente a Thomas Morgan (1866-1945), que iniciou seus estudos em genética em 1908, utilizando as moscas-das-frutas para estudar diferentes características genéticas. Seus estudos indicaram que as informações genéticas estavam registradas nos cromossomos e se encontravam de maneira encadeada. Em 1931, C. Stern (1902-1981), trabalhando com *Drosophila melanogaster*, e Harriet S. Creighton (1909-2004) e Barbara McClintock (1902-1992), com milho, fornecem as provas citológicas da ocorrência de permutação (*crossing-over*) na meiose.

Retornando ao gene, Ferrari e Scheid (2008), destacam que foi necessário que ele se materializasse ao longo do século XX. Em 1941 George Beadle (1903-1989) e Edward Tatum (1909-1975) publicam um artigo sobre a hipótese de um gene-uma enzima, que foi considerada a primeira concepção sobre o funcionamento dos genes. Dois anos depois em 1943, com Avery, Mcleod, McCarty, descobriu-se o DNA como portador da especificidade biológica em bactérias. Em 1953 George d. Watson (1928) e Francis Crick (1916-2004), com auxílio dos trabalhos de Rosalind Franklin (1951-1956) sobre cristalografia de raio-X de moléculas de DNA, realizam uma importante descoberta, a estrutura física do DNA. Em 1959 François Jacob (1920-2013) e Jacques Monod (1910-1976) propõem uma diferença entre os “genes estruturais” e os “genes reguladores”. No final dos anos 70 outra descoberta importante também foi realizada. Richard Roberts e Phillip Sharp descobriram os genes partidos (interrompidos).

O conceito de gene, com o passar do tempo e o acúmulo de conhecimentos, foi modificando-se ao longo do tempo e se tornando cada vez mais problemático. Contudo, El-Hani (2007) referenciado por Caldas (2017) esclarece que o conceito de gene não precisa ser único, que abarque toda essa diversidade de conceitos, mas ao contrário que defina claramente de maneira criteriosa sua diversidade de definições, mas de maneira cuidadosa e que seja bem delimitada pela comunidade científica.

Por fim, em nosso percurso histórico, na segunda metade do século XX, como explica Ferrari e Scheid (2008), a tecnologia do DNA recombinante e o lançamento do projeto de sequenciamento humano, onde a Biologia alcançou seu clímax. O principal objetivo do Projeto Genoma Humano foi o de gerar sequência de DNA de boa qualidade para os cerca de 3 bilhões de pares de bases e identificar todos os genes humanos. As sequências foram completadas em abril de 2003, marcando o final do

projeto genoma, permanecendo essas informações disponíveis para comunidade científica mundial, as sequências do genoma humano constituem uma magnífica fonte de informação biológica que continuam servindo de base para a pesquisa e descoberta de inúmeras aplicações práticas.

5 OBJETOS DE APRENDIZAGEM

Não há uma definição consensual do que são objetos de aprendizagem (OA), muito por consequência, como chamam atenção Macedo et al (2007); Audino e Nascimento (2010), dos estudos ainda recentes sobre o tema no sistema educacional brasileiro e mundial, por esse motivo, dispomos de um grande número de entendimentos do que são objetos de aprendizagem. Numa definição mais simples e direta Grandó et al (2004), apresentam os objetos de aprendizagem como "materiais com objetivos pedagógicos que servem para apoiar o processo de ensino-aprendizagem". Audino e Nascimento (2010), avançando um pouco mais, definem OA como "materiais importantes no processo de ensino e aprendizagem, pois fornecem a capacidade de simular e animar fenômenos, entre outras características, assim como reutilizá-los em vários outros ambientes de aprendizagem". Rennie e Mason (2004) citados por Tavares (2010), definem OA como uma visão panorâmica de um especialista sobre um determinado tema, consistindo de um texto explanatório de um material para leitura mais aprofundada além de atividades nas quais o aprendiz possa vivenciar uma experiência com o assunto. Wiley (2000;2002) lastreando os trabalhos de Macêdo et al (2007); Audino e Nascimento (2010); Tarouco (2006), entende que OA caracterizam-se como "qualquer recurso digital que pode ser reusado para apoiar a aprendizagem."

Sabbatini (2012), elenca, de forma sintética, elementos para definir os objetos de aprendizagem no intuito de distingui-los dos demais recursos didáticos por características importantes como a: "1) reutilização, com a possibilidade de uso em diferentes contextos educativos, proporcionando eficiência econômica em sua preparação e desenvolvimento, 2) portabilidade, com disponibilidade de utilização através de diferentes plataformas técnicas, 3) modularidade, de forma que um objeto possa conter ou estar contido em outros objetos, com a perspectiva de combiná-los; 4) autossuficiência, no sentido de não depender de outros objetos para fazer sentido e 5) descritos por metadados, como por exemplo, autor, palavra-chave, criador/autor, idioma

e objetivos educacionais". Os objetos de aprendizagem fazem uso de textos, imagens, vídeos, slides, simulações em computadores ou qualquer outro mecanismo de comunicação e multimídia disponibilizada pela TIC's, por essa razão, não é incomum a associação e definição restrita dessa ferramenta de ensino-aprendizagem ao uso de um ambiente virtual por intermédio de computadores e também da internet. Posto dessa forma, aderimos ao entendimento de Audino e Nascimento (2010), de que as definições devem ser mais amplas e considerar como OA também os instrumentos não digitais e/ou virtuais.

Convém vislumbrar, desta forma, os objetos de aprendizagem na ótica do *Learning Technology Standards Committee (LTSC)*, do consórcio *Institute of Electrical and Eletronics Engineers (IEEE)* quando define OA como "uma entidade, digital ou não-digital, que pode ser usada, reusada ou referenciada durante o ensino com suporte tecnológico". (IEEE, 2000 referenciado por Audino e Nascimento, 2010; Tarouco et al, 2006). Independentemente de serem ou não digitais, o primordial é que os OA busquem o avanço na qualidade do processo de ensino e aprendizagem.

Neste norteamento:

A incorporação de tecnologias às práticas educacionais pode provocar transformações na prática de professores, porém a inserção de recursos tecnológicos em sala de aula é apenas um passo, sendo necessário ir além da inovação transformando a prática educativa em espaços efetivos, prazerosos e qualificados, nos quais o processo de aprendizagem desenvolva-se através da construção de conhecimentos sobre os conteúdos mínimos a serem trabalhados em cada nível de ensino, promovendo a diversificação de linguagens e o estímulo à autoria em diferentes mídias (TAROUCO et al, 2006).

Segundo Nascimento (2007), todos concordam com o grande potencial dessa ferramenta para revolucionar a educação, ocorre que muitos OA apresentam problemas em suas estratégias pedagógicas, não atingindo, desta maneira, os objetivos propostos, dentre eles, o de instigar os estudantes a formulação de hipóteses, abstração de fenômenos e compreensão de conceitos. Isto porque, segundo a autora "os objetos de aprendizagem, em sua maioria, abordam temas complexos para a compreensão do aluno e, no entanto, por falhas no planejamento, muitos deles não possibilitam o entendimento dos fenômenos estudados" (NASCIMENTO, 2007).

Audino e Nascimento (2010), apresentam com base no trabalho de Singh (2001), os elementos e características dos objetos de aprendizagem:

[...] um objeto de aprendizagem deve ser estruturado e dividido em três partes bem definidas, pois essa estrutura diferencia o recurso de outras tecnologias aplicadas à educação e possibilita a produção de conhecimento. **Objetivos:** Sua finalidade é demonstrar ao aluno o que pode ser aprendido a partir do estudo desse objeto de aprendizagem, além dos conceitos necessários para um bom aproveitamento do conteúdo; **Conteúdo instrucional ou pedagógico:** Parte que apresenta todo o conteúdo necessário para que, ao término, o aluno possa atingir os objetivos definidos; **Prática e feedback:** A cada final de utilização, julga-se necessário que o aluno registre a interação com o objeto para a produção do conhecimento; isto é, confirma-se as hipóteses ou opções do aluno estão corretas ou são dadas orientações para ele continuar buscando novas respostas (AUDINO; NASCIMENTO, 2010).

Adicionalmente, é certo que um objeto de aprendizagem não deve possuir a pretensão de universalidade, porém, como destaca Tavares (2010), "ele se inicia com a suposição de determinado conhecimento prévio do aluno, claramente explicitada, e desenvolve um conteúdo sem fazer referências a outros tópicos correlatos". Deve-se valorizar a interação e os saberes dos sujeitos e igualmente os desafios pedagógicos proporcionados pelo OA no processo potencializado de ensino-aprendizagem.

5.1 Jogos Educacionais

Segundo Falkembach (2013), qualquer que seja a atividade lúdica, tem o potencial de aumentar a eficiência do ensino, muito devido ao fato das atividades lúdicas, ao entreterem, também estimularem os sentidos dos estudantes, retendo sua atenção. Desta forma, para autora, torna-se possível transmitir uma carga muito maior de informações, de maneiras variadas, tendo como resultado maior retenção de conhecimentos e facilitando a aprendizagem. Falkembach (2013), destaca porém, que os jogos possuem uma finalidade que vai além do simples entretenimento, eles são ferramentas educacionais eficientes onde:

"Cabe ao professor planejar, organizar e controlar as atividades de ensino utilizando os recursos tecnológicos apropriados a fim de criar as condições ideais para que os alunos dominem os conteúdos, desenvolvam a iniciativa, a curiosidade científica, a atenção, a disciplina, o interesse, a independência e a criatividade" (FALKEMBACH, 2013).

Fialho (2008); Silva et al (2009), no mesmo sentido entendem que os jogos educativos enriquecem o desenvolvimento intelectual e social do aluno, por ser uma

excelente ferramenta didática. Contudo, para garantir a efetividade desse recurso o professor deve proporcionar, como orientador do processo, um ambiente estimulador, pois, como acrescenta Miranda (2002), "a atividade lúdica é, essencialmente, um grande laboratório onde ocorrem experiências inteligentes e reflexivas. Experiências que geram conhecimento, que possibilitam tornar concretos os conhecimentos adquiridos". No ensino de Biologia, em particular no Ensino de Genética, Justina e Ferla (2006), afirmam que "a compreensão dos conceitos básicos é essencial ao entendimento das novas tecnologias". Ocorre que, o domínio de conceitos básicos é muito incipiente, independente do grau de escolaridade que se considere os estudantes, incluindo aí o Ensino Superior (JUSTINA; FERLA, 2006). Desta forma, Matrinez et al (2008), apontam como necessárias novas práticas que ajudem os estudantes na compreensão do conceitos de Genética que são considerados de difícil aprendizado. Nessa esteira, Pedroso (2009); Matrinez et al (2008), colocam que a ludicidade dos jogos didáticos complementam a teoria, contribuindo fortemente na apropriação de conceitos, auxiliando, conseqüentemente, no processo de ensino e aprendizagem.

5.2 Combinar e recombinar com os dominós

Klautau-Guimarães et al (2013; 2009; 2008), reconhecem que a Genética, com sua característica interdisciplinar e relação direta com contexto social, não é plenamente incluída no cotidiano pela população como um conhecimento científico, persistindo muitos obstáculos epistemológicos para o compreensão de seus fenômenos, pois muitos conhecimentos populares ainda conduzem explicações para fenômenos genéticos amplamente descritos. Um dos fatores que limitam a assimilação e a correta aplicação do conhecimento científico em Genética, reside na própria natureza desses fenômenos e suas conceituações, visto que são poucas as pessoas que fazem a distinção entre conceitos basilares como DNA, gene e genoma por exemplo.

Os autores também afirmam que, as concepções prévias, com representações errôneas, incompletas e confusas, também causam distorções no processo de ensino e aprendizagem. Com base em suas constatações, os autores propuseram como recurso para acesso a um melhor entendimento dos processos e bases da Genética, o objeto de aprendizagem, combinar e recombinar com os dominós, que é um modelo didático de baixo custo, fácil preparação e que destaca a recombinação, a dinâmica do material genético na transmissão de célula a célula e entre gerações, a formação de gametas e os

possíveis erros na transmissão do material genético. O material também permite a concretização de um conteúdo abstrato em decorrência da busca ativa da compreensão dos processos, e da relação entre os conceitos genéticos e citológicos. (KLAUTAU-GUIMARÃES et al, 2008).

Os objetos de aprendizagem, combinar e recombinar com os dominós, são compostos por 01 (um) jogo de dominó, de 28 peças, que serve de base para confecção dos cromossomos e um vídeo educativo de mesmo nome, combinar e recombinar com os dominós, produzido no ano de 2013, pela equipe da UAB/UnB. Esse OA aborda os principais conceitos de Genética relacionados à herança, ao genoma e à reprodução utilizando um modelo didático. Para o melhor aproveitamento das 28 peças do dominó foi definida uma composição de um genoma $2n=14$, sendo que os sete cromossomos de origem paterna foram representados na cor azul e os sete de origem materna, na cor vermelha. Cada cromossomo foi representado por duas peças, cada peça representando uma cromátide, com o objetivo de facilitar a visualização da dinâmica da separação das mesmas no processo de divisão celular.

Os autores sugerem a utilização do modelo em sala de aula e, o mesmo pode ser utilizado na montagem de diferentes genomas com várias ploidias. O objetivo principal do vídeo é servir como apoio ao processo de ensino quando da utilização do material concreto, pois estimula o raciocínio e a concretização do aprendizado de conteúdos considerados abstratos, por meio de uma atividade reflexiva e ativa. O vídeo apresenta duração aproximada de 18 (dezoito) minutos e divide-se em cinco partes: (1) Apresentação do material; (2) Entendendo os genomas; (3) Dinâmica do material genético na reprodução celular; (4) Entendendo a variação genética intercromossômica; e (5) Entendendo a variação genética intracromossômica. (KLAUTAU-GUIMARÃES et al, 2013, 2008). Ambos os objetos de aprendizagem serão utilizados em nossa metodologia, na fase da intervenção em sala de aula.

6 ELEMENTOS BÁSICOS DA PESQUISA

Procuo definir claramente essa pesquisa por intermédio de seus elementos básicos: o problema, as questões norteadoras e os objetivos.

6.1 Problema

A deficiência na compreensão dos conceitos básicos de Genética, pelos estudantes do Ensino Superior, limita sua capacidade de contextualização e afasta possibilidade de correlacionar fenômenos e aplicar corretamente terminologias científicas. Como consequencia, ocorre a prevalência de concepções alternativas próximas do pensamento cotidiano e do senso comum e por vezes equidistantes do conhecimento científico, que são identificados em explicações e descrições incorretas de estruturas e fenômenos genéticos, revelando desta forma, a fragilidade do processo de formação de conceitos científicos e também a carência de estratégias didáticas que tornem mais efetivas o processo de ensino e aprendizagem em Genética?

6.2 Questões norteadoras

- Quais são as principais dificuldades que o estudantes da graduação apresentam na apreensão dos conceitos básicos em Genética?
- Como a utilização de objetos de aprendizagem podem auxiliar na evolução conceitual em Genética no ambiente de sala de aula?
- É possível a utilização das Teoria do Perfil Conceitual como pressuposto teórico para elaboração de estratégias de ensino e aprendizagem em Genética diretamente na sala de aula?
- Como a elaboração e proposição de uma estratégia de ensino com o apoio dos objetos de aprendizagem "combinar e recombina com os dominós", para trabalhar com a Teoria do Perfil Conceitual de genoma e sua relações pode tornar mais efetivo o ensino e aprendizagem da Genética em sala de aula no Ensino Superior?

6.3 Objetivo Geral

Elaboração de uma estratégia de ensino com o apoio dos objetos de aprendizagem "combinar e recombinar com os dominós" fundamentada na Teoria do Perfil Conceitual para o conceito de genoma e suas relações que torne mais efetivo o ensino e aprendizagem dos conceitos básicos de Genética no Ensino Superior.

6.4 Objetivos Específicos

- Avaliar a evolução conceitual da estrutura e transmissão do genoma em sala de aula, com apoio dos objetos de aprendizagem "combinar e recombinar com os dominós";
- Demonstrar a relevância da Teoria do Perfil Conceitual para o desenvolvimento do ensino de Ciências e o ensino de Biologia.
- Avaliar a aplicabilidade, na visão do estudantes, dos objetos de aprendizagem na apreensão de conceitos em Genética.
- Avaliar a evolução do perfil conceitual do genoma e suas relações dos estudantes após a aplicação da estratégia elaborada pela equipe, como também se houve a percepção da ampliação do próprio perfil, por parte dos estudantes.

7 CONSTRUÇÃO DA PESQUISA: itinerário de delineamento metodológico

De acordo com Mortimer (2000), "detectar a evolução conceitual demanda metodologia específica de avaliação". Desta maneira, procuramos avançar na pesquisa elegendos os caminhos constitutivos para esta investigação, delimitando um itinerário capaz de permitir a visualização geral do que pretendo desenvolver.

Assim, em relação à metodologia, não descartaremos a possibilidade que uma parcela dos dados recebam um tratamento quantitativo por meio de tabulações das informações, contudo, primaremos por uma pesquisa qualitativa que será realizada de forma colaborativa com geração descritiva de dados, no segundo semestre de 2017, em uma turma de estudantes de graduação do curso de Licenciatura em Biologia na disciplina de Genética da UnB, Campus Darcy Ribeiro, de acordo com as seguintes etapas:

1. Levantamento Bibliográfico: foi realizado previamente, e buscou abordar a construção histórica do conceito de genoma e também de sua estrutura e transmissão. A finalidade desse levantamento é estabelecer uma primeira identificação de possíveis categorias de perfis conceituais de genoma e seus contextos de utilização.

2. Pré-teste (Apêndice C): o intuito da aplicação do pré-teste foi o de evidenciar as concepções dos estudantes sobre o conceito, estrutura e transmissão do genoma para que pudéssemos detectar a maior variedade possível de ideias sobre este assunto e, conseqüentemente, direcionarmos toda a intervenção. O pré-teste foi aplicado no primeiro dia de aula e os estudantes participantes não fizeram uso de material de apoio e também não contarão com ajuda do professor ou dos próprios colegas. Após a aplicação do pré-teste, durante toda a intervenção didática buscou-se a explicitação das ideias dos estudantes a respeito do conceito de genoma, sua estrutura e transmissão, por meio de discussões em grupos, para que pudessem refletir sobre o seu próprio perfil conceitual.

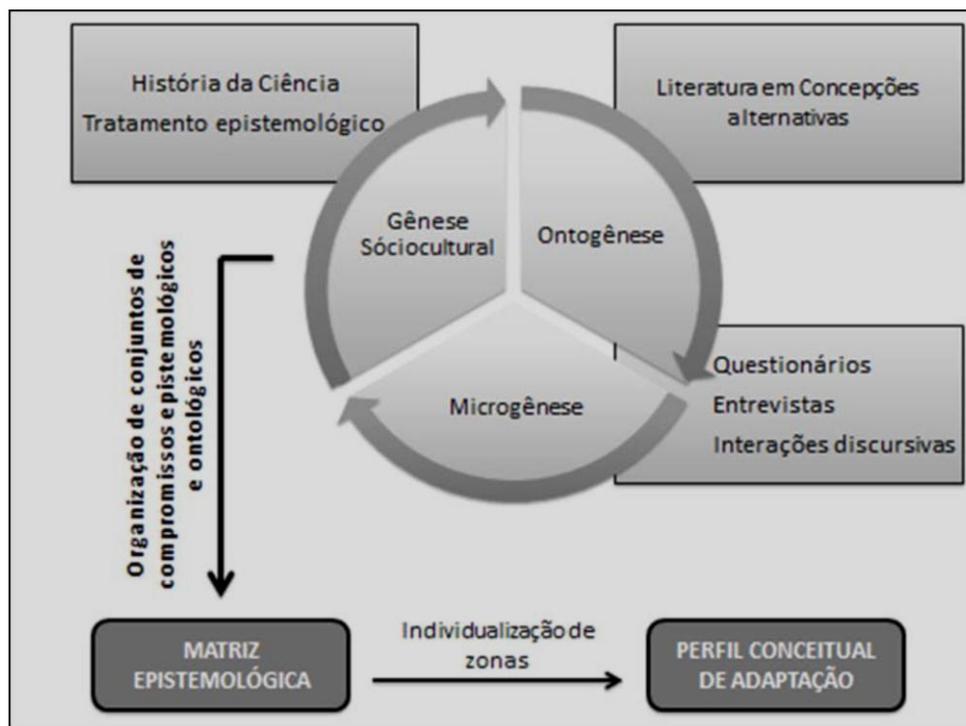
3. Intervenção com definição da estratégia: para a realização da intervenção foram selecionados e ministrados conteúdos abordando os conceitos básicos em Genética, balizados pelo pré-teste, e apresentado os objetos de aprendizagem "Combinar e Recombinar com os Dominós" (Apêndice F). Os estudantes assistiram ao vídeo explicativo e manipularam o OA em grupos, acompanhados de questões e do auxílio da professora regente. Ainda como parte da intervenção, os estudantes foram estimulados a visitar novamente o vídeo em casa, de posse das questões aplicadas no pré-teste, para avaliar sua própria autonomia e a aplicabilidade autônoma do vídeo. Esta etapa também foi avaliada por questionários específicos. (Apêndices D e E).

4. Pós-teste: a aplicação possuiu como finalidades a detectar e avaliar se os estudantes passaram a apresentar, após a intervenção, as concepções cientificamente aceita do conceito de **genoma e suas relações**. Segundo Mortimer (2000), os estudantes devem possuir tal capacidade a ponto de generalizar o conceito na interpretação de fenômenos e eventos potencialmente perturbadores.

5. Análise dos dados: realizamos uma análise dialógica e não sequencial entre a literatura e os dados empíricos coletados na tentativa de acessar domínios ontogenéticos e microgenéticos do conceito de genoma e sua estrutura e transmissão, conforme apresentado por Sepulveda, Mortimer e El-Hani (2013) para o conceito de adaptação. Segundo os autores as informações podem ser organizadas através de um instrumento que eles denominaram de "matriz epistemológica". Nesta matriz, eles dispuseram temas

epistemológicos a partir dos quais o conceito trabalhado por eles, que foi o de adaptação, adquiriu significado. Nesta análise foram identificados compromissos ontológicos e epistemológicos que estruturam a interpretação desse conceito.

Imagem 1 - Representação esquemática da metodologia de construção de um perfil conceitual de adaptação.



Fonte: SEPULVEDA, MORTIMER E EL-HANI, 2013.

8 ANÁLISE DOS DADOS

A presente dissertação relata os resultados obtidos de uma pesquisa realizada em uma turma da disciplina de Genética da Universidade de Brasília - UnB, que contava com 15 estudantes. Foram coletados 30 questionários individuais, sendo aplicados 15 na atividade 1 (pré-teste) que foram utilizados para comparação com os resultados dos 15 questionários aplicados na atividade 4 (pós-teste), além de dois exercícios realizados de forma coletivas, as atividades 2 e 3. Os questionários foram empregados para a caracterizar as concepções dos alunos sobre o conceito de genoma e suas relações desde o início da disciplina e para a determinação das diretrizes de condução da proposta de ensino e sua posterior avaliação. Foram realizadas análises quantitativas e qualitativas das respostas dos alunos que responderam todas as atividades ao longo do primeiro módulo da disciplina.

8.1 Análise qualitativa

A análise qualitativa consistiu na construção de categorias a partir das respostas dos alunos. Os professores-pesquisadores envolvidos na elaboração e aplicação da proposta de ensino analisaram e discutiram a análise das respostas e, posteriormente, construíram e refinaram gradualmente o conjunto de categorias.

Para a análise dos resultados que foram obtidos com a aplicação das atividades, buscou-se avaliar o grau de adequação das respostas dos alunos, para cada questão do pré-teste e do pós-teste e para cada meta de aprendizagem trabalhada na proposta. Houve, contudo, grande cautela nas avaliações realizadas, buscando-se sempre ter em vista respostas nas quais fosse possível detectar um grau considerável de concordância com os conceitos cientificamente aceitos.

Estabeleceu-se, para cada questão aplicada, referenciais para a avaliação da adequação das visões dos estudantes sobre os aspectos epistemológicos dos conceitos que foram trabalhados durante a intervenção didática. Tais referenciais foram elaborados a partir das metas de aprendizagem propostas. Para cada quesito das questões do pré-teste e pós-teste foram atribuídos escores, sendo: 0 - não respondeu; 1 - insatisfatório; 2 - parcialmente satisfatório e; 3 - satisfatório. Convém antecipar que todas as questões, de ambos os questionários, que apresentassem itens com respostas completamente dissonantes do conhecimento científico aceito foram consideradas

insatisfatórias. Já os critérios determinantes de respostas parcialmente satisfatórias ou satisfatórias variou entre a realização do pré-teste e do pós-teste, sendo que os critérios foram mais rigorosos no segundo caso. As questões deixadas em branco, também foram consideradas na análise, pois pondera-se que a abstenção também tem muito a dizer.

Em relação a atividade 1 (pré-teste), para primeira questão, que tratava da representação de genomas na fase G1 do ciclo celular de organismos hipotéticos, diplóides ($2n=6$) e triplóides ($3n=6$), foram consideradas satisfatórias respostas nas quais se reconhecesse a representação exata dos dois fenômenos solicitados e parcialmente satisfatórias, se pelo menos uma das representações esquemáticas estivesse correta.

Na segunda questão, quanto à representação dos cromossomos na placa metafásica de um organismo hipotético ($2n=6$), foram considerados satisfatórios os quesitos que apresentassem a quantidade e a disposição correta dos cromossomos, como também, a identificação dos cromossomos de origem materna e os de origem paterna. Na ausência de qualquer uma dessas representações o quesito foi considerado parcialmente satisfatório. As representações incorretas da quantidade de cromossomos e/ou de suas posições na placa metafásica, foram consideradas insatisfatórias.

Na terceira questão, qualquer um dos quatro quesitos, ainda que assinalados corretamente, mas sem apresentar a justificativa, foi considerado como insatisfatório, da mesma forma, os que foram assinalados incorretamente. Os quesitos assinalados corretamente, mas que apresentaram justificativas incompatíveis com o conceitos cientificamente aceitos ou que demonstrassem um certo grau de determinismos, finalismos, reducionismos ou extrema simplificação de conceitos, foram consideradas parcialmente adequadas. Foram consideradas adequadas somente aqueles quesitos corretamente assinalados, com justificativas em que os estudantes fizessem referência à origem das células em questão ou expressão do seu genoma dessas células ou ainda sobre os tipos de divisões que poderiam sofrer, ou seja, justificativas em que se pudesse evidenciar um certo distanciamento das ideias do senso comum.

A questão 4 trata de dois eventos, cujas respostas dependiam da compreensão dos estudantes sobre os fenômenos que ocorrem durante a meiose gamética. Assim, foram julgadas satisfatórias as respostas que considerassem a ocorrência de *crossing over* e da segregação independente dos cromossomos de forma simultânea. Respostas que se limitavam a considerar apenas um desses elementos foram consideradas parcialmente satisfatórias, assim como respostas que citassem de forma conjunta ou

alternativamente os termos "combinação", "distribuição", "separação", "transmissão" ou "variação" em referência aos eventos meióticos de recombinação e segregação independente. Já as respostas que utilizavam as expressões como "passar material genético", "metade do genoma", "mudanças do código genético" ou que também atribuísssem à mutação ou a expressão fenotípica a justificativa das respostas, foram consideradas insatisfatórias.

A questão 5 foi a que permitiu maior liberdade de respostas. Assim, qualquer frase ou enunciado que apresentasse as definições de genoma, DNA e cromossomos, ainda que básicas, porém de forma concatenadas, foi considerada satisfatória. Já as respostas, ainda que definissem os três termos, mas não os relacionassem ou que fizessem apenas referência a uma finalidade ou a características das estruturas bioquímicas, foram consideradas parcialmente satisfatórias. Foram consideradas insatisfatórias todas as respostas que apresentassem enunciados ou frases alheios ao solicitado na questão ou que apresentassem definições muito discrepantes dos conceitos que são atualmente aceitos pela comunidade científica.

As atividades 2 e 3, foram aplicadas no transcorrer do primeiro módulo. Ambas foram realizadas com o auxílio dos dois objetos de aprendizagem (dominós e vídeo) e contaram com a participação ativa e direta da professora regente em sua execução. A atividade 2 contou com cinco questões que em sua grande maioria exigiam representações com as peças dos dominós e a atividade 3 com apenas uma questão sobre recombinação intracromossômica, dividida em duas seções.

Para o pós-teste, foram aplicadas apenas 4 questões. Cabe reforçar, oportunamente, que as questões de números 4 e 5 do pré-teste foram reaplicadas no pós-teste como questões de números 1 e 4, nas quais foram empregados os mesmos referenciais de avaliação, exigindo-se dos respondentes, maior critério na aplicação das denominações científicas. Deste modo, a quinta questão do pré-teste tornou-se equivalente à primeira questão do pré-teste, tendo sido acrescentado apenas o termo gene à questão. A questão 4 permaneceu inalterada em enunciado e numeração.

Para questão 2 do pós-teste, foram consideradas satisfatórias as respostas que, após a análise da imagem proposta, apresentassem no primeiro item os genomas haplóide ($n=3$), diplóide ($2n=6$) e triploide ($3n=9$), e no segundo item, as respostas que representassem graficamente a devida disposição dos cromossomos durante as metáfases mitótica e meiótica I e II do genoma apresentado. As questões em que não apresentaram corretamente o número de cromossomos, assim como sua correta

disposição durante as fases de divisão celular solicitadas, foram consideradas insatisfatórias. Para esta questão, não coube a aplicação do referencial parcialmente satisfatório.

A questão número 3 apresentou dois itens. Enquadraram-se como satisfatórias, no primeiro item, as respostas que apresentassem o número cromossômico esperado como ($2n=21$). No segundo item, foram consideradas satisfatórias as respostas que apresentassem como conteúdo de DNA nuclear de uma célula somática do híbrido de centeio em metáfase mitótica, o valor igual a 42,3 picogramas de DNA.

Em todas as questões os estudantes possuíam a opção de autoavaliar-se. Para isso, em local específico no instrumento, deveriam registrar [1] se considerasse que não conseguia avaliar seus conhecimentos sobre o tema abordado na questão; [2], caso avaliasse como ruim o seu conhecimento; [3] para avaliar seu conhecimento como regular e [4] para autoavaliar-se como detentor de bom conhecimento. Por fim, a identificação do estudantes ocorrerá por intermédio das letras "EG", em referência aos estudantes de genética, seguidas dos algarismos indo-arábicos num intervalo de EG1 a EG15.

9 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As metas de aprendizagem que balizaram todo processo de intervenção estão, invariavelmente, interrelacionadas. Consequência disso é que, todas as questões das quatro atividades trabalhadas durante o primeiro módulo da disciplina estão, em maior ou menor medida, mediata ou imediatamente, imbricadas com as seis metas de aprendizagem empregadas. Contudo, optou-se por realizar uma correspondência mais estreita entre as questões e as metas de aprendizagem, e só posteriormente proceder com as análises das respostas apresentadas pelos estudantes em cada atividade. Neste último ponto, foi realizada a análise qualitativa dos graus de adequação das respostas dadas pelos estudantes a cada questão das quatro atividades, utilizando os critérios descritos acima.

9.1 Análise qualitativa das respostas dos alunos na atividade 1 (pré-teste)

As questões trabalhadas no questionário exploratório inicial (pré-teste), e as metas de aprendizagem correspondentes, são apresentadas no quadro a seguir.

Quadro 1 - Correspondência entre a primeira questão aplicada no pré-teste e a meta B de aprendizagem

Atividade 1 (Pré-teste)					
META B		Compreender a relação entre cromossomos, cromátides e moléculas de DNA.			
Questão 1		Respostas/Adequação			
Representar os genomas (cromossomos lineares – fase G1 do ciclo celular) de organismos hipotéticos de acordo com o que se pede: (2n=6) e (3n=6).		S	PS	I	NR
Item A	Genoma (2n=6)	4	-	6	5
Item B	Genoma (3n=6)	3	-	4	8
Totais		7	-	10	13

Legenda: S - satisfatório; PS - parcialmente satisfatório; I - insatisfatório; NR - não respondeu

Fonte: próprio autor

Na questão 1 do pré-teste, observou-se que quatro estudantes responderam apenas ao item [a]. Computou-se cinco estudantes não responderam a nenhum dos dois itens propostos [EG3; EG6; EG7; EG9; EG13] e três estudantes que responderam insatisfatoriamente aos dois itens [EG4; EG8; EG14]. Apenas dois alunos apresentaram respostas satisfatórias aos dois itens [EG11; EG12], duas alunas [EG2; EG10] responderam satisfatoriamente apenas ao item [a] e insatisfatoriamente ao item [b]. Curiosamente, o estudante [EG1], dissonante aos demais, respondeu insatisfatoriamente ao item [a], mas satisfatoriamente ao item [b].

Nesta questão, que possui como meta a compreensão da relação entre cromossomos, cromátides e moléculas de DNA, evidenciamos que 76,7% dos estudantes não conseguiram trabalhar corretamente esses conceitos, que entendemos serem básicos para o entendimento em Biologia como um todo. Esse é um número representativo de estudantes que não conseguiram demonstrar a diferença entre genomas diplóides e triplóides, ou que não relacionaram corretamente a organização dos cromossomos de acordo com a ploidia solicitada ou mesmo com a fase do ciclo celular indicada. Temp et al (2014), na aplicação de um teste com questões de múltipla escolha, de forma semelhante, buscou identificar o grau de compreensão e aplicação dos estudantes universitários sobre a relação gene-cromossomo-DNA. Os autores relatam,

com certa preocupação, que 67,32% das respostas apresentadas em seu teste estavam erradas.

Na autoavaliação sobre seus conhecimentos a essa questão, cinco estudantes afirmaram que não conseguiam se autoavaliar [EG6; EG8; EG9; EG11; EG13], seis estudantes avaliaram seus conhecimentos como ruins [EG3; EG4; EG5; EG7; EG15], três estudantes avaliaram como regular os seus conhecimentos sobre o tema [EG10; EG12; EG14] e uma estudante como bom [EG2].

O quadro 2 apresenta as respostas da segunda questão do instrumento, nas primeira etapa de coleta de dados. Assim como na primeira questão, houve uma prevalência de itens não respondidos e itens que apresentaram respostas insatisfatórias.

Quadro 2 - Correspondência entre a segunda questão aplicada no pré-teste e a meta A de aprendizagem

Atividade 1 (Pré-teste)								
META A		Visualizar o comportamento dos cromossomos durante as fases da mitose e da meiose.						
Questão 2					Respostas/Adequação			
Uma célula com genoma $2n=6$ entra em divisão celular e você observa seus cromossomos na metáfase. Como você imagina que deve ser a disposição dos cromossomos na placa metafásica para que seja possível identificar a metáfase da mitose, a metáfase I e II da meiose. Identifique os cromossomos de origem paterna e materna com cores diferentes.					S	PS	I	NR
Item A	Metáfase da mitose				2	1	7	5
Item B	Metáfase I da meiose				2	-	7	6
Item C	Metáfase II da meiose				2	1	5	7
Totais					6	2	19	18

Legenda: S - satisfatório; PS - parcialmente satisfatório; I - insatisfatório; NR - não respondeu

Fonte: próprio autor

Foram cinco os estudantes que não apresentaram respostas a qualquer um dos itens da segunda questão [EG4; EG5; EG6; EG7; EG13] e um grupo de mais cinco que apresentaram em todos os itens respostas insatisfatórias [EG2; EG3; EG8; EG9; EG15]. Somente um estudante [EG12] apresentou respostas satisfatórias a todos os itens da segunda questão. Os demais estudantes proporcionaram oscilações em suas atividades havendo, em um mesmo instrumento, desde questões não respondidas até respostas avaliadas como satisfatórias. Como exemplos temos, o estudante [EG14] que apresentou resposta insatisfatória ao item [a] e satisfatórias aos itens [b] e [c] e a

estudante [EG11] que apresentou resposta satisfatória ao item [a], insatisfatória ao item [b] e não respondeu ao item [c].

A segunda questão possuía como meta a visualização do comportamento dos cromossomos durante as fases da mitose e da meiose. Notou-se, porém, que os estudantes possuíam um grande problema quanto a identificação, diferenciação e representação das fases das divisões celulares seja por mitose ou meiose. No total de dezenove respostas consideradas insatisfatórias nos três itens, foram comuns erros tais como, a incorreta representação da disposição dos cromossomos na placa metafásica, não distinção entre metáfase meiótica e metáfase mitótica e principalmente representação incorreta do número cromossômico para o genoma indicado. Em sua pesquisa realizada com estudantes do Ensino Médio, Carneiro e Dal-Farra (2011), identificaram dificuldade de uma significativa parcela em indicar fases da mitose, tanto para reconhecê-las como para nomeá-las. Não podemos deixar esquecer que os estudantes respondentes aqui, já passaram por disciplinas prévias de Biologia Celular e Molecular, onde foram desenvolvidas essas temáticas.

Nas autoavaliações, três estudantes consideraram possuir conhecimento regular sobre o tema [EG10; EG12; EG14], sete estudantes assinalaram que possuíam um conhecimento ruim [EG1; EG3; EG7; EG9; EG11; EG13; EG15]; e três estudantes não conseguiram avaliar seus conhecimentos [EG4; EG5; EG6; EG8]. Uma estudante [EG2] não realizou sua autoavaliação para esta questão.

A terceira questão, que está exposta no quadro 3, trás em relação ao item [a], apenas três estudantes [EG10; EG12; EG14] apresentaram respostas e justificativas consideradas satisfatórias por demonstrarem claramente que compreendem que duas células somáticas em um mesmo organismo possuem genomas iguais. Neste grupo, em suas autoavaliações, dois estudantes consideraram possuir um bom conhecimento sobre o tema [EG10; EG14], e um considerou seu conhecimento regular [EG12].

[EG10] - *"Como são células de um mesmo tecido possuem os mesmos genes ativados e inativos".*

[EG12] - *"Todas as células de um organismo apresentam o mesmo genoma, o que muda é o padrão de expressão gênica, que deve ser o mesmo ou parecido, por ter a mesma função e localização".*

[EG14] - *"As células de um tecido que sofreram divisões mitóticas possuem o mesmo genoma. Se não ocorrerem mutações gênicas, os genomas são os mesmos".*

Quadro 3 - Correspondência entre a segunda questão aplicada no pré-teste e as metas B, E e F de aprendizagem

Atividade 1 (Pré-teste)						
META B	Compreender a relação entre cromossomos, cromátides e moléculas de DNA.					
META E	Compreender a associação entre transmissão da informação genética, meiose e formação de gametas.					
META F	Compreender a origem da variação detectada nos gametas.					
Questão 3			Respostas/Adequação			
Pense agora sobre os diferentes tipos de células de uma mesma pessoa. Responda às questões abaixo, marcando um dos itens e justificando sua resposta.			S	PS	I	NR
Item A	Considerando 2 células da mucosa oral de João pode-se afirmar que o genoma nelas é: () a mesma () diferente () não sei Favor justificar sua resposta		3	11	-	1
Item B	Considerando uma célula da mucosa oral de João e uma célula nervosa de João pode-se afirmar que o genoma nelas é: () a mesma () diferente () não sei Favor justificar sua resposta		3	10	1	1
Item C	Considerando uma célula da mucosa oral de João e um espermatozóide do João pode-se afirmar que o genoma nelas é: () a mesma () diferente () não sei Favor justificar sua resposta		1	8	5	1
Item D	Considerando 2 espermatozóides do João pode-se afirmar que o genoma neles é: () a mesma () diferente () não sei Favor justificar sua resposta		4	3	8	-
Totais			11	32	14	3

Legenda: S - satisfatório; PS - parcialmente satisfatório; I - insatisfatório; NR - não respondeu

Fonte: próprio autor

Contudo, nota-se que em relação ao item [a], a maioria das respostas foram enquadradas com parcialmente satisfatórias. As justificativas apresentaram padrões semelhantes, de maneira que pôde-se verificar a ocorrência de erros conceituais, atribuições finalistas ou generalistas aos conceitos explorados. Os estudantes [EG1; EG3; EG4; EG5; EG6; EG7; EG8; EG9; EG11; EG13; EG15] apresentaram tais justificativas, ou seja, mais de 73% das respostas a este item estão convergindo com que é descrito em diversas pesquisas sobre o ensino e aprendizagem de conceitos em Genética, v.g. KLAUTAU-GUIMARÃES et al, (2009); PEDRACINNI et al, (2007); MARTINS e PAIVA, (2005).

[EG1] - "*Mesmas células, genoma expressado igualmente*".

[EG3] - "*O genoma é o mesmo em todas as células do corpo, o que se altera é a expressão*".

[EG4] - "*Todas as células do nosso corpo possui o mesmo material genético*".

[EG5] - "*O genoma de todas as células não sexuais é o mesmo*".

[EG6] - "*O genoma é o mesmo, pois possuem funções e características iguais*".

- [EG7] - *"O genoma é o mesmo e a expressão desse genoma tende a ocorrer da mesma forma também".*
- [EG8] - *"As células da mucosa oral, assim como as outras células de João apresentam o mesmo genoma; no entanto, possuem um padrão de expressão gênica diferente das demais células do corpo e é isso que faz com que sejam classificadas como células da mucosa oral".*
- [EG9] - *"A mucosa oral, assim como os neurônios apresentam a mesma carga genética, pois se trata de um mesmo organismo".*
- [EG11] - *"Todas as células diplóides presentes no corpo de um organismo possui o mesmo genoma".*
- [EG13] - *"Células da mucosa oral que tiveram o mesmo endereçamento no desenvolvimento, possuem a mesma função".*
- [EG15] - *"O genoma e os transcritos dessas células são os mesmos".*

Em suas autoavaliações ao item [a], oito estudantes que deram respostas analisadas como parcialmente satisfatórias, consideraram seus conhecimentos como regulares [EG1; EG3; EG5; EG7; EG8; EG12; EG13; EG15], três consideraram ruins [EG4; EG6; EG9] e três estudantes autoavaliaram como bons seus conhecimentos sobre o tema [EG10; EG11; EG14]. A estudante [EG2] não respondeu e não se autoavaliou quanto a esse item.

Em relação ao item [b], o padrão de respostas foi bem semelhante às respostas apresentadas ao item [a]. Dentro das respostas admitidas como satisfatórias, temos:

- [EG10] - *"O que vai diferenciá-los são os genes que estão sendo lidos".*
- [EG14] - *"Ainda que tenham se diferenciado, essas células possuem o mesmo genoma. Os genes ativados nesses genomas é que variam, mas estão presentes em ambas as células".*
- [EG12] - *"Todas as células de um organismo apresentam o mesmo genoma, o que muda é o padrão de expressão gênica, no caso, é diferente, por terem localidades e funções diferentes".*

O estudante [EG12], apresentou resposta ao item [b] extremamente semelhante à resposta apresentada ao item [a], a sua justificativa só diferia quanto a função e localização das células.

O item [b] apresentou dez respostas consideradas parcialmente satisfatórias. Nestas respostas, nota-se extrema simplificação das justificativas e algumas confusões no desenvolvimento dos conceitos solicitados.

- [EG1] - *"Apenas é expressado de maneiras diferentes".*
- [EG3] - *"Células diferentes, com funções diferentes, tem o mesmo genoma, mas expressões diferentes".*
- [EG4] - *"Apesar de ser células diferentes, elas possui o mesmo material genético".*

[EG5] - *"O genoma de todas as células não sexuais é o mesmo".*

[EG7] - *"O genoma é o mesmo, mas a expressão desse código genético é diferente".*

[EG9] - *"A base genética é a mesma, visto que é o mesmo genoma, somente algumas expressões acontecem diferentes, por isso tem funções diferentes".*

[EG11] - *"Ambas são células diplóides e portanto possuem o mesmo genoma".*

[EG15] - *"O genoma propriamente dito não difere entre essas duas células, mas seus transcritos são diferentes (os genes)".*

A estudante [EG8] afirma que sua explicação é a mesma que foi apresentada ao item [a].

[EG8] - *"Explicação na resposta anterior - o que muda entre elas não é o genoma e sim a expressão gênica".*

Já o estudante [EG13], fugindo da questão, afirma que não há influência do genoma sobre a morfofisiologia celular. Oportuno destacar que sua resposta está enquadrada com parcialmente satisfatória, apenas pelo fato dele ter assinalado que os genomas das células da mucosa oral e da célula nervosa exemplificados no item são os mesmos, contudo sua justificativa implica que o estudante não reconhece ou não compreende a influência e a importância do genoma, mesmo sob a influência de morfógenos, em diversos eventos celulares, tais como a especialização celular.

[EG13] - *"A especialização das células deve-se a diferenciação celular regulado por morfógenos e não ter o genoma diferente".*

A estudante [EG2] não respondeu ao item [b] e o estudante [EG6] foi o único a apresentar resposta insatisfatória ao item, por assinalar que os genomas são diferentes e por apresentar uma justificativa muito discrepante do conhecimento científico.

[EG6] - *"É diferente, pois são células com funções diferentes e com características físico-químicas e até mesmo genéticas distintas".*

Em suas autoavaliações sobre o item [b], três estudantes consideraram seus conhecimentos ruins [EG4; EG6; EG9], oito se consideraram com conhecimentos regulares [EG1; EG3; EG5; EG7; EG8; EG12; EG13; EG15], três estudantes autoavaliaram como bons seus conhecimentos [EG10; EG11; EG14].

Na análise do item [c], verificou-se um significativo número de repostas insatisfatórias. Apenas a resposta apresentada pelo estudante [EG14] proporcionou o emprego correto dos conceitos solicitados, sendo considerada, dessa forma, satisfatória.

[EG14] - *"Os espermatozoides são células haplóides. As células da mucosa oral são diplóides. Os primeiros são apenas uma versão de cada gene (se a meiose ocorreu normalmente). Os últimos possuem duas versões de cada gene"*.

Corresponderam a oito, as respostas apresentadas ao item [c] consideradas como parcialmente satisfatórias. Encontra-se aqui, uma simplificação das definições envolvendo o processo de divisão celular por mitose e meiose. Nas respostas construídas pelos estudantes percebe-se uma regularidade da ideia simplista de que as células haplóides possuem "metade" do material genético das células diplóides.

[EG1] - *"O espermatozoide possui apenas metade do genoma"*.

[EG4] - *"Durante a produção dos espermatozoides na meiose cada célula possui metade do material genético"*.

[EG5] - *"O espermatozoide é haplóide enquanto a célula da mucosa é diplóide. Logo, seus genomas diferem"*.

[EG7] - *"Acredito que o genoma seja diferente, pois uma célula é n e outra é $2n$ (somática)"*.

[EG9] - *"A carga genética dos espermatozoides é diferente, visto que é (n) "*.

[EG10] - *"Em gametas a finalidade é dar origem a indivíduos variados, portanto o genoma dessas células é diferente das células somáticas e elas se diferem entre si"*.

[EG11] - *"A célula do espermatozoide possui metade dos cromossomos, portanto o genoma delas é diferente"*.

[EG12] - *"O genoma é a sequência completa de bases do DNA de um organismo, sendo duplicado (diplóide = $2n$) na célula da mucosa oral e haplóide no espermatozoide"*.

Foram um total de cinco as respostas insatisfatórias. Destaca-se o fato de que, neste grupo de respostas, a maior parte dos estudantes consideraram que os genomas das células da mucosa oral e do espermatozoide eram iguais.

[EG3] - *"Genoma igual, expressão diferente"*.

[EG6] - *"É diferente, pois o genoma das duas células apresentam variabilidade gamética"*.

[EG13] - *"Diferenciação celular no desenvolvimento, o genoma continua sendo o mesmo"*.

Os estudantes [EG8] e [EG15], além de assinalarem incorretamente ao item, se limitaram a afirmar que suas justificativas seguiam o mesmo padrão de resposta do item anterior.

[EG8] - "*mesma explicação da questão anterior*".

[EG15] - "*(mesma explicação da questão anterior)*".

Uma das metas propostas para essa questão e seus itens foi a de compreender a associação entre transmissão da informação genética, meiose e formação de gametas, assim, de acordo com as respostas caracterizadas como parcialmente satisfatórias que perfizeram 53,3% das respostas ao item e insatisfatórias que perfizeram 33,3% das respostas ao item. Em sua pesquisa Temp et al (2014), constatou que 50,82% dos estudantes não reconheciam ou não compreendiam a diferença entre célula somática e gamética. Segundo os autores "este conhecimento remete ao entendimento de diversos conceitos como número cromossômico, meiose, fecundação, identificação de síndromes, diferença entre mutações herdáveis ou não e análise de cariótipo". Finalizam afirmando que os resultados indicam que "os estudantes não conseguem relacionar informação genética como uma característica inerente a todos os seres vivos e presente em todas as células, não apenas nos gametas" (TEMP et al, 2014).

Nas autoavaliações em relação ao item [c], os estudantes [EG4], [EG6], [EG9] [EG12] consideraram seus conhecimentos ruins. Os estudantes [EG1], [EG3], [EG5], [EG7], [EG8], [EG13] e [EG15] consideraram seus conhecimentos como regulares. Por fim, considerando como bons os conhecimentos sob o tema, temos três estudantes [EG10], [EG11] e [EG14].

Com um total de nove respostas avaliadas como insatisfatórias, o último item da terceira questão superou, com folga, os demais itens da questão. Neste grupo, sete dos estudantes assinalaram e justificaram que o genoma de dois espermatozóides distintos é o mesmo. A estudante [EG15] não forneceu justificativa. Já os estudantes [EG5] e [EG6] apesar de fornecerem respostas insatisfatórias ao item [d], assinalaram que os genomas de dois espermatozóides distintos são diferentes. Detidamente à resposta do estudante [EG5], examina-se que, por não conseguir completá-la, o respondente a suprimiu por completo com traços simples sobre as palavras. A estudante [EG2] faz referência à mitose como a divisão celular que gera os gametas.

- [EG2] - *"Na mitose cada célula gamética fica com o mesmo material genético".*
 [EG3] - *"Células iguais, genoma igual, expressão igual".*
 [EG6] - *"Cada espermatozóide terá uma característica específica atrelada a ela".*
 [EG7] - *"As duas células são reprodutivas".*
 [EG8] - *"O genoma dos espermatozoides é igual, no entanto alguns terão características individuais devido a expressão ou não expressão de alguns genes".*
 [EG9] - *"Ambas surgiram do mesmo processo".*
 [EG13] - *"Mesmo genoma, mesma função, especialização".*

Os estudantes [EG1], [EG4] e [EG10], apresentaram respostas parcialmente satisfatórias.

- [EG1] - *"Existe variação no genoma dos espermatozoides".*
 [EG4] - *"A divisão do material genético é aleatória e independente, por isso, nem sempre dois espermatozoides possui o mesmo genoma".*
 [EG10] - *"Pois a finalidade é originar dois indivíduos diferentes, logo seu genoma se difere".*

Por fim, para este item, identificou-se três respostas satisfatórias que fazem referência a recombinação intracromossômica e intercromossômica.

- [EG11] - *"A célula quando sofre meiose divide os cromossomos homólogos aleatoriamente aumentando a variabilidade e nesse processo também pode ocorrer o fenômeno de crossing-over".*
 [EG12] - *"Eles passam por meiose, logo foram recombinados diferentemente".*
 [EG14] - *"A meiose origina células haplóides com, a princípio, o mesmo número e tipo de cromossomos. Porém, um espermatozóide pode carregar uma versão recessiva de um gene, em quanto o outro, uma versão dominante. Além disso, eventos como o crossing-over podem diferenciar ainda mais a distribuição de genes".*

Neste quesito três estudantes não realizaram a autoavaliação, [EG1], [EG2] e [EG3]. Os estudantes [EG4], [EG6], [EG9] e [EG12], consideraram seus conhecimentos sobre o tema ruins. Autoavaliaram-se como possuidores de conhecimentos regulares os estudantes [EG7], [EG8], [EG13] e [EG15] e três estudantes com bons conhecimentos [EG10], [EG11] e [EG14].

O quadro 4 apresenta as respostas para quarta questão do pré-teste, na primeira etapa de coleta de dados.

Quadro 4 - Correspondência entre a quarta questão aplicada no pré-teste e as metas de aprendizagem

Atividade 1 (Pré-teste)						
META E	Compreender a associação entre transmissão da informação genética, meiose e formação de gametas.					
META F	Compreender a origem da variação detectada nos gametas.					
Questão 4			Respostas/Adequação			
Sobre a transmissão do material genético, explique:			S	PS	I	NR
Item A	O material genético que você recebe é igual ao que você transmite aos seus descendentes? Por que?		1	9	5	-
Item B	Se os filhos recebem parte do material genético de cada um dos genitores, por que os irmãos não são idênticos?		3	4	7	1
Totais			4	13	12	1

Legenda: S - satisfatório; PS - parcialmente satisfatório; I - insatisfatório; NR - não respondeu

Fonte: próprio autor

Em relação à transmissão da informação genética, formação e variação dos gametas, quatro estudantes responderam insatisfatoriamente os dois itens da questão, [EG1], [EG2], [EG3] e [EG7]. No item [a] temos as seguintes respostas. A este grupo, juntam-se os estudantes [EG6] e [EG15], ambos apresentaram respostas consideradas insatisfatórias apenas ao item [a].

[EG1] - *"Não. pois eu irei 'mesclar' o meu com o de uma possível parceira sexual, tornando diferente".*

[EG2] - *"Não. Será o meu material genético com o do pai".*

[EG6] - *"Não. Existe variabilidade genética ao longo dos anos que vai mudando o fenótipo dos futuros descendentes seja por conta do meio no qual vivem ou o genoma".*

[EG14] - *"Não, porque cada progenitor doou o seu para formar o meu e isso acontecerá na formação dos meus filhos também, por isso não será o mesmo".*

[EG7] - *"Não, pois ele pode sofrer mutações durante a minha vida e durante a fusão de gametas ocorre o processo de crossing-over que pode alterar o DNA descendente de mim".*

[EG15] - *"Sim".*

No item [b], o estudante [EG6] não apresentou resposta. Os demais estudantes responderam com respostas consideradas insatisfatórias dissertaram:

[EG1] - *"Porque os filhos não recebem as mesmas partes de DNA que você receber, tornando-os diferentes".*

[EG2] - *"Por causa do crossing-over".*

[EG14] - *"Por causa da aleatoriedade".*

[EG7] - *"Porque ocorrem mudanças no código genético dos genitores (com o crossing-over), genes recessivos não serão expressos dependendo de combinações e acaso... o organismo precisa de variabilidade genética e isso ocorre durante o processo de fusão na formação do DNA do filho".*

Os estudantes [EG5], [EG9] e [EG13], responderam de forma considerada parcialmente satisfatória ao item [a] e insatisfatoriamente ao item [b]. Em relação ao primeiro item:

[EG5] - *"Não. O material genético transmitido aos descendentes é apenas metade do material recebido".*

[EG9] - *"Não completamente, visto que irei transmitir apenas parte, pois será necessário DNA complementar, além do mais durante a vida poderá ocorrer alguma mudança".*

[EG13] - *"O DNA é hereditário, logo será transmitido parte das informações contidas no meu genoma aos meus descendentes, o material genético não será totalmente igual".*

Em relação ao segundo item as respostas consideradas insatisfatórias:

[EG5] - *"O fenótipo é determinado pela expressão gênica e a epigenética. Além, claro, dos fatores externos".*

[EG9] - *"Devido a recombinação que é presente durante a fecundação".*

[EG13] - *"Pois a expressão do gene é diferente".*

Três estudantes responderam aos dois itens de maneira parcialmente satisfatória. Soma-se às estas, a resposta oferecida pelo estudante [EG15] que apesar de responder insatisfatoriamente ao item [a], desenvolveu de maneira parcialmente satisfatória ao item [b]. Para o item [a] temos:

[EG4] - *"O material genético que passamos para nossos descendentes não é idêntico ao nosso porque na meiose durante a divisão celular a mecanismos que altera o nosso genoma".*

[EG8] - *"Não, você transmitirá aos seus descendentes apenas parte desse material genético, e essas partes são aleatórias. Esse é o princípio da variabilidade genética".*

[EG10] - *"Não, pois durante a formação dos gametas existem etapas que têm função de gerar variabilidade no genoma para que seja possível a existência de seres diferentes entre si".*

Respostas consideradas parcialmente satisfatórias no item [b]:

[EG4] - *"Pois na meiose a distribuição dos genes é independente e aleatória".*

[EG8] - *"Os irmãos não são idênticos porque podem receber partes diferentes do material genético dos pais".*

[EG10] - *"Pois nenhum gameta é igual ao outro, geneticamente".*

[EG15] - *"Por que a separação dos cromossomos ocorre de maneira aleatória e independente".*

Em relação aos dois itens, as autoavaliações ocorreram do seguinte modo: os estudantes [EG7], [EG8], [EG12] e [EG15] consideraram seus conhecimentos ruins, os estudantes [EG1], [EG4], [EG9], [EG6] e [EG13] registraram seus conhecimentos com regulares, e os estudantes [EG3], [EG5], [EG10], [EG11] e [EG14] consignaram como bons seus conhecimentos. A estudante [EG2] não se autoavaliou em nenhum dos itens. Os estudantes [EG12] e [EG15] assinalaram igualmente para os dois itens, ruim e regular respectivamente os itens [a] e [b]. E o último caso, do estudante [EG6] que atribuiu conhecimento regular, para o primeiro item, mas assinalou que não conseguia avaliar seus conhecimentos para o segundo item.

O quadro 5 apresenta as respostas para quinta questão do pré-teste, na primeira etapa de coleta de dados.

Quadro 5 - Correspondência entre a quinta questão aplicada no pré-teste e as metas de aprendizagem

Atividade 1 (Pré-teste)				
META B	Compreender a relação entre cromossomos, cromátides e moléculas de DNA.			
Questão 5				Respostas/Adequação
Elabore, de forma livre, uma frase ou enunciado relacionando os seguintes termos: genoma; DNA e cromossomos.	S	PS	I	NR
	3	6	4	2
Totais	3	6	4	2

Legenda: S - satisfatório; PS - parcialmente satisfatório; I - insatisfatório; NR - não respondeu

Fonte: próprio autor

As respostas a essas questões consideradas adequadas foram redigidas pelos estudantes [EG8], [EG12] e [EG14]. Apesar disso, em todas as respostas pode-se notar que o genoma foi relacionado apenas ao DNA nuclear, ignorando a existência de outras estruturas celulares, como os cloroplastos e mitocôndrias, que podem comportar DNA.

- [EG8] - *"O genoma é composto pelo DNA total das células de um indivíduo. Quando esse DNA é combinado a histonas e se enovela de maneira compacta são formados os cromossomos".*
- [EG15] - *"O genoma é a sequência completa das bases de DNA de um organismo e o cromossomo é o último nível de empacotamento para esse DNA caber no núcleo".*
- [EG15] - *"Os cromossomos são estruturas formadas de DNA e proteínas que, em conjunto, compõem o GENOMA celular".*

As respostas parcialmente satisfatórias à quinta questão.

- [EG4] - *"O genoma é o material genético dos seres vivos ele, é composto por todas as sequências de bases nitrogenadas, ele é dividido em cromossomos que forma o DNA.*
- [EG6] - *"*DNA é um ácido nucléico que armazena informação genética do indivíduo contendo 4 bases nitrogenadas: Adenina, Timina, Citosina e Guanina."*
- ** Genoma é a biblioteca gênica total de um indivíduo".*
- **Cromossomo é a constituição físico-química do DNA ao qual interagem com as histona".*
- [EG10] - *"No genoma informações da vida organizadas em cromossomos e compostos de DNA".*
- [EG11] - *"O genoma é toda a sequência de DNA de um organismo".*
- [EG13] - *"O genoma é o conjunto e todos os genes, o que é formado por DNA. O DNA encontra-se extremamente compactado/condensado na forma de cromossomos".*
- [EG15] - *"Como o sequenciamento do DNA pode nos ajudar a compreender o genoma humano?"*

Abaixo as respostas consideradas insatisfatórias. Os estudantes [EG5] e [EG7] não apresentaram resposta a essa questão.

- [EG1] - *"O DNA condensa e forma os cromossomos, e o genoma é toda a parte do código genético que é expressada".*
- [EG2] - *"Genoma é sequência dos 23 pares de cromossomos do núcleo de cada célula humana na diplóide somado ao grupamento de DNA".*
- [EG3] - *"DNA: possui dupla hélice, formado por fosfato, pentose (desoxirribose e ácidos nucléicos)".*
- "Cromossomos: molécula de DNA unida através de histonas".*
- [EG9] - *"O genoma seria o conjunto de carga de DNA completo de um organismo enquanto os cromossomos não abrangem completamente, apesar de ter carga de DNA".*

Em suas autoavaliações para esta questão, os estudantes [EG3], [EG5] e [EG7], assinalaram que não conseguiam avaliar seus conhecimentos sobre o tema. Os estudantes [EG9], [EG11] e [EG15] se autoavaliaram como possuidores de

conhecimentos ruins e os estudantes [EG1], [EG4], [EG6], [EG8] e [EG12] como detentores de conhecimentos regulares. Três estudantes, [EG10], [EG13] e [EG14], consideraram bons seus conhecimentos sobre o assunto. A estudantes [EG2] não realizou sua autoavaliação.

Tabela 1 - Visão geral das autoavaliações no pré-teste

Estudantes	EG 1		EG 2		EG 3		EG 4		EG 5		EG 6		EG 7		EG 8		EG 9		EG 10		EG 11		EG 12		EG 13		EG 14		EG 15		
	RA	AV	RA	AV	RA	AV	RA	AV	RA	AV	RA	AV	RA	AV																	
QUESTÃO 1	1	1	2	3	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	2	2	3	0	3	2	0	0	1	2	1	1
QUESTÃO 2	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	2	2	2	1	3	2	0	1	3	2	1	1	
QUESTÃO 3 A	2	2	0	0	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	3	3	2	3	3	2	2	2	3	3	2	2	
QUESTÃO 3 B	2	2	0	0	2	2	2	1	2	2	1	1	2	2	2	2	2	1	3	3	2	3	3	2	2	2	3	3	2	2	
QUESTÃO 3 C	2	2	0	0	1	2	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	2	1	2	3	2	3	2	1	1	2	3	3	1	2	
QUESTÃO 3 D	2	2	0	0	1	2	2	1	1	0	1	1	1	2	1	2	1	1	2	3	3	3	3	1	1	2	3	3	1	2	
QUESTÃO 4 A	1	2	1	0	1	3	2	2	2	3	1	2	1	1	2	1	2	2	2	3	2	3	3	1	2	2	2	3	1	1	
QUESTÃO 4 B	1	2	1	0	1	3	2	2	1	3	0	0	1	1	2	1	1	2	2	3	3	3	3	2	1	2	3	3	2	2	
QUESTÃO 5	1	2	1	0	1	0	2	2	0	0	1	2	0	0	3	2	1	1	2	3	2	1	3	2	2	3	3	3	2	1	

Legendas:

AUTOAVALIAÇÃO - AV

0 - NÃO CONSIGO AVALIAR

1 - RUIM

2 - REGULAR

3 - BOM

RESPOSTA APRESENTADA - RA

0 - NÃO RESPONDEU

1 - NÃO ADEQUADO

2 - PARCIALMENTE ADEQUADO

3 - ADEQUADO

Analisando essas informações, averiguamos que durante o pré-teste a turma mostrou-se bastante heterogênea. Compilando este dados no Quadro 6 logo abaixo, encontramos, em destaque, as questões onde os estudantes fraquearam possuir maiores dificuldades.

Quadro 6 - Autoavaliações no pré-teste por questão

Questões	RA > AV	RA = AV	RA < AV
1	10 30 32	00 11(4x) 22	01(3x) 12
2	10 21 32(2x)	00(4x) 11(3x) 22	01(2x)
3A	21(3x) 32	22(7x) 33(2x)	23
3B	21(2x) 32	11 22(7x) 33(2x)	23
3C	21(2x)	11 22(3x) 33	12(4x) 23(2x)
3D	10 21 31	11(2x) 22 33(2x)	12(5x) 23
4A	21 31	11(2x) 22(3x)	12(2x) 13 23(4x)
4B	21 32	00 11 22(2x) 33(2x)	12(3x) 13(2x) 23
5	10 21(2x) 32(2x)	00(2x) 11 22 33	12(2x) 23(2x)

Chama a atenção no Quadro 7 a coluna (RA = AV) por prevalecerem autoavaliações cujo os escores em relação ao conhecimento solicitado foram "1 - ruim" e "2 - regular". Temas como representação de genomas de organismos eucarióticos e transmissão do genoma foram os que apresentaram os menores escores.

Buscando uma outra visão para estes dados, temos abaixo a tabela de autoavaliações por estudante. Nela nota-se que todos os estudantes apresentaram respostas ou mesmo se autoavaliaram com o escore "1 - ruim" em pelo menos uma das questões. Merece destaque o estudante EG12 que teve os escores das suas respostas ao pré-teste superiores as suas autoavaliações.

Quadro 7 - Autoavaliações no pré-teste por estudante

Estudantes	RA > AV	RA = AV	RA < AV
EG1		11 22(4x)	01 12(3x)
EG2*	10 (4x)	00 (4x)	23
EG3	10	11 22(2x)	01 12(2x) 13(2x)
EG4	21(4x)	00 11 22(3x)	
EG5	10	00(2x) 11 22(3x)	13 23
EG6	21	00(3x) 11(3x)	12(2x)
EG7		00(2x) 11(2x) 22(3x)	01 12
EG8	10(2x) 21(2x) 32	22(2x)	12(2x)
EG9	21(3x)	11(3x) 22	01 12
EG10		22(2x) 33(2x)	23(5x)
EG11	21(2x) 30	33(2x)	23(4x)
EG12	21 31(2x) 32(6x)		
EG13		00 22(3x)	01 12(3x) 23
EG14	32	33(6x)	12 23
EG15	21	11(3x) 22(3x)	12(2x)
Total	10(4x) 21(14x) 30 32	00(9x) 11(15x) 22(26x) 33(10x)	01(5x) 12(17x) 13(4x) 23(11)

*EG2 = não realizou a autoavaliação, e os dados foram desconsiderados.

9.2 Análise qualitativa das respostas dos alunos nas atividades 2 e 3

A atividade 2 (atividade com dominós de cromossomos), foi a primeira atividade realizada com o auxílio dos objetos de aprendizagem "combinar e recombinar com os dominós". Essa atividade foi desenvolvida no segundo encontro da terceira semana da intervenção didática. Os estudantes organizaram-se em duplas para responder as 5 questões propostas. Compete lembrar que as atividades foram realizadas com auxílio direto da professora regente, apesar disso, houve correção posterior das atividades, mesmo os estudantes tendo dirimido muitas de suas dúvidas durante a execução da atividade, seja pela interação entre os componentes da dupla, seja por interações entre

duplas ou mesmo, cabe reforçar, por intermédio da professora regente e, os estudantes não procederam com autoavaliações de seus conhecimentos como ocorrido no pré-teste, porém, tiveram que depositar sua atividades, após finalizadas, no ambiente virtual da UnB destinado a disciplina em curso para composição de sua nota do primeiro módulo.

O Quadro 8 apresenta a primeira questão da atividade 2, aplicada durante a intervenção didática.

Quadro 8 - Primeira questão aplicada na atividade 2

Atividade 2	
META B	Compreender a relação entre cromossomos, cromátides e moléculas de DNA.
Questão 1	
Organize todas as peças do jogo e considere que são cromossomos que constituem o genoma de um organismo hipotético. Observe que as cores diferenciam os cromossomos por sua origem parental e o número por sua morfologia.	
Item A	Qual é o número do genoma monoploide, do diploide e do haploide?
Item B	B - No caso do diploide, quantos pares de homólogos existem? Quantas cromátides haveriam no início da mitose? Quantas cromátides haveriam na fase G1?

Nesta questão todas as duplas responderam satisfatoriamente aos dois itens. Como amostra representativa, temos as respostas apresentadas pela dupla de estudantes [EG6] e [EG14] aos dois item da primeira questão, que foram apresentadas em quadros.

Imagem 2 - Resposta ao primeiro item da questão 1 aplicada na atividade 2.

*Respostas em vermelho		
1) A)		
Nº do genoma monoploide (X)	7 cromossomos	x=7
Nº do genoma haploide (n)	7 cromossomos	n=7
Nº do genoma diploide (2n)	14 cromossomos	2n= 14

Em relação ao item [b], os estudantes responderam:

Imagem 3 - Resposta ao segundo item da questão 1 aplicada na atividade 2.

B)	<ul style="list-style-type: none"> No caso do diploide, há 7 pares de cromossomos homólogos. Há 28 cromátides no início da mitose. (O DNA já foi replicado) Há 14 cromátides na fase G1 da interfase. (O DNA ainda não foi replicado) Figura representando os 14 cromossomos (com duas cromátides-irmãs, cada um):
----	--

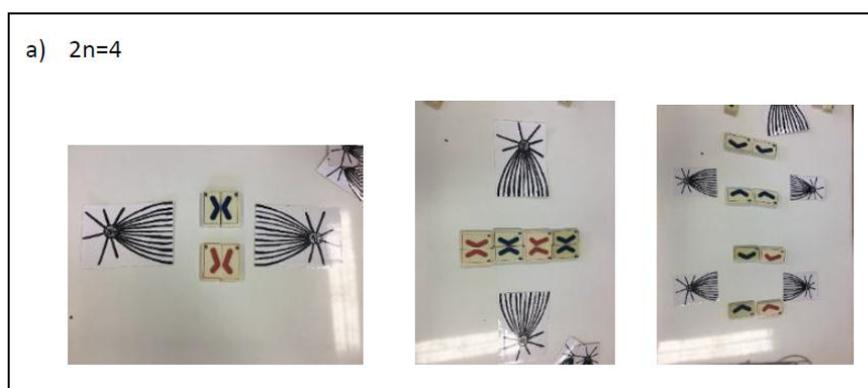
A questão 2 desta atividade exigiu que o estudantes fizessem representações de genoma utilizando os dominós. O Quadro 9 apresenta a segunda questão da atividade 2, aplicada durante a intervenção didática.

Quadro 9 - Segunda questão aplicada na atividade 2

Atividade 2	
META B	Compreender a relação entre cromossomos, cromátides e moléculas de DNA.
Questão 2	
Represente o arranjo dos cromossomos para os genomas abaixo, nas fases da divisão celular: Metáfase da mitose, Metáfase I da meiose e Metáfase II da meiose.	
Item A	a) $2n=4$
Item B	b) $3n=6$

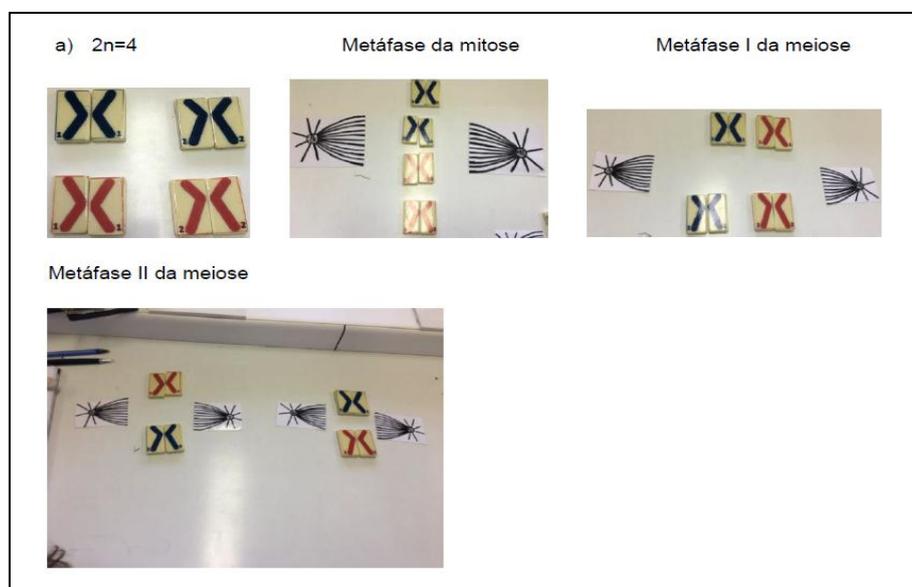
Na resolução, os estudantes deveriam considerar o dois genomas propostos. Apesar das interações existentes e dos constantes auxílios dispensados aos grupos, ainda assim foram detectados erros em algumas atividades. A dupla de estudantes [EG3] e [EG4] representaram corretamente para os dois genomas apenas a metáfase da mitose, deixando de realizar as representações da metáfase I e metáfase II da meiose, sendo assim sua resposta foi considerada parcialmente satisfatória. Já a dupla de estudantes [EG9] e [EG10] apresentaram um representação incorreta para no item [a] para a metáfase da mitose, acertado as representações nas demais fases (Imagem 4).

Imagem 4 - Resposta parcialmente satisfatória apresentada ao primeiro item da segunda questão na atividade 2



Como exemplos, temos as repostas satisfatórias que foram apresentadas pela dupla de estudantes [EG12] e [EG15] ao primeiro item da primeira questão.

Imagem 5 - Resposta satisfatória apresentada ao primeiro item da questão 2 na atividade 2



Em relação ao item [b], na representação de um genoma triplóide ($3n=6$), verificou-se a dificuldade dos alunos em trabalhar com as variações numéricas nos genomas. A ideia de poliploidia parece ainda não estar bem sedimentada. É reconhecido que poliploidia é muito mais dinâmica em plantas. Em animais, raramente origina gametas viáveis. Neste item da atividade 2, todos os estudantes apresentaram respostas insatisfatórias. A maior parte dos estudantes não compreendiam bem a ideia básica de que os indivíduos triplóides apresentam três conjuntos do genoma básico. Todos as duplas apresentaram dificuldades em realizar o pareamento dos homólogos durante as fases da meiose. A chance de na separação dos homólogos ir um dos três cromossomos de cada trio de homólogos para uma célula (haplóide) e dois para outra (diplóide) é proporcional ao número de cromossomos.

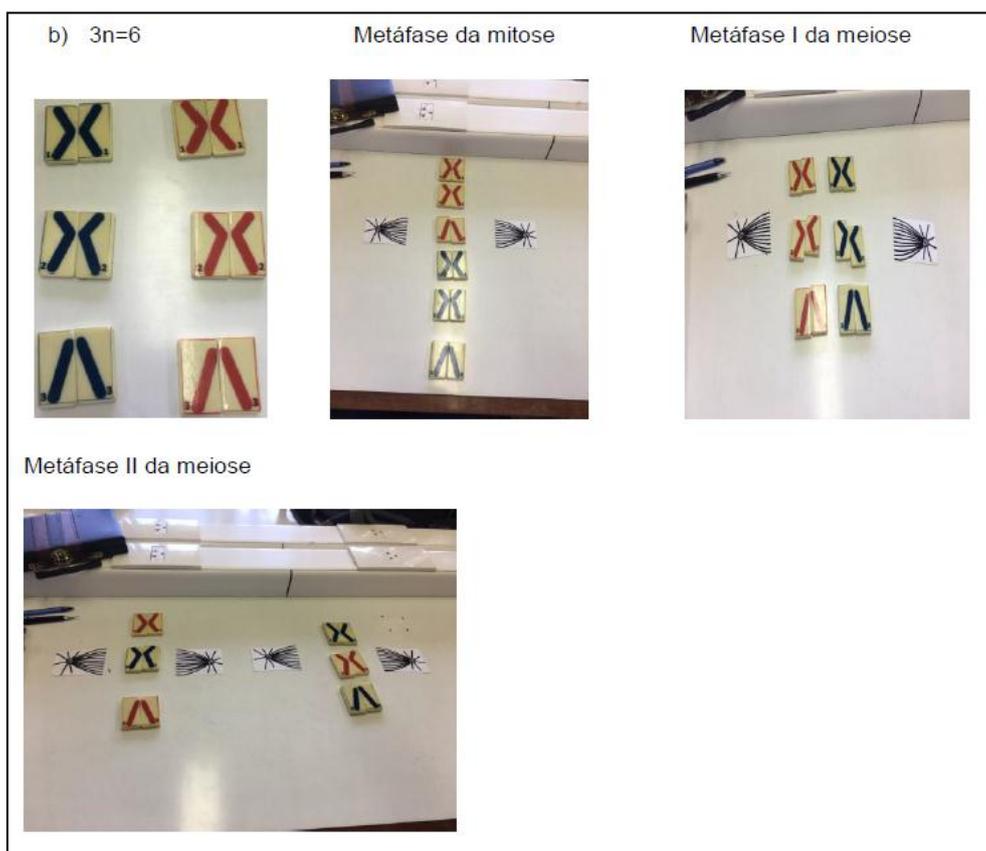
Exemplo de respostas que foram apresentadas pelos estudantes [EG3] e [EG4].

Imagem 6 - Resposta insatisfatória apresentada ao segundo item da questão 2 na atividade 2



Outro exemplo de representação insatisfatória que foi apresentada pelos estudantes [EG10] e [EG12].

Imagem 7 - Resposta insatisfatória apresentada ao segundo item da questão 2 na atividade 2



Esses representações reforçam ou que já foi constatado em outras pesquisas, qual seja, a dificuldade de abstração na meiose com reflexos no ensino e aprendizagem em Genética. Dal-Farra (2011), relata em sua pesquisa inúmeras dificuldades

relacionadas a divisão celular, em especial a meiose, quando se aborda produção de células gaméticas, redução ou não de cromossomos e permutação. Braga et al (2009), afirmam que os "processos da divisão celular têm grande importância para o conhecimento básico da Biologia, sendo necessários para o entendimento de diversos temas e áreas dessa disciplina".

A questão 3 da atividade 2 exigiu que o estudantes fizessem representações de genoma utilizando os dominós. O Quadro 10 apresenta a segunda questão da atividade 2, aplicada durante a intervenção didática.

Quadro 10 - Terceira questão aplicada na atividade 2

Atividade 2	
C	Compreender a combinação entre os diferentes homólogos durante a meiose
D	Compreender a recombinação dentro do par de homólogos durante a meiose (<i>crossing-over</i>)
Questão 3	
Com o jogo, represente um genoma $2n=6$ e demonstre a dinâmica dos cromossomos no processo da meiose. Neste caso, não considere o evento do crossing over.	
Item A	Quantos gametas diferentes podem ser produzidos?
*Observe que no jogo existem 2 fases, do outro lado das peças se encontram cromossomos com regiões que representam produtos de recombinação, durante a prófase da meiose.	
Item B	Considere agora a ocorrência de um crossing over em um dos pares de cromossomos. Quantos gametas diferentes podem ser produzidos?
Item C	O que ocorre se tivermos dois eventos de recombinação em dois pares de cromossomos diferentes? Quantos gametas são possíveis agora?
Item D	Qual é a probabilidade de formar um gameta com todos os cromossomos de origem paterna? E com todos maternos?

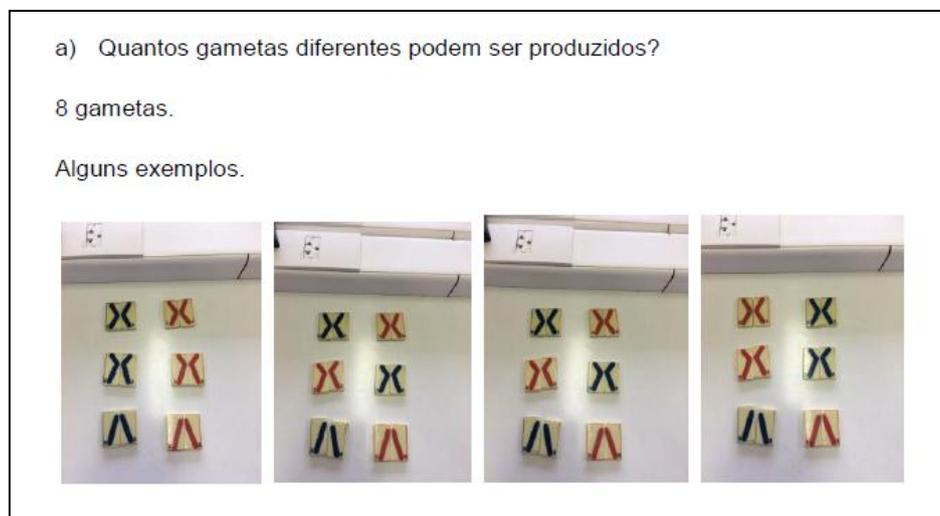
Em relação ao item [a], devido a limitação do número de peças de dominós, os estudantes foram dispensados de fazer a representação. Foi, desta maneira, admitida como satisfatória as respostas com uma simples memória de cálculo, utilizando a fórmula 2^n , onde n é igual ao conjunto básico de cromossomos. Como exemplo, a resposta satisfatória apresentada pelos estudantes [EG6] e [EG14].

Imagem 8 - Resposta satisfatória apresentada ao primeiro item da questão 3 na atividade 2

A) Podem ser formados **8** ($=2^3$) gametas diferentes. Assim, a probabilidade de cada um desses 8 gametas ser produzido é de $1/8$.

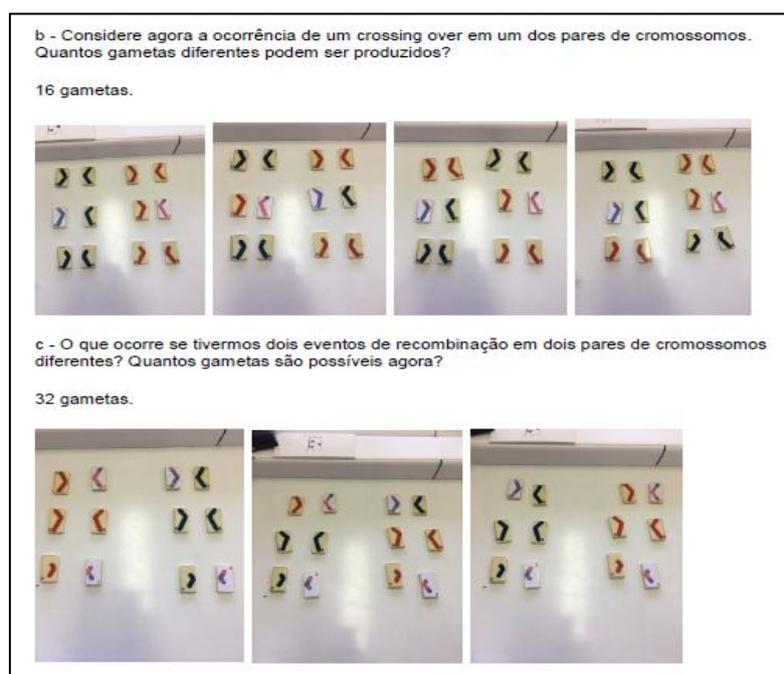
Os estudantes [EG12] e [EG15], voluntariamente prosseguiram com a representação com os dominós, fornecendo alguns exemplos de possíveis gametas.

Imagem 9 - Resposta satisfatória apresentada ao primeiro item da questão 3 na atividade 2



As respostas aos itens [b], [c], necessitavam que os respondentes considerassem a ocorrência do crossing over. Tomemos com exemplo a imagem abaixo que compunha resposta da dupla [EG12] e [EG15].

Imagem 10 - Resposta satisfatória apresentada aos itens [b] e [c] da questão 3 na atividade 2



Como as peças dos dominós, em sua face secundária, possuem cromossomos com produtos de recombinação, ficou fácil e inteligível para os estudantes responderem satisfatoriamente aos dois itens dessa questão. No tangente ao item [d], último da questão, em geral as duplas apresentaram apenas o cálculo da probabilidade solicitada, conforme a resposta abaixo apresentada pelos estudantes [EG6] e [EG14].

Imagem 11 - Resposta satisfatória apresentada ao item [d] da questão 3 na atividade 2

D) A probabilidade de formar um gameta com todos os cromossomos de origem paterna, sem considerar eventos de crossing-over, é $1/8$ e de origem exclusivamente materna é $1/8$.

A questão 4 da atividade 2 exigiu que o estudantes fizessem representações de genoma utilizando os dominós. O quadro 9 apresenta a quarta questão da atividade 2, aplicada durante a intervenção didática. A representação de genomas e de ploidias foi um dos conceitos básicos em que os estudantes apresentaram maiores dificuldades de desenvolvimento antes da aplicação da atividade com os dominós, essa limitação de abstração foi identificada logo na primeira atividade com a utilização dos objetos de aprendizagem. Nesta questão os estudantes [EG6] e [EG14] fizeram uma boa representação e desenvolveram um raciocínio para a resolução dos dois itens apresentados nesta questão.

Quadro 11 - Quarta questão aplicada na atividade 2

Atividade 2	
META B	Compreender a relação entre cromossomos, cromátides e moléculas de DNA.
Questão 4	
Nesta atividade utilizar somente as peças dos cromossomos 1 e 2. Considere que esses 2 cromossomos representam o conjunto monoploide de um organismo. Com esse material, organize os genomas apontados abaixo, representando-os na fase G1 do ciclo celular.	
Item A	a) genoma triploide (3n), quantos homólogos possui?
Item B	b) genoma tetraploide (4n), quantos homólogos possui?

Imagem 12 - Resposta satisfatória apresentada aos itens [a] e [b] da questão 4 na atividade 2

4)
Há apenas dois cromossomos distintos mencionados no enunciado. $X=2$. Na fase G1, cada cromossomo possui apenas uma cromátide.

A) $3n=6$. Na fase G1 do ciclo celular, o número de tipos diferentes de cromossomos é 2, cada qual com 3 homólogos entre si, totalizando 6 cromossomos.



(a origem de cada cromossomo (materna ou paterna) pode variar).

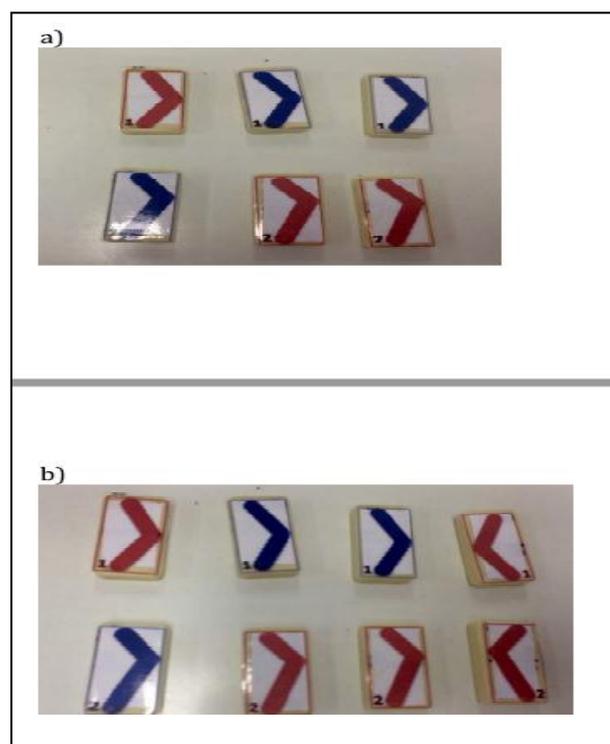
B) $4n=8$. Na fase G1 do ciclo celular, o número de tipos diferentes de cromossomos é 2, cada qual com 4 homólogos entre si, totalizando 8 cromossomos.



(a origem de cada cromossomo (materna ou paterna) pode variar).

A dupla de estudantes [EG1] e [EG8] também fizeram uma representação para quarta questão. Interessante destacar, que em ambos os casos os alunos estiveram atentos para solicitação de representar os cromossomos na fase G1 do ciclo celular e conseguiram representar corretamente essa fase.

Imagem 13 - Resposta satisfatória apresentada aos itens [a] e [b] da questão 4 na atividade 2



A questão 5 da atividade 2 passou por um processo coletivo de correção. Durante o encontro constatou-se que um grande número não dominavam os conceitos básicos solicitados para responder a questão. Recorrendo ao diário de bordo do pesquisador-observador, verifica-se que o estudante [EG1] afirmou em sala que faltou demais e portanto não compreendia muito bem os conteúdos exigidos para resolver a questão, neste momento a professora regente informa que esse ponto foi debatido em aula pretérita por meio de artigo disponibilizado no moodle, porém sana algumas dúvidas do estudante e o convida para responder a última questão da atividade diretamente no quadro (a professora fez a linha primeira como exemplo), para as demais, o estudante conta com a ajuda ativa da professora e dos colegas de turma. Abaixo segue a questão e a sua correção conforme construção em sala de aula.

Quadro 12 - Quinta questão aplicada na atividade 2

Atividade 2				
META B Compreender a relação entre cromossomos, cromátides e moléculas de DNA.				
Questão 5				
Complete o quadro considerando células de um organismo $2n=12$. A quantidade de DNA se representa pela letra C, sendo $2C$ = a quantidade de DNA em uma célula somática diplóide, na fase G1.				
	Nº cromossomos	Nº moléculas DNA	Quantidade DNA	Ploidia (X)
Célula somática G1	12	12	2C	2n
Célula somática G2	12	24	4C	2n
Célula em metáfase da mitose	12	24	4C	2n
Célula ao final da mitose	12	12	2C	2n
Metáfase meiose I	12	24	4C	2n
Metáfase meiose II	6	12	2C	n
Espermatozóide	6	6	C	n
Oócito	6	6	C	n

A atividade 3, buscou trabalhar a recombinação intercromossômica e principalmente a recombinação intracromossômica. Esta foi a segunda atividade realizada com o auxílio dos objetos de aprendizagem "combinar e recombinar com os dominós" e foi desenvolvida no primeiro encontro da quinta semana da intervenção didática. Os estudantes organizaram-se novamente em duplas aleatórias. Não foi solicitada, para esta atividade, o registro em fotos. A atividade foi previamente lida e explicada pela professora regente. Foi possível presenciar uma maior interação entre os componentes das duplas e das duplas entre si nesta atividade, visto que debateram sobre o genoma e compreendem a importância da variação no genoma.

O Quadro 13 apresenta a primeira questão da atividade 2, aplicada durante a intervenção didática.

Quadro 13 - Atividade 3 da intervenção didática

Atividade 3			
META D	Compreender a recombinação dentro do par de homólogos durante a meiose (<i>crossing-over</i>)		
Utilizando as peças do dominó, onde cada uma representa um alelo específico, organize os <i>loci</i> de um cromossomo hipotético (fase G1 do ciclo celular) utilizando as 4 características descritas acima. Em seguida, simule a meiose e observe os gametas gerados. Na tabela, registrar as sequências alélicas dos gametas de acordo com as simulações sugeridas (indivíduo 1 e indivíduo 2).			
Indivíduo 1.1:			
A - Representar o cromossomo do indivíduo 1 que apresenta os seguintes fenótipos: grupo sanguíneo B, Rh negativo, sensibilidade ao PTC e anemia, com homozigose para todos os <i>loci</i> .			
B - Simular a meiose considerando as 3 situações: não ocorrência de <i>crossing-over</i> (CO), ocorrência de 1 CO e ocorrência de 2 CO. Registrar a sequência alélica dos gametas resultantes. Os locais de CO são de livre escolha, mas devem ser especificados.			
Gametas	Não ocorrência CO	Ocorrência de 1 CO	Ocorrência de 2 CO
Indivíduo 2.1:			
A - Representar o indivíduo 2 que apresenta os seguintes fenótipos: grupos sanguíneo A, Rh positivo, sensibilidade ao PTC e traço falciforme; com heterozigose para todos os <i>loci</i> .			
B - Simular a meiose do indivíduo 2 considerando as 3 situações: não ocorrência de <i>crossing-over</i> , ocorrência de 1 CO e ocorrência de 2 CO. Registrar o conjunto de alelos dos gametas resultantes. Os locais de CO são de livre escolha, mas devem ser especificados.			
Gametas	Não ocorrência CO	Ocorrência de 1 CO	Ocorrência de 2 CO

Na primeira questão eles entendem que sem *crossing over* não há variação. Alguns estudantes passaram a debater temas como mutação, fazendo referências a outras formas de variação. Também ficou patente a maior habilidade dos estudantes na manipulação dos dominós, o que praticamente desobrigou a professora regente de intervir de maneira mais direta na atividade.

As imagens 14 e 15 demonstram a resoluções de atividades realizadas pelas duplas [EG7]/[EG11] e [EG1]/[EG13] respectivamente.

Imagem 14 - Resposta satisfatória apresentada na atividade 3 (A)

Indivíduo 1.1:

a) Representar o cromossomo do **indivíduo 1** que apresenta os seguintes fenótipos: grupo sanguíneo B, Rh negativo, sensibilidade ao PTC e anemia, com homocigose para todos os loci.

$$\begin{array}{cccc} I^B & d & F & S \\ I^B & d & F & S \end{array}$$

b) Simular a meiose considerando as 3 situações: não ocorrência de crossing-over (CO), ocorrência de 1 CO e ocorrência de 2 CO. Registrar a sequência alélica dos gametas resultantes. Os locais de CO são de livre escolha, mas devem ser especificados.

Gametas	Não ocorrência CO	Ocorrência de 1 CO	Ocorrência de 2 CO
1	$I^B d F S$	$I^B d F S$	$I^B d F S$
2	$I^B d F S$	$I^B d F S$	$I^B d F S$
3	$I^B d F S$	$I^B d F S$	$I^B d F S$
4	$I^B d F S$	$I^B d F S$	$I^B d F S$

Indivíduo 2.1:

a) Representar o indivíduo 2 que apresenta os seguintes fenótipos: grupo sanguíneo A, Rh positivo, sensibilidade ao PTC e traço falciforme; com heterocigose para todos os loci.

$$\begin{array}{cccc} I^A & D & F & S \\ i & d & F & \Delta \end{array}$$

b) Simular a meiose do indivíduo 2 considerando as 3 situações: não ocorrência de crossing-over, ocorrência de 1 CO e ocorrência de 2 CO. Registrar o conjunto de alelos dos gametas resultantes. Os locais de CO são de livre escolha, mas devem ser especificados.

Gametas	Não ocorrência CO	Ocorrência de 1 CO	Ocorrência de 2 CO
1	$I^A D F S$	$I^A d F S$	$I^A D F S$
2	$I^A d F S$	$I^A d F \Delta$	$I^A d F \Delta$
3	$i D F \Delta$	$i D F S$	$i d F S$
4	$i D F \Delta$	$i D F \Delta$	$i D F \Delta$

Imagem 15 - Resposta satisfatória apresentada na atividade 3 (B)

Indivíduo 1.1:

a) Representar o cromossomo do indivíduo 1 que apresenta os seguintes fenótipos: grupo sanguíneo B, Rh negativo, sensibilidade ao PTC e anemia, com **homozigose** para todos os loci. $I^B I^B$ dd FF Ss Se todos os locos estiverem em homozigose, não tem variação

b) Simular a meiose considerando as 3 situações: não ocorrência de crossing-over (CO), ocorrência de 1 CO e ocorrência de 2 CO. Registrar a sequência alélica dos gametas resultantes. Os locais de CO são de livre escolha, mas devem ser especificados

Gametas	Não ocorrência CO	Ocorrência de 1 CO	Ocorrência de 2 CO
1	I^B d F S	I^B d F S	I^B d F S
2	I^B d F S	I^B d F S	I^B d F S
3	I^B d F S	I^B d F S	I^B d F S
4	I^B d F S	I^B d F S	I^B d F S

Indivíduo 2.1:

a) Representar o indivíduo 2 que apresenta os seguintes fenótipos: grupos sanguíneo A, Rh positivo, sensibilidade ao PTC e traço falciforme, com heterozigose para todos os loci.

$I^A i$ Dd Ff Aa
 b) Simular a meiose do indivíduo 2 considerando as 3 situações: não ocorrência de crossing-over, ocorrência de 1 CO e ocorrência de 2 CO. Registrar o conjunto de alelos dos gametas resultantes. Os locais de CO são de livre escolha, mas devem ser especificados.

Gametas	Não ocorrência CO	Ocorrência de 1 CO	Ocorrência de 2 CO
1	I^A D F A	I^A D F A	I^A D F A
2	I^A D F A	I^A D F A	I^A D F A
3	i d f S	i d f S	i d f S
4	i d f S	i d f S	i d f S

Conclusão: Se todos os locos estiverem em homozigose, a ocorrência de crossing-over não afeta a diversidade dos gametas. Quando os locos estiverem em heterozigose, mesmo sem crossing-over, os gametas são diferentes, e o crossing-over aumenta a

9.3 Análise qualitativa das respostas dos alunos na atividade 4 (pós-teste)

Em relação ao pós-teste (atividade 4), as questões trabalhadas no questionário final (pós-teste), e as metas de aprendizagem correspondentes são apresentadas nos quadros a seguir. O quadro 14 apresenta as respostas para primeira questão do pós-teste, na última etapa de coleta de dados. Vale destacar que no pós-teste, não foi solicitado aos estudantes que realizassem suas autoavaliações para cada item das questões propostas.

Quadro 14 - Correspondência entre a primeira questão aplicada no pós-teste e a meta de aprendizagem B

Atividade 4 (Pós-teste)				
META B	Compreender a relação entre cromossomos, cromátides e moléculas de DNA.			
Questão 1	Respostas/Adequação			
Elabore um pequeno texto (até 10 linhas) onde apresenta a relação entre os termos DNA, cromossomos, genes e genoma.	S	PS	I	NR
	8	4	3	0
Totais	8	4	3	0

Legenda: S - satisfatório; PS - parcialmente satisfatório; I - insatisfatório; NR - não respondeu

Fonte: próprio autor

A primeira questão aplicada no pós-teste é uma reaplicação da última questão do pré-teste, com uma sutis, porém significativas modificações, como por exemplo, acrescentar o termo gene. Para essa questão, oito estudantes apresentaram respostas consideradas satisfatórias. As respostas apresentaram-se mais elaboradas, em comparação com o questionário exploratório, trazendo elementos tratados ao longo de todo o processo de intervenção.

[EG1] - *"Os genes, pelo conceito em si próprio, estão em crise. Existe o conceito mendeliano, o bioquímico, o molecular, entre outros. Apesar disso, pode-se dizer que é um consenso que o gene é um segmento do DNA que codifica um produto funcional, sendo unidade de herança, estrutura e informação (mas esse é o conceito molecular). Já o genoma é todo o código genético em sua totalidade. Os cromossomos são as moléculas de DNA condensadas e armazenadas".*

[EG6] - *"O genoma sendo o conjunto total de DNA de uma célula está organizado em forma de cromossomos onde estão localizados os genes de um organismo".*

EG7] - *"O DNA é organizado em cromossomos, meio pelo qual a informação será passada através dos gametas. Os genes, contidos nos cromossomos, vão ser expressos ou não (fenótipo) dependendo de uma série de fatores. O genoma básico das espécies variam bastante, dependendo do número de*

cromossomos. O nosso genoma básico é o mesmo de uma célula haplóide ($x=n=23$), pois somos organismos diplóides ($2n=46$)".

- [EG10] - *"DNA, cromossomos, gene e genoma. A base da hereditariedade dos organismos é o ácido nucléico, podendo variar entre DNA e RNA. Há variação entre os organismos quanto a organização do material genético na célula. Quando o material genético é DNA ele pode estar presente como uma única molécula ou como várias moléculas, sendo denominado de cromossomos. As características gerais de um ser está totalmente contida em seu genoma, seja no DNA nuclear, seja no DNA mitocondrial, seja no DNA do cloroplasto. Não significa, porém, que o genoma inteiro seja responsável por determinar as características, ele possui regiões que, quando transcritas, desempenham funções no organismo, chamadas de genes".*
- [EG11] - *"O genoma de um organismo é o conjunto total do material genético de uma célula, incluindo o genoma nuclear, mitocondrial e do cloroplasto... No núcleo esse genoma nuclear pode se condensar e se organizar em cromossomos durante a divisão celular. Nos cromossomos estão localizados os genes, que é união de sequências genômicas que codificam um conjunto de produtos funcionais. Nos eucariotos, o código genético é o DNA; esse DNA é associado a proteínas para que seja empacotado, mas é ele que carrega a informação genética".*
- [EG12] - *"DNA, cromossomos, gene e genoma. Desde a descoberta da "nucleína" por Miescher, a definição de ácidos nucléicos como base da herança por Avery, até a definição da estrutura do DNA por Watson e Crick, a genética encontrou bastante dificuldade para responder questões que hoje parecem simples sobre herança. Colocar os cromossomos como base da herança foi algo que veio do trabalho de diversos cientistas. Porém, os conceitos de gene e genoma causam confusão ainda no século 21. Quebrar o conceito 1 gene - 1 proteína e entender o mesmo como um processo, em que sequências genômicas geram produtos funcionais é um desafio em que os modelos moleculares trabalham para nos auxiliar e entender como o genoma consegue gerar tanta variação a partir da sequência completa das bases de um organismo".*
- [EG13] - *"DNA, cromossomos, gene e genoma. É conhecimento de que o DNA é o material genético de cada indivíduo, o qual contém todas as informações vitais para cada ser. O nosso DNA encontra-se descondensado, um emaranhado de fitas lineares nos núcleos das nossa células, o qual é difícil de observar ao microscópio, nesse estado. Entretanto, durante as divisões celulares (essenciais para a manutenção do número de células e ploidia de cada espécie), é possível observar o DNA, na sua forma mais condensada, os cromossomos. Os cromossomos contem partes que são responsáveis, por codificar conjuntos de produtos funcionais (ou não), que são os genes. O genoma é a sequência completa de bases de um organismo, e difere em cada espécie. Nas células somáticas, diz-se que o genoma é diplóide e nos gametas é haplóide (humanos, plantas)".*
- [EG14] - *"O DNA dos nossas células compõem cada um dos nossos 46 cromossomos, também o material genético mitocondrial que, em conjunto, constituem nosso genoma. Nos cromossomos, diferentes sequências de nucleotídeos podem ser transcritas em RNA e traduzidos em proteínas/enzimas. Os genes são esse sequências.*

Quatro estudantes apresentaram respostas parcialmente satisfatórias para a primeira questão. As respostas estão voltadas para composição bioquímica e estrutura do DNA ou explicitando algum processo ou função do material genético.

- [EG2] - *"O gene é a unidade de função e estrutura, ou seja, a região do genoma, que consiste de um segmento de DNA e tem localização fixa no cromossomo".*
- [EG5] - *"O genoma humano é composto pelo material genético dos pais. Na mitose um tipo de divisão celular, a célula filha tem o material genético idêntico ao da célula mãe. O DNA que está organizado no núcleo em heterocromatina e em uma cromatina começa a se enovelar e formar o cromossomo. Nesse cromossomo se encontram o loci gênicos, onde existe a presença de genes que podem ou não determinar uma característica. O processo segue com a duplicação do material genético, a migração para a placa metafásica e por fim a separação do material e das células filhas".*
- [EG8] - *"O DNA de um indivíduo é essencial para que este apresente suas características ao longo de sua vida. É nele que está contida toda informação necessária desde a produção de moléculas até a regulação dos genes, que são sequências do DNA responsáveis pela produção de produtos funcionais potencialmente sobrepostos. Esse DNA está organizado em cromossomos, que nada mais são que moléculas de DNA associadas a proteínas, o que confere condensação desse material genético. Além disso, o conjunto de todo material genético de uma célula é classificado como genoma".*
- [EG9] - *"Estudos como o projeto 'Encoding' e 'Genoma Humano' ajudaram a formação de uma teoria que refuta termos e dogmas em genética. A descoberta do genoma humano, traz a tona o conceito de Gene, que seria um conjunto de sequências que podem codificar produtos. Os introns e exons mostram que o DNA, é responsável não somente em sua forma adquirida, e assim como os cromossomos, tem diferentes funções em diferentes tecidos.*

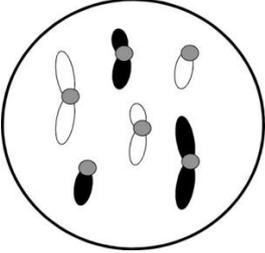
Três estudantes apresentaram respostas insatisfatórias. Nesse grupo predominou a aplicação incorreta de terminologias científicas.

- [EG3] - *"Colocando todos os termos em uma linha, podemos considerá-los e m ordem crescente DNA - gene - genoma. Ou decrescente genoma - gene - cromossomo - DNA. Genoma é o que consideramos como e qualquer material genético. Logo após podemos considerar os genes como unidade codificadora. Em seguida os cromossomos, cada um contendo genes diferentes, onde todos juntos formam o genoma e DNA o que forma o cromossomo, que forma o gene, que forma o genoma".*
- [EG4] - *"O genoma é o conjunto de todas as bases nitrogenadas de um organismo, e ele se organiza em duas fitas paralelas que se denomina DNA, o cromossomo é uma sequência de DNA que condensa na metáfase o gene é uma parte da molécula de DNA funcional".*
- [EG15] - *"O genoma é todo nosso material genético. Nele temos os genes que através de um segmentos de DNA codifica uma proteína ou moléculas de RNA. Nos genes temos todas as nossas informações genéticas e é através deles que transmitimos nossas informações e características aos nossos descendentes.*

O genoma e os genes encontram-se (em sua forma mais condensada) nos cromossomos, localizados no núcleo das células".

O Quadro 15 apresenta as respostas para segunda questão do pós-teste, na última etapa de coleta de dados.

Quadro 15 - Correspondência entre a segunda questão aplicada no pós-teste e a meta de aprendizagem A

Atividade 4 (Pós-teste)						
META A	Visualizar o comportamento dos cromossomos durante as fases da mitose e da meiose.					
Questão 2			Respostas/Adequação			
Com base na imagem abaixo responda:			S	PS	I	NR
						
Item A	a) Qual é o número do genoma haplóide, do diplóide e do triplóide?		13	-	2	-
Item B	b) Com o genoma diplóide represente as seguintes fases: metáfase da mitose, metáfase I da meiose e metáfase II da meiose.		11	-	4	-
Totais			24	-	6	-

Legenda: S - satisfatório; PS - parcialmente satisfatório; I - insatisfatório; NR - não respondeu

Fonte: próprio autor

Dos quinze estudantes respondentes, temos treze que no item [a] apresentaram uma resposta correta, ou seja, genoma haplóide ($n=3$), genoma diplóide ($2n=6$) e genoma triploide ($3n=9$) e onze que no item [b] prestaram também resposta satisfatória representando corretamente as fases de metáfase da mitose, metáfase I da meiose e metáfase II de um genoma diplóide a partir da figura apresentada no enunciado da questão. Retomando o item [a], interessante avaliar a resposta apresentada pela estudante [EG7] que, diferentemente dos demais estudantes que responderam satisfatoriamente considerando que metade dos cromossomos eram de origem materna e a outra metade de origem paterna, esta estudante considerou todos os cromossomos distintos entre si, e por esse motivo, trabalhou sua resposta como genoma haplóide ($n=6$), o genoma diplóide ($2n=12$) e o genoma triploide ($3n=18$) proporcionando uma nova interpretação à questão. Quatro estudantes forneceram respostas insatisfatórias a

pelo menos um dos itens da questão. Enquanto os estudantes [EG3] e [EG15] demonstravam conhecimento insatisfatório somente no item [b], os estudantes [EG4] e [EG9] responderam insatisfatoriamente aos dois itens.

O Quadro 16 apresenta as respostas para terceira questão do pós-teste, na última etapa de coleta de dados.

Quadro 16 - Correspondência entre a terceira questão aplicada no pós-teste e as metas de aprendizagem C, D e E

Atividade 4 (Pós-teste)						
META C	Compreender a combinação entre os diferentes homólogos durante a meiose					
META D	Compreender a recombinação dentro do par de homólogos durante a meiose (<i>crossing-over</i>)					
META E	Compreender a associação entre transmissão da informação genética, meiose e formação de gametas					
META E	Compreender a associação entre transmissão da informação genética, meiose e formação de gametas					
META F	Compreender a origem da variação detectada nos gametas					
Questão 3			Respostas/Adequação			
Uma espécie de centeio cereal (<i>Secale cereale</i>) tem número cromossômico de 14, enquanto uma espécie de centeio selvagem canadense (<i>Elymus canadensis</i>) tem número cromossômico de 28. O cruzamento de <i>S. cereale</i> com <i>E. canadensis</i> pode produzir híbridos estéreis.			S	PS	I	NR
a) Qual seria o número cromossômico esperado nas células somáticas dos híbridos?			12	2	1	-
b) Suponha que o conteúdo de DNA nuclear em G1 de <i>E. canadensis</i> seja de 25,5 (2C) picogramas e que o conteúdo de DNA nuclear de <i>S. cereale</i> seja 16,8 (2C) picogramas. Qual seria o conteúdo esperado em uma célula somática metafásica do híbrido?			10	4	-	1
Totais			22	6	1	1

Legenda: S - satisfatório; PS - parcialmente satisfatório; I - insatisfatório; NR - não respondeu

Fonte: próprio autor

Em relação ao item [a] onze estudantes responderam corretamente que as células dos híbridos possuiriam vinte e um cromossomos. Destaca-se, entre estas, as respostas de dois estudantes, [EG7] e [EG13], que afirmaram que as células dos híbridos seriam triploides, isto é, o número cromossômico dos híbridos seria ($3n=21$). Dois estudantes, [EG6] e [EG8], desenvolveram respostas parcialmente satisfatórias. Em ambos os casos os estudantes iniciaram bem o desenvolvimento de suas respostas, contudo, erraram na resposta final. O estudante [EG9] errou o item ao afirmar que o número cromossômico seria igual a vinte e oito.

No que tange ao item [b], nove estudantes desenvolveram corretamente os cálculos para determinar o conteúdo de DNA em uma célula somática do híbrido. Neste grupo, quatro estudantes empregaram corretamente todos os termos científicos. Nas quatro respostas consideradas parcialmente satisfatórias ocorreu, igualmente ao que incidiu nas respostas ao item [a], isto é, um bom desenvolvimento da resposta, porém,

afirmações equivocadas ao final. O erro mais comum deste grupo de estudantes foi ignorar que a questão solicitava o conteúdo de DNA em uma célula somática metafásica do híbrido, e isso importou em muitos cálculos incompletos. O estudante [EG9] não responderam ao item.

O Quadro 17 apresenta as respostas para quarta questão do pós-teste, na última etapa de coleta de dados.

Quadro 17 - Correspondência entre a quarta questão aplicada no pós-teste e as metas de aprendizagem E e F

Atividade 4 (Pós-teste)							
META E	Compreender a associação entre transmissão da informação genética, meiose e formação de gametas.						
META F	Compreender a origem da variação detectada nos gametas.						
Questão 4				Respostas/Adequação			
Sobre a transmissão do material genético, explique:				S	PS	I	NR
Item A	O material genético que você recebe é igual ao que você transmite aos seus descendentes? Por que?			5	6	4	-
Item B	Se os filhos recebem parte do material genético de cada um dos genitores, por que os irmãos não são idênticos?			6	7	2	-
Totais				11	13	6	-

Das onze respostas consideradas satisfatórias para a quarta questão, somente cinco estão relacionadas ao item [a].

- [EG6] - *"Não. porque durante o processo de divisão celular (mitose e meiose) o material genético sofre diversas combinações, seja por recombinação aleatória dos cromossomos e crossing-over".*
- [EG7] - *"Não, pois há inúmeras possibilidades de formação dos gametas a partir do material genético que você recebeu dos seus pais, além de que você pode sofrer mutações no DNA ao longo da vida. Temos 23 pares de cromossomos e o número de combinações possíveis é de $2^{23} = 8.388.608$."*
- [EG11] - *"Não, quando nossas células sofrem meiose na formação dos gametas o material genético, os homólogos se separam de forma aleatória criando variabilidade, que pode aumentar ainda mais com a ocorrência de crossing-over, ou seja, nosso material genético se combina de formas diferentes para ser transmitido".*
- [EG12] - *"Não. Porque ao longo da vida, o material genético passa por diversas transformações, como, por exemplo acetilações e metilações no DNA que definem padrões de expressão gênica, mutações, sejam espontâneas ou não espontâneas; recombinação na meiose (crossing-over) e outros exemplos.*
- [EG14] - *"Não. Porque na formação de gametas, há eventos de recombinação cromossômica e de crossing-over entre cromossomos homólogos que promovem a variação do material genético a ser transmitido correspondente*

a 50%, uma vez que progenitora passará os outros 50% e terá também os eventos descritos acima para a formação do óvulo".

Respostas consideradas parcialmente satisfatórias, as ideias equivocadas de "metade" e "parte" do material genético sendo transmitido ainda são frequentes neste grupo de respostas.

- [EG2] - *"Não, porque o genoma que você recebe do seu pai e mãe vão gerar o seu, que ao transmitir aos descendentes vai haver processo de crossing-over na meiose".*
- [EG4] - *"O material genético que passamos aos nossos descendentes é diferente do nosso pois na meiose o pareamento dos cromossomos é independente tornando combinações diferentes".*
- [EG5] - *"Não. O material genético transmitido aos seus descendentes é metade de seu material genético, sendo uma mistura entre o material do pai e da mãe que constituem o seu material genético. Além do fato de que o DNA mitocondrial é passado apenas pela mãe".*
- [EG8] - *"Não, porque você só transmite parte do seu material genético para seus descendentes. Como afirma a 1ª Lei de Mendel - os fatores que determinam as características são separados na formação dos gametas e de maneira independente (2ª lei de Mendel)".*
- [EG10] - *"Não, pois com o passar dos anos mutações podem ser acumuladas, passando aos descendentes um material genético semelhante, mas não exatamente igual".*
- [EG13] - *"Não, porque devido a mitose e meiose, conseqüentemente a formação de gametas, é grande a 'mistura' e variabilidade do material genético transmitido, somando a isso, a inúmeras mutações que podem ocorrer na formação do genoma dos descendentes".*

Respostas consideradas insatisfatórias.

- [EG1] - *"Não, pois também vai existir o material genético da parceira/o da sua cópula".*
- [EG3] - *"Não porque eu recebo um combinação dos meus pais, já ele receberá parte dessa combinação combinada com a dou outro genitor".*
- [EG9] - *"Não é o mesmo material, visto o mesmo esta sujeito a alteração por fatores do meio ambiente, assim como alterações do mesmo organismo".*
- [EG15] - *"Não, pois o material genético sofre diversos combinações e recombinações e isso pode alterar as combinações alélicas".*

Em relação ao item [b], obteve-se seis repostas satisfatórias, sete repostas parcialmente satisfatórias e duas repostas insatisfatórias. As repostas consideradas satisfatórias foram:

- [EG5] - *"Os irmãos não são idênticos por dois fatores em especial, a combinação intercromossômica e a combinação intracromossômica. Na intercromossômica ocorre a segregação independente, onde um homólogo de um cromossomo pode ser herdado conjuntamente com qualquer um dos homólogos de um outro cromossomo. Já na combinação intracromossômica há o 'crossing-over', que gera novas combinações de alelos em uma cromátide".*
- [EG7] - *"Porque o número de combinações possíveis no gameta é gigante e na prole é maior ainda $2^{23} \times 2^{23} = 70.386.744.177.664$ ".*
- [EG10] - *"Pois durante a formação dos gametas, ocorrem processos que são responsáveis por promover a variação, como a segregação dos cromossomos e o crossing-over. Tendo isso como base, os gametas variam entre si, mesmo que minimamente, mas variam".*
- [EG11] - *"Porque eles recebem partes diferentes de cada um, por exemplo, o filho 1 pode receber da mãe um cromossomo que teve origem do seu avô, enquanto seu irmão recebe outro homólogo, da origem da avó. Na hora que os gametas estão sofrendo meiose esses homólogos se combinam de forma aleatória e independente. E vai além disso, mesmo se os irmãos forem idênticos geneticamente, eles podem apresentar alguns fenótipos diferentes devido a expressão dos genes, epigenética".*
- [EG12] - *"Por conta dos mecanismos de recombinação intercromossômica, que é a segregação independente; recombinação intracromossômica, que é a variação gerada por crossing-over e outros, como a epigenética, que por meio de reações diferentes ao ambiente, o material genético vai apresentar diferentes padrões de expressão gênica".*
- [EG14] - *"Porque os gametas que formarão cada zigoto sofrem crossing-over e podem receber diferentes cromossomos de cada par de homólogos, gerando zigotos e, conseqüentemente, indivíduos diferentes em seus genomas".*

Respostas consideradas parcialmente satisfatórias.

- [EG1] - *"Não são idênticos pois não recebem as mesmas partes do material genético. Nós recebemos metade do pai, metade da mãe, mas nunca são as mesmas porções. Em uma probabilidade quase inexistente em que dois irmãos receberam o mesmo material genético, eles ainda assim seriam diferentes, por razões fenotípicas e epigenéticas".*
- [EG2] - *"Por causa do processo de crossing-over, que permite a troca dos genes e pareamento diferentes, ou seja infinitas possibilidades".*
- [EG4] - *"Porque o material genético se diferencia na meiose devido ao pareamento independentes do cromossomo. Portanto os gametas tanto maternos quanto paterno possui o material genético diferente".*
- [EG6] - *"Porque a combinação de cromossomos maternos e paternos que é recebido por um gameta é por acaso, logo, existe variabilidade genética entre organismos originados da mesma prole".*
- [EG8] - *"Os irmãos não são idênticos geneticamente porque recebem partes diferentes do material genético de cada um dos genitores".*
- [EG9] - *"Porque o material esta sujeito a variações, tais como o crossing-over e a segregação independente, o que por si só já pode gerar uma grande diferença. Além do mais, a ativação e inativação de cada indivíduo, fatores*

ambientais e físicos, acabam reduzindo a chance de gerarmos os mesmo organismo".

[EG13] - *"Porque na formação dos gametas pode ocorrer a permutação, gerando células com material genéticos totalmente diferentes. São muitas combinações possíveis, por isso a probabilidade de dois gametas possuírem o material genético 'igual' é muito difícil, isso gera variações, por isso irmãos não são idênticos".*

Respostas consideradas insatisfatórias.

[EG3] - *"Por causa da segregação aleatória e independente crossing-over, mutação, etc".*

[EG15] - *"Devido a diversas modificações nos genes que são aleatórias e independentes".*

9.4 Análise qualitativa do grau de adequação e da evolução conceitual das visões dos alunos sobre o conceito de genoma e suas relações

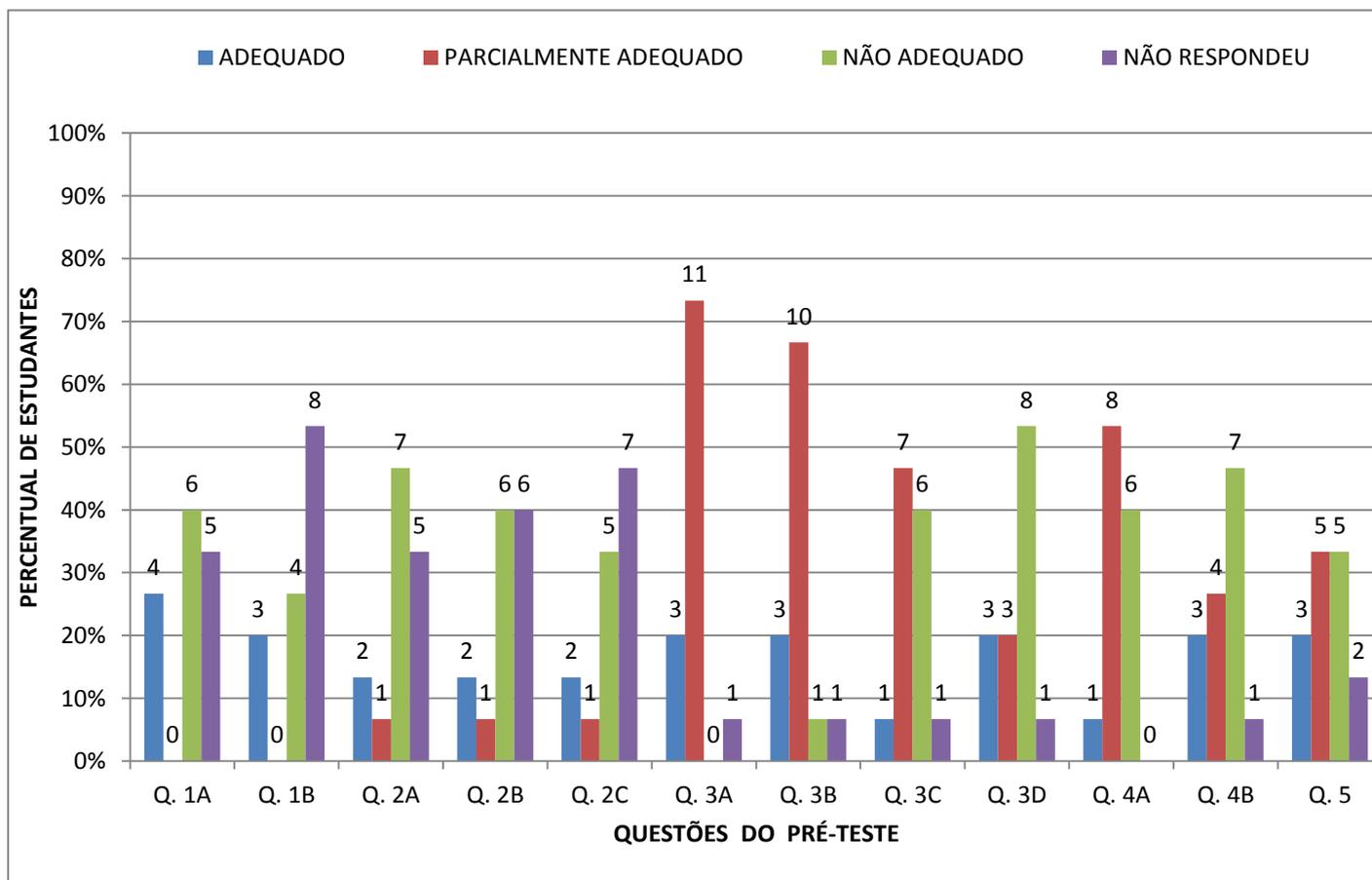
Os resultados do pré-teste foram utilizados para evidenciar as concepções dos estudantes sobre o conceito de genoma e suas relações no momento de seu ingresso na disciplina. As concepções epistemológicas inadequadas mais frequentes encontradas nas respostas dos estudantes no pré-teste estavam relacionadas com a diferenciação e caracterização de genomas e suas ploidias (questão 1), ao conceito de experimento (questão 3), ao papel dos experimentos na atividade científica (questão 4), à noção de modelo (questão 5), e às diferenças entre teorias e leis científicas (questão 6).

Como pode ser visto no Gráfico 1, houve um equilíbrio no pré-teste entre respostas satisfatórias e insatisfatórias e um predomínio de respostas parcialmente satisfatórias no que tange à definição dos conceitos científicos relacionados ao genoma de organismos hipotéticos com diferentes ploidias (questão 1), identificação das fases do ciclo celular e das divisões celulares por mitose e meiose e dinâmica dos cromossomos (questão 2), e relacionar a divisão celular por meiose e variação (questão 3 item [c] e [d]). A maioria dos estudantes não forneceu respostas satisfatórias para as questões que solicitavam que relacionassem os conceitos científicos de genoma, gene e cromossomos (questão 5).

A análise comparativa dos resultados do pré-teste e pós-testes favoreceu uma primeira apreciação do impacto que a intervenção didática teve sobre as concepções dos estudantes acerca dos conceitos de genoma e sua relações. O Gráfico 1 apresenta os

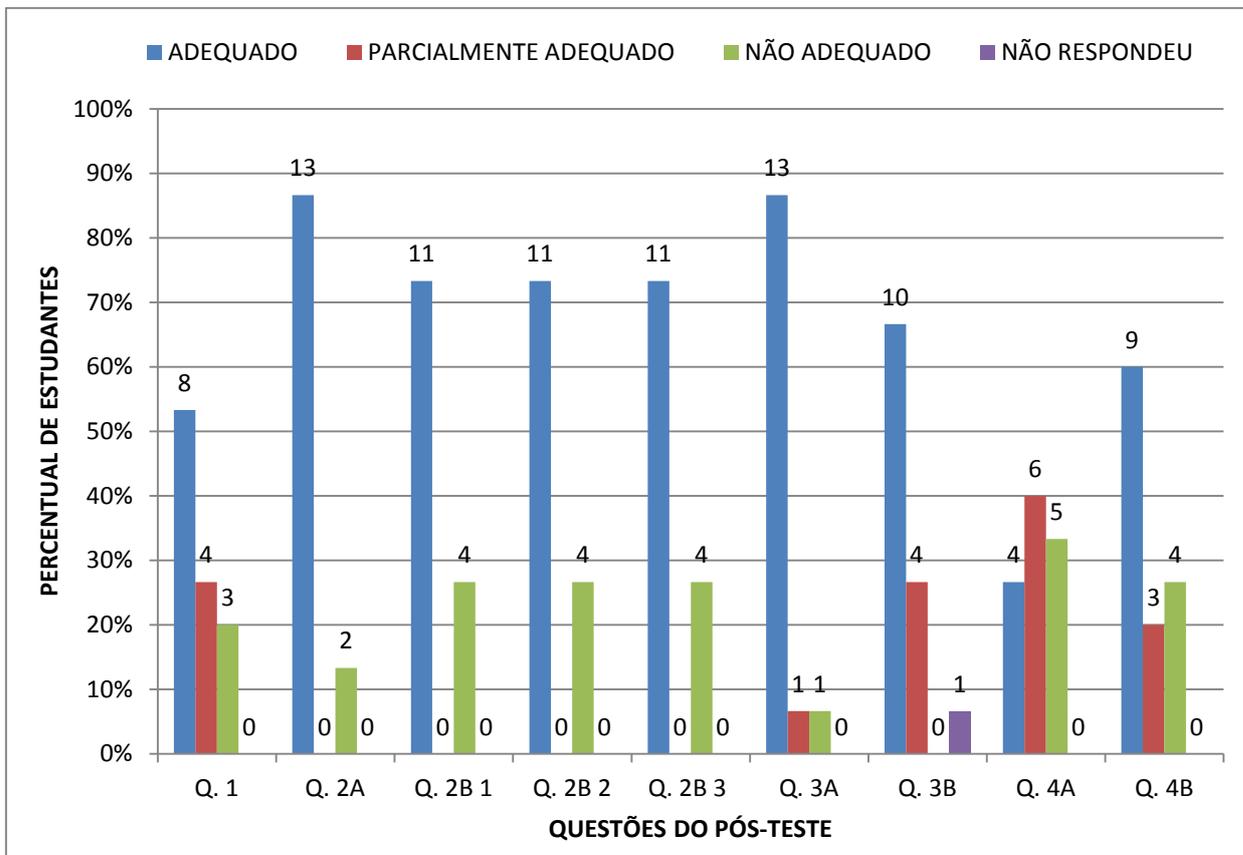
percentuais de respostas satisfatórias, parcialmente satisfatórias, insatisfatórias e não respondidas, para cada questão do instrumento, na primeira etapa de coleta de dados.

Gráfico 1 - Percentuais de respostas satisfatórias, parcialmente satisfatórias, insatisfatórias e não respondidas na primeira etapa de coleta de dados



Quanto aos conteúdos epistemológicos nos quais os estudantes demonstraram maior dificuldade no pré-teste, os dados obtidos sugerem que, ao final do módulo didático, houve uma evolução significativa de suas concepções sobre os conceitos trabalhados. Sobre as questões que solicitavam que os estudantes relacionassem os conceitos de genoma, DNA, cromossomos e genes, mais de cinquenta por cento das respostas dadas foram consideradas satisfatórias no pós-teste, em contraste com somente 20% no pré-teste. Na mesma questão, a proporção de respostas insatisfatórias caiu pela metade, de 40% para 20%. O Gráfico 2 apresenta os percentuais de respostas satisfatórias, parcialmente satisfatórias, insatisfatórias e não respondidas, para cada questão do instrumento, na segunda etapa de coleta de dados.

Gráfico 2 - Percentuais de respostas satisfatórias, parcialmente satisfatórias, insatisfatórias e não respondidas na segunda etapa de coleta de dados



Um sucesso significativo parece ter sido conseguido também no caso da dinâmica dos cromossomos, representação dos genomas e ploidias (questão 2). A compreensão dos estudantes sobre a dinâmica dos cromossomos subiu de pouco mais de 10% de respostas julgadas satisfatórias dadas à questão 2 o pré-teste, para quase 90% no pós-teste.

Quanto transmissão do material genético (questão 4), também foi observada evolução conceitual, dado que não havia sido encontrada apenas 7% de respostas satisfatória no início do módulo, contra 60%, no pós-teste.

9.5 Avaliação do jogo dos dominós como estratégia para o ensino e aprendizagem de conceitos em genética

Foram realizadas duas dinâmicas utilizando os dominós. As atividades, foram desenvolvidas em duplas, o que favoreceu a manipulação do material e a discussão das questões propostas. O quantitativo reduzido de estudantes inscritos na disciplina favoreceu o acompanhamento das atividades. Na primeira dinâmica, denominada de atividade 1, foram solicitadas representações de arranjo de genomas hipotéticos (monoplóides, diplóides e poliplóides), assim como representações da dinâmica dos cromossomos durante as divisões celulares por mitose e meiose. Para segunda dinâmica, denominada de atividade 2, executada com intervalo de duas semanas após a primeira, foi proposta uma abordagem sobre a recombinação intracromossômica e intercromossômica. Ao final de cada um dos dois encontros, as atividades foram comentadas, debatidas e resolvidas coletivamente, com o intuito de dirimir quaisquer dúvidas sobre a temática abordada.

Uma das finalidades da aplicação das dinâmicas foi atingir, com o auxílio dos OA, as metas de aprendizagem apresentadas por Bonadio, Paiva e Klautau (2015), já que de acordo com estes autores, tais metas possibilitam evidenciar erros conceituais, conhecimentos prévios equivocados e fixados ao longo tempo, ideias generalistas e de senso comum e dificuldades na articulação dos conceitos de cromossomos, divisão celular, variação e herança biológica.

Verifica-se que a prática com os dominós auxiliou substancialmente os estudantes em seu desenvolvimento quanto às metas de aprendizagem que pautaram as dinâmicas, em especial àquelas que versavam sobre as relações dos cromossomos durante as divisões celulares e articulação entre os conceitos de cromossomos, cromátides e moléculas de DNA. Contudo, quando trata-se de eventos aleatórios e que exigem maior abstração, apesar das respostas apresentadas serem satisfatórias, ainda persistem obstáculos que são, indiscutivelmente, desafios a serem superados. Ajustamentos na aplicação desta estratégia didática, com vistas ao ensino com efetividade ainda maior, podem auxiliar na reversão dessa realidade que estão imersos, atualmente, muitos estudantes.

Apesar de muito eficiente, a dinâmica com os dominós, não possui a pretensão de guiar sozinho todo o processo educacional sobre o genoma e suas relações. Sua intencionalidade, como constituinte de um método de ensino, é de melhorar o processo

de ensino e aprendizagem. Assim, os estudantes devem ser estimulados constantemente a utilizar outras técnicas para consolidar os conteúdos trabalhados, extrapolando, desta forma, a dependência da aula expositiva que é uma técnica que coloca exclusivamente o professor no centro da atividade educacional.

A Tabela 2 apresenta resultados da avaliação que este jogo recebeu dos estudantes.

Tabela 2 - Avaliação do jogo "combinar e recombina com os dominós" realizada por estudantes do curso de graduação em Ciências Biológicas da Universidade de Brasília

Pergunta/resposta	Muito	Moderadamente	Pouco	Não consigo avaliar
A utilização dos dominós auxiliou na execução das atividades 2 e 3 do Bloco I?	80%	13%	0%	7%
As práticas com os dominós estimularam o aprendizado em relação aos conceitos científicos envolvidos nos temas de herança x reprodução?	93%	7%	0%	0%
A visualização do vídeo sobre os dominós, na internet, favoreceu o aprendizado autônomo?	73%	7%	13%	7%
Os conceitos apresentados no vídeo dos dominós estão claros?	66%	27%	0%	7%

A Tabela 3 apresenta resultados da autoavaliação realizada pelos estudantes ao final da aplicação do bloco I da disciplina, nela verificamos que o livro didático foi o material disponibilizado menos explorado pelos estudantes. Fato curiosamente preocupante visto que, os livros pertencem a cultura acadêmica. Isso pode estar relacionado a um problema de leitura no âmbito universitário, já destacado em vários estudos como aponta Santos (2006), segundo a autora, as pesquisas e estudos destacam que a importância da leitura é o caminho para o acesso e a produção do conhecimento. Da mesma forma apontam que muitos estudantes ingressam no Ensino Superior apresentam grandes dificuldades em relação à leitura, reflexo de uma tradição no ensino do país em que as práticas docentes não conduzem a formação de leitores proficientes.

Concordamos que, se o estudante não possui habilidades necessárias para compreensão de textos, é papel do professor criar oportunidades, em sala de aula, para

que isso ocorra, isso porque o professor tem um papel determinante no desenvolvimento de habilidades que os estudantes ainda não adquiriram.

Tabela 3 - Autoavaliação realizada pelos estudantes do curso de graduação em Ciências Biológicas da Universidade de Brasília

Pergunta/resposta	Muito	Moderadamente	Pouco	Não consigo avaliar
Manipulei os dominós	73%	13%	0%	13%
Realizei os exercícios propostos	87%	13%	0%	0%
Procurei ajuda do professor/monitor	53%	20%	27%	0%
Tirei dúvidas por intermédio do livro didático	33%	7%	33%	27%
Tirei dúvidas com os colegas	47%	7%	33%	13%
Assisti o vídeo pela internet	73%	7%	7%	13%
Participei ativamente das aulas	54%	13%	33%	0%

A baixa utilização de recursos como a monitoria e a baixa interação entre os alunos proporcionada durante os encontros é outro ponto em destaque que frustrou o pressuposto de que, muito do que se aprende e ensina numa sala de aula depende das interações que os estudantes constituem com seus pares e com os objetos da realidade acadêmica que permanecem ao seu alcance.

10 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente dissertação relatou os resultados obtidos na aplicação de uma proposta explícita para o ensino do conceito de genoma e suas relações na disciplina de Genética do curso superiores de Ciências Biológicas da UnB. A proposta foi fundamentada na Teoria do Perfil Conceitual e na proposição de metas de aprendizagem que buscaram o desenvolvimento de aulas dialógicas para abordagem de questões epistemológicas em Genética, complementadas com a aplicação de atividades com apoio de objetos de aprendizagem.

Os resultados obtidos indicaram que a proposta alcançou, com considerável êxito, uma evolução conceitual das percepções dos estudantes sobre o conceito de genoma e suas relações. Para todas as metas de aprendizagem propostas, foi possível verificar um enriquecimento das respostas de todos os estudantes quando comparados os instrumentos de coleta utilizados no início e ao final do módulo da disciplina, em destaque, temos os conteúdos epistemológicos específicos que versavam sobre a relação entre gene, genoma, cromossomos e DNA, como também os conteúdos identificados como críticos, tais como a transmissão e variação do material genético. Os dados avaliados podem ser colocados com bastante segurança, pois apesar do tamanho da amostra estudada (15 estudantes), com a variedade de dados que foi coletada, detectamos uma diferença significativa do grau das percepções dos conceitos trabalhados, quando comparados o questionário exploratório e a atividade final. A proposta, contudo, evidenciou que os conhecimentos em Genética ainda são bastante compartimentalizados, com predomínio de concepções alternativas, ideias espontâneas e aplicação inadequada de termos na elaboração de conceitos científicos, especialmente quando se trata da transmissão do material genético, visto que em mais de 30% das questões que abordavam o tema, ainda persistiram respostas utilizando termos como transmitir "metade" ou "parte" ou ainda falavam sobre a "mistura de material genético".

Bem, o cérebro é o órgão da aprendizagem. Os nossos cérebros se desenvolvem e reorganizam durante toda nossa vida. As transformações e adaptações em razão de variados estímulos, oriundo das diferentes experiências pelas quais passamos, são fenômenos inerentes aos nossos cérebros, que resultam na plasticidade neural. Sendo assim, segundo Kandel e Schwartz (2002), o processo de aprendizagem proporciona modificações estruturais no cérebro. Concordamos com Guerra (2011) quando afirma

que a "educação visa ao desenvolvimento de novos comportamentos num indivíduo, proporcionando-lhe recursos que lhe permitam transformar sua prática e o mundo em que vive". Assim, desde o planejamento da intervenção, não nos predispomos a fantasia de que qualquer progresso ocorresse de maneira simples. Já conscientes de que são inúmeras e de diversas naturezas as resistências a novos conhecimentos, foi que, desde o início, nos propusemos a desenvolver um modelo de aulas diferenciadas apoiadas na TPC que entende que os estudantes não devem ser conduzidos a mudar seus conceitos, e sim adquirir novos conceitos que podem coexistir com os já existentes, cabendo tão somente torná-lo consciente em quais situações torna-se mais adequado a utilização de cada um deles.

Nossa proposta de intervenção didática ofereceu um conjunto de ferramentas para o estímulo de processos cognitivos básicos de aprendizagem, com auxílio da leitura de livros textos e artigos científicos, interações coletivas que promovessem a compreensão oral e auditiva, atividades com objetos de aprendizagem que estimulassem a memória de trabalho, além de atividades de monitoramento da compreensão do conceitos propostos. Assim, nos respaldando em contribuições da neurociência, que destaque-se, não propõe uma nova pedagogia e tampouco é a saída para todas as questões de aprendizagem, entendemos que, o processo educacional tem como finalidade criar condições de aprendizagem em um contexto específico que incluem sala de aula, dinâmica do processo ensino-aprendizagem, família, comunidade, políticas públicas (GUERRA, 2011). Portanto, conhecendo da capacidade de transformação do cérebro diante dos estímulos e, compreendendo que a consolidação das memórias e consequentemente do conhecimento se dá compassadamente, o educador ficará diante de um novo universo de possibilidades e ao mesmo tempo de novos e grandes desafios para proporcionar novos direcionamentos e novas perspectivas aos seus processos de ensino e aprendizagem.

Para o desenvolvimento dos encontros, valorizou-se as interações entre a professora regente e os estudantes, utilizamos como procedimento didático-pedagógico principal o estímulo dos estudantes a refletirem e reformularem o raciocínio em relação ao conceitos que estavam sendo construídos, ou seja, ao invés da professora regente responder diretamente aos questionamentos, sempre redirecionava as questões para os estudantes, para desenvolvessem coletivamente um resposta. Esse ponto é interessante pois, no início da intervenção, a participação da turma mostrava-se tímida, porém, com o progresso das aulas e principalmente depois da primeira atividade com os dominós, as interações e participações

dos estudantes aumentaram bastante até se tornarem constantes e naturais. É importante que os estudantes ampliem a consciência de seus próprios desenvolvimentos e, nesse processo, inquestionavelmente, os vínculos sociais e as interações interferem positivamente nessa estruturação cognitiva.

No caso da aceitação de objetos de aprendizagem na intervenção didática, 80% dos estudantes manifestaram que a utilização dos dominós auxiliou na execução das atividades propostas e 93% afirmaram que as práticas com os dominós estimularam o aprendizado em relação aos conceitos científicos envolvidos nos temas de herança e reprodução. Esses dados são importantes, pois evidenciam a efetividade desse recurso para o ensino de Genética. Essas constatações só aumentam em importância quando confrontadas com as autodeclarações de que apenas 33% do grupo de estudantes utilizaram o livro didático para estudar e tirar suas dúvidas. Em nossas reflexões, a razão da baixa leitura acadêmico-científica, apesar do estímulo constante em toda sequência didática para leitura individual e da preparação de momentos específicos para essa prática de forma coletiva, é reflexo do que consideramos uma triste realidade da educação brasileira, qual seja, a de que os estudantes independente do nível, não são educados para domínio da capacidade de leitura como condição para se concretizar a aprendizagem.

Diante do exposto, acreditamos que o produto desta pesquisa, que é um módulo didático, configura-se como uma contribuição dinamizadora do ensino de Genética. Desta maneira, nossa pretensão com a proposta de intervenção didática oferecida a seguir, além da perspectiva de subsídio teórico e prático, é a de que sua leitura e aplicação possa ser ressignificada constantemente, visto que entendemos que o processo de ensino e aprendizagem deve ser compreendido como uma dimensão dinâmica e coletivamente construída.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta pesquisa nos propusemos, desde o início, a desenvolver um trabalho que proporcionasse uma reflexão, alicerçado no referencial da TPC, como mediadora para o entendimento dos obstáculos epistemológicos e da possibilidade de aprendizagem do conceito de **genoma e suas relações**. Convém ressaltar que não nos propusemos a traçar perfis conceituais do conceitos abordado. Este trabalho também foi marcado pela utilização de metas de aprendizagem como referenciais de adequação ao conhecimento científico dos conceitos trabalhados.

Os dados obtidos a partir da realização desta pesquisa nos permitiu realizar algumas considerações. Inicialmente verificamos que os resultados a que chegamos confirmam as pesquisas apresentadas na literatura quanto a falência do ensino e aprendizagem em Genética, pois identificamos, já no início da intervenção, limitações de contextualização e articulação dos conceitos básicos em genética, assim como também foram evidenciados episódios onde os estudantes forma incapazes de distinguir conceitos básicos como os de genoma, cromatina, gene, cromossomo e DNA, demonstrando que o conhecimento científico apresentava-se pouco sedimentado. A dificuldade na associação dos conceitos biológicos básicos da genética aos processos biológicos mais complexos foi outra grande dificuldade apresenta pelos estudantes. Do mesmo modo, foi identificado de maneira recorrente, que muitos estudantes apresentaram conceitos cientificamente incorretos, derivados das ideias espontâneas, senso comum e concepções alternativas que eles carregam em Genética.

Nossas constatações de que os conceitos básicos em Genética são trabalhados através de processos que não permitem uma sólida apropriação de conhecimentos científicos pelos estudantes, só reforçou nossa convicção de que somente com a utilização das novas metodologias no processo de ensino-aprendizagem, a partir do desenvolvimento e uso de novas práticas por professores e estudantes, inseridas verdadeiramente no cotidiano acadêmico e não apenas como pura e simples introdução de novos recursos em antigos métodos educativos, podem reverter essa realidade.

Numa visão universal, os resultados obtidos também indicam que conseguimos alcançar, com nossa proposta de intervenção didática, nosso objetivo geral que era o de tornar mais efetivo o ensino e aprendizagem de conceitos básicos de Genética no

Ensino Superior e, em decorrência disto, conseguimos desenvolver um material didático que contempla nosso propósito educacional.

Recorrendo a duas questões que nortearam essa dissertação, quais sejam: "*é possível a utilização da Teoria do Perfil Conceitual como pressuposto teórico para elaboração de estratégias de ensino e aprendizagem em Genética diretamente na sala de aula?*" e "*como a elaboração e proposição de uma estratégia de ensino com o apoio dos objetos de aprendizagem "combinar e recombina com os dominós", para trabalhar com a Teoria do Perfil Conceitual de **genoma e suas relações** pode tornar mais efetivo o ensino e aprendizagem da Genética em sala de aula no Ensino Superior?*" podemos seguramente afirmar que, no tocante a primeira questão levantada, as características da TPC que favorecem a interação entre professores e alunos e dos alunos entre si, mostrou-se fundamental para construção e desenvolvimento coletivo de conceitos abordados em nossa intervenção, mostrando-se assim, como um instrumento valioso para a análise da estruturação de ideias relativas a conceitos básicos em Genética.

A utilização TPC favoreceu também o desenvolvimento, de um modo mais produtivo, das atividades acadêmicas em sala de aula, o que levou a uma ressignificação dos papéis do docente e dos estudantes no processo de ensino e aprendizagem, o que pode ser evidenciado pelos instrumentos de coleta de dados que indicam a evolução das ideias apresentadas pelos estudantes que participaram deste estudo. Em relação a segunda questão norteadora, ficou patente que a utilização do Teoria do Perfil Conceitual na estruturação de uma estratégia de ensino, ainda mais se não perdermos de vista uma das propostas da TPC que é a de modelar a heterogeneidade dos modos de pensar como também dos processos de gênese destes modos de pensar em determinados contextos sociais. Os objetos de aprendizagem foram bem aceitos pelos estudantes que reconheceram que os dominós auxiliaram substancialmente em seu desenvolvimento quanto às metas de aprendizagem que pautaram as dinâmicas, em especial àquelas que versavam sobre as relações dos cromossomos durante as divisões celulares e articulação entre os conceitos de cromossomos, cromátides e moléculas de DNA.

O essencial que se deve pontuar é que o processo de aprendizagem não possui uma fórmula definida, portanto, propomos aos professores sempre buscar novas maneiras de condução dos temas que pretendem explorar, para desta maneira ampliar as perspectivas de efetivação do florescer de uma visão crítica e, possivelmente, mais integrada do conhecimento científico.

Os resultados apresentados nos levam a crer que atingimos o objetivo geral da nossa pesquisa. Nesse sentido, acreditamos que nossa Sequência Didática vem contribuir positivamente com o Ensino de Biologia, em especial o Ensino de Genética, no Ensino Superior. Desta forma, a proposta de intenção resultante desta pesquisa, visa contribuir para as futuras práticas dos docentes para como os estudantes e dos estudantes entre si, redirecionando a visão do personagens do processo de ensino e aprendizagem para novas possibilidades de ensino, favorecendo a constante reconstrução do ambiente de sala de aula.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMABIS, José Mariano. MARTHO, Gilberto Rodrigues. *Biologia*. 2. ed. São Paulo: Moderna, 2004.

AMARAL, E. M. R., MORTIMER, E. F. Uma Proposta De Perfil Conceitual Para O Conceito de Calor. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 1, n.3, 2001.p.5-18.

ANDRADE, Gabriela Barbosa de. O Ensino De Genética Na Formação Superior: Uma Experiência de Educação CTS (Ciência – Tecnologia – Sociedade). Dissertação de Mestre em Ensino de Ciências – Área de concentração “Ensino de Biologia”, pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências da Universidade de Brasília. Brasília: 2017.

AUDINO, Daniel Fagundes; NASCIMENTO, Rosemy da Silva. Objetos de Aprendizagem - Diálogos Entre Conceitos E Uma Nova Proposição Aplicada à Educação. *Revista Contemporânea de Educação*, vol. 5 n. 10, jul/dez 2010.

BALBINO, Raquel Ribeiro ; CARNEIRO, L. H. X. ; SOUZA, M. M. ; PAULA, M. M. V. ; SOUZA, F. F.. Jogos Educativos Como Objetos De Aprendizagem Para Pessoas Com Necessidades Especiais. *RENOTE. Revista Novas Tecnologias na Educação* , v. 7, p. 3, 2009.

BARROS JUNIOR. Uma breve história da eugenia mundial - a manipulação genética de Platão a Michael Sandel. *Revista da Faculdade de Direito de Campos*. volume 1, nº1, 2017.

BORGES-OSÓRIO, Maria Regina. ROBINSON, Wanyce Miriam. *Genética Hmana*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.

BRAGA, Cleonice Miguez Dias da Silva; FERREIRA, Louise Brandes Moura; GASTAL, Maria Luisa de Araújo. O uso de modelos no ensino da divisão celular na perspectiva da aprendizagem significativa. VII Enpec: Florianópolis, 2009.

BRITO, Márcia Regina Ferreira de. O ensino e a formação de conceitos na Sala de aula, in: Mira, Maria Helena Novaes; Brito, Marcia Regina Ferreira de (org): *Psicologia na educação: articulação entre pesquisa, formação e prática pedagógica (Coletâneas da Anpepp no. 5, pag. 73-93)*. Rio de Janeiro: Associação Nacional de Pesquisa e Pós-graduação em Psicologia. 1996.

CABALLERO, Manuela Armenta. Algunas ideas del alumnado de secundaria sobre conceptos básicos de Genética. *Enseñanza de las Ciencias*, 2008, 26(2), 227–244.

CALDAS, Joseane Manfresoni. Uma história da hereditariedade. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC: 2017.

CALDAS, Joseane Manfresoni. SAALFELD, Kay. A Hereditariedade nos Tempos de Fritz Muller. Anais Eletrônicos do 15º Seminário Nacional de História da Ciência e da Tecnologia. Florianópolis, SC, 16 a 18 de novembro de 2016.

CARNEIRO, Sirley Pereira; DAL-FARRA, Rossano André. As situações-problema na aprendizagem dos processos de divisão celular. *Acta Scientiae Canoas* v. 13 n.1 p.121-139 jan./jun. 2011.

COUTINHO, F. A.; MORTIMER, E. F.; EL-HANI, C. N. Construção de um perfil para o conceito biológico de vida. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 12, n. 1, p. 115-137, 2007.

CENSI, Adriane; COSTAS, Fabiane AdelaTonetto. Aprendizagem mediada na formação de conceitos cotidianos: implicações nas dificuldades de aprendizagem. IX ANPED SUL. 2012.

DIAS, Maria Sara de Lima; KAFROUNI, Roberta; BALTAZAR, Camilla Silva; STOCKI, Juliana. A formação dos conceitos em Vigotski: replicando um experimento. *Revista Quadrimestral da Associação Brasileira de Psicologia Escolar e Educacional*, SP. Volume 18, Número 3, Setembro/Dezembro de 2014: 493-500.

FALKEMBACH, G. A. M. O lúdico e os jogos educacionais. Rio Grande do Sul: Centro Interdisciplinar de Novas Tecnologias na Educação - UFRGS, 2013. p. 1-8.

FERRARI, Nadir. SCHEID, Neusa Maria John. Pangênese e teoria cromossômica da herança: a persistência de idéias? *Filosofia e História da Biologia*, v. 3, p. 305-316, 2008.

FIALHO, N. N. Os jogos pedagógicos como ferramentas de ensino. In: VIII Congresso Nacional de Educação da PUCPR - EDUCERE e no III Congresso Iber-Americano sobre Violências nas Escolas - CIAVE, 2008, Curitiba. VIII Congresso Nacional de Educação da PUCPR - EDUCERE e no III Congresso Iber-Americano sobre Violências nas Escolas - CIAVE. Curitiba: Champagnat, 2008. p. 12298-12306.

FRANÇA, Jacqueline A. Araújo. Ensino- aprendizagem do conceito de “célula viva”: proposta de estratégia para o ensino fundamental. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília. Instituto de Biologia/ Física/Química. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências. Brasília, 2015. 136 P.

FRANZOLIN, Fernanda. Conteúdos básicos de genética para o Ensino Médio: comparando as opiniões dos professores da Educação Básica, dos docentes do Ensino Superior e dos documentos curriculares estaduais. IX CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE INVESTIGACIÓN EN DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS. COMUNICACIÓN. Girona, 9-12 de septiembre de 2013.

GALVÃO, Maria do Livramento ; Teixeira, A. F. ; RUIZ, M. A. S. . A formação de conceitos científicos através de concepções alternativas no ensino de química. In: Congresso internacional da AFIRSE / V Colóquio Nacional da AFIRSE ? Secção Brasileira, 2009, João Pessoa. Políticas educacionais e práticas educativas, organizado

pela Universidade Federal da Paraíba, durante o período 18-21 outubro/2009. João Pessoa: UFPB, 2009.

GIACÓIA, L. R. D., Conhecimento básico de genética: Concluintes do Ensino Médio e Graduandos de Ciências Biológicas. 2006. 88f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência). Faculdade de Ciências, UNESP, Bauru, 2006.

GRANDO, Anita; KONRATH, Mary Lúcia Pedroso; TAROUCO, Liane Margarida Rockenbach. Objetos de aprendizagem para M-learning In: Congresso Nacional de Tecnologia da Informação e Comunicação, 2004, Florianópolis.. In: SUCESU Nacional, 2004, Florianópolis, 2004.

GRIFFITHS, Anthony J. F. Introdução à Genética. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.

GUERRA, L. B.. O diálogo entre a neurociência e a educação: da euforia aos desafios e possibilidades. Revista Interlocação, v. 4, p. 3-12, 2011.

HAUSMANN, Rudolf. História da biologia molecular. 2. ed. Ribeirão Preto, SP: Fundação de Pesquisas Científicas de Ribeirão Preto, 2002.

JANES-FONSECA, Cristiane Regina Xavier; LIMA, Elieuzza Aparecida de. O processo de formação de conceitos na perspectiva Vigotskiana. Revista da FAEEBA – Educação e Contemporaneidade, Salvador, v. 22, n. 39, p. 195-204, jan./jun. 2013.

JUSTINA, L. A. D.; FERLA, Marcio Ricardo. A utilização de modelos didáticos no ensino de Genética - exemplo de representação de compactação do DNA eucarioto. Arquivos do Mudi, Maringá - Paraná, v. 10, n.2, p. 35-40, 2006.

KANDEL, ER; SCHWARTZ, JH. Princípios da neurociência. 4ª ed. Barueri: Manole; 2002

KLAUTAU-GUIMARÃES, N.; AURORA, A.; DULCE, D.; SILVIENE, S.; HELENA, H. y CORREIA, A. Relação entre herança genética, reprodução e meiose: um estudo das concepções de estudantes universitários do Brasil e Portugal. Enseñanza de las Ciencias, Número Extra VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, Barcelona, pp. 2267-2270, 2009.

KLAUTAU-GUIMARÃES, M.N.; OLIVEIRA; UAB/UNB. Combinar e recombinar com os dominós. Resenhas. Genética na Escola, v.08, Nº 2, 2013.

KLAUTAU-GUIMARÃES, M.N.; OLIVEIRA, Silviene F.; AKIMOTO, A. K.; HIRAGI, Cassia de Oliveira; BARBOSA, L.; ROCHA, Dulce Maria Sucena; António Correia . Combinar e recombinar com os dominós. Genética na Escola, v. 3, p. 1-7, 2008.

KLUG, Willian S. Conceitos de Genética. 9ª. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

LEWIN, Benjamin. Genes IX. 9. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

LIMA, M. E. C. C.; AGUIAR JÚNIOR, O.; DE CARO, C. M. A formação de conceitos científicos: reflexões a partir da produção de livros didáticos. *Ciência & Educação*, v. 17, n. 4, p. 855-871, 2011.

LIMA, Alessandra de Castro; PINTON, Márcia R. G. Mayrink; CHAVES, A. C. L. O entendimento e a imagem de tres conceitos: DNA, gene e cromossomo no Ensino Médio. In: VI ENPEC - Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2007, Florianópolis. MORTIMER, E. F. (ORG.). ANAIS DO VI ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS. Belo Horizonte : ABRAPEC, 2007, 2007. p. 1-12.. Belo Horizonte: ABRAPEC, 2007. v. ANAIS. p. 1-12.

LOPES, Sônia. *Biologia*. Volume único. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2005.

MACÊDO, Laércio Nobre de; FILHO, José Aires de Castro; MACÊDO, Ana Angélica Mathias ; SIQUEIRA, Daniel Márcio Batista; OLIVEIRA, Eliana Moreira de; SALES, Gilvandenys Leite; FREIRE, Raquel Santiago. Desenvolvendo o pensamento proporcional com o uso de um objeto de aprendizagem *in* BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação a Distância. *Objetos de aprendizagem: uma proposta de recurso pedagógico/Organização*: Carmem Lúcia Prata, Anna Christina Aun de Azevedo Nascimento. – Brasília : MEC, SEED, 2007. 154 p. págs. 17-26.

MARTINEZ, E. R. M.; FUJIHARA, R.T.; MARTINS, C. Show da Genética: um jogo interativo para o ensino de Genética. *Genética na Escola*, v. 03, p. 24-27, 2008.

MARTINS, C. M. C. ; PAIVA, A. L. B. . Concepções prévias de alunos de terceiro ano do Ensino Médio a respeito de temas na área de Genética. *Ensaio. Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 7, p. 1-20, 2005.

MIRANDA, Simão de. No fascínio do jogo, a alegria de aprender. *Linhas Críticas*, Brasília, v. 8, n. 14, jan/jun. 2002.

MORTIMER. E. F.; Scott P. H. & El-Hani, C.N. Bases teóricas e epistemológicas da abordagem dos perfis conceituais. In E. F. MORTIMER (Org.). VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – MG, Belo Horizonte. Anais.... Belo Horizonte: ABRAPEC. 2009.

MORTIMER, E. F. Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos? *Investigações em Ensino de Ciências*, 1(1), 20-39. 1996.

MORTIMER, Eduardo Fleury. *Linguagem e formação de conceitos no ensino de ciências*. 1ª Reimpressão. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2000. 383 p.

MOURA, Joseane; MEIRELES DE DEUS, Maria do Socorro; GONÇALVES, Nilda Masciel Neiva; PERON, Ana. *Biologia/Genética: o ensino de Biologia, com enfoque a Genética, das escolas públicas no Brasil - breve relato e reflexão*. *Semina. Ciências Biológicas e da Saúde (Impresso)* (Cessou em 2001), v. 34, p. 167-174, 2013.

MOORE, J. A. Science as a Way of Knowing - Genetics. *Amer. Zool.* v. 26: p. 583-747, 1986.

NASCIMENTO, Anna Christina de Azevedo. Objetos de aprendizagem: a distância entre a promessa e a realidade. *in* BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação a Distância. Objetos de aprendizagem: uma proposta de recurso pedagógico/Organização: Carmem Lúcia Prata, Anna Christina Aun de Azevedo Nascimento. – Brasília : MEC, SEED, 2007. 154 p. págs. 17-26.

NÉBIAS, Cleide. Formação dos conceitos científicos e práticas pedagógicas. Trabalho apresentado em mesa-redonda no IX Endipe - Encontro Nacional de Didática e Prática de Ensino, Águas de Lindóia, SP, 1998.

PEDRANCINI, Vanessa Daiana; CORAZZA-NUNES, Maria Júlia; GALUCH, Maria Terezinha Bellanda; MOREIRA, Ana Lúcia Olivo Rosas; RIBEIROS, Alessandra Claudia. Ensino e aprendizagem de Biologia no Ensino Médio e a apropriação do saber científico e biotecnológico. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* Vol. 6, Nº 2, 299-309, 2007.

PEDRANCINI, Vanessa Daiana. A organização do ensino de Biologia e o desenvolvimento do pensamento conceitual. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Educação para a Ciência e o Ensino de Matemática da Universidade Estadual de Maringá: Maringá, 2008.

PEDROSO, C. V. Jogos didáticos no ensino de Biologia: uma proposta metodológica baseada em módulo didático. In: IX Congresso Nacional de Educação e III Encontro Sul Brasileiro de Psicopedagogia, 2009, Curitiba/PR. Anais do IX Congresso Nacional de Educação e III Encontro Sul Brasileiro de Psicopedagogia. Curitiba: Champagnat, 2009.

SCHNEIDER, E. M.; MEGLHIORATTI, F. A.; HARMEL, D. O ensino de genética e as concepções sobre gene apresentadas por estudantes do 3º ano do Ensino Médio. In: Os Estágios Supervisionados em Ciências e Biologia em debate II, 2010, Cascavel. Os Estágios Supervisionados em Ciências e Biologia em debate II, 2010.

SCHROEDER, Edson; FERRARI, Nadir; MAESTRELLI, Sylvia Regina Pedrosa. A construção dos conceitos científicos em aulas de ciências: contribuições da toria histórico-cultural do desenvolvimento. VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências: Florianópolis, 2009.

SEPULVEDA C.; MORTIMER, E. F.; El-Hani. C. N. Construção de um perfil conceitual de adaptação: implicações metodológicas para o programa de pesquisa sobre perfis conceituais e o ensino de evolução. *Investigações em Ensino de Ciências* – V18(2), pp. 439-479, 2013.

SILVA, Maria Emília Lins e; SILVA, Vanessa Valéria Soares da; LIMA, Maria do Carmo Fernanda de. Jogos educativos no âmbito educacional: um estudo sobre o uso dos jogos no projeto mais da rede municipal do Recife. Trabalho de Conclusão de Curso; (Graduação em Pedagogia) - Universidade Federal de Pernambuco: 2009.

STRACHAN, Tom. READ, Andrew. Genética Molecular Humana. Artmed, 2016.

TAROUCO, Liane Margarida Rockenbach; CUNHA, Silvio Luiz Souza. Aplicação de teorias cognitivas ao projeto de objetos de aprendizagem. *Novas Tecnologias na Educação. CINTED-UFRGS*. V. 4 N° 2, Dezembro, 2006.

TEIXEIRA, Francimar Martins. Fundamentos teóricos que envolvem a concepção de conceitos científicos na construção do conhecimento das ciências naturais. Ensaio. Vol 8. n° 2. dez. 2006.

TEMP, Daiana Sonogo; NICOLETTI, Elenize Rangel; BARTHOLOMEI-SANTOS, Marlise Ladvoat. Identificando o conhecimento de genética entre calouros universitários. *Revista SBenBio - N°. 7 - Outubro*. V Enebio e II Erebio Regional 1. 2014.

APÊNDICE A - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Universidade de Brasília – UnB
Programa de pós-graduação em Ensino de Ciências – PPGEC

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Prezado aluno,

O mestrando Danilo Rafael Santos de Brito, aluno do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências (PPGEC/UnB), estará desenvolvendo como parte do Projeto de pesquisa de mestrado, sob a orientação da Professora Doutora Maria de Nazaré Klautau-Guimarães, uma proposta de abordagem de ensino que contempla discussões sobre as formação de conceitos em genética. O objetivo é proporcionar aos estudantes um conjunto de aulas dedicadas ao conteúdo de genética, obedecendo os pressupostos da Teoria do Perfil Conceitual.

A participação dos estudantes neste projeto é totalmente voluntária e anônima, não provocando qualquer tipo de prejuízo ou constrangimento. Os estudantes assistirão às aulas, participarão das atividades e, ao final das aulas, preencherão um questionário e serão entrevistados se assim o desejarem.

Os resultados serão analisados e divulgados na Universidade de Brasília podendo ser publicados posteriormente em periódicos da área de ensino. Os dados e materiais utilizados na pesquisa não serão divulgados ou repassados a terceiros.

Este documento foi elaborado em duas vias, uma ficará com o pesquisador responsável e a outra com o aluno voluntário.

Dados dos pesquisadores:

Maria de Nazaré Klautau Guimarães

Email: nklautau@unb.br

Danilo Rafael Santos de Brito

Email: danilorafael@ifma.edu.br

Caso você concorde em participar desta pesquisa, pedimos a gentileza de preencher os campos abaixo:

Eu, _____, idade _____, concordo em participar voluntariamente da pesquisa acima descrita.

Brasília, _____ de _____ de _____.

Assinatura do voluntário

APÊNDICE B - Pré-teste em Genética



Universidade de Brasília – UnB
Programa de pós-graduação em Ensino de Ciências – PPGEC

Atividade 1 - Principais Conceitos de Genética

Responda as questões e coloque nos parênteses os números correspondentes à avaliação do seu conhecimento como:

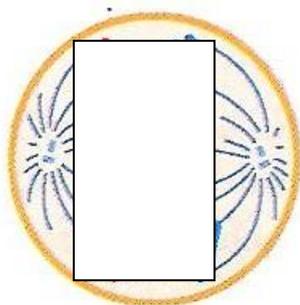
1- Não consigo avaliar 2- Ruim 3- Regular 4- Bom

() 1 - Representar os genomas (cromossomos lineares – fase G1 do ciclo celular) de organismos hipotéticos de acordo com o que se pede:

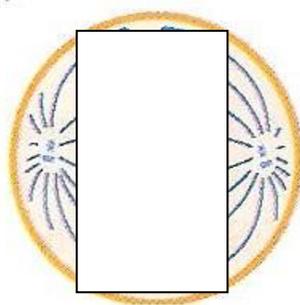
b) $2n=6$

c) $3n=6$

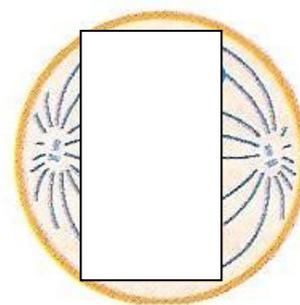
() 2 - Uma célula com genoma $2n=6$ entra em divisão celular e você observa seus cromossomos na metáfase. Como você imagina que deve ser a disposição dos cromossomos na placa metafásica para que seja possível identificar a metáfase da mitose, a metáfase I e II da meiose. Identifique os cromossomos de origem paterna e materna com cores diferentes.



Metáfase da mitose

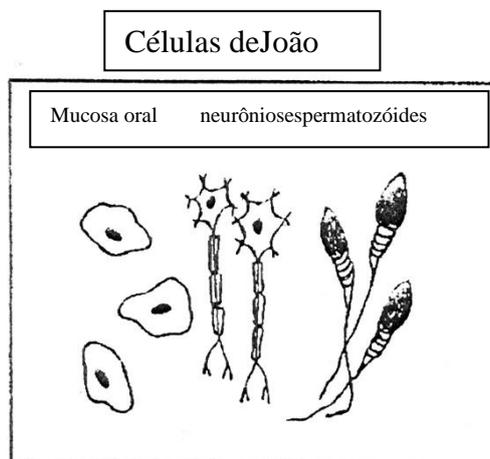


Metáfase I da meiose



Metáfase II da meiose

3 - Pense agora sobre os diferentes tipos de células de uma mesma pessoa. Responda às questões abaixo, marcando um dos itens e justificando sua resposta.



a - Considerando 2 células da mucosa oral de João pode-se afirmar que a informação genética nelas é:

a mesma diferente não sei

Favor justificar sua resposta

b - Considerando uma célula da mucosa oral de João e uma célula nervosa de João pode-se afirmar que a informação genética nelas é:

a mesma diferente não sei

Favor justificar sua resposta

c - Considerando uma célula da mucosa oral de João e um espermatozoide do João pode-se afirmar que a informação genética nelas é:

a mesma diferente não sei

Favor justificar sua resposta

d - Considerando 2 espermatozoides do João pode-se afirmar que a informação genética neles é:

a mesma diferente não sei

Favor justificar sua resposta

4 - Sobre a transmissão do material genético, explique:

a - O material genético que você recebe é igual ao que você transmite aos seus descendentes? Por que?

b - Se os filhos recebem parte do material genético de cada um dos genitores, por que os irmãos não são idênticos?

5 - Elabore, de forma livre, uma frase ou enunciado relacionando os seguintes termos: genoma, gene, DNA e cromossomos.

APÊNDICE C - Atividade 2 com a utilização do objeto de aprendizagem - “jogo dos dominós”



Universidade de Brasília – UnB
Programa de pós-graduação em Ensino de Ciências – PPGEC

ATIVIDADE 2

Nomes: _____ Matrículas: _____

ATIVIDADES COM OS DOMINÓS DE CROMOSSOMOS

Orientação geral: Com a utilização das peças do jogo dos dominós, apresente as respostas das questões abaixo. Seria adequado fazer fotos para apresentar ao final.

1 - Organize todas as peças do jogo e considere que são cromossomos que constituem o genoma de um organismo hipotético. Observe que as cores diferenciam os cromossomos por sua origem parental e o número por sua morfologia.

a - Qual é o número do genoma monoploide, do diploide e do haploide?

b - No caso do diploide, quantos pares de homólogos existem? Quantas cromátides haveriam no início da mitose? Quantas cromátides haveriam na fase G1?

2 - Represente o arranjo dos cromossomos para os genomas abaixo, nas fases da divisão celular: Metáfase da mitose, Metáfase I da meiose e Metáfase II da meiose.

a) $2n=4$

b) $3n=6$

3 - Com o jogo, represente um genoma $2n=6$ e demonstre a dinâmica dos cromossomos no processo da meiose. Neste caso, não considere o evento do crossing over.

a) Quantos gametas diferentes podem ser produzidos?

***Observe que no jogo existem 2 fases, do outro lado das peças se encontram cromossomos com regiões que representam produtos de recombinação, durante a prófase da meiose.**

b) Considere agora a ocorrência de um crossing over em um dos pares de cromossomos. Quantos gametas diferentes podem ser produzidos?

c) O que ocorre se tivermos dois eventos de recombinação em dois pares de cromossomos diferentes? Quantos gametas são possíveis agora?

d) Qual é a probabilidade de formar um gameta com todos os cromossomos de origem paterna? E com todos maternos?

4 - Nesta atividade utilizar somente as peças dos cromossomos 1 e 2. Considere que esses 2 cromossomos representam o conjunto monoploide de um organismo. Com esse material, organize os genomas apontados abaixo, representando-os na fase G1 do ciclo celular.

a) genoma triploide ($3n$), quantos homólogos possui?

b) genoma tetraploide ($4n$), quantos homólogos possui?

5- Complete o quadro considerando células de um organismo $2n=12$. A quantidade de DNA se representa pela letra C, sendo $2C$ = a quantidade de DNA em uma célula somática diplóide, na fase G1.

	N ^o cromossomos	N ^o moléculas DNA	Quantidade DNA	Ploidia (X)
Célula somática G1				
Célula somática G2				
Célula em metáfase da mitose				
Célula ao final da mitose				
Metáfase meiose I				
Metáfase meiose II				
Espermatozóide				
Oócito				

APÊNDICE D - Atividade 3 com a utilização do objeto de aprendizagem - “jogo dos dominós”



Universidade de Brasília – UnB
Programa de pós-graduação em Ensino de Ciências – PPGEC

Entendendo a combinação intracromossômica

Objetivo: Representação de um cromossomo hipotético com 4 loci em sequência utilizando as características descritas abaixo. E simulação da recombinação intracromossômica para observação da composição alélica dos gametas.

Bases genéticas das características:

Grupo sanguíneo ABO:

1 gene com 3 alelos, interação alélica de dominância completa e codominância.

Alelos: I^A , I^B e i

Genótipos	Fenótipos
$I^A I^A$ e $I^A i$	A
$I^B I^B$ e $I^B i$	B
$I^A I^B$	AB
ii	O

Grupo sanguíneo Rh:

1 gene com 2 alelos, interação alélica de dominância completa.

Alelos: D e d

Genótipos	Fenótipos
DD e Dd	Rh+
dd	Rh-

Sensibilidade ao PTC :

1 gene com 2 alelos, interação alélica de dominância completa.

Alelos: F e f

Genótipos	Fenótipos
FF	sensível ao PTC
Ff	sensível ao PTC
ff	insensível ao PTC

Estrutura da Proteína Hemoglobina:

1 gene com 2 alelos, interação alélica decodominância.

Alelos: HbA e HbS

Genótipos	Fenótipos
HbAA	Normal
HbAS	Traço falciforme (situações especiais)
HbSS	Anemia falciforme

Orientações: Utilizando as peças do dominó, onde cada uma representa um alelo específico, organize os *loci* de um cromossomo hipotético (fase G1 do ciclo celular) utilizando as 4 características descritas acima. Em seguida, simule a meiose e observe os gametas gerados. Na tabela, registrar as sequências alélicas dos gametas de acordo com as simulações sugeridas (indivíduo 1 e indivíduo 2).

Indivíduo 1.1:

a) Representar o cromossomo do **indivíduo 1** que apresenta os seguintes fenótipos: grupo sanguíneo B, Rh negativo, sensibilidade ao PTC e anemia, com homozigose para todos os *loci*.

b) Simular a meiose considerando as 3 situações: não ocorrência de crossing-over (CO), ocorrência de 1 CO e ocorrência de 2 CO. Registrar a sequência alélica dos gametas resultantes. Os locais de CO são de livre escolha, mas devem ser especificados.

Gametas	Não ocorrência CO	Ocorrência de 1 CO	Ocorrência de 2 CO

Indivíduo 2.1:

a) Representar o indivíduo 2 que apresenta os seguintes fenótipos: grupo sanguíneo A, Rh positivo, sensibilidade ao PTC e traço falciforme; com heterozigose para todos os *loci*.

b) Simular a meiose do indivíduo 2 considerando as 3 situações: não ocorrência de crossing-over, ocorrência de 1 CO e ocorrência de 2 CO. Registrar o conjunto de alelos dos gametas resultantes. Os locais de CO são de livre escolha, mas devem ser especificados.

Gametas	Não ocorrência CO	Ocorrência de 1 CO	Ocorrência de 2 CO

APÊNDICE E - Atividade 3 com a utilização do objeto de aprendizagem - “jogo dos dominós”



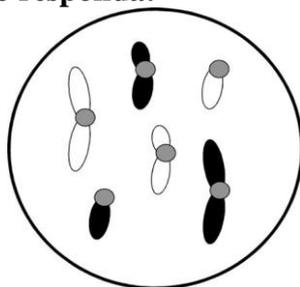
Universidade de Brasília – UnB
Programa de pós-graduação em Ensino de Ciências – PPGEC

ATIVIDADE 4: RELACIONANDO OS CONCEITOS TRABALHADOS

OBS: responda da maneira mais completa possível, de acordo com o conhecimento científico abordado em sala de aula e nos livros-texto indicados.

1. Elabore um pequeno texto (até 10 linhas) onde apresenta a relação entre os termos DNA, cromossomos, genes e genoma.

2. Com base na imagem abaixo responda:



a) Qual é o número do genoma haplóide, do diploide e do triploide?

b) Com o genoma diplóide represente as seguintes fases: metáfase da mitose, metáfase I da meiose e metáfase II da meiose.

metáfase mitose

metáfase meiose I

metáfase meiose II

3. Uma espécie de centeio cereal (*Secalecereale*) tem número cromossômico de 14, enquanto uma espécie de centeio selvagem canadense (*Elymuscanadensis*) tem número cromossômico de 28. O cruzamento de *S. cereale* com *E. canadensis* pode produzir híbridos estéreis.

a) Qual seria o número cromossômico esperado nas células somáticas dos híbridos?

b) Suponha que o conteúdo de DNA nuclear em G1 de *E. canadensis* seja de 25,5 (2C) picogramas e que o conteúdo de DNA nuclear de *S. cereale* seja 16,8 (2C) picogramas. Qual seria o conteúdo esperado em uma célula somática metafásica do híbrido?

4. Sobre a transmissão do material genético, explique:

a) O material genético que você recebe é igual ao que você transmite aos seus descendentes? Por que?

b) Se os filhos recebem parte do material genético de cada um dos genitores, por que os irmãos não são idênticos?

APÊNDICE F - Avaliação da intervenção didática



Universidade de Brasília – UnB Programa de pós-graduação em Ensino de Ciências – PPGEC

Disciplina de Genética

O presente questionário tem como principal objetivo avaliar a utilização do “Jogo dos Dominós” durante as aulas práticas da disciplina de Genética.

Caracterização do aluno Já frequentou alguma disciplina (no ensino básico ou universitário) onde tivessem sido abordados conteúdos de Genética? Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Se sim, em que nível de ensino e em qual disciplina? _____
--

Para cada afirmação, assinala o número da escala que melhor reflete a sua opinião relativamente à utilização do “Jogo dos Dominós” nas aulas práticas.	4 – Muito 3 – Moderadamente 2 – Pouco 1 – Não consigo avaliar
--	--

A utilização/manipulação do “Jogo dos dominós” permitiu:	1	2	3	4
1. Visualizar o comportamento dos cromossomos durante as fases da mitose e da meiose				
2. Diferenciar genomas haplóides, monoplóides, diplóides e poliplóides				
3. Compreender a relação entre cromossomos, cromátides e moléculas de DNA				
4. Identificar genes, alelos, fenótipo e genótipo.				
5. Compreender a combinação entre os diferentes homólogos durante a meiose				
6. Compreender a recombinação dentro do par de homólogos durante a meiose (crossing-over)				
7. Compreender a associação entre transmissão de informação genética, meiose e formação de gametas.				
8. Compreender a origem da variação detectada nos gametas				
9. Identificar e responder as dúvidas referentes aos vários fenômenos genéticos				
10. Facilitou seu aprendizado				

Para cada afirmação, assinale com um X a opção que melhor descreve a sua participação durante as atividades relacionadas com o “Jogo dos Dominós”:	Muito	Pouco	Nada
11. Manipulei os dominós			
12. Realizei os exercícios propostos			
13. Procurei ajuda do professor/monitor			
14. Tirei dúvidas com o livro didático			
15. Tirei dúvidas com os colegas			
16. Assisti o vídeo pela internet			

17. Há algum aspecto positivo ou negativo ou sugestões que queria fazer em relação à prática do “Jogo dos Dominós”?

Aspectos Positivos

Aspectos Negativos

Sugestões

Obrigado pela sua colaboração!

Disciplina

Genética

Autores

Danilo Rafael Santos de Brito

Maria de Nazaré Klautau-Guimarães

**GUIA COM SUBSÍDIOS PARA PRÁTICA PEDAGÓGICA EM
GENÉTICA COM ESTUDANTES DO ENSINO SUPERIOR**



Domínio Público

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	3
INTRODUÇÃO.....	5
ENSINO DE GENÉTICA	6
TEORIA DO PERFIL CONCEITUAL.....	8
OBJETOS DE APRENDIZAGEM	10
JOGOS EDUCACIONAIS.....	11
DESENVOLVIMENTO DA INTERVENÇÃO	12
PROGRAMAÇÃO PARA INTERVENÇÃO DIDÁTICA.....	12
SUGESTÕES DE LIVROS-TEXTOS	12
1ª SEMANA DE AULAS	14
ENCONTRO 1	15
ENCONTRO 2	18
2ª SEMANA DE AULAS	19
ENCONTRO 3	20
ENCONTRO 4	21
3ª SEMANA DE AULAS	22
Analisando o vídeo	23
ENCONTRO 5	24
ENCONTRO 6	27
4ª SEMANA DE AULAS	43
ENCONTRO 7	44
ENCONTRO 8	45
5ª SEMANA DE AULAS	46
ENCONTRO 9	47
ENCONTRO 9	49
6ª SEMANA DE AULAS	55
ENCONTRO 11	56
ENCONTRO 12	57
7ª SEMANA DE AULAS	60
ENCONTRO 14	61
REFERÊNCIAS	73

APRESENTAÇÃO

Caro amigo professor,

Este guia básico é um material que pretende orientar para o desenvolvimento de um trabalho de construção coletiva, em sala de aula, de conceitos básicos e introdutórios em Genética. Nele fornecemos recomendações para realização de atividades teóricas, por intermédio de planos de aula, e práticas, com auxílio de objetos de aprendizagem, assim como propusemos a discussão de muitas questões que julgamos necessárias para iniciar e desenvolver um trabalho com estudantes do Ensino Superior por intermédio de um módulo didático.

As orientações e estratégias propostas aqui, foram vivenciadas e desenvolvidas com a colaboração de estudantes do curso de Biologia da Universidade de Brasília, Campus Darcy Ribeiro que, durante o primeiro bloco da disciplina de Genética ofertada no segundo semestre de 2017 no Instituto de Biologia - IB, participaram espontaneamente de todas as atividades e contribuíram com diversas sugestões. Contamos também com a colaborações dos professores regentes e dos monitores da disciplina em todo processo.

As atividades, portanto, são propostas que podem ser aperfeiçoadas ou mesmo alteradas por outras, uma vez que as realidades e contextos de cada processo de formação, bem como as relações que se estabelecem entre professores e estudantes são determinantes para o direcionamento das ações. Por esse motivo é que, em relação aos seus fundamentos pedagógicos e suas metas de aprendizagem, que podem pautar todas as atividades propostas, este guia traz algumas orientações teórico-metodológicas em consonância com a Teoria do Perfil Conceitual.

Desta forma, este guia ambiciona contribuir para a evidenciação e superação, em Genética, de erros conceituais, conhecimentos prévios equivocados e fixados ao longo tempo, ideias generalistas e de senso comum que acabam por dificultar o desenvolvimento e associação dos conceitos, tais como os de cromossomos, divisão celular, variação e herança biológica. O reconhecimento desses obstáculos epistemológicos durante uma intervenção didática, estabelece um passo fundamental para promover uma evolução no perfil conceitual de cada estudante sobre o conceito de genoma e suas relações entre a estrutura e a sua transmissão.

Por fim, sabemos que a interação é fundamental em qualquer processo de ensino e aprendizagem, assim, ainda que tenham sido propostas situações de estudo, leitura, discussão e reflexão que favoreçam a aprendizagem dos estudantes e o avanço na

construção de conceitos básicos em Genética, muitos dos resultados dependem de um processo de constante construção e reconstrução do conhecimento que acreditamos se realizar de maneira mais efetiva, coletivamente.

Um abraço.

Desejo uma ótima experiência!

INTRODUÇÃO

A variedade de abordagens desenvolvidas e utilizadas para o ensino e aprendizagem de conceitos científicos permite afirmar que os conceitos científicos são a pedra fundamental no ensino de Ciências. É sob essa perspectiva, que Teixeira (2006) nos coloca que "com eles são expressas explicações, descritas propriedades e feitas previsões para os fenômenos". A aprendizagem dos conceitos constitui elemento central da Educação em Ciências. Os conceitos são os instrumentos mediacionais por meio dos quais interpretamos e interagimos com as realidades que nos cercam (LIMA; AGUIAR JÚNIOR; DE CARO, 2011).

Schroeder; Ferrari e Maestrelli (2009), afirmam com base em Vygotsky que, a aprendizagem dos conceitos científicos é possível graças à escola com seus processos de ensino organizados e sistemáticos, portanto, para esses autores, cabe à escola o papel fundamental de promover um deslocamento do estudante, imerso nas situações cotidianas e das informações perceptuais imediatas do senso comum, para um modo de pensar distinto do pensamento cotidiano, tendo como referência as características da ciência (SCHROEDER; FERRARI e MAESTRELLI, 2009). Brito (1996), chega a afirmar que um dos principais objetivos da escola é o ensino de conceitos, pois, é corrente a ideia de que a partir da formação de conceitos que o estudante conseguirá aprender os princípios (regras, axiomas, etc) e na sequência, resolver problemas que envolvam esses conceitos e princípios.

No entanto, como nos alerta Pedrancini et al (2007), verifica-se que nem sempre o ensino promovido, tem permitido que os estudantes se apropriem dos conhecimentos científicos de modo a compreendê-los, questioná-los e utilizá-los como instrumento do pensamento que extrapolam situações de ensino e aprendizagem. Pedrancini et al (2007) apoiada em Mortimer (1996) afirma que grande parte do saber científico transmitido é rapidamente esquecido, prevalecendo idéias alternativas ou de senso comum bastante estáveis e resistentes, identificadas, até mesmo, entre estudantes universitários. Vale consignar a argumentação de Lima; Aguiar Júnior e De Caro (2011), na qual a aprendizagem de conceitos é um processo lento, complexo e sempre inacabado, pois os conceitos vão sendo revistos e ampliados.

ENSINO DE GENÉTICA

Atualmente, é indiscutível a presença, em maior ou menor grau, da ciência no cotidiano dos cidadãos e como destacam Pedracinni et al (2007), isso vem "causando profundas transformações econômicas, sociais e culturais". Lima et al (2007), afirmam que não podemos ficar alheios ou passivos a essas implicações, cabendo a todos refletir e até opinar sobre os benefícios e prejuízos que possam advir dos avanços e aplicações da ciência. Martins e Paiva (2005), afirmam que a mídia, de forma generalizada, populariza a ciência, no entanto, as informações passadas ao público possuem um caráter superficial, casuístico e sem compromissos com a formação educacional.

Tendo por base essas preocupações iniciais, o ensino da Biologia apresenta, com especial ênfase no ensino da Genética, um papel importante no processo de formação de cidadãos conscientes e críticos frente às novidades científicas. Para Franzolin (2013), "com o avanço da Genética, novas discussões surgiram sobre a inclusão de seus conhecimentos nos currículos da educação básica". Xavier (2006), referenciado por Moura et al (2013), em suas considerações sobre o ensino da Biologia, avalia como negativo o fato de não estar sendo garantida uma formação cidadã crítica no ambiente acadêmico. Nesta sentido, Moura et al (2013), arremata certificando que "grande parte dos alunos não contextualiza o Ensino de Biologia que se tem na escola com a sua realidade, com especial destaque aos conteúdos de genética". Schneider et al (2010), afirma ser desafiador tanto para discentes como para docentes, pois existem variadas e constantes dificuldades em diversas fases dos processos.

A Genética é apontada por vários autores como a área da Biologia em que os estudantes apresentam, de longe, maior dificuldade de entendimento, independente do nível de ensino (MOURA et al, 2013; SCHNEIDER et al, 2010; LIMA et al, 2007; PEDRACINNI et al, 2007; KLAUTAU-GUIMARÃES et al, 2009). Lima et al (2007), apoiado nos trabalhos de Lewis et al (2000a, b e c); Wood-Robinson et al (2000); Marbach-Ad, (2001); Chattopadhyay (2005) comenta que "vários estudos internacionais mostram que os conteúdos de genética são difíceis de serem compreendidos tanto por alunos como por professores. Estudos realizados com estudantes mostraram que eles têm dificuldade de entender e aprender os conceitos e processos genéticos" (LIMA et al, 2007).

Os obstáculos descritos no ensino de Genética fazem parte de uma problemática que afeta professores e estudantes. Em relação aos professores, Moura (2007), em

referência aos trabalhos de Vilela (2007) e Vasconcelos (2002), destaca o despreparo e desatualização de alguns professores como uma dificuldade bem comum, justificando esse aspecto através da excessiva carga horária a que muitos profissionais estão submetidos. Este mesmo autor se alinha a Schneider et al (2010), quando ambos declaram ser contumaz, a indisponibilidade de recursos pedagógicos que favoreçam um atuação docente qualificada e a ausência de formações continuadas que ajudem o professor a superar suas deficiências.

Seguindo esta ordem de ideias, Moura et al (2013) e Lima et al (2007), enfatizam que uma das raízes da problemática está na falta de contextualização no ensino de Genética, o que faz com que os estudantes sejam incapazes de distinguir conceitos básicos como os de genoma, cromatina, gene, cromossomo e DNA. Cabe argumentar que, Schneider et al (2010), em suas análises verificam que há uma grande dificuldade dos estudantes em associar os conceitos biológicos básicos da genética aos processos biológicos mais complexos, os autores consideram, assim como Pedracinni et al, (2007), fundamental para o entendimento das recentes descobertas da Genética a apropriação pelos estudantes dos conceitos como os de DNA e gene. Em alguns estudos (KLAUTAU-GUIMARÃES et al, 2009; PEDRACINNI et al, 2007; MARTINS e PAIVA, 2005) nota-se que os conceitos cientificamente incorretos apresentados pelos estudantes são derivados das ideias espontâneas e concepções alternativas que eles possuem em Genética. Após revisar sobre as dificuldades que acompanham o ensino de Genética, Andrade (2017), de forma substancial, aponta que os problemas mais comuns são: erros conceituais nos livros didáticos e na prática pedagógica dos professores, o excesso de conteúdo curricular e falta de contextualização. Baseada em suas constatações, a autora afirma que "o ensino de genética, e pode-se acrescentar o ensino de ciências como um todo, segue continuamente apresentando desafios a serem superados" (ANDRADE, 2017).

Em seu estudo com foco em divisão celular, Carneiro e Dal-Farra (2011), salientam que os estudantes apresentam dificuldades em contextualizar a divisão celular e relacionar suas implicações com os processos mais amplos da biologia humana, em especial, a permutação gênica durante a meiose. Temp et al (2014), em seu artigo buscaram identificar o nível de conhecimento em genética entre estudantes universitários ingressantes dos cursos de Ciências Biológicas, Fonoaudiologia e Fisioterapia e perceberam que a maioria dos estudantes não conseguiam fazer a correlação correta entre os conceitos de gene-cromossomos-DNA, conceitos base para o

entendimento da Biologia. Os pesquisadores também registraram, com grande preocupação, um significativo número de erros em conceitos fundamentais para compreensão da Genética, tais como, células gaméticas e somáticas, cromossomos, alelos, homozigoto e heterozigoto, genótipo e fenótipo, evidenciando, portanto, um conhecimento aquém do desejado para este nível de ensino. Giacóia (2006), observa em seu trabalho a grande influência que possuem os conhecimentos prévios em estudantes de graduação em Biologia quando se trata de diferenciar genes e cromossomos, evidenciando uma aprendizagem insatisfatória desses conceitos. Outro fato que chamou atenção da autora foi que, os graduandos não conseguiram estruturar e concatenar suas ideias com relação aos conceitos de mitose e meiose e eventos como o *crossing-over*, apresentando, por vezes, respostas ininteligíveis, evidenciando também a má compreensão desses conteúdos.

TEORIA DO PERFIL CONCEITUAL

No intuito de modelar a rica e invariável heterogeneidade de pensamentos e falas existentes em qualquer sala de aula e, opondo-se ao paradigma de que os estudantes, para aprender ciências e seus conceitos devem rescindir todo vínculo com suas concepções prévias, a teoria de perfil conceitual apresenta-se como uma "ferramenta de análise de modos de pensar" (MORTIMER et al, 2009). Segundo Vairo e Filho (2013), muitos pesquisadores e educadores vêm direcionando esforços para identificar que perspectiva epistemológica melhor contribui para o processo de ensino-aprendizagem dos conceitos científicos. É dessa forma que, para Mortimer (2009), "o ensino-aprendizagem de ciências ganha um novo enfoque se pensado como uma mudança de perfil conceitual". Ainda de acordo com o autor, o perfil conceitual pode ser compreendido como "modelos usados por indivíduos para significar suas experiências a partir de diferentes modos de ver e conceituar o mundo, que são representados por zonas distintas" (MORTIMER et al., 2014).

O perfil conceitual pode se constituir num instrumento para planejamento e análise do ensino de ciências. A partir dele, obstáculos à aprendizagem dos conceitos podem ser identificados e trabalhados em sala de aula numa visão de aprendizagem de ciências como mudança de perfis conceituais, onde o aluno não necessariamente tem de abandonar as suas concepções ao aprender novas idéias científicas, mas tornar-se

consciente dessas diversas zonas e da relação entre elas (AMARAL E MORTIMER, 2001).

Mortimer (2006), desenvolveu sua pesquisa sob três pressupostos básicos: o desenvolvimento cognitivo individual, a história e a filosofia da ciência e o desenvolvimento social de ideias em sala de aula. A partir do terceiro eixo, evidencia-se que a abordagem dos perfis conceituais está pautada numa ótica sócio-interacionista, visto que permite avaliar os conceitos numa variedade de contextos socialmente construídos, coletivamente impostos, apesar de, particular e convenientemente empregados. Assim, na intenção de identificar as formas, qualitativamente distintas, que os estudantes utilizam para compreender e definir a sua realidade, definições e compreensões, estas pertencentes a um sistema supra-individual, convém considerar e recorrer a teoria sócio-histórico-cultural em Vigotsky. Segundo Sepulveda (2013):

Ela também pode ser pensada a partir da perspectiva sociocultural de Vigotski (2001) sobre o desenvolvimento das funções mentais superiores, segundo a qual o pensamento individual é constituído através da internalização de mediadores simbólicos construídos socioculturalmente, entre eles a linguagem, disponibilizados através das interações sociais (SEPULVEDA, 2013).

Como Mortimer (2009) aponta, deve-se levar em consideração três dos domínios genéticos apresentados por Vigotsky, quais sejam, os domínios sócio-cultural (realizando estudos históricos sobre as idéias científicas), ontogenético (utilizando dados da literatura sobre concepções alternativas de estudantes, ou realizar estudos empíricos, resgatando concepções que são representativas dos processos ontogenéticos de construção do conhecimento da vida cotidiana, presentes na cultura e que são frequentemente utilizados na sala de aula) e microgenético (evidenciar a gênese de um conceito em um curto espaço de tempo), para construção de zonas de perfis conceituais, numa perspectiva de ir além da simples categorização. Nesse particular, Vairo e Filho (2013), reafirmam essas etapas necessárias para o levantamento de zonas de um perfil conceitual:

O primeiro domínio a ser trabalhado é o sociocultural, a partir da realização de estudos históricos sobre as ideias científicas. O segundo é o domínio ontogenético, que pode ser contemplado a partir de um levantamento de dados da literatura sobre concepções alternativas de alunos e/ou com o uso de questionários ou entrevistas, para resgatar concepções

representativas da construção do conhecimento do grupo pesquisado. Além disso, deve-se buscar acessar o domínio microgenético por meio de métodos, como entrevistas, e a partir da observação de atividades didáticas que permitam evidenciar a gênese de um conceito em um curto período (VAIRO e FILHO, 2013).

Deste modo, apontamos o uso da teoria do perfil conceitual como um valioso e efetivo instrumento de planejamento e análise do ensino e aprendizagem em Ciências, fornecendo todo aporte para análise da heterogeneidade de significados que o conceito de genoma possa apresentar.

OBJETOS DE APRENDIZAGEM

Não há uma definição consensual do que são objetos de aprendizagem (OA), muito por consequência, como chamam atenção Macedo et al (2007); Audino e Nascimento (2010), dos estudos ainda recentes sobre o tema no sistema educacional brasileiro e mundial, por esse motivo, dispomos de um grande número de entendimentos do que são objetos de aprendizagem. Numa definição mais simples e direta **Grando** et al (2004), apresentam os objetos de aprendizagem como "materiais com objetivos pedagógicos que servem para apoiar o processo de ensino-aprendizagem". Audino e Nascimento (2010), avançando um pouco mais, definem OA como "materiais importantes no processo de ensino e aprendizagem, pois fornecem a capacidade de simular e animar fenômenos, entre outras características, assim como reutilizá-los em vários outros ambientes de aprendizagem".

Apoiados nessas propriedades dos OA e, buscando superar as concepções prévias, com representações errôneas, incompletas e confusas, que causam distorções no processo de ensino e aprendizagem em Genética é que apresentamos, neste guia, como recurso para acesso a um melhor entendimento dos processos e bases da Genética, os objetos de aprendizagem "combinar e recombinar com os dominós", como um modelo didático de baixo custo e fácil preparação, que destaca a recombinação, a dinâmica do material genético na transmissão de célula a célula e entre gerações, a formação de gametas e os possíveis erros na transmissão do material genético. O material também permite a concretização de um conteúdo abstrato em decorrência da busca ativa da compreensão dos processos, e da relação entre os conceitos genéticos e citológicos. (KLAUTAU-GUIMARÃES et al, 2008).

JOGOS EDUCACIONAIS

Segundo Falkembach (2013), qualquer que seja a atividade lúdica, tem o potencial de aumentar a eficiência do ensino, muito devido ao fato das atividades lúdicas, ao entreterem, também estimularem os sentidos dos estudantes, retendo sua atenção. Desta forma, para autora, torna-se possível transmitir uma carga muito maior de informações, de maneiras variadas, tendo como resultado maior retenção de conhecimentos e facilitando a aprendizagem. Falkembach (2013), destaca porém, que os jogos possuem uma finalidade que vai além do simples entretenimento, eles são ferramentas educacionais eficientes onde:

"Cabe ao professor planejar, organizar e controlar as atividades de ensino utilizando os recursos tecnológicos apropriados a fim de criar as condições ideais para que os alunos dominem os conteúdos, desenvolvam a iniciativa, a curiosidade científica, a atenção, a disciplina, o interesse, a independência e a criatividade" (FALKEMBACH, 2013).

Fialho (2008); Silva et al (2009), no mesmo sentido entendem que os jogos educativos enriquecem o desenvolvimento intelectual e social do aluno, por ser uma excelente ferramenta didática. Contudo, para garantir a efetividade desse recurso o professor deve proporcionar, como orientador do processo, um ambiente estimulador, pois, como acrescenta Miranda (2002), "a atividade lúdica é, essencialmente, um grande laboratório onde ocorrem experiências inteligentes e reflexivas. Experiências que geram conhecimento, que possibilitam tornar concretos os conhecimentos adquiridos". No ensino de Biologia, em particular no Ensino de Genética, Justina e Ferla (2006), afirmam que "a compreensão dos conceitos básicos é essencial ao entendimento das novas tecnologias". Ocorre que, o domínio de conceitos básicos é muito incipiente, independente do grau de escolaridade que se considere os estudantes, incluindo aí o Ensino Superior (JUSTINA; FERLA, 2006). Desta forma, Matrinez et al (2008), apontam como necessárias novas práticas que ajudem os estudantes na compreensão do conceitos de Genética que são considerados de difícil aprendizado. Nessa esteira, Pedroso (2009); Matrinez et al (2008), colocam que a ludicidade dos jogos didáticos complementam a teoria, contribuindo fortemente na apropriação de conceitos, auxiliando, conseqüentemente, no processo de ensino e aprendizagem.

DESENVOLVIMENTO DA INTERVENÇÃO

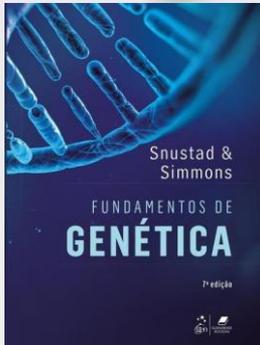
A disciplina de Genética tem como objetivo principal analisar o material genético, sua estrutura, função (aspectos celulares, moleculares e populacionais) e mecanismos de transmissão. São abordados temas como a produção, a manutenção e a alteração da variabilidade genética. Desta maneira, apresentamos, nesta seção, uma proposta com uma sequência de temas e conteúdos e roteiros de atividades para serem desenvolvidos na intervenção didática, assim como, a sugestão de livros textos que consideramos mais adequados na abordagem dos temas indicados. Espera-se, ao final da intervenção, que os estudantes sejam capazes de compreender e de utilizar os conceitos básicos da Genética em outras disciplinas, em experimentos científicos e em seu cotidiano como profissional de ciências biológicas e da saúde.

PROGRAMAÇÃO PARA INTERVENÇÃO DIDÁTICA

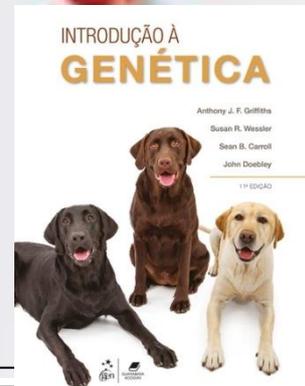
	SEMANAS	TEMÁTICAS
Programa para intervenção didática	1ª semana de aulas	Encontro 1: Atividade 1 (pré-teste). Encontro 2: História da Genética e Evolução do Conceito de Gene.
	2ª semana de aulas	Encontro 3: Estrutura e organização do genoma. Encontro 4: Bases Citológicas da Herança.
	3ª semana de aulas	Encontro 5: Atividade 2 (objetos de aprendizagem). Encontro 6: Leitura e discussão coletiva de artigo científico.
	4ª semana de aulas	Encontro 7: Herança Mendeliana /Monogênica. Encontro 8: Análises da Herança Mendeliana/Monogênica.
	5ª semana de aulas	Encontro 9: Atividade 3 (objetos de aprendizagem). Encontro 10: Leitura e discussão coletiva de artigo científico.
	6ª semana de aulas	Encontro 11: Alterações do material genético. Encontro 12: Avaliação 1 (atividade individual).
	7ª semana de aulas	Encontro 13: Correção da avaliação (interação coletiva). Encontro 14: Atividade 4 (pós-teste).

SUGESTÕES DE LIVROS-TEXTOS

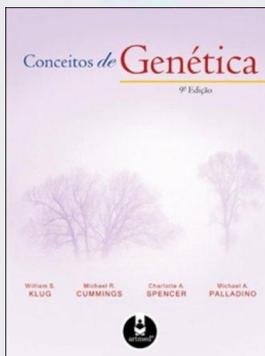
Os livros pertencem a cultura acadêmica, porém, em diversas realidades, é o material de estudo menos explorado pelos estudantes. Isso pode estar relacionado a um problema de leitura no âmbito universitário, realidade já destacada em vários estudos como aponta Santos (2006), segundo a autora, as pesquisas e estudos destacam que a importância da leitura é o caminho para o acesso e a produção do conhecimento, e prossegue afirmando que muitos estudantes que ingressam no Ensino Superior apresentam grandes dificuldades em relação à leitura, reflexo de uma tradição no ensino do país em que as práticas docentes não conduzem a formação de leitores proficientes.



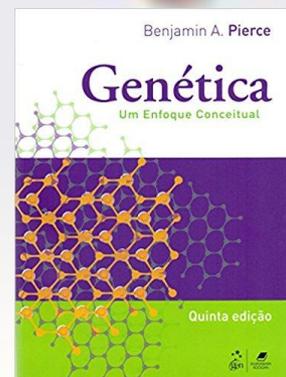
SNUSTAD, D. Peter. Fundamentos da Genética - 7ª Ed. Guanabara Koogan, 2017.



GRIFFITHS, ANTHONY J.T. Introdução à Genética. Guanabara Koogan, 2016.



KLUG, Willian S. Conceitos de Genética - 9ª Ed. Artmed, 2009.



PIERCE, A. Benjamin. Genética um enfoque conceitual. 5ª Ed. Guanabara Koogan, 2016.

1ª SEMANA DE AULAS

Aplicação da atividade exploratória (pré-teste): o intuito da aplicação do pré-teste é o de evidenciar quais as concepções que os estudantes possuem sobre o conceito, estrutura e transmissão do genoma para que se possa avaliar a maior variedade possível de ideias sobre esta temática e, conseqüentemente, direcionar toda a intervenção. O pré-teste deve ser aplicado, individualmente, no primeiro dia de aula e os estudantes participantes não devem fazer uso de material de apoio e também não devem contar com a ajuda do professor ou dos próprios colegas. Após a aplicação do pré-teste, durante toda a intervenção didática, deve-se buscar a explicitação das ideias dos estudantes a respeito do conceito de genoma, sua estrutura e transmissão, por meio de discussões em grupos, para que possam refletir sobre o seu próprio perfil conceitual.



História da Genética e Evolução do Conceito de Gene: Os objetivos dessa aula são compreender que o conhecimento da hereditariedade é um processo histórico, não-linear e socialmente assentido e também compreender que a herança biológica se baseia na transmissão de informações hereditárias - os genes - o que permite refletir sobre a continuidade da vida ao longo das gerações. Assim, deve-se buscar, neste encontro, realizar uma digressão histórica desde a antiguidade até o dias atuais, do conceito de genoma e suas relações, visto que, o termo genoma nos remete à hereditariedade e, já muito remotamente, diversas questões referentes à hereditariedade têm ocupado e incomodado a mente de pensadores e pesquisadores.

ENCONTRO 1

Atividade 1 - Principais Conceitos de Genética

Responda as questões e coloque nos parênteses os números correspondentes à avaliação do seu conhecimento como:

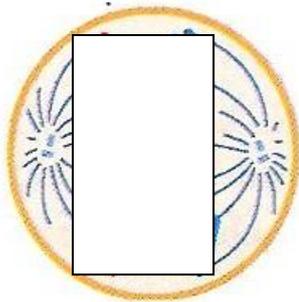
1- Não consigo avaliar 2- Ruim 3- Regular 4- Bom

1 - Representar os genomas (cromossomos lineares – fase G1 do ciclo celular) de organismos hipotéticos de acordo com o que se pede:

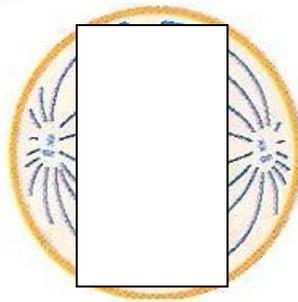
b) $2n=6$

c) $3n=6$

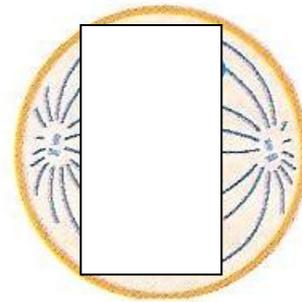
2 - Uma célula com genoma $2n=6$ entra em divisão celular e voce observa seus cromossomos na metáfase. Como voce imagina que deve ser a disposição dos cromossomos na placa metafásica para que seja possível identificar a metáfase da mitose, a metáfase I e II da meiose. Identifique os cromossomos de origem paterna e materna com cores diferentes.



Metáfase da mitose

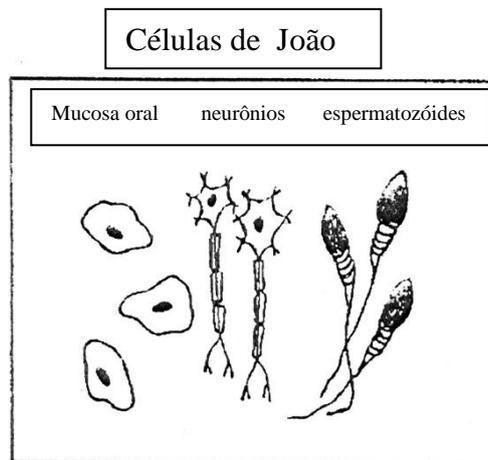


Metáfase I da meiose



Metáfase II da meiose

3 - Pense agora sobre os diferentes tipos de células de uma mesma pessoa. Responda às questões abaixo, marcando um dos itens e justificando sua resposta.



a - Considerando 2 células da mucosa oral de João pode-se afirmar que a informação genética nelas é:

a mesma diferente não sei

Favor justificar sua resposta

b - Considerando uma célula da mucosa oral de João e uma célula nervosa de João pode-se afirmar que a informação genética nelas é:

a mesma diferente não sei

Favor justificar sua resposta

c - Considerando uma célula da mucosa oral de João e um espermatozóide do João pode-se afirmar que a informação genética nelas é:

a mesma diferente não sei

Favor justificar sua resposta

d - Considerando 2 espermatozóides do João pode-se afirmar que a informação genética neles é:

a mesma diferente não sei

Favor justificar sua resposta

4 - Sobre a transmissão do material genético, explique:

a - O material genético que você recebe é igual ao que você transmite aos seus descendentes? Por que?

b - Se os filhos recebem parte do material genético de cada um dos genitores, por que os irmãos não são idênticos?

5 - Elabore, de forma livre, uma frase ou enunciado relacionando os seguintes termos: genoma, gene, DNA e cromossomos.

ENCONTRO 2

PLANO DE AULA

Disciplina: Genética				
Professor(a):				
Ensino Superior	Ano letivo:	Turma:	Nº de alunos:	Tempo: 100 min
Tema gerador: Gene				
Objetivos: <ul style="list-style-type: none"> - Compreender que o conhecimento da hereditariedade é um processo histórico, não-linear e socialmente assentido. - Compreender que a herança biológica se baseia na transmissão de informações hereditárias - os genes - de geração a geração, o que permite refletir sobre a continuidade da vida ao longo das gerações; 				
Conteúdo: História da Genética e Evolução do Conceito de Gene				
Conceitos trabalhados : conceitos históricos de gene, determinismo genético, genótipo, fenótipo, introns, transcrição, regulação, pseudogenes, genoma, epigenoma.				
Estratégia/Métodos: Aula expositiva e dialogada.				
Procedimentos: A aula foi baseada no artigo "A genética em transformação: crise e revisão do conceito de gene" de Leyla Mariane Joaquim; Charbel Niño El-Hani, disponível em http://dx.doi.org/10.1590/S1678-31662010000100005 . Deve ser iniciada com a exposição e explicação da história e os avanços da genética, sua construção histórica e filosófica, desde as ideias gregas até o desenvolvimento do projeto genoma e ENCODE. Serão abordados conceitos históricos do gene, onde são encontrados e porque são tão importantes para a hereditariedade. Debater sobre a crise que o conceito de gene enfrenta e o determinismo genético e as implicações sociais. Em seguida adentrar na conceituação de genótipo e fenótipo. Por fim será desenvolvidos os conceitos de transcrição, expressão, regulação pós-transcricional, pseudogenes e epigenoma. Se houver possibilidade de desdobramento da aula, pode se solicitar aos estudantes que opinem sobre como deve-se entender o gene no século XXI.				
Materiais e Recursos: Projetor de slides, quadro branco, pincel para quadro branco, slides. As bases teóricas desses assuntos foram consultadas e baseadas nos livros textos indicados na disciplina.				
Avaliação: Interação (estudante-professor e estudante - estudante) no desenvolvimento da aula.				

2ª SEMANA DE AULAS

Estrutura e organização do genoma: O objetivo dessa aula é proporcionar aos estudantes o conhecimento da estrutura e da organização dos genes em genomas de organismos eucarióticos. O genoma dos eucariotos consiste no DNA encontrado no núcleo mais o DNA das organelas. Da mesma forma que o DNA plasmidial, essas moléculas são independentes do DNA nuclear. O DNA nuclear dos eucariotos está organizado em cromossomos, e o número de cromossomos varia entre as espécies. Dentro de uma determinada espécie, o tamanho dos cromossomos também varia.



Bases Citológicas da Herança: Esta aula objetiva levar o estudante a compreender a dinâmica da transmissão de características hereditárias nas famílias e nas populações de organismos eucariotos. Portanto, o estudante deverá entender a correlação existente entre mecanismos do ciclo celular com os de herança, genes e cromossomos. O estudante também compreenderá que a recombinação aumenta a variação genética por intermédio da permuta de partes de cromossomos homólogos, envolvendo o rearranjo de genes presentes nesses cromossomos. E por consequência, com a recombinação novas arranjos alélicos podem aparecer.

ENCONTRO 3

PLANO DE AULA

Disciplina: Genética				
Professor(a):				
Ensino Superior	Ano letivo:	Turma:	N° de alunos:	Tempo: 100 min
Tema gerador: Genomas Eucariotos				
Objetivos: <ul style="list-style-type: none"> - Compreender a complexidade do genoma eucarioto (componentes envolvidos; níveis de diferenças). - Fornecer informações básicas sobre a estrutura e constituição do genoma eucarioto; 				
Conteúdo: Bases Estrutura e Organização dos Genomas Eucariotos				
Conceitos trabalhados : genoma, cromossomos, DNA (valor C), ploidia, cromatina: eucromatina e heterocromatina, famílias gênicas, DNA repetitivo, microssatélites.				
Estratégia/Métodos: Aula expositiva e dialogada.				
Procedimentos: A aula inicia com a conceituação de genoma. Os estudantes podem apresentar seus conceitos de genoma e debater sobre qual o conceito mais adequado, passando então para uma construção coletiva. Convém fazer uma diferenciação dos genomas encontrados em vírus e organismos procariotos do genomas eucariotos. Abordar grupos de sequências de DNA e as famílias gênicas. DNA repetitivo in tandem e DNA repetitivo disperso. Diferenciar o DNA mitocondrial do nuclear. Demonstrar a cromatina e as regiões do cromossomo metafásico. Por fim, debater sobre os telômeros e suas funções.				
Materiais e Recursos: Projetor de slides, quadro branco, pincel para quadro branco, slides. As bases teóricas desses assuntos foram consultadas e baseadas nos livros textos indicados na disciplina.				
Avaliação: Interação (estudante-professor e estudante - estudante) no desenvolvimento da aula.				

ENCONTRO 4

PLANO DE AULA

Disciplina: Genética				
Professor(a):				
Ensino Superior	Ano letivo:	Turma:	Nº de alunos:	Tempo: 100 min
Tema gerador: Hereditariedade				
Objetivos: <ul style="list-style-type: none"> - Relacionar os cromossomos com a segregação de características genéticas. - Apresentar os cromossomos como unidade física da herança. - Apresentar a recombinação como força que altera padrões de segregação. 				
Conteúdo: Bases Citológicas da Herança.				
Conceitos trabalhados : mitose, meiose, segregação, recombinação intracromossômica, crossing over, recombinação intercromossômica.				
Estratégia/Métodos: Aula expositiva				
Procedimentos: A aula inicia com uma revisão sobre o ciclo da vida de organismos multicelulares e prossegue com o ciclo celular e suas fases (G1; S; G2). Posteriormente, será abordada a divisão celular por mitose. Neste ponto pode-se trabalhar termos como ploidia e cromossomos homólogos, locus e alelos. Na sequência, apresenta-se a divisão celular por meiose e as recombinações intracromossômica e intercromossômica.				
Materiais e Recursos: Projetor de slides, quadro branco, pincel para quadro branco, slides. As bases teóricas desses assuntos foram consultadas e baseadas nos livros textos indicados na disciplina.				
Avaliação: Interação (estudante-professor e estudante - estudante) no desenvolvimento da aula.				

3ª SEMANA DE AULAS



Estimando amigo professor, informe seus alunos com antecedência sobre a execução da primeira atividade com os objetos de aprendizagem "combinar e recombinar com os dominós". Recomende a visualização prévia do vídeo: combinar e recombinar com os dominós junto com o roteiro de estudo. Vídeo disponível em:

<https://www.youtube.com/watch?v=QUjiXQOtC9Y>

Execução da Atividade 2: Configura a primeira atividade com os objetos de aprendizagem "combinar e recombinar com os dominós". Os objetos de aprendizagem são compostos por um jogo de dominós representando cromossomos e por um vídeo autoexplicativo disponível gratuitamente na internet. Os estudantes são divididos em grupos, que dependendo da disponibilidade de material, podem variar de dois a quatro componentes. Inicia-se a atividade questionando os alunos sobre quantos assistiram previamente ao vídeo na internet e se compreenderam claramente as informações repassadas. De posse dessa informação, o professor deverá optar por exibir o vídeo em sala antes da atividades, para explicar como se utiliza o jogo de dominós, ou, prosseguir direto com a atividade 2 se os estudantes não demonstrarem dificuldades em manipular as peças jogo.



Leitura e discussão coletiva de artigo científico: A eficiência na leitura e na escrita científica, na maioria das vezes, é desenvolvida durante a graduação. A formação de leitores críticos e competentes também é papel das universidades. A leitura científica é uma forma de interação com o mundo. O objetivo desse encontro é desenvolver uma atividade de leitura coletiva coordenada que crie condições para os estudantes consigam desenvolver uma leitura funcional de textos científicos e promova um aprendizado sólido, tanto por intermédio de reflexões como de debates em grupos. Nesta atividade, o docente fica livre para escolher seus textos que podem ser trabalhados, contudo fizemos nossa sugestão.

Analizando o vídeo

Roteiro para o estudante

O vídeo está disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=QUjiXQOtC9Y>

Na apresentação do vídeo

- 1- Consigo entender bem o genoma representado? Por que tenho 7 cromossomos paternos e 7 cromossomos maternos?
- 2- Os tipos de cromossomos estão claros? metacêntrico, submetacêntrico e acrocêntrico?
- 3- Os conceitos estão claros, cromossomos, cromossomos homólogos e cromátides irmãs?
- 4- Consigo identificar a recombinação intracromossômica e a recombinação intracromossômica?

Dinâmica do material genético na reprodução celular

- 1- Consigo lembrar do ciclo celular? Fases G1, S, G2 e Mitose e Meiose?
- 2- Condensação do material genético? genoma $2n=4$, 2 pares de homólogos?
- 3- Material genético antes e depois da duplicação do DNA (fase S)? quantidade de DNA?

Mitose

- 1- Lembro qual o objetivo da mitose?
- 2- Lembro a sequência dos acontecimentos: duplicação material genético; condensação dos cromossomos; fuso mitótico; alinhamento dos cromossomos na placa metafásica, separação das cromátides irmãs; migração dos cromossomos para pólos opostos da célula; a divisão da célula.
- 3- Resultado: genoma das células filhas, comparação com a célula original.

Meiose

- 1- Lembro qual o objetivo da meiose?
- 2- Sequência dos acontecimentos:

Meiose I - duplicação do material genético; condensação dos cromossomos; pareamentos dos cromossomos homólogos durante a metáfase; recombinação intracromossômica (crossing over); alinhamentos dos pares de homólogos; separação dos cromossomos homólogos; migração dos cromossomos para pólos opostos da célula; divisão citoplasma - ver o resultado quanto à quantidade/qualidade do material genético, estrutura dos cromossomos e ploidia.

Meiose II - formação de novos fusos; cromossomos individuais (após recombinação) alinham placa metafásica; separação das cromátides irmãs e migração para pólos opostos da célula; célula se divide.

- 3- Resultado: genoma das células filhas, comparar com a original quanto à quantidade/qualidade do material genético, estrutura dos cromossomos e ploidia.

Entendendo a variação genética

Parte I - variação intercromossômica

- 1-Distribuição aleatória de cromossomos paternos e maternos, onde? Quando? Qual a consequência?
- 2- genoma $2n=6$, entendido?
- 3- entendido as diferentes possibilidades de distribuições ao acaso?

Parte II - Variação genética intracromossômica

- 1- Consigo diferenciar alelos, loci e lócus?
- 2- Consigo identificar os loci nos cromossomos, antes e depois da duplicação – genótipos homozigóticos e heterozigóticos, fenótipos?
- 3- Identifico o conjunto dos alelos de loci diferentes no mesmo cromossomo – ligação e diferença de genótipo?
- 4- Entendo a ocorrência do crossing over e consigo comparar os produtos da 1ª simulação? Qual o conjunto de alelos nos gametas?
- 5- Entendo a ocorrência do crossing over e consigo comparar os produtos da 2ª simulação? Qual o conjunto de alelos nos gametas?

Entendendo os genomas

- 1- Entendo o conjunto completo de material genético de um organismo – genoma básico e os múltiplos? Observo e identifico os homólogos?

ATIVIDADE 2

Nomes: _____ Matrículas: _____

ATIVIDADES COM OS DOMINÓS DE CROMOSSOMOS

Orientação geral: Com a utilização das peças do jogo dos dominós, apresente as respostas das questões abaixo. Seria adequado fazer fotos para apresentar ao final.

1 - Organize todas as peças do jogo e considere que são cromossomos que constituem o genoma de um organismo hipotético. Observe que as cores diferenciam os cromossomos por sua origem parental e o número por sua morfologia.

a - Qual é o número do genoma monoploide, do diploide e do haploide?

b - No caso do diploide, quantos pares de homólogos existem? Quantas cromátides haveriam no início da mitose? Quantas cromátides haveriam na fase G1?

2 - Represente o arranjo dos cromossomos para os genomas abaixo, nas fases da divisão celular: Metáfase da mitose, Metáfase I da meiose e Metáfase II da meiose.

a) $2n=4$

b) $3n=6$

3 - Com o jogo, represente um genoma $2n=6$ e demonstre a dinâmica dos cromossomos no processo da meiose. Neste caso, não considere o evento do crossing over.

a) Quantos gametas diferentes podem ser produzidos?

***Observe que no jogo existem 2 fases, do outro lado das peças se encontram cromossomos com regiões que representam produtos de recombinação, durante a prófase da meiose.**

b) Considere agora a ocorrência de um crossing over em um dos pares de cromossomos. Quantos gametas diferentes podem ser produzidos?

c) O que ocorre se tivermos dois eventos de recombinação em dois pares de cromossomos diferentes? Quantos gametas são possíveis agora?

d) Qual é a probabilidade de formar um gameta com todos os cromossomos de origem paterna? E com todos maternos?

4 - Nesta atividade utilizar somente as peças dos cromossomos 1 e 2. Considere que esses 2 cromossomos representam o conjunto monoploide de um organismo. Com esse material, organize os genomas apontados abaixo, representando-os na fase G1 do ciclo celular.

a) genoma triploide ($3n$), quantos homólogos possui?

b) genoma tetraploide ($4n$), quantos homólogos possui?

5- Complete o quadro considerando células de um organismo $2n=12$. A quantidade de DNA se representa pela letra C, sendo $2C =$ a quantidade de DNA em uma célula somática diplóide, na fase G1.

	N ^o cromossomos	N ^o moléculas DNA	Quantidade DNA	Ploidia (X)
Célula somática G1				
Célula somática G2				
Célula em metáfase da mitose				
Célula ao final da mitose				
Metáfase meiose I				
Metáfase meiose II				
Espermatozóide				
Oócito				



GENES, GENOMAS, RNAs NÃO-CODIFICADORES E A COMPLEXIDADE BIOLÓGICA

Francis de Moraes Franco Nunes

Pesquisador associado ao Laboratório de Biologia do Desenvolvimento de Abelhas, Universidade de São Paulo, campus Ribeirão Preto
E-mail: francis@rga.fmrp.usp.br

O Projeto Genoma Humano iniciou-se em 1990, quando se estimava que o nosso material genético possuísse cerca de 100 mil genes. Em 2001 foram publicados dois artigos que apresentaram o primeiro esboço referente ao sequenciamento de quase todo o genoma humano, e tornou-se possível uma previsão mais realista do número de genes, calculada entre 30 a 40 mil (Lander et al., 2001; Venter et al., 2001). Dez anos se passaram e muitas pesquisas sobre o tema foram realizadas nesse período. Revisamos informações da literatura científica e de bancos de dados, e encontramos que o número mais aceito atualmente corresponde a 22.333 genes humanos (Pertea e Salzberg, 2010) espalhados num universo de 3,2 bilhões de pares de bases (Lander et al., 2001; Venter et al., 2001).

Nesta revisão, estaremos usando o termo *gene** para nos referirmos apenas às seqüências de DNA que são transcritas em moléculas de RNAs mensageiros (mRNAs) e, por consequência, traduzidas em proteínas.

Curiosamente, o verme *Caenorhabditis elegans* possui um genoma cerca de 30 vezes menor que o humano (aproximadamente 100 milhões de pares de bases) e possui 19.735 genes (Chen et al. 2005). Por que organismos com graus de complexidade tão distintos apresentam similaridade na quantidade de genes e diferença no tamanho do genoma?

Essa é uma questão de ordem evolutiva, e nos remete a dois índices: o valor-C e o valor-G. O valor-C refere-se à quantidade de DNA em um genoma nuclear haplóide (Swift, 1950). Geralmente a quantidade de DNA é calculada em picogramas (pg) ou em milhões de pares de bases (Mb). Assim, os termos “quantidade de DNA” e “tamanho do genoma” são equivalentes e ambos refletem o valor-C de uma espécie qualquer. Para conversão, é amplamente aceito que 1 pg \approx 978 Mb (Dolezel et al.,

2003). Já o valor-G diz respeito ao número de genes codificadores de proteínas presentes num genoma nuclear haplóide (Hahn e Wray, 2002).

Ambos os índices são intrigantes, pois não são coerentes com o conhecimento que temos hoje sobre a história evolutiva dos grupos de seres vivos. As contradições provenientes do debate sobre esses índices culminaram no estabelecimento de dois enigmas biológicos: o “paradoxo do valor-C” (Thomas, 1971) e o “paradoxo do valor-G” (Hahn e Wray, 2002).

**Nota: Uma das razões da discrepância nas estimativas do número de genes humanos deve-se ao uso de diferentes conceitos sobre “genes”. A problemática conceitual interfere nas predições gênicas apenas do ponto de vista técnico. Os métodos computacionais utilizados atualmente para predição de genes não são completamente precisos, e potenciais erros são constantemente corrigidos por meio de validações experimentais e reanotações manuais dos genes, um a um. Ainda que seja importante definir o número exato de genes de uma dada espécie, os esforços científicos têm centrado muito na evolução dos genomas e dos organismos, e na regulação e funções gênicas. Informações evolutivas, reguladoras e funcionais servem como parâmetros para a compreensão dos diferentes processos de desenvolvimento orgânico e, consequentemente, graus de complexidade biológica. Essas informações vão desde a organização genômica e molecular à diversidade celular (número, formas, funções).*

Tais paradoxos estão ilustrados na Figura 1, onde se observa que os genomas de mamíferos (como o homem, camundongo, gato, cavalo e cão) são, em geral, maiores que os de outros vertebrados (como galinha, rã e o peixe), invertebrados (como o ouriço-do-mar, mosquito, mosca e verme), eucariotos unicelulares (levedura), plantas (arroz) e procariotos (bactéria). No entanto, é equivocado concluir que organismos mais derivados

possuem genomas maiores do que os organismos mais primitivos. Basta notar que o invertebrado transmissor da dengue, *Aedes aegypti*, tem o genoma ligeiramente maior do que o da galinha (*Gallus gallus*), porém um número menor de genes.

Similarmente, o potencial codificador desses genomas, indicado pelo número de genes, também não reflete o grau de complexidade evolutiva. Na Figura 1, observamos que organismos completamente distintos como ouriço-do-mar, peixe e arroz são os que se destacam com relação à abundância de genes, superando todos os mamíferos ilustrados.

Biologicamente, o ser humano é a espécie mais complexa vivente nos dias atuais, sobretudo pela sua extraordinária capacidade cognitiva e de comunicação. Esses atributos são, sem dúvida, resultantes da expressão de elementos genéticos (sendo os genes apenas um entre vários elementos) que controlam nosso desenvolvimento, nossa fisiologia, nosso comportamento e criatividade. Cabe ressaltar que, na natureza, encontramos organismos menos complexos que o homem, e que possuem

genomas extraordinariamente grandes. São os casos da ameba *Amoeba dubia*, do peixe *Protopterus aethiopicus*, da cebola *Allium cepa* e do sapo *Bufo bufo*, os quais possuem genomas com aproximadamente 209, 43, seis e duas vezes o tamanho em humanos, respectivamente.

Alguns estudos conseguiram detectar conexões entre o tamanho de genomas e certas características de alguns grupos. Sabe-se que, para muitos organismos, o tamanho do genoma correlaciona-se positivamente com o tamanho das células e negativamente com a taxa de divisão celular (revisado por Gregory, 2002). Para exemplificar, podemos comparar os procariotos, que possuem células com comprimento médio entre 1-5 micrômetros e genomas compactos, com os eucariotos, que possuem células com comprimento médio entre 5-100 micrômetros e genomas maiores. Por outro lado, os genomas menores dos procariotos replicam-se mais rapidamente e a divisão celular é, portanto, mais veloz que nos eucariotos. Esses estudos com enfoque na relação do valor-C versus caracteres morfo-fisiológicos são pontuais e não se constituem em leis biológicas.

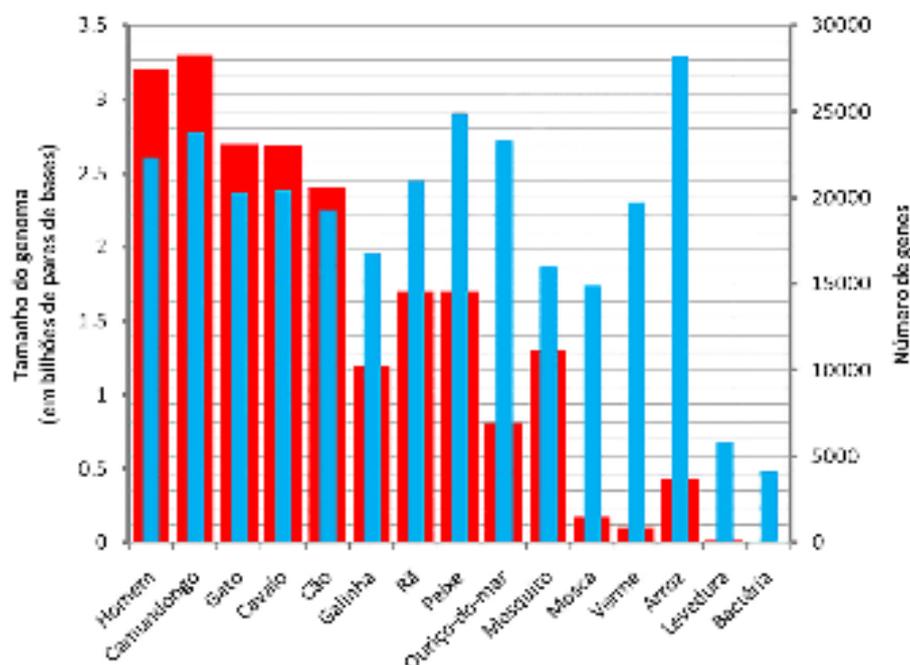


FIGURA 1: Distribuição comparativa do tamanho dos genomas (barras vermelhas e valores no eixo vertical esquerdo) versus o número de genes (barras azuis e valores no eixo vertical direito) em diferentes organismos. Dados compilados de informações do NCBI-GenBank (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank>) e literatura científica (buscas em <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>) referente aos genomas sequenciados de cada espécie: homem (*Homo sapiens*), camundongo (*Mus musculus*), gato (*Felis catus*), cavalo (*Equus caballus*), cão (*Canis lupus familiaris*), galinha (*Gallus gallus*), rã (*Xenopus tropicalis*), peixe (*Danio rerio*), ouriço-do-mar (*Strongylocentrotus purpuratus*), mosquito (*Aedes aegypti*), mosca (*Drosophila melanogaster*), verme (*Caenorhabditis elegans*), arroz (*Oryza sativa*), levedura (*Saccharomyces cerevisiae*) e bactéria (*Escherichia coli*).

Do ponto de vista genético, existe algum parâmetro capaz de explicar o aumento da complexidade biológica ao longo da história evolutiva? A resposta é sim e discutiremos a seguir.

Até poucos anos atrás, as proteínas foram o centro das atenções científicas. A relevância das proteínas se deve aos diferentes papéis celulares que elas desempenham como atividades enzimáticas, estruturais e reguladoras. Os eventos de processamento alternativo (*splicing alternativo*), por exemplo, podem gerar dois ou mais tipos de proteínas a partir de um único mRNA. É correto dizer que o *splicing alternativo* aumenta o potencial codificador nos organismos e, assim, gera complexidade. Mas, sozinho, o *splicing alternativo* não é capaz de explicar toda a diversidade de vida no planeta.

A resposta à questão acima está aqui: a grande quantidade de informações de sequências genômicas disponíveis nos bancos de dados (especialmente no GenBank) nos revela que houve uma expansão e acúmulo de DNA não-codificador de proteínas durante o curso da evolução das espécies. Também, descobriu-se que existe uma forte correlação entre a complexidade biológica e o aumento na quantidade de sequências não-codificadoras (Taft e Mattick, 2003; Taft et al., 2007). Ao se dividir o número de sequências não-codificadoras (*nc*) de um organismo pelo seu valor-*C* (*tg*, tamanho do genoma) e, em seguida, comparar as razões *nc/tg* entre diferentes espécies, observa-se uma escala de valores com coerência evolutiva. As razões *nc/tg* descritas por Taft e Mattick (2003) foram capazes de discriminar diferentes grupos de seres vivos, do mais basal ao mais derivado (Tabela 1).

TABELA 1: Razões entre o número de sequências de DNA não-codificador (*nc*) pelo tamanho do genoma (*tg*). As razões foram calculadas para diferentes grupos de seres vivos por Taft e Mattick (2003).

Grupo		Razões
Procariotos		< 0,25
Eucariotos unicelulares		entre 0,26 e 0,52
Eucariotos multicelulares	Plantas	entre 0,71 e 0,80
	Invertebrados	entre 0,74 e 0,93
	Vertebrados	entre 0,89 e 0,98

Hoje sabemos que a informação genética vai muito além da transcrição de RNAs mensageiros (mRNAs), transportadores (tRNAs) e ribossômicos (rRNAs). Esses três tipos de RNAs são clássicos e funcionam em sintonia para a ocorrência de síntese proteica. Nos últimos anos tecnologias para análise de expressão gênica e sequenciamento em larga-escala foram aprimoradas (ex: *tiling arrays*, *next-generation RNA-Seq*), as quais permitiram uma nova compreensão sobre o potencial de transcrição das informações genéticas em diversos genomas.

As regiões DNA não-codificadoras foram consideradas por muito tempo como “lixo genético”, dada a ausência de informação para síntese de proteínas. Em leveduras, estimou-se que 74,5% do genoma é transcrito (excluindo-se sequências repetitivas), sendo que a maioria destes não gera proteínas (Nagalakshmi et al., 2008). Assim, os resultados experimentais têm apontado que regiões de DNA não-codificador em diferentes espécies são alvos de transcrição, ou seja, produzem moléculas de RNAs não-codificadores.

As recentes evidências científicas apontam que, juntamente com as proteínas, os RNAs não-codificadores são capazes de coordenar o metabolismo celular e definir os fenótipos dos organismos. A partir de 2005 tornou-se claro que os genomas de animais e plantas produzem uma abundância de RNAs não-codificadores (revisado por Mattick, 2009). Em humanos e outros mamíferos, por exemplo, sabe-se que RNAs não-codificadores são transcritos em ambas as fitas do DNA, inclusive sobrepondo regiões promotoras e de mRNAs (Carninci et al., 2005; Kapranov et al., 2007).

Os genomas são mais dinâmicos e complexos do que se podia imaginar, e a “soberania proteica” está em queda. Baseado no exposto, propomos um novo índice, que chamaremos de valor-R (de RNA), relativo a todo o potencial de transcrição de diversos tipos de RNA (codificadores e não-codificadores de proteínas) de um genoma nuclear haplóide. Já podemos também nos antecipar e propor outro índice, o valor-N (*N* de *networks* = redes), cujas inferências basear-se-ão no grau de interações mo-

leculares e dinamismo metabólico em diversos organismos. A expectativa é que tais índices sejam robustos o suficiente para hierarquizar a complexidade biológica sem que surjam novos paradoxos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

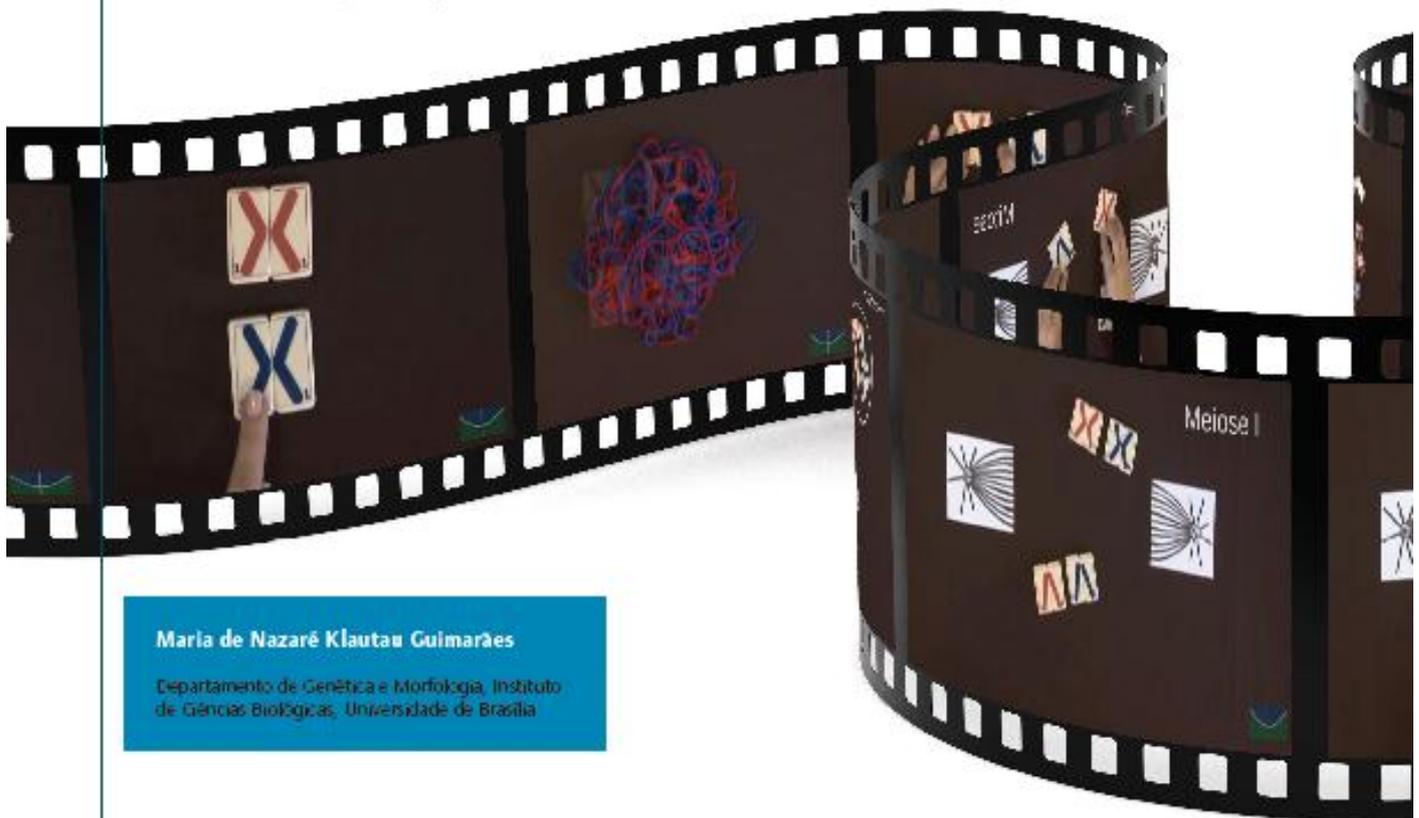
- CARNINCI P et al. 2005. The transcriptional landscape of the mammalian genome. *Science* 309(5740):1559-1563.
- CHEN N et al. 2005. WormBase: a comprehensive data resource for *Caenorhabditis* biology and genomics. *Nucleic Acids Research* 33(Database issue):D383-389.
- DOLEZEL J et al. 2003. Nuclear DNA content and genome size of trout and human. *Cytometry A* 51(2):127-128.
- GREGORY TR. 2002. Genome size and developmental complexity. *Genetica* 115(1):131-146.
- HAHN MW, WRAY GA. 2002. The G-value paradox. *Evolution and Development* 4 (2):73-75.
- KAPRANOV P et al. 2007. Genome-wide transcription and the implications for genomic organization. *Nature Review Genetics* 8(6):413-423.
- LANDER ES et al. 2001. Initial sequencing and analysis of the human genome. *Nature* 409(6822):860-921.
- MATTICK JS. 2009. The genetic signatures of noncoding RNAs. *PLoS Genetics* 5(4):e1000459.
- NAGALAKSHMI U et al. 2008. The transcriptional landscape of the yeast genome defined by RNA sequencing. *Science* 320(5881):1344-1349.
- PERTEA M, SALZBERG SL. 2010. Between a chicken and a grape: estimating the number of human genes. *Genome Biology* 11(5):206.
- SWIFT H. 1950. The constancy of desoxyribose nucleic acid in plant nuclei. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 36:643-654.
- TAFT RJ, MATTICK JS. 2003. Increasing biological complexity is positively correlated with the relative genome-wide expansion of non-protein-coding DNA sequences. *Genome Biology*, Preprint Depository <http://genomebiology.com/2003/5/1/P1>.
- TAFT RJ, PHEASANT M, MATTICK JS. 2007. The relationship between non-protein-coding DNA and eukaryotic complexity. *Bioessays* 29(3):288-299.
- THOMAS CA JR. 1971. The genetic organization of chromosomes. *Annual Review of Genetics* 5:237-256.
- VENTER JC et al. 2001. The sequence of the human genome. *Science* 291(5507):1304-51.



RESENHAS

Combinar e recombinar com os dominós

AUTOR: UAB/UnB, 2013

**Maria de Nazaré Klautau Guimarães**

Departamento de Genética e Morfologia, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília

No ensino de Genética uma das principais dificuldades é a falta de compreensão do processo da meiose e sua relação com a estrutura do genoma, a reprodução, os ciclos de vida e a variação genética. Os métodos tradicionais de ensino, atualmente, podem ser considerados pouco efetivos face aos recentes avanços do conhecimento e apontam para a necessidade de novas estratégias de aprendizagem, como as utilizadas pelas Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC).

O vídeo educativo "Combinar e recombinar com os dominós", produzido no ano de 2013 pela equipe da UAB/UnB, aborda os principais conceitos de Genética relacionados à herança, ao genoma e à reprodução utilizando o modelo didático descrito nesta revista (KLAUTAU et al., 2008; 2011). O vídeo está disponível gratuitamente no link: <http://www.youtube.com/watch?v=QUjiXQOtC9Y>.

O objetivo principal desta mídia é servir como apoio ao processo de ensino dos principais conceitos de Genética, pois

O vídeo apresenta duração aproximada de 18 (dezoito) minutos e divide-se em cinco partes: (1) Apresentação do material; (2) Entendendo os genomas; (3) Dinâmica do material genético na reprodução celular; (4) Entendendo a variação genética intercromossômica; e (5) Entendendo a variação genética intracromossômica.

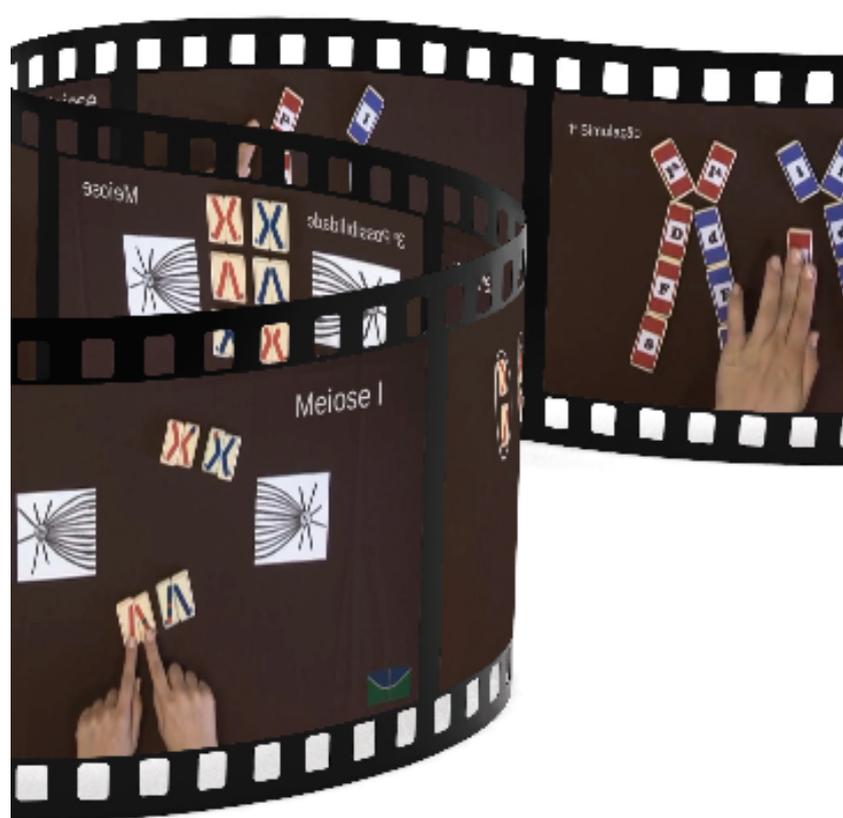
Este material poderá ser utilizado por professores do ensino médio, quando cada parte poderá ser explorada com as explicações que se fizerem necessárias. Já no ensino superior, o vídeo também poderá ser muito útil na etapa da revisão inicial na disciplina de Genética, principalmente para a formação de professores, quando os estudantes poderão ter atuação mais participativa e reflexiva, podendo perceber a origem das dificuldades de compreensão a respeito de tais assuntos. Todos os desenhos dos dominós poderão ser solicitados à equipe autoral (e-mail: nklaudou@unb.br). Assim, os estudantes e/ou professores poderão confeccionar o próprio material, que servirá como estímulo à aprendizagem, visto que a qualidade do trabalho apresentado enriquece as atividades com material concreto.

Ao final do processo, os futuros profissionais estarão mais capacitados a sugerir outras atividades com os modelos, de grande importância para a prática docente. Este recurso didático também poderá ser utilizado como instrumento para uma aprendizagem autônoma tanto no ensino presencial, como no ensino à distância.

Klaudou-Guimarães, M. N.; Oliveira, S. F.; Pedrosa, H.; Correia, A. Dinâmica dos alfinetes no ensino de genética. *Genética na Escola* v. 3, n. 2, p. 42-46, 2008.

Klaudou-Guimarães, M. N.; Resende, T. A.; Lobo, J.; Oliveira, S. F. Entendendo a variação genética. *Genética na Escola* v. 6, n. 1, p. 56-66, 2011.

estimula o raciocínio e a concretização do aprendizado de conteúdos considerados abstratos, por meio de uma atividade reflexiva e ativa. Os objetivos específicos visados por este método englobam, dentre outros, facilitar a compreensão do comportamento do material genético na transmissão entre células e gerações; na relação entre os conceitos de cromossomos, moléculas de DNA, cromátides, genes, alelos e genomas; como também, no entendimento da origem da variação genética na formação dos gametas.





COMBINAR E RECOMBINAR COM OS DOMINÓS

Klautau-Guimarães MN¹; Oliveira SF¹; Akimoto A¹; Hiragi C¹; Barbosa, LS; Rocha DMS² e Correia A³

¹ Departamento de Genética e Morfologia – Instituto de Ciências Biológicas- Universidade de Brasília

² Campus de Planaltina- Universidade de Brasília

³ Departamento de Biologia- Universidade de Aveiro- Portugal

Email: aklautau@unb.br

Introdução

Os conhecimentos na área de Genética são de natureza interdisciplinar e apresentam relação direta com o contexto social contemporâneo. A sociedade necessita ter acesso aos conhecimentos científicos desta área para que possa se engajar em um debate informado sobre o futuro das pesquisas em Genética e como sua aplicação pode afetar a saúde humana e o ambiente.

Apesar do desenvolvimento da Genética, grande parte da população mundial ainda explica os fenômenos hereditários considerando os conhecimentos cotidianos, que constitui um grande obstáculo para a compreensão da Genética no contexto escolar. No contexto escolar, um dos grandes obstáculos para o esclarecimento e a compreensão dos fenômenos hereditários é o modo pelo qual grande parte da população mundial ainda entende e explica esses fenômenos pois, apesar do desenvolvimento da Genética, apesar das informações científicas, a hereditariedade é ainda interpretada com base em conhecimentos leigos, do cotidiano. As explicações para os fenômenos hereditários por parte de indivíduos com níveis de escolaridades diferentes são similares e se distanciam muito das concepções científicas. As concepções errôneas sobre os fenômenos hereditários são construções socialmente compartilhadas e ativamente conservadas nas práticas sociais (Santos, 2005). Por exemplo, as relações de parentesco entre familiares são frequentemente descritas por ligação de sangue, pois prevalece a idéia de que os atributos genéticos estão no sangue. Da mesma forma, apesar do processo de fecundação ser amplamente conhecido, a natureza do material hereditário e as leis mendelianas de herança não são ainda devidamente compreendidos (Richards, 1996).

As dificuldades que os conteúdos científicos levantam decorrem da própria natureza desses conceitos, como é, por exemplo, o caso dos conceitos de DNA, proteína ou gene, os quais escapam a um acesso sensorial direto dos estudantes, ou seja, às suas experiências cotidianas. O mesmo se passa com muitos dos processos

estudados em biologia, como é o caso da síntese proteica ou da divisão celular. Além disso, as informações prévias que os estudantes possuem sobre esses conceitos podem interferir no processo de construção de significados, causando distorção do novo conhecimento. A Genética constitui um campo paradigmático para ilustração de muitas das dificuldades e problemas de aprendizagem (Cid & Neto, 2005). Dificuldades relativas ao processo de aprender e ensinar genética na universidade foram alvo de um relato de Griffiths e Mayer-Smith (2000) que apresentaram estratégias e atividades baseadas no construtivismo visando vencer os obstáculos.

Outra dificuldade é com relação à leitura das figuras apresentadas em livros. Por exemplo, estudantes da 3ª série do ensino médio de Brasília demonstraram dificuldades na leitura das imagens sobre a divisão celular assim como na aprendizagem desse tema. A forma como os alunos compreendem e aplicam os conceitos de cromátide, cromossomos homólogos, célula haplóide e célula diplóide, e a própria relação com a imagem, podem ser consideradas causas dessa dificuldade (Barros & Carneiro, 2005).

A explicitação da relação entre os processos – mitose, meiose e fecundação- os ciclos de vida e a continuidade da informação genética são as orientações principais que vários trabalhos destacam para o ensino/aprendizagem de Genética (Baner & Ayuso 1995; Lewis et al, 2000; Cid & Neto 2005; Silveira & Amabis, 2003). Observa-se também que no ensino superior a relação correta entre a meiose, DNA e herança mendeliana não fica bem estabelecida mesmo após os estudantes terem sido aprovados na disciplina (Griffiths & Mayer-Smith, 2000; Torres et al, 2004; Lock & McDermid, 2005; Neth et al, 2006).

Dentre as necessidades formativas, apontadas por professores de biologia, em formação inicial e contínua, está a proposição de recursos didáticos visando facilitar o processo de ensino e aprendizagem (Sarmiere & Justina, 2004). A compreensão dos conceitos básicos é essencial

aos conhecimentos de novas tecnologias e pode ser facilitada pela inserção de modelos didáticos no processo de ensino aprendizagem (Justina & Ferla, 2006).

Objetivo

Atualmente existe um rico material virtual facilmente acessado pela Internet, porém ainda há uma carência de material que possibilite a concretização da idéia. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi apresentar um modelo didático que pode ser utilizado tanto no nível médio como no superior, que visa o melhor entendimento do comportamento do material genético durante as divisões celulares. O modelo é de baixo custo, fácil preparação e enfatiza a recombinação, produção (ou formação) de gametas e os possíveis erros na transmissão do material genético. Permite também que o estudante tenha a concretização de um conteúdo abstrato em decorrência da busca ativa da compreensão dos processos, e seja levado a uma atividade reflexiva sobre os processos e conhecimentos genéticos e citológicos.

Metodologia

Material:

- 1 jogo de dominó (base para a confecção dos cromossomos);
- papel camurça de duas cores diferentes (para representar a herança dos cromossomos materno e paterno);
- etiquetas brancas e canetas coloridas ou pequenas etiquetas coloridas (para representar os diferentes alelos).

Procedimento de montagem:

O material básico, isto é, os cromossomos montados nas peças de dominó, poderá ser preparado pelo professor antes do início da atividade em sala de aula ou juntamente com os alunos, dependendo do tempo disponível e do objetivo da atividade. Por exemplo, é interessante que alunos de graduação realizem a montagem pois poderão utilizar o mesmo recurso didático em sua vida profissional.

Para o melhor aproveitamento das 28 peças do dominó, foi definida uma composição de $2n = 14$, sendo que os sete cromossomos de origem paterna foram representados na cor azul e os sete de origem materna, na cor vermelha. Cada cromossomo foi representado por duas peças, cada peça representando uma cromátide, visando facilitar a visualização da dinâmica da separação das mesmas no processo de divisão celular. A figura 1 representa este material básico simulando diferentes tipos de cromossomos e tamanhos variados. Nas figuras 2, 3 e 4 estão apresentadas algumas das possíveis simulações utilizando-se o material em questão.

Com o objetivo de simular o crossing-over, foi utilizado um recorte de cromossomos de cor diferente do recorte da origem parental, que foi sobreposto ao modelo básico (figura 3). Esta atividade deve ser realizada pelos alunos em sala de aula. De preferência, o mesmo recorte não deverá ser colado, pois assim o modelo poderá servir para as demais atividades propostas.

No exemplo aqui relatado, o indivíduo em questão é heterozigoto. Para simular diferentes alelos, foram recortados pedaços pequenos de etiqueta branca, que foram pintados com cores diferentes e sobrepostos ao modelo básico (figura 3). A figura 4 apresenta quatro possíveis combinações dos cromossomos homólogos obtidas com a simulação. Importante notar que nesta figura foram apresentados os produtos de uma gametogênese normal desconsiderando a ocorrência de eventos mutacionais do tipo alterações numéricas, como não disjunção e retardo anafásico, e nem alterações estruturais, como duplicação, translocação, inversão, dentre outras. Seguindo o mesmo raciocínio, o professor poderá simular também alguns genes em homozigose para que o aluno não fique com a falsa impressão de que alelos de origem materna e paterna sempre são diferentes.

Este modelo pode ser montado para diferentes genomas, diferentes ploidias e cromossomos até um máximo de $2n = 14$ utilizando um jogo de dominó. A opção de trabalhar com um número menor de cromossomo pode ser adaptada, dependendo do número de estudantes e do tempo disponível para a execução da prática, discussão e síntese dos resultados.



Figura 1: Modelo básico representando $2n = 14$ duplicado (configuração da metáfase I). No exemplo aqui fornecido, o cromossomo 1 é metacêntrico grande, o 2 é submetacêntrico grande, o 3 é acrocêntrico grande, o 4 é submetacêntrico grande, o 5 é submetacêntrico médio, o 6 é metacêntrico médio e o 7, um acrocêntrico pequeno.

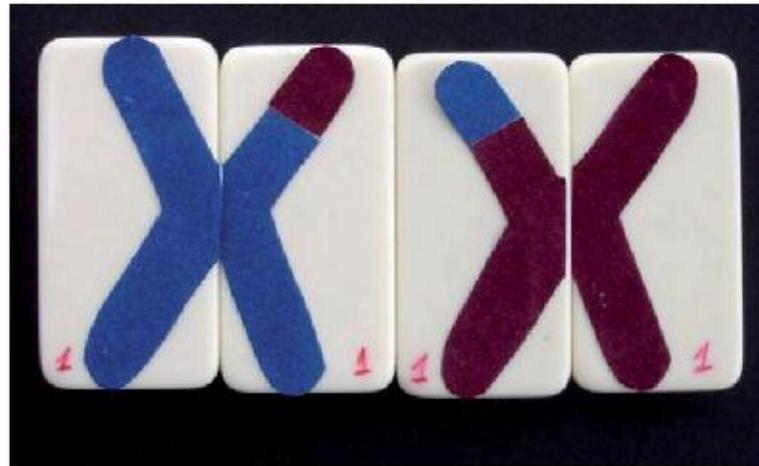


Figura 2: Modelo de um par de homólogos representando uma simulação de um *crossover* over.



Figura 3: Modelo de um par de homólogos representando a simulação de três locos em heterozigose (células rosa e roxo, amarelo e laranja e preto e cinza)

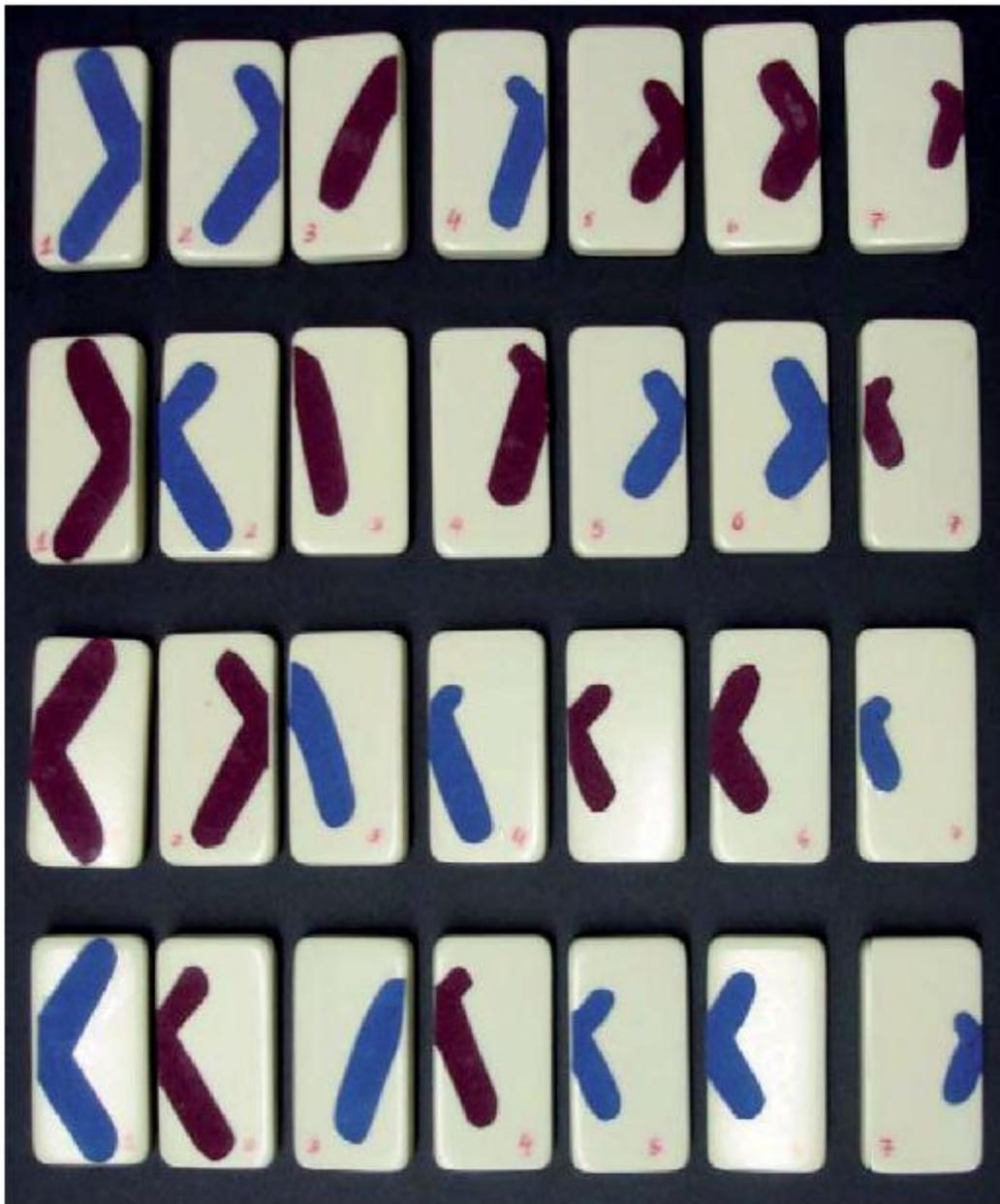


Figura 4: Representação da simulação de produtos de uma gametogênese mostrando quatro genótipos possíveis de serem gerados quando se considera somente a recombinação interomocigótica e ausência de não-disjunção em qualquer uma das células da segregação dos cromossomos.

Sugestão de aplicação do material básico

Sugerimos que o conteúdo seja apresentado teoricamente e visualmente antes destas atividades. Como dito anteriormente, o modelo básico pode ser fornecido ao estudante (ou um grupo) ou pode ser montado seguindo as orientações do professor, dependendo do tempo disponível e o objetivo principal da atividade. Para simular as atividades sugeridas, o modelo será modificado no decorrer das mesmas, porém poderá ser reutilizado inúmeras vezes. Sugere-se que livros sobre o conteúdo estejam disponíveis para consulta e que seja previsto um tempo final para discussão dos resultados. Sugere-se que os alunos sejam divididos em grupos de aproximadamente 4 alunos. Cada grupo receberá ou, alternativamente, montará um modelo básico, isto é, receberá um jogo de dominó.

Atividade 1: Genoma e Ploidia.

Para esta atividade o professor deve solicitar que os alunos observem atentamente o material fornecido e discutam sobre o genoma básico deste organismo, em especial com relação à ploidia ($2n=14$). É possível trabalhar diferentes ploidias com o mesmo tipo de material, apesar do exemplo fornecido ser diplóide. Paralelamente, trabalhar a definição dos termos cromossomo, cromátide, centrômero, telômero, cromossomo homólogo e cromossomo duplicado.

Atividade 2: Cariótipo.

Trabalhar o conceito de cariótipo e a montagem do mesmo. Para isto solicitar que os estudantes classifiquem os tipos de cromossomos e montem o cariótipo sempre a partir dos cromossomos maiores para os menores. Paralelamente, peça para os estudantes montarem o cariótipo humano, classificando os cromossomos, reconhecendo-os de uma figura de uma célula humana em metafase, que pode ser encontrada facilmente em livro ou na internet.

Atividade 3: Cromossomos sexuais.

E os cromossomos sexuais? Neste modelo o sexo não foi especificado por cromossomos, como pode ser então? O professor levanta as questões e solicita que os alunos busquem explicações na literatura e exemplos de organismos que apresentam determinação sexual por outras formas.

Atividade 4: Ciclo celular normal (mitose).

O professor solicita que os alunos simulem o comportamento do material genético durante a divisão mitótica. Solicita que eles observem os produtos e questiona sobre a ocorrência de recombinação.

Atividade 5: Ciclo celular normal (meiose) sem crossing-over e segregação independente.

Nesta atividade o professor solicita que os alunos

simulem o comportamento do material genético durante a divisão meiótica, considerando locos em heterozigose. Neste momento, deve-se trabalhar somente a combinação entre os diferentes cromossomos homólogos (sem crossing-over). Solicita também que os alunos observem os produtos (gametas) e questiona sobre a ocorrência de diferenças entre eles e o porquê disso: Quantos produtos diferentes são esperados? Qual a probabilidade de ocorrência de cada um?

Atividade 6: Probabilidade e segregação independente:

O professor questiona, enfatizando que os alunos não devem considerar o crossing-over nesta atividade: Qual a probabilidade de ter em um produto (gameta) somente o conjunto haplóide dos cromossomos paternos? E dos maternos?

Atividade 7: Meiose com crossing-over:

Para essa atividade o professor solicita aos alunos que eles simulem o comportamento do material genético durante uma divisão meiótica com ocorrência de crossing-over (um em cada par de homólogo) e verifiquem os produtos produzidos. Questiona ainda: Há diferenças entre os tipos de gametas produzidos na atividade 5? Pode-se também trabalhar o conceito de ligação gênica.

Atividade 8: Diferença entre mitose e meiose:

O professor coloca a seguinte situação: Um núcleo celular está em divisão e se encontra na fase de metafase. Questiona, solicitando que a resposta seja representada com o dominó: Como identificar se é uma metáfase mitótica, de meiose I ou de meiose II?

Atividade 9: Produtos de meiose de diferentes genomas:

O professor solicita que os alunos representem um núcleo $2n=4$ e outro $2n=6$, simulem a meiose e analisem a produção de gametas em cada caso, considerando duas situações: a) com a ocorrência de crossing-over e b) sem crossing-over. Após as representações, o professor leva os resultados para discussão.

Atividade 10: Diferenças nas ploidias:

O professor solicita que os alunos representem, com o dominó um núcleo $2n=4$ e outro $3n=6$ e que simulem a metáfase I da meiose para cada caso. Questiona então sobre as observações principais da representação realizada.

Atividade 11: Meiose em triploides:

Nessa atividade os alunos são solicitados a simular a meiose completa de um núcleo $3n=6$ e relatar os resultados. O professor deve trabalhar a questão de formação de gametas com aneuploidias em triploides junto aos seus alunos.

Atividade 13: Meiose em tetraplóides:

Os alunos são solicitados a simular a configuração dos cromossomos homólogos na metáfase I e na metáfase II da meiose contendo um núcleo $4n = 8$. São então questionados pelo professor sobre a quantidade de representantes de cada cromossomo homólogo presentes em um gameta e se haveria maior ou menor variação nos gametas se o núcleo fosse $2n = 8$.

Atividade 14: Pareamento dos homólogos e alelos:

Para esta atividade, o professor solicita que os alunos representem a metáfase I da meiose do material genético nuclear de uma célula $2n = 4$, demonstrando cromossomos submetacêntricos e acrocêntricos com 6 locos, sendo 2 homozigotos e 4 heterozigotos.

Atividade 15: Combinação e alelos:

Esta atividade está vinculada à de número 14. Os alunos são solicitados a utilizar o material da atividade anterior, simular e anotar os resultados referentes: a) às diferenças nos gametas; b) à produção de gametas se considerar a ocorrência de um crossing-over entre cada um dos pares de cromossomos homólogos, c) ao comportamento dos alelos. Analisar e discutir os resultados.

Atividade 16: Ciclo celular:

Neste caso o professor utiliza o modelo para simular as alterações no material genético ao longo do ciclo celular e solicita aos estudantes que observem a variação da quantidade e estrutura do cromossomo. Pode então a eles que expliquem como e porquê ocorrem essas variações.

Atividade 17: Divisão celular com alterações no material genético:

Nesta atividade os alunos são solicitados a simular as divisões celulares introduzindo alterações no material genético: não disjunção meiótica (I e II), mitótica e na estrutura do cromossomo.

Atividade 18:

Os alunos são solicitados a simular a ocorrência de uma trissomia livre em um núcleo originalmente $2n = 4$ e verificar que tipos de gametas um indivíduo trissômico pode produzir e em que probabilidade. Neste caso, devem supor a ocorrência de fecundação com um gameta normal e avaliar quais os possíveis cariótipos da prole.

Atividade 19: Meiose e Aneuploidias:

Para esta atividade os alunos devem representar a meiose de um núcleo celular com uma tetrassomia e uma nulissomia. Posteriormente, devem descrever quais os tipos de gametas que podem ser esperados e fazer uma comparação com os resultados da atividade anterior.

Atividade 20: Meiose e alteração Estrutural:

Os alunos são solicitados pelo professor a representar uma trissomia devido a uma translocação robertsoniana. Depois devem fazer uma demonstração da configuração do pareamento dos cromossomos homólogos incluindo o cromossomo alterado e comparar os gametas formados com aqueles advindos de um núcleo com trissomia livre.

Atividade 21: Combinar e recombinar:

O professor solicita aos alunos que demonstrem, com o dominó, como é possível uma criança apresentar novas combinações de genes que estão ausentes em ambos os pais.

Atividade 22: Meiose e Genes ligados:

Para este conteúdo os alunos são solicitados a representar diferentes locos em heterozigose no modelo básico com genes ligados e não ligados e determinar os genótipos parentais. Devem, posteriormente, simular a meiose, analisar os genótipos dos gametas e discutir os resultados, além de testar a possibilidade dos locos serem todos homozigóticos.

Considerações finais:

Entendemos que os conhecimentos da Genética associados ao ensino da Reprodução no contexto escolar e social podem tornar os conteúdos científicos escolares dotados de significado, aplicação e riqueza de exemplos da vida cotidiana. Como ensinar e levar o estudante a compreender as seguintes questões: - como o material genético é transmitido do pai para filho pelos gametas? - O que ocorre na fecundação e o que dá origem a um novo ser, perpetuando a espécie? Como as alterações nos cromossomos ocorrem dando origem às síndromes genéticas? Como entender qual a probabilidade de um indivíduo com síndrome de Down ter um filho normal? Diante destas perguntas este material foi elaborado para atender a necessidade de propostas pedagógicas que permitam aproximar as pessoas do conhecimento científico com atividade reflexiva.

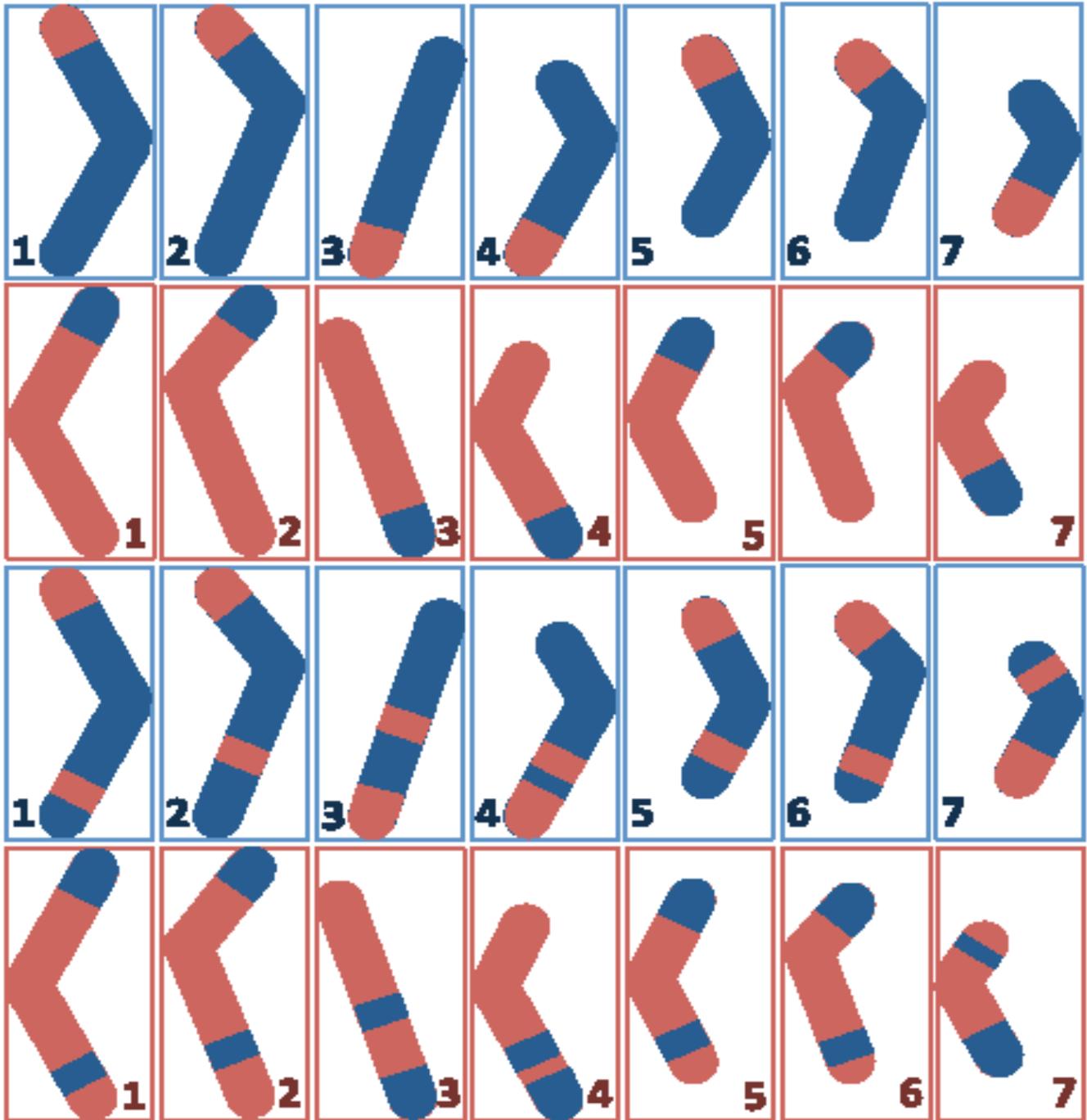
É fundamental que o professor analise o material de modo crítico, pois além do tema ser de aplicação direta à vida cotidiana, também apresenta uma vasta literatura que pode ser mais explorada, possibilitando, assim, o aprimoramento do material e adequação do mesmo às diferentes realidades. As aneuploidias são as mais frequentes anormalidades cromossômicas, é a base genética de abortos e defeitos congênitos. Sabe-se atualmente que a maioria das aneuploidias tem origem em erros na meiose I materna, que a idade materna é um fator de risco para as trissomias humanas e que alterações na recombinação têm importante contribuição na não-disjunção meiótica. As pesquisas atuais nesta área visam o entendimento da relação entre a recombinação e os eventos da não disjun-

ção. Esses temas, assim como as causas de não disjunção meiótica em humanos foi revisto e está disponível na literatura (Hassold et al, 2007), o que pode ser de grande utilidade para a atualização dos professores com relação a estas questões. Também pesquisa-se as possíveis consequências das aneuploidias de cromossomos sexuais na segregação dos cromossomos meióticos, já que com o tecnologia de reprodução assistida os pais anteriormente inférteis, hoje podem ser pais biológicos, como no caso de homens 47,XXY. O mecanismo de origem das aneuploidias de cromossomos sexuais, na maioria dos casos, deriva da perda ou ganho de um cromossomo paterno (Hall et al, 2006).

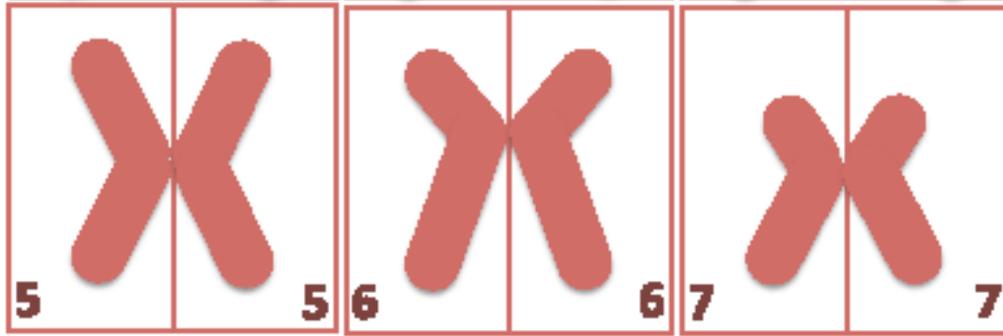
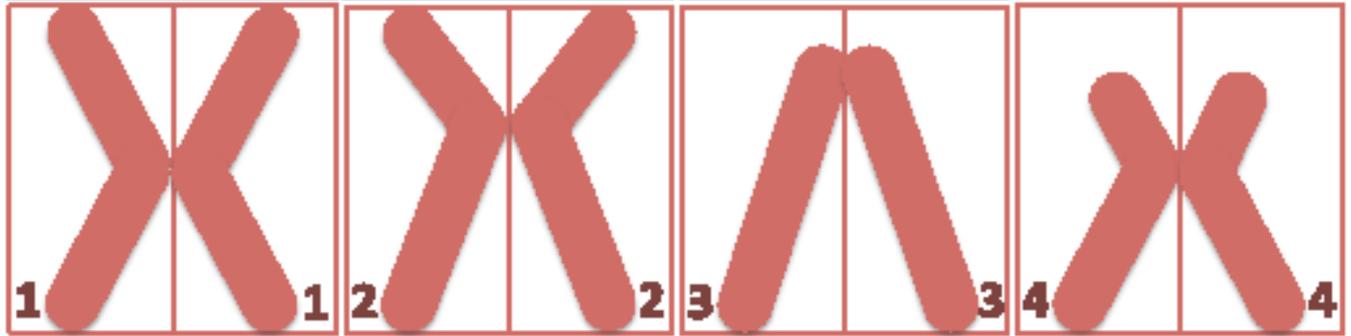
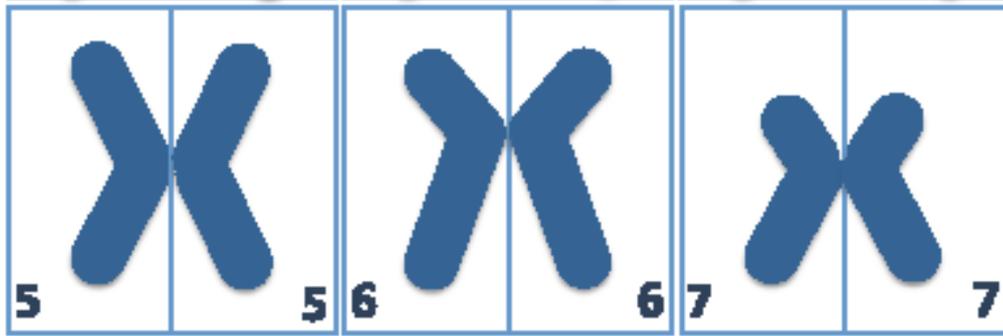
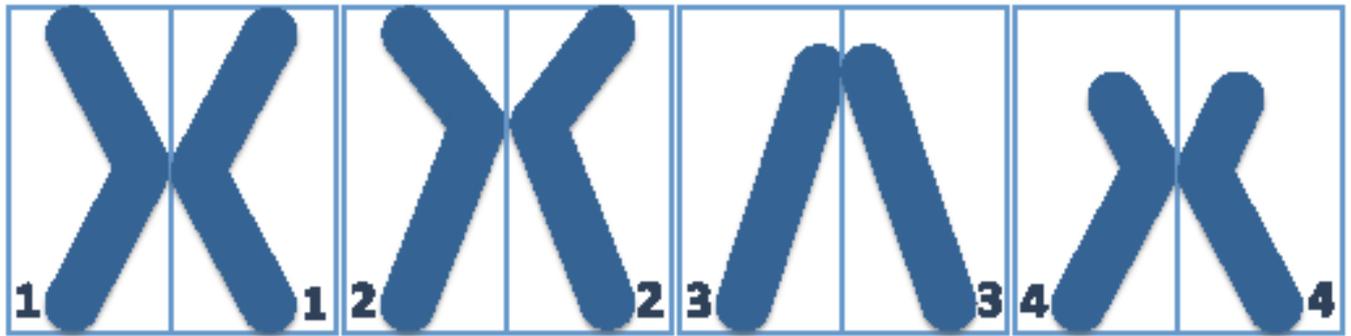
Ao longo das nossas experiências no ensino de graduação e também em cursos de atualização para professores, detectamos a falta de percepção da extensão da variação genética resultante da meiose. O presente material pode facilitar a visualização destes dois processos únicos da meiose: a combinação e a recombinação. Pierce (2003), chama a atenção para o esclarecimento desses dois processos, onde o primeiro, o crossing-over, mistura alelos no mesmo cromossomo, levando a novas combinações, que resulta em cromátides irmãs não idênticas; o segundo, é a distribuição independente dos cromossomos paternos e maternos, que mistura alelos de diferentes cromossomos em novas combinações.

Bibliografia de referência

- Gimel, P. & Ayres, F. (1995). Introducción a la genética en la enseñanza secundaria y bachillerato I. Genética de la familia y control genético de los caracteres. *Revista de las Ciencias, 13* (2), 137-153.
- Barros, MMV & Carneiro, MHS (2005). Os conhecimentos que os alunos utilizam para ler as imagens de mitose e de meiose e as dificuldades apresentadas. V Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Atas do V ENPEC n.5: 1-12.
- Cid, M. & Neto, M. (2005). Dificuldades de aprendizagem e conhecimento pedagógico do conteúdo: o caso da genética. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, VII Congreso.
- Griffiths, A.J. & Mayer-Smith (2002). Understanding genetics. Strategies for teachers and learners in universities and high schools. W. H. Freeman and Company.
- Griffiths, A.J., Wessler, S.R., Lewontin, R.C. and Carroll, S.C. (2004). *Introduction to Genetic Analysis*, 6 edição. W. H. Freeman and Company.
- Hassold, H, Hall, H & Hunt, P (2007). The origin of human aneuploidy: where we have been, where we are going. *Hum. Mol. Genet. 16* *Review Essay* 2: 203-208.
- Hall, H, Hunt, P & Hassold, T (2006). Meiosis and sex chromosome complement: how meiotic errors cause aneuploidy, new aneuploidy causes meiotic errors. *Current Opinion in Genetics and Development 16*: 323-329.
- Justina, VA e Ferla, MR (2006). A utilização de modelos didáticos no ensino de Genética- exemplo de representação do DNA eucarioto. *Arq. Muvid. 10* (2): 35 – 40.
- Lewin, C., French, J. & Ware, Robinson, C. (2006). Chromosomes: the missing link – young people's understanding of mitosis, meiosis, and fertilisation. *Journal of Biological Education, 34* (4), 189-199.
- Locke, J & MacDermid, HE (2005). Using pool noodles to teach Mitosis and Meiosis. *Genetics 170* (1): 5-6.
- Neth, SZ; Sherman, LR and Chinnici, JP (2006). USING "Chromosomal Socks" to demonstrate "Meiosis & Meiosis. *The Am. Biol. Teac. 68* (2): 106-109.
- Pierce, BA (2003). *Genetics. A conceptual approach*. W. H. Freeman and Company.
- Kulaide, M. (1996). Lay knowledge of inheritance and genetics: a critical review and a hypothesis. *Health Care Analysis 4*, 189 – 4.
- Samiere, VS e Justina, VA (2004). Fatores inibidores da atividade pedagógica. In: *Encontro Nacional de Didática e Prática de Ensino*, 12. Curitiba, CD.
- Santos, S (2005). Para geneticistas e educadores: o conhecimento cotidiano sobre a herança biológica. *Anuário editora, FAPESP, Sociedade Brasileira de Genética*.
- Silveira, RVM & Amabis, JM (2003). Quais células possuem cromossomos, genes e DNA após o ensino médio? *Resumo do 49º Congresso Brasileiro de Genética*.
- Torres, KM; Yue, JW and Chinnici, JP (2004). Students as "Human Chromosomes" model playing Mitosis & Meiosis. *The Am. Biol. Teac. 66* (1): 35-39.



I^B	I^B	I^A	I^A	i	i	F	F
f	f	D	D	d	d	S	S
A	A	C	C	I^B	I^B	I^A	I^A
i	i	F	F	f	f	D	D
d	d	S	S	A	A	C	C



4ª SEMANA DE AULAS

Herança Mendeliana / Monogênica: Nesse encontro será abordado como os trabalhos de Mendel ficaram relegados ao esquecimento por cerca de 35 anos sendo então descobertos, em 1900, de maneira independente, por três pesquisadores, Karl Correns, na Alemanha; Seysenegg Tchesmak, na Áustria e Hugo De Vries, na Holanda. A pesquisa de Mendel resultados tão bons, que até mesmo hoje estuda-se as características governadas por um gene (monoibridismo) ou dois genes (diibridismo) como princípios da transmissão hereditária.



Análises da Herança Mendeliana/Monogênica: Os princípios básicos de herança propostos por Mendel sustentaram-se por mais de um século, eles ainda conseguem explicar como muitas características diferentes podem ser herdadas. O método de Mendel era baseado na identificação de variáveis significativas, no isolamento de seus efeitos, na medição metódica e eventualmente, na submissão dos dados resultantes a uma análise matemática.

ENCONTRO 7

PLANO DE AULA

Disciplina: Genética				
Professor(a):				
Ensino Superior	Ano letivo:	Turma:	Nº de alunos:	Tempo: 100 min
Tema gerador: Herança biológica				
Objetivos:				
<ul style="list-style-type: none"> - Compreender o contexto histórico da hereditariedade a partir de Mendel; - Compreender e discutir os conceitos fundamentais da herança mendeliana e suas variações; 				
Conteúdo: Herança Mendeliana / Monogênica				
Conceitos trabalhados: herança biológica; herança particulada; cruzamento teste; cruzamento monoíbridos; cruzamento diíbridos; alelos dominantes e recessivos; mecanismos de herança.				
Estratégia/Métodos: Aula expositiva e dialogada.				
Procedimentos: A aula inicia com um resgate histórico sobre a teoria celular. Serão abordados inicialmente temas como ancestralidade comum e o modelo mendeliano de herança. Torna-se interessante, conversar com os estudantes sobre o conhecimento deles a respeito de genética mendeliana. Em seguida, será analisado o trabalho de Mendel, sua estratégia experimental e seus resultados. Na sequência: Herança particulada. Cruzamento de monoíbridos (1ª Lei de Mendel). Princípios da dominância. Cruzamento de diíbridos. Mecanismos de herança.				
Materiais e Recursos: Projetor de slides, quadro branco, pincel para quadro branco, slides. As bases teóricas desses assuntos foram consultadas e baseadas nos livros textos indicados na disciplina.				
Avaliação: Interação (estudante-professor e estudante - estudante) no desenvolvimento da aula.				

ENCONTRO 8

PLANO DE AULA

Disciplina: Genética				
Professor(a):				
Ensino Superior	Ano letivo:	Turma:	N° de alunos:	Tempo: 100 min
Tema gerador: Herança				
Objetivos: <ul style="list-style-type: none"> - Analisar os resultados dos experimentos de Mendel em ervilhas. - Aplicar o teste do qui-quadrado na observação e comparação de resultados. - Analisar proporções fenotípicas por intermédio de análise genética. 				
Conteúdo: Análises da Herança Mendeliana/Monogênica				
Conceitos trabalhados: proporções mendelianas; herança biológica; análise genética; interações gênicas.				
Estratégia/Métodos: Aula expositiva e dialogada.				
Procedimentos: A aula inicia com a demonstração das proporções das leis mendelianas da herança para o monoibridismo e para o diibridismo. Serão mostrados exemplos de aplicação e as proporções observadas na prole. Em seguida serão demonstrados a aplicação do teste do qui-quadrado e a análise das proporções fenotípicas. Os estudantes devem ser estimulados a simular testes de hipóteses genéticas. Por fim, serão trabalhadas a herança mendeliana poligênica (aplicação do quadro de Punnett) e a análise genética de heredogramas e das interações gênicas.				
Materiais e Recursos: Projetor de slides, quadro branco, pincel para quadro branco, slides. As bases teóricas desses assuntos foram consultadas e baseadas nos livros textos indicados na disciplina.				
Avaliação: Interação (estudante-professor e estudante - estudante) no desenvolvimento da aula.				

5ª SEMANA DE AULAS

Atividade 3: Entendendo a combinação intracromossômica: Segunda atividade com os objetos de aprendizagem "combinar e recombinar com os dominós" tem o objetivo de trabalhar a recombinação intracromossômica. Os estudantes serão divididos preferencialmente em duplas para executar essa atividade. Inicia-se a atividade repassando as instruções para a realização da atividade e a forma de registro do resultados obtidos. Durante a execução deve-se estimular a interação entre os integrantes das duplas e das duplas entre si, dirimindo quaisquer dúvidas quanto à atividade ou manipulação dos dominós.



Leitura e discussão coletiva de artigo científico: Nesta aula, serão trabalhados conteúdos teóricos, por intermédio de leituras complementares que contribuirão com a aprendizagem, intercalando com atividades para firmar solidificar o conhecimento. Os objetivos dessa atividade são o desenvolvimento nos estudantes da capacidade de leitura e compreensão de artigos científicos atualizados, correlacionados com o conteúdo programático da disciplina e da capacidade de analisar e interpretar resultados de pesquisas e experimentos.

ENCONTRO 9

Entendendo a combinação intracromossômica

Nomes: _____ Matrículas: _____

Objetivo: Representação de um cromossomo hipotético com 4 loci em sequência utilizando as características descritas abaixo. E simulação da recombinação intracromossômica para observação da composição alélica dos gametas.

Bases genéticas das características:

Grupo sanguíneo ABO:

1 gene com 3 alelos, interação alélica de dominância completa e codominância.

Alelos: I^A I^B e i

Genótipos	Fenótipos
$I^A I^A$ e $I^A i$	
$I^B I^B$ e $I^B i$	B
$I^A I^B$	AB
ii	O

Grupo sanguíneo Rh:

1 gene com 2 alelos, interação alélica de dominância completa.

Alelos: D e d

Genótipos	Fenótipos
DD e Dd	Rh+
dd	Rh-

Sensibilidade ao PTC :

1 gene com 2 alelos, interação alélica de dominância completa.

Alelos: F e f

Genótipos	Fenótipos
FF	sensível ao PTC
Ff	sensível ao PTC
ff	insensível ao PTC

Estrutura da Proteína Hemoglobina:

1 gene com 2 alelos, interação alélica decodominância.

Alelos: HbA e HbS

Genótipos	Fenótipos
HbAA	Normal
HbAS	Traço falciforme (situações especiais)
HbSS	Anemia falciforme

Orientações: Utilizando as peças do dominó, onde cada uma representa um alelo específico, organize os *loci* de um cromossomo hipotético (fase G1 do ciclo celular) utilizando as 4 características descritas acima. Em seguida, simule a meiose e observe os gametas gerados. Na tabela, registrar as sequências alélicas dos gametas de acordo com as simulações sugeridas (indivíduo 1 e indivíduo 2).

Indivíduo 1.1:

a) Representar o cromossomo do **indivíduo 1** que apresenta os seguintes fenótipos: grupo sanguíneo B, Rh negativo, sensibilidade ao PTC e anemia, com homozigose para todos os *loci*.

b) Simular a meiose considerando as 3 situações: não ocorrência de crossing-over (CO), ocorrência de 1 CO e ocorrência de 2 CO. Registrar a sequência alélica dos gametas resultantes. Os locais de CO são de livre escolha, mas devem ser especificados.

Gametas	Não ocorrência CO	Ocorrência de 1 CO	Ocorrência de 2 CO

Indivíduo 2.1:

a) Representar o indivíduo 2 que apresenta os seguintes fenótipos: grupo sanguíneo A, Rh positivo, sensibilidade ao PTC e traço falciforme; com heterozigose para todos os *loci*.

b) Simular a meiose do indivíduo 2 considerando as 3 situações: não ocorrência de crossing-over, ocorrência de 1 CO e ocorrência de 2 CO. Registrar o conjunto de alelos dos gametas resultantes. Os locais de CO são de livre escolha, mas devem ser especificados.

Gametas	Não ocorrência CO	Ocorrência de 1 CO	Ocorrência de 2 CO

CAPA

Os primeiros passos de novas espécies

Plantas e animais se diferenciam por meio de mecanismos surpreendentes

Carlos Fioravanti

Orquídeas de flores róseas, ainda consideradas da mesma espécie, vivem em dunas próximas às praias de Marambaia, no Rio de Janeiro, e de Alcobça, na Bahia. Embora estejam separadas por 900 quilômetros (km), deveriam gerar sementes se um dia suas células reprodutivas se encontrassem. No entanto, nenhum embrião se formou após a polinização entre plantas das duas localidades induzida por botânicos em São Paulo. Outros representantes da mesma espécie de orquídea, *Epidendrum denticulatum*, dos cerrados de Itirapina, em São Paulo, e de Peti, em Minas Gerais, também já deram as costas uns para os outros. Os quatro grupos de orquídeas parecem seguir seus próprios caminhos evolutivos e talvez já formem espécies diferentes, embora ainda sejam idênticos no tamanho, nas flores, nas cores e nas estruturas externas.

“Estamos vendo algo muito raro, o surgimento de novas espécies”, diz Fábio Pinheiro, pesquisador do Instituto de Botânica de São Paulo. Ele detectou a formação de espécies – ou especiação – entre representantes de uma mesma espécie. “Darwin já falava em variações entre espécies, mas não poderia imaginar que fossem relevantes a ponto de inviabilizar os cruzamentos entre populações de uma mesma espécie.” Em

2010 Pinheiro colheu pólen e induziu o cruzamento entre 258 exemplares de 13 populações de *Epidendrum denticulatum*, encontradas em matas no interior e no litoral da Bahia, Espírito Santo, Minas, Rio e São Paulo, mantidas no orquidário do instituto. Algumas populações, até mesmo do próprio ecossistema, acumularam diferenças genéticas que inviabilizaram a formação de embriões viáveis. A impossibilidade de as células reprodutivas de uma mesma espécie gerarem descendentes férteis – a incompatibilidade reprodutiva – “é uma das primeiras etapas da diferenciação genética que, em milhares de anos, pode levar a uma nova espécie”, diz.

Ele examinou a separação entre linhagens de uma única espécie, enquanto o enfoque habitual compara espécies distintas – e depois de terem se formado. “Essa abordagem permitiu a Pinheiro não só quantificar a intensidade de isolamento entre linhagens novas como também associar esses estágios iniciais de diferenciação com os eventos históricos de expansão e fragmentação de florestas e campos, que catalisaram a diferenciação entre populações e moldaram os padrões de isolamento reprodutivo observados”, comenta Salvatore Cozzolino, especialista em orquídeas da região do Mediterrâneo e professor da Universidade de Nápoles Fede-



FOTOS: EDUARDO COSTA

A *Epidendrum denticulatum*
(visão geral do
planta no destaque);
diversificação
em andamento

rico II, na Itália, onde o botânico brasileiro fez parte de suas análises. “Conhecer os primeiros estágios de isolamento reprodutivo envolvidos na formação de novas espécies é um passo importante para entender como a extraordinária biodiversidade do Brasil, e das regiões tropicais em geral, é gerada e mantida.”

Em paralelo, um estudo com duas espécies de bromélias do Pão de Açúcar e outras formações rochosas da cidade do Rio de Janeiro – uma de flores brancas e outra de flores vermelhas – expôs um pouco mais dos tortuosos caminhos da evolução dos seres vivos. De acordo com um conceito clássico, para serem considerados da mesma espécie, os organismos devem trocar genes entre si e não com seres de outras espécies. No entanto, as análises de Clarisse Palma Silva, da Universidade Estadual Paulista (Unesp) de Rio Claro, indicaram que as populações da mesma espécie de bromélia já são geneticamente bastante diferentes entre si e muito raramente trocam genes uma com a outra, mesmo estando em morros muito próximos. Além disso, as bromélias de espécies diferentes de um mesmo lugar trocam genes, formando híbridos férteis que podem cruzar entre si e com os representantes das espécies puras de que se originaram. O inesperado rege a evolução.

Estudos recentes com forte fundamentação genética indicam que os processos observados em orquídeas e bromélias se passam também em outras plantas e animais. Os fenômenos que estão sendo descritos mostram a fragilidade das supostas regras de funcionamento de um dos processos biológicos básicos, a especiação. Agora se vê que esse processo ocorre por mecanismos mais diversificados do que se pensava. Tanto com plantas quanto com animais, seres que deveriam cruzar normalmente entre si perdem a afinidade reprodutiva, às vezes em consequência de uma alteração genética ínfima, e os que aparentemente não poderiam se reproduzir entre si geram descendentes, muitas vezes férteis. Sutis diferenças genéticas podem inviabilizar o cruzamento entre seres morfologicamente idênticos. Outras vezes, porém, as diferenças genéticas, ainda que grandes, permitem que lagartos ou anfíbios com parentesco distante, por exemplo, cruzem e – às vezes de modo rápido – formem outras espécies.

DEFINIÇÕES FRÁGEIS

Os novos achados complicam o que já não era fácil de entender, começando pelo conceito de espécie, tão básico para a biologia como o de gene para a genética. “Até hoje não temos um bom conceito de espécie”, diz o zoólogo Célio Haddad, professor da Unesp de Rio Claro. Desde 1859, quando Charles Darwin publicou o livro *A origem das espécies* e reconheceu que a distinção entre espécie e linhagem – ou população – era



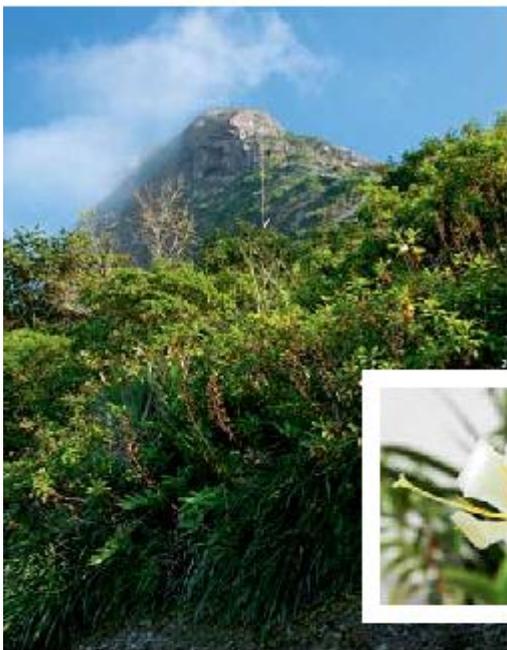
A *Phyllomedusa* híbrida, triploide (39 cromossomos): um ser improvável de acordo com as regras clássicas da evolução

O conceito de espécie ainda está em aberto e pode variar caso a caso, de acordo com o critério e o olhar

vaga e arbitrária, a situação não melhorou muito. Em 2007, Kevin de Queiroz, biólogo do Museu Smithsonian de Washington, revisou vários conceitos de espécie – o isolamento ou reconhecimento biológico, a capacidade de viver em um mesmo espaço, coesão genética ou espacial ou a história evolutiva comum – e reconheceu que todos eram imperfeitos.

“A abordagem mais conservadora, que considera apenas os aspectos morfológicos, tende a unir várias espécies em uma só”, diz Haddad, “enquanto a chamada taxonomia integrativa, mais moderna, detalhada e precisa, que considera também variações de DNA e de comportamento, tende ao desmembramento de espécies”. Segundo ele, o conceito de espécie varia caso a caso, de acordo com o critério e o olhar. As orquídeas que não cruzam mais entre si podem ser vistas de três modos: como uma espécie se diferenciando; como representantes de espécies diferentes; ou como semiespécies, conceito que o zoólogo Ernst Mayr apresentou em 1963 para definir as populações de animais ou plantas que não completaram o processo de diferenciação.

Haddad acredita que a incompatibilidade reprodutiva vista nas orquídeas e nas bromélias deve ser comum também em animais. “Só que ainda não avaliamos devidamente.” Os exemplos são escassos. Já se viu que as populações de uma espécie de planta de flores brancas da região próxima ao Ártico, a *Draba fladriensis*, apresentavam incompatibilidade reprodutiva total. Populações de crustáceos marinhos conhecidos como copépodes – da costa Leste e os da costa Oeste dos Estados Unidos – não conseguiam mais gerar descendentes férteis. Outros invertebrados marinhos, os briozoários, formavam populações incompatíveis geneticamente, ao longo do litoral dos países europeus.



As bromélias do Rio: a *Pitcolmia albiflos* (branca) e a *P. scabrinosa*, que formam híbridos, e o Pão de Açúcar, um dos morros em que vivem

Trabalhos como esses “abrem uma janela para os diferentes mecanismos envolvidos na formação de novas linhagens”, diz Samantha Koehler, pesquisadora da Universidade Federal de São Paulo (Unifesp) especialista em orquídeas. E mostram como diferenças no DNA podem determinar a formação de novas espécies e redimensionar as regras da evolução. Para essas orquídeas e bromélias, a incompatibilidade reprodutiva parece ser mais decisiva do que um fator que Darwin via como fundamental para a especiação – o isolamento geográfico, por meio do qual populações distantes geograficamente poderiam se diferenciar a ponto de formarem novas espécies.

“O fundamento da especiação é o isolamento, mas o mecanismo de isolamento não é obrigatoriamente geográfico”, diz Mário de Pinna, pesquisador do Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo (USP). “O isolamento reprodutivo é o resultado de algum fator que impede o fluxo de genes, que pode ser o isolamento geográfico ou alguma contingência biológica ou local que resulte em segregação de parte de uma população.”

A distância parece não ser mais tão importante para impedir a afinidade reprodutiva entre as populações de *Epidendrum*. Populações separadas por uma distância de mil quilômetros ainda se mostraram aptas a cruzar entre si e formar embriões viáveis, enquanto outras de uma mesma localidade não eram mais (ver *diagrama*).

“É o isolamento reprodutivo que efetivamente vai separar as linhagens”, reitera Rodrigo Marques Lima dos Santos, pesquisador do Instituto de Biociências da USP e professor da Universidade de Mogi das Cruzes (UMC) que estuda a especiação em lagartos. Espécies com parentesco distante, até mesmo de gêneros taxonômicos diferentes, podem cruzar entre si, resultando em híbridos férteis. Antes considerados improváveis, esses cruzamentos indicam que o isolamento geográfico e o acúmulo de diferenças genéticas ao longo de milhares de anos não bastam para o isolamento reprodutivo. Mais uma vez ampliando a visão clássica de evolução, o surgimento de novas espécies pode também ser imediato, até mesmo sem fases intermediárias. “Dois lagartos de espécies distintas, mas cromossomicamente compatíveis, poderiam cruzar originando filhotes híbridos que já poderiam ser espécies novas”, ele diz. “Se o híbrido for viável, já sai correndo e algumas vezes melhor que seus pais.”

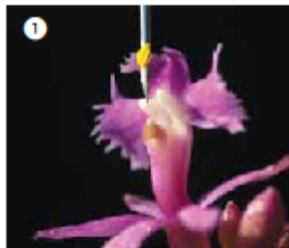
CRIANDO A PRÓPRIA MORTE

Do mesmo modo que os cachorros sem raça definida tendem a ser mais vigorosos e resistentes a doenças que os de raça pura, os lagartos híbridos geralmente são mais vigorosos que os pais, mais competitivos por alimentos e espaço e podem levar os pais à extinção, já que convivem todos no mesmo espaço. “As espécie parentais estão criando um forte competidor, que pode levá-los à morte”, observa Santos. Algumas vezes, ao refazer as linhas de parentesco entre os animais, ele encontrou apenas os híbridos e não mais as espécies que provavelmente os formaram. “Apesar dos problemas de amostragens envolvidos e do impacto humano levando espécies à extinção, a hibridação também pode reduzir a biodiversidade, à medida que as espécies se fundem e depois desaparecem.”

Pererecas também podem sair de cruzamentos improváveis. É o caso de uma perereca verde das matas do Sudeste e Sul do Brasil que ganhou

Plantas iguais, mas incompatíveis

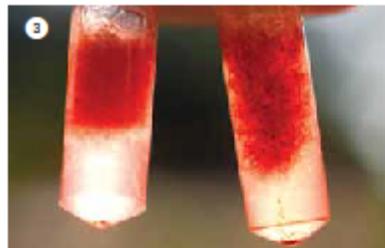
Orquídeas da mesma espécie de locais distantes ainda podem gerar embriões viáveis, enquanto as do mesmo lugar não cruzam mais



1
Polinização induzida com alfinete: a massa amarela é o pólen



2
Depois da polinização: fruto aberto com as sementes (pontos brancos)



3
Teste de viabilidade dos embriões: os pontos escuros, no tubo à direita, indicam os embriões viáveis

o nome de *Phyllomedusa tetraploidea* por causa de uma característica rara entre animais vertebrados: cada célula dessa espécie abriga quatro cópias de cada cromossomo, ou seja, é tetraploide (a espécie humana e a maioria dos vertebrados, com duas cópias, são diploides).

Haddad e outros biólogos concluíram que a nova espécie deve ser o resultado do cruzamento entre machos e fêmeas de uma espécie diploide, a *Phyllomedusa distincta*, ou de um ancestral comum. Ela é tetraploide porque os gametas (espermatozoides e óvulos) que a originaram eram diploides; normalmente são haploides, com apenas uma versão de cada cromossomo. Os gametas formam descendentes com 52 cromossomos em cada célula, o dobro dos 26 cromossomos da espécie parental, que lhe deu origem. “Esse é um fenômeno altamente improvável”, diz Haddad, “mas que em milhões de anos de evolução apresenta alguma chance de acontecer”.

A *P. tetraploidea* pode cruzar com os parentais e formar pererecas híbridas triploides, com 39 cromossomos em cada célula. Os descendentes (triploides) tentam cruzar com os parentais (diploides), mas são estéreis, pois seus gametas são defeituosos. Às vezes, porém, o resultado pode ser um animal que Haddad chama de *quase estéril*: os cromossomos se organizam de modo a permitir a produção de uns poucos gametas viáveis, “desrespeitando as definições clássicas de isolamento reprodutivo entre espécies diferentes”, diz ele.

Mas por que seres evolutivamente distantes conseguem se reproduzir entre si e seres muito parecidos não conseguem mais? Que diferenças são relevantes? Santos acredita que a compatibilidade reprodutiva pode ser determinada pelo número e pela forma dos cromossomos, já que espécies de lagartos com uma similaridade genética de apenas 85%, mas cromossomicamente compatíveis, podem

gerar descendentes férteis. “O homem e o chimpanzé são mais de 98% semelhantes, do ponto de vista genético, e não se reproduzem entre si, em consequência, em boa parte, de deleções, fusões e rearranjos cromossômicos”, ele diz. “A espécie humana tem 46 e o chimpanzé, 48 cromossomos, e cerca de 10 grandes inversões cromossômicas também separam as espécies. É o suficiente para o isolamento reprodutivo.”

Homem e chimpanzé são geneticamente próximos, mas os rearranjos cromossômicos mantêm o isolamento reprodutivo

CROMOSSOMOS, CANTOS E CHEIROS

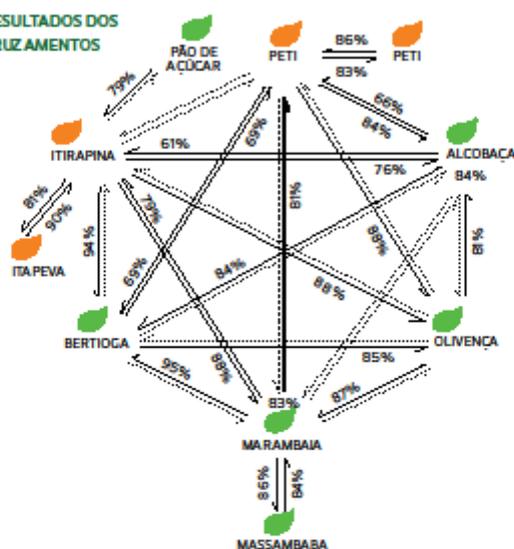
Entre os animais, mudanças sutis de comportamento – no canto de aves ou no coaxar dos anfíbios – podem dificultar o reconhecimento entre as espécies e o acasalamento, induzindo a diferenciação das linhagens. A incompatibilidade reprodutiva pode ser resultado também de diferenças morfológicas – expressas, por exemplo, na dimensão dos órgãos sexuais, que impede um cão são-bernardo de cruzar com uma *poodle*, embora possam cruzar com raças de tamanhos intermediários, já que todas as 400 raças de cães têm o mesmo número de cromossomos.

Entre as plantas, mudanças no odor podem deixar de atrair insetos polinizadores e servir de barreira para a reprodução. No estudo com as orquídeas, as diferenças genéticas é que pesaram, mais uma vez, de modo surpreendente. A maioria dos cruzamentos entre as representantes de *Epidendrum* apresentou um padrão assimétrico: o pólen retirado da flor de um lugar pode não fertilizar a flor de outro lugar, mas a fertilização no sentido inverso dava certo (*ver diagrama*). “O padrão assimétrico de reprodução é típico dos primeiros estágios de especiação, quando linhagens distintas começam a se diferenciar”, diz Pi-

Os limites da compatibilidade reprodutiva

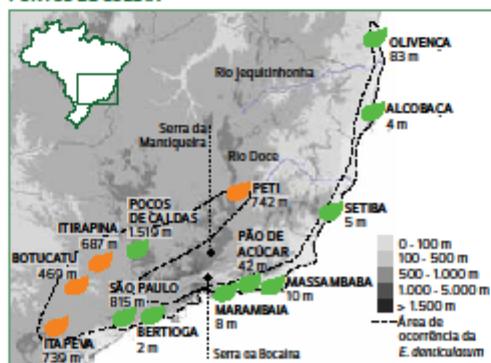
O diagrama abaixo mostra os resultados dos cruzamentos entre nove populações de *E. deniculatum*. Alguns grupos de plantas, como os de Bertoga e Peti, ainda podem se reproduzir entre si, enquanto outros, como os de Alcobaca e Marambala, se mostraram inteiramente incompatíveis.

RESULTADOS DOS CRUZAMENTOS



DOADOR → RECEPTOR - Polinização induzida bem-sucedida
 DOADOR RECEPTOR - Polinização induzida inviável ou nula
 % Taxa de sucesso da polinização Marca aritmética Corado

PONTOS DE COLETA



Fonte: FÁBIO PINHEIRO/ INSTITUTO DE BOTÂNICA

nheiro. “O padrão reprodutivo assimétrico deve estar disseminado na natureza”, comenta Fábio de Barros, coordenador do orquidário.

Esse fenômeno pode ser o resultado da incompatibilidade entre o DNA do núcleo das células reprodutivas e o DNA de um compartimento não nuclear, o cloroplasto, do óvulo da planta receptora. “Quase sempre se pensa apenas no DNA do núcleo, mas é a variação do DNA do cloroplasto que determina a viabilidade do embrião e a compatibilidade entre as populações”, ele concluiu, após analisar as sementes de todos os cruzamentos por meio de nove marcadores para o DNA nuclear e seis para o DNA de cloroplastos.

Pequenos trechos do genoma ou mesmo poucos genes é que talvez possam determinar a formação ou a preservação das espécies. “Os organismos devem trocar facilmente trechos do genoma que facilitam sua adaptação, mas os genes ou ilhas de especiação, que definem as características de uma espécie, como a cor das flores, não são trocados”, diz Clarisse. Essa visão explicaria por que as espécies de bromélias dos morros do Rio, mesmo formando híbridos, se mantêm distintas, uma com flores brancas e outra com flores vermelhas.

“Temos de explorar o privilégio de estarmos em um país megadiverso e coletar mais dados sobre reprodução e polinizadores, desse modo definindo os fatores ambientais que poderiam contribuir para a diferenciação das linhagens”, sugere Samantha, da Unifesp. É o que Pinheiro pretende fazer, ao planejar o transplante de linhagens de *Epidendrum* do litoral para o cerrado para testar sua hipótese de que o isolamento geográfico seria uma consequência, não a causa da especiação. Se der certo, ele ajudará de outro modo a atualizar as ideias de Darwin. ■

Projetos

1. Filogeografia das espécies de *Epidendrum* (Orchidaceae) integrantes do clado Acilíndrico (subgênero *Ampiglottium*) (09/15052-0); Modalidade Pós-doutorado. Coordenador Fábio Pinheiro – Instituto de Botânica; Investimento R\$ 280.131,37 (FAPESP).
2. Especiação, isolamento reprodutivo e genética de populações na família Bromeliaceae: implicações taxonômicas, evolutivas e conservacionistas (09/52725-3); Modalidade Programa Beca – Apoio a Jovens Pesquisadores; Coordenadora Clarisse Palma da Silva; Investimento R\$ 441.491,60 (FAPESP).
3. Especiação de anfíbios anuros em ambientes de altitude (08/50928-1); Modalidade Projeto Temático Coordenador Célio Haddad – Unesp; Investimento R\$ 1.407.985,13 (FAPESP).

Artigos científicos

- GRUBER, S. L. et al. Cytogenetic analysis of *Phylomedusa obscura* Luz, 1950 ($2n=2x=26$), *P. rearripiloleo* Pombal and Haddad, 1992 ($2n=4x=52$), and their natural triploid hybrids ($2n=3x=39$) (Anura, Hylidae, Phylomedusinae). *BMC Genetics*, v. 14, n. 1, p. 75, 2013 (on-line).
- PINHEIRO, F. et al. Phylogeographic structure and outbreeding depression reveal early stages of reproductive isolation in the Neotropical orchid *Epidendrum deniculatum*. *Evolution*, v. 67, p. 2.024-30, 2013.
- PALMA-SILVA, C. et al. Sympatric bromeliad species (*Pitcairnia* spp.) facilitate cases of mechanisms involved in species cohesion and reproductive isolation in Neotropical Insular. *Molecular Ecology*, v. 20, p. 3.185-201, 2011.

6ª SEMANA DE AULAS

Alterações do material genético: No ambiente celular as moléculas de DNA não são absolutamente estáveis; cada par de bases em uma dupla hélice de DNA tem certa probabilidade de mudar. O termo mutação cobre uma ampla gama de tipos diferentes de mudanças. Essas mudanças variam de uma simples troca de um par de bases por outro até o desaparecimento de um cromossomo inteiro (GRIFFITHS, Anthony J.F. Introdução à Genética. Guanabara Koogan, 2016).



Avaliação 1 (atividade individual): A avaliação da aprendizagem é um processo que não deve ser utilizado como uma forma puramente de classificar os estudantes por métodos quantitativos. Inegável a importância da utilização de variados instrumentos de avaliação inclusive no Ensino Superior, contudo, fica facultado ao professor(a) a aplicação de uma avaliação nos moldes tradicionais (prova), de caráter individual, com o intuito de evidenciar os avanços de apropriação do conhecimento adquiridos pelos estudantes durante a intervenção e de ajustar futuras ações de formação do conhecimento.

ENCONTRO 11

PLANO DE AULA

Disciplina: Genética				
Professor(a):				
Ensino Superior	Ano letivo:	Turma:	N° de alunos:	Tempo: 100 min
Tema gerador: Material Genético				
Objetivos: <ul style="list-style-type: none"> - Descrever os processos que provocam a mutação e a sua implicação na variação e evolução. - Apresentar as características das diversas formas de mutação. 				
Conteúdo: Alterações do material genético				
Conceitos trabalhados: recombinação; rearranjos cromossômicos; mutação gênica; elementos genéticos de transposição.				
Estratégia/Métodos: Aula expositiva e dialogada.				
Procedimentos: A aula inicia perguntando aos estudantes sobre o que pode promover a alteração do material genético. A partir desse ponto promover mais instigação maior instigação e interação entre os estudantes. Acrescentar a pergunta: o que vocês entendem por mutação? Então o professor(a) passa a abordar sobre os mecanismos e alteração do material genético. Os efeitos da variação nos processos evolutivos. Definir e explicar mutações espontâneas e direcionadas, somática e germinativa e classificar os tipos de mutações. Ao final o professor pode sugerir a utilização de mapas conceituais como forma de melhorar o aprendizado da diversas formas de alterações do material genético.				
Materiais e Recursos: Projetor de slides, quadro branco, pincel para quadro branco, slides. As bases teóricas desses assuntos foram consultadas e baseadas nos livros textos indicados na disciplina.				
Avaliação: Interação (estudante-professor e estudante - estudante) no desenvolvimento da aula.				

ENCONTRO 12

DISCIPLINA: GENÉTICA

NOME: _____ MATRÍCULA: _____

Avaliação de Conteúdo

Instruções para realização da prova: leia com atenção o comando de cada questão e responda da maneira mais completa possível e de forma organizada. Os conteúdos devem estar de acordo com o conhecimento abordado em sala de aula e nos livros textos indicados. A prova compreende das respostas de 5 questões, sendo a questão 2 de caráter obrigatório, as outras serão de sua escolha. Todas as questões têm o mesmo valor de 2 pontos.

1 -Numere a segunda coluna de acordo com a terminologia apresentada na coluna 1. Não há obrigatoriedade de correspondência total, pois mais de um item pode ter 2 descrições e, uma descrição pode não ter o termo adequado (colocar item 10).

Termos	Breve Descrição
1- Telômero	() marcadores gênicos pois estão associados com regiões transcricionalmente ativas.
2- Pseudogene	() geralmente originada pelo <i>crossing-over</i> desigual e as diferentes classes podem ser reconhecidas pelo grau de similaridade de sequência de seus produtos.
3- Código genético	() cerca de 6 mil genes que codificam pequenas e grande moléculas com importância na regulação gênica.
4- Cromatina	() regiões cromossômicas que permanecem altamente condensadas e transcricionalmente inativas.
5- DNA mitocondrial	() gerados por mecanismos de duplicação gênica que pode acumular mutações inativantes e ser transcrito.
6- Ilhas CpG	() estruturas especializadas dos cromossomos, que contém sequências de DNA pequenas repetidas <i>en tandem</i> , com a principal função de estabilizar a estrutura e evitar a perda de material genético.
7- RNA não codificante	() conjunto total de diferentes moléculas de DNA de uma organela, célula ou organismo.
8- Família gênica	() DNA dupla fita, circular, pequeno e de herança materna.
9- Heterocromatina	() complexo de DNA e proteínas dos cromossomos eucarióticos, que se encontra no núcleo interfásico.
10- nenhum dos itens acima	() apresenta replicação unidirecional, transcrição com promotores comuns e um produto multigênico.

2- No laboratório, uma estudante de Genética cruzou moscas com asas de comprimento normal com moscas que expressam a mutação *dumpy* (asa cortadas), que ela acreditava ser um traço recessivo. Na geração F1, todas as moscas tinham asas longas. Foram obtidos os seguintes resultados na geração F2: 792 moscas com asas longas e 208 moscas com asas cortadas. A estudante testou a hipótese de que a

asa cortada é herdada como um traço recessivo usando a análise do X^2 quadrado dos dados da F2.

- a) qual foi a hipótese formulada sobre a proporção fenotípica?
- b) A análise sustentou a hipótese?
- c) O que os dados sugerem sobre a mutação *dumpy*?

3 - Considere as 2 características descritas a seguir: a Hemofilia (Herança Ligada ao X recessiva, alelos H e h) e a proteína Haptoglobina, cuja variação é devida a presença de 2 alelos de interação de codominância (Hp*1 e Hp*2) do gene Hp, situado no cromossomo 6. Considere agora um casal com a seguinte descrição: homem normal para a coagulação sanguínea e com fenótipo Hp 1-1, a esposa normal para a coagulação sanguínea e com fenótipo Hp 2-2, mas seu pai era hemofílico. Apresente o que se pede abaixo:

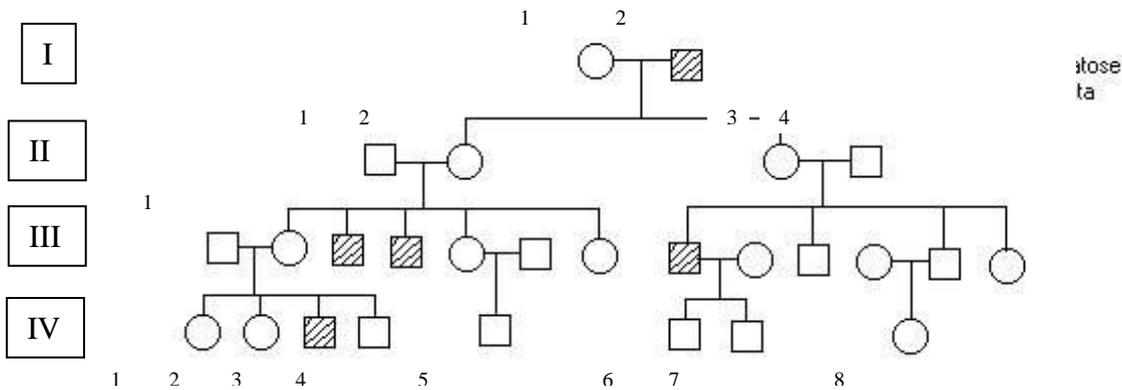
- a) representar os pares dos cromossomos com os respectivos alelos ou genótipos, dos 2 loci desse casal;
- b) os fenótipos possíveis da descendência do casal, para as duas características.

4- Um pesquisador apresenta a sequência de aminoácidos de uma nova proteína que se expressa no cérebro dos seres humanos. A partir dessa sequência, explique, com justificativas no conhecimento científico, o que se pode dizer sobre:

- a) a **estrutura** e a **sequência** de nucleotídeos do gene;
- b) a **presença** do gene e a **expressão** da proteína nas células do tecido adiposo.

5 - Para o heredograma abaixo apresentar:

- a) o modo de herança que melhor representa a segregação do fenótipo, representado pelos símbolos listrados, e justifique sua resposta apresentando os genótipos de 5 indivíduos diferentes.
- b) apresente as probabilidades de o indivíduo IV-4 apresentar descendência com o fenótipo em estudo se: casar com a IV-8 ou com outra mulher da sua cidade.



6 - Considerando o genoma humano, complete a tabela abaixo apresentando o número de cromossomos, número de moléculas de DNA e quantidade de DNA ($2C$ = quantidade de DNA em uma célula somática em G1), nos diferentes estágios do ciclo celular.

Estágio	N^0 cromossomos	N^0 moléculas DNA	Quantidade DNA
G1			
G2			
Final da mitose			
Metáfase I da meiose			
Metáfase II da meiose			
Espermatozóide			

7ª SEMANA DE AULAS

Correção da avaliação (interação coletiva): a correção da avaliação, em sala de aula, ajuda os professores a ampliar a observação do que se busca atingir na aplicação de um instrumento de avaliação, bem como, determinar as características da cada turma e, em algumas situações ideais, de cada estudante. As interações entre professor(a) e estudantes e dos estudantes entre si é um ponto fundamental nesta atividade, isto é, os dois protagonistas são o professor e o estudante, de maneira que o primeiro tem de identificar exatamente o que quer e o segundo, se colocar como parceiro. Em outros termos, debater os critérios de avaliação de forma coletiva sempre ajuda a obter resultados melhores para todos.



Atividade 4 (pós-teste): a aplicação possuiu como finalidades, em primeiro lugar, a de detectar e avaliar se os estudantes passaram a apresentar, após a intervenção, as concepções cientificamente aceita do conceito de genoma e de sua estrutura e transmissão. Em segundo lugar, de acordo com Mortimer (2000), a de verificar se os estudantes possuem a capacidade de generalizar os conceitos na interpretação de fenômenos e eventos potencialmente perturbadores. Essa avaliação deve ser feita em comparação com o pré-teste e com as atividades desenvolvidas ao longo da intervenção.

ENCONTRO 14

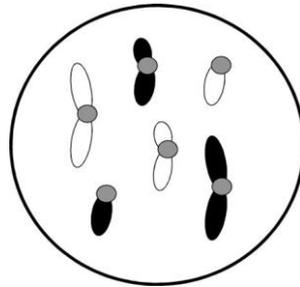
ATIVIDADE 4: RELACIONANDO OS CONCEITOS TRABALHADOS

Nome: _____ Matrícula: _____

OBS: responda da maneira mais completa possível, de acordo com o conhecimento científico abordado em sala de aula e nos livros-texto indicados.

1. Elabore um pequeno texto (até 10 linhas) onde apresenta a relação entre os termos DNA, cromossomos, genes e genoma.

2. Com base na imagem abaixo responda:



a) Qual é o número do genoma haplóide, do diploide e do triploide?

b) Com o genoma diplóide represente as seguintes fases: metáfase da mitose, metáfase I da meiose e metáfase II da meiose.

metáfase mitose

metáfase meiose I

metáfase meiose II

3. Uma espécie de centeio cereal (*Secale cereale*) tem número cromossômico de 14, enquanto uma espécie de centeio selvagem canadense (*Elymus canadensis*) tem número cromossômico de 28. O cruzamento de *S. cereale* com *E. canadensis* pode produzir híbridos estéreis.

a) Qual seria o número cromossômico esperado nas células somáticas dos híbridos?

b) Suponha que o conteúdo de DNA nuclear em G1 de *E. canadensis* seja de 25,5 (2C) picogramas e que o conteúdo de DNA nuclear de *S. cereale* seja 16,8 (2C) picogramas. Qual seria o conteúdo esperado em uma célula somática metafásica do híbrido?

4. Sobre a transmissão do material genético, explique:

a) O material genético que você recebe é igual ao que você transmite aos seus descendentes? Por que?

b) Se os filhos recebem parte do material genético de cada um dos genitores, por que os irmãos não são idênticos?



PARA TER MAIS INFORMAÇÕES

O ALUNO EM FOCO

PESQUISA NO ENSINO DE QUÍMICA

Construindo conhecimento científico na sala de aula

A seção “Pesquisa no ensino de química” relata investigações relacionadas a problemas no ensino de química, explicitando os fundamentos teóricos e procedimentos metodológicos adotados na pesquisa e analisando seus resultados. A seção “Aluno em Foco” discute resultados de pesquisas sobre idéias informais dos estudantes, sugerindo formas de levar essas idéias em consideração no ensino-aprendizagem de conceitos científicos. O presente artigo enfoca a importante temática da construção de conhecimento científico em sala de aula e a relação entre as idéias científicas e idéias informais dos estudantes, razão pela qual se inclui a tradução deste artigo para integrar as seções “Pesquisa em Ensino de Química” e “Aluno em Foco”. A publicação deste artigo também significa uma homenagem da comunidade de educadores químicos brasileiros à grande pesquisadora em ensino de ciências que foi Rosalind Driver, falecida em outubro de 1997.

Rosalind Driver
Hilary Asoko
John Leach
Eduardo Mortimer
Phillip Scott

Tradução*: Eduardo Mortimer

► processo de aprendizagem, idéias científicas, idéias informais, pedagogia ◄

O compromisso central de uma posição construtivista — de que o conhecimento não é diretamente transmitido mas construído ativamente pelo aprendiz — é compartilhado por diferentes tradições de pesquisa no ensino das ciências. Uma dessas tradições concentra-se na construção individual de significados e nas várias teorias informais que as pessoas desenvolvem sobre os fenômenos naturais (Carey, 1985; Carmichael *et al.*, 1990; Pfundt e Duit, 1985), como resultado das interações individuais dos aprendizes com os eventos físicos de sua vida diária (Piaget, 1970). A aprendizagem em sala de aula, a partir dessa perspectiva, é vista como algo que requer atividades práticas bem elaboradas que desafiem as concepções prévias do aprendiz, encorajando-o a reorganizar suas teorias pessoais. Uma outra tradição descreve o processo de construção de conhecimento como consequência da aculturação do aprendiz nos discursos cientí-

ficos (por exemplo, Edwards e Mercer, 1987; Lemke, 1990). Outros, ainda, vêem o processo como um aprendizado das práticas científicas (Rogoff e Lave, 1984). O nosso próprio trabalho tem se concentrado no estudo de como os alunos recorrem a seu conhecimento informal e como este interage com as formas científicas de conhecimento introduzidas na sala de aula (por exemplo, Johnston e Driver, 1990; Scott, 1993; Scott *et al.*, 1994). Existe uma variedade de descrições dos processos de construção do conhecimento. Parece ser necessário esclarecer essas perspectivas distintas e suas inter-relações.

Uma outra questão que precisa ser esclarecida entre os educadores em ciências é a relação que vem sendo proposta entre a visão construtivista da aprendizagem e suas implicações

pedagógicas. De fato, Millar (1989) afirma que perspectivas particulares sobre a aprendizagem não resultam necessariamente em práticas pedagógicas específicas. Além disso, as tentativas de articular as abordagens ‘construtivistas’ à didática das ciências (Driver e Oldham, 1986; Fensham *et al.*, 1994; Osborne e Freyberg, 1985) têm sido criticadas com base no pressuposto de que tais práticas pedagógicas estão fundamentadas em uma visão empirista da natureza da ciência (Matthews, 1992; Osborne, 1993), argumento que será posteriormente analisado neste texto.

Neste artigo, vamos apresentar nossa visão de como os vários fatores da experiência pessoal, da linguagem e da socialização inter-relacionam-se no processo de aprendizagem das ciências em sala de aula e discutir as relações problemáticas entre conhecimento científico, aprendizagem das ciências e pedagogia.

A natureza do conhecimento científico

Qualquer relato sobre ensino e aprendizagem das ciências precisa levar em consideração a natureza do conhecimento a ser ensinado. Embora trabalhos recentes sobre a natureza da ciência enfatizem que as práticas científicas não podem ser caracterizadas de modo unitário simplista, ou seja,

...na educação em ciências, é importante considerar que o conhecimento científico é, ao mesmo tempo, simbólico por natureza e socialmente negociado

que não existe uma única 'natureza da ciência' (Millar *et al.*, 1993), existem alguns compromissos centrais ligados às práticas científicas e ao conhecimento que têm implicações para o ensino da ciência. Defendemos que, na educação em ciências, é importante considerar que o conhecimento científico é, ao mesmo tempo, simbólico por natureza e socialmente negociado. Os objetos da ciência não são os fenômenos da natureza, mas construções desenvolvidas pela comunidade científica para interpretar a natureza. Hanson (1958) fornece uma ilustração eloquente sobre a diferença entre os conceitos da ciência e os fenômenos do mundo, em seu relato sobre os esforços intelectuais de Galileu para explicar o movimento de queda livre. Durante vários anos Galileu realizou medidas de objetos em queda, representando a aceleração em termos das mudanças na velocidade do objeto em uma dada distância, uma formulação que levou a relações complexas e deselegantes. Uma vez que ele começou a pensar em termos de mudança de velocidade em um dado intervalo de tempo, a aceleração constante de objetos em queda se tornou evidente. A noção de aceleração não emergiu de forma não problemática das observações, mas lhes foi imposta. O conhecimento científico em muitos domínios, seja nas explicações do comportamento de circuitos elétricos, no fluxo de energia através de ecossistemas ou na rapidez das reações químicas, consiste de

entidades definidas formalmente e de relações que se supõe existirem entre elas. O fato é que, mesmo em domínios relativamente simples da ciência, os conceitos usados para descrever e modelar o domínio não são revelados de maneira óbvia pela leitura do 'livro da natureza'. Ao contrário, esses conceitos são construções que foram inventadas e impostas sobre os fenômenos para interpretá-los e explicá-los, muitas vezes como resultado de grandes esforços intelectuais.

Uma vez que esse conhecimento tenha sido construído e acordado dentro da comunidade científica, torna-se parte da forma não problemática de ver as coisas, aceita dentro dessa comunidade. Como resultado, o mundo simbólico da ciência é hoje povoado por entidades como átomos, elétrons, íons, campos e fluxos, genes e cromossomos; ele é organizado por idéias como a da evolução e inclui procedimentos de medida e experimentos. Essas entidades ontológicas e conceitos organizadores, assim como a epistemologia e as práticas das ciências a eles relacionadas, dificilmente serão descobertas por indivíduos através de suas próprias observações do mundo natural. O conhecimento científico, como conhecimento público, é construído e comunicado através da cultura e das instituições sociais da ciência.

Existem estudos, na área de história e sociologia das ciências, que vêem o conhecimento que emerge da atividade dentro da comunidade científica

como relativista e resultante exclusivamente de processos sociais (Collins, 1985; Latour e Woolgar, 1979). Além disso, essa posição relativista argumenta que não há como saber se esse conhecimento é um reflexo 'verdadeiro' do mundo, e que a noção de 'progresso' científico é, portanto, problemática. Esse aparente 'irracionalismo' e relativismo das ciências é, no momento, motivo de controvérsia nos estudos sobre as ciências e na educação em ciências. Mas uma perspectiva do conhecimento científico como socialmente construído não implica logicamente uma posição relativista. Ao propor uma ontologia realista, Harré (1986) sugere que o conhecimento científico é limitado pela própria estrutura do mundo tal como ele é, e que o progresso científico tem base empírica, mesmo que seja socialmente construído e validado (uma posição que consideramos convincente).

Quer se adote ou não uma perspectiva relativista, a visão do conhecimento científico como socialmente construído e validado tem implicações importantes para a educação em ciências. Isso significa que a aprendizagem das ciências envolve ser iniciado nas formas científicas de se conhecer. As entidades e idéias científicas, que são construídas, validadas e comunicadas através das instituições culturais da ciência, dificilmente serão descobertas pelos indivíduos por meio de sua própria investigação empírica; aprender ciências, portanto, envolve ser iniciado

Rosalind Driver

Quando o eu estava preparando esta tradução, fui comunicado do falecimento da profa. Rosalind Driver, principal articuladora deste artigo. Ros foi uma das mais proeminentes figuras da educação em ciências neste século. Seu trabalho com Jack Easley, publicado em 1978 no *Studies in Science Education*, sob o título de "Pupils and paradigms: a review of literature related to concept development in adolescent science students", é considerado um marco na criação do programa de pesquisa sobre concepções alternativas dos estudantes, que dominou a cena na educação



em ciências na década de 80. Dinâmica e inquieta, Ros esteve sempre a frente do movimento construtivista no ensino de ciências e soube perceber como ninguém a crise que foi se instalando nesse programa de pesquisa a partir do fim da década de 80. Este artigo representa uma tentativa de refletir sobre essa crise e sugerir novos rumos ao movimento.

Todos que tiveram a honra e o privilégio de conviver e trabalhar com a excelente figura humana que foi Ros Driver podem avaliar a dor que sua morte significou para seus amigos e colaboradores. Para seus leitores e admiradores nos quatro cantos do mundo, fica a sensação de uma perda irreparável para a educação em ciências. Espero que a publicação deste artigo em português provoque nos leitores e leitoras a mesmas inquietações, questionamentos e buscas de novos rumos que marcaram a vida de Rosalind Driver.

nas idéias e práticas da comunidade científica e tornar essas idéias e práticas significativas no nível individual. O papel do professor de ciências, mais do que organizar o processo pelo qual os indivíduos geram significados sobre o mundo natural, é o de atuar como mediador entre o conhecimento científico e os aprendizes, ajudando-os a conferir sentido pessoal à maneira como as asserções do conhecimento são geradas e validadas. Portanto, essa perspectiva pedagógica difere fundamentalmente da perspectiva empirista.

Aprendizagem das ciências como atividade individual

Embora Piaget não tenha se referido a si mesmo como 'construtivista' a não ser tardiamente em sua vida (Piaget, 1970), a perspectiva de que o conhecimento é construído pelo sujeito cognoscente é central em sua posição. Como reflete sua afirmação "l'intelligence organise le monde en s'organisant elle-même" ("a inteligência organiza o mundo organizando a si mesma" – 1937, p. 311), a preocupação central de Piaget foi com o processo pelo qual os seres humanos constroem seu conhecimento do mundo. Em termos amplos, Piaget postulou a existência de esquemas cognitivos que são formados e se desenvolvem por meio da coordenação e da internalização das ações de um indivíduo sobre os objetos do mundo. Esses esquemas se desenvolvem como resultado de um processo de adaptação a experiências mais complexas (através do processo que Piaget denominou *equilíbrio*). Novos esquemas, portanto, passam a existir pela modificação dos antigos. Assim, o desenvolvimento intelectual é visto como uma adaptação progressiva dos esquemas cognitivos individuais ao ambiente físico. Piaget reconheceu que a interação social poderia ter um papel na promoção do desenvolvimento cognitivo, por exemplo ao tornar disponíveis para a criança pontos de vistas diferentes por meio da discussão. Para que aconteça o desenvolvimento, no entanto, é essencial que haja equilíbrio em nível individual.

Embora mais tarde em sua vida Piaget tenha tratado da relação entre

os esquemas individuais de conhecimento e a história das ciências (Piaget e Garcia, 1989), e na verdade sua questão básica fosse essencialmente epistemológica, o enfoque central de grande parte de seu programa de pesquisa foi o modo como os indivíduos conferem significado ao mundo físico por meio do desenvolvimento de estruturas e operações lógicas independentes de conteúdo. De forma contrastante, o programa de pesquisa sobre o raciocínio científico das crianças que emergiu nos últimos 20 anos tem como foco os esquemas de conhecimento em domínios específicos no contexto da aprendizagem das ciências pelas crianças. As concepções das crianças sobre os fenômenos físicos já foram documentadas em uma ampla variedade de domínios da ciência (Carmichael *et al.*, 1990; Driver *et al.* 1985; Pfundt e Duit, 1985; West e Pines, 1985). Embora esse campo de pesquisa tenha como foco o conhecimento específico por domínio e não os esquemas gerais de raciocínio, ele possui muito em comum com a perspectiva piagetiana, podendo conduzir a perspectivas pedagógicas semelhantes. Ambas vêem o significado como sendo construído pelos indivíduos e afirmam que o significado depende dos esquemas de conhecimento existentes no indivíduo. A aprendizagem acontece quando esses esquemas são modificados pelo processo de reequilíbrio. Esse processo requer uma atividade mental interna e tem como resultado a modificação de um esquema anterior de conhecimento. A aprendizagem é vista, portanto, como algo que envolve um processo de mudança conceitual. As abordagens do ensino de ciências baseadas nessa perspectiva concentram-se em fornecer às crianças experiências físicas que induzam ao conflito cognitivo e, assim, encorajam os aprendizes a desenvolver novos esquemas de conhecimento que são mais bem adaptados à experiência. As atividades práti-

cas apoiadas por discussões em grupo formam a essência dessas práticas pedagógicas (vide, por exemplo, Nussbaum e Novick, 1982; Rowell e Dawson, 1984). A partir dessa perspectiva individual, as salas de aula são lugares onde as pessoas estão ativamente engajadas umas com as outras, na tentativa de compreender e interpretar fenômenos por si mesmas, e onde

a interação social em grupos é vista como algo que fornece o estímulo de perspectivas diferentes sobre as quais os indivíduos possam refletir. O papel do professor é fornecer as experiências físicas e encorajar a reflexão. As concepções das crianças são consideradas e questionadas de maneira respeitosa. Na

passagem a seguir, Duckworth descreve claramente os tipos de intervenções que são úteis:

O que você quer dizer? Como você fez isso? Por que você diz isso? Como é que isso se encaixa no que acabamos de dizer? Poderia me dar um exemplo? Como você chegou a isso? Em cada caso, essas perguntas são primeiramente uma maneira de o interlocutor tentar compreender o que o outro está entendendo. Entretanto, em cada caso elas vão, também, engajar os pensamentos do outro e levá-lo um passo adiante. (1987, p. 96-97.)

Assim, as atividades e intervenções do professor são descritas como promovendo o pensamento e a reflexão por parte dos alunos, solicitando argumentos e evidências em apoio às afirmações. Há, em nosso ponto de vista, uma omissão significativa por parte dessa perspectiva sobre a construção de conhecimento. O desenvolvimento das estruturas cognitivas dos aprendizes é visto como resultado da interação dessas estruturas com aspectos de uma realidade física externa, sendo o processo de significação estimulado

Embora esse campo de pesquisa tenha como foco o conhecimento específico por domínio e não os esquemas gerais de raciocínio, ele possui muito em comum com a perspectiva piagetiana, podendo conduzir a perspectivas pedagógicas semelhantes

pela interação entre pares. No entanto, as interações dos aprendizes com as realidades *simbólicas*, com as ferramentas culturais da ciência, não são substancialmente consideradas.

Além disso, ao ver a aprendizagem como algo que envolve a substituição de antigos esquemas de conhecimento por novos, essa perspectiva ignora a possibilidade de os indivíduos terem esquemas conceituais plurais, cada um apropriado a contextos sociais específicos. (Os cientistas, afinal, entendem perfeitamente o que significam frases como "Feche a porta para o frio não entrar"). No lugar de reequilibrações sucessivas, argumenta-se que a aprendizagem pode ser mais bem caracterizada por construções paralelas relacionadas a contextos específicos (Solomon, 1983). A noção de 'perfil epistemológico' de Bachelard (1940/1968) pode ser útil aqui. Em vez de construir uma única e poderosa idéia, os indivíduos podem apresentar maneiras diferentes de pensar, ou seja, um perfil conceitual dentro de domínios específicos. Por exemplo, uma visão contínua da matéria é normalmente adequada para lidar com as propriedades e o comportamento das substâncias sólidas na vida cotidiana. Perspectivas diferentes podem, entretanto, ser utilizadas. Uma visão quântica da matéria é epistemológica e ontologicamente diferente de uma visão atomista, e ambas são diferentes de um modelo contínuo. Essas três perspectivas podem formar o perfil conceitual de um indivíduo para os sólidos, e cada uma pode ser apropriada a um contexto diferente. Assim, um químico que trabalha em uma reação de síntese pode achar mais útil considerar os átomos partículas materiais do que um conjunto de singularidades matemáticas em campos de força (Mortimer, 1993).

Aprendizagem das ciências como construção social do conhecimento

Enquanto a perspectiva individual sobre a construção do conhecimento privilegia as experiências físicas e seu papel na aprendizagem das ciências, uma perspectiva socioconstrutivista reconhece que a aprendizagem envol-

ve a introdução em um mundo simbólico. Isso está bem explicitado na introdução de Bruner ao trabalho de Vygotsky:

O projeto Vygotskyano é descobrir o modo como os membros aspirantes de uma cultura aprendem de seus tutores, os vicários de sua cultura, a entender o mundo. Este mundo é um *mundo simbólico* no sentido de que ele consiste de sistemas de crenças conceitualmente organizados, delimitados por regras sobre as coisas que existem, sobre como atingir os objetivos e sobre o que deve ser valorizado. Não existe nenhuma maneira, nenhuma mesmo, através da qual o ser humano poderia ter domínio desse mundo sem a ajuda e a assistência de outras pessoas, pois, na verdade, esse mundo são os outros (Bruner, 1985, p. 32).

A partir dessa perspectiva, o conhecimento e o entendimento, inclusive o entendimento científico, são construídos quando os indivíduos se engajam socialmente em conversações e atividades sobre problemas e tarefas comuns. Conferir significado é, portanto, um processo dialógico que envolve pessoas em conversação e a aprendizagem é vista como o processo pelo qual os indivíduos são introduzidos em uma cultura por seus membros mais experientes. À medida que isso acontece, eles 'apropriam-se' das ferramentas culturais por meio de seu envolvimento nas atividades dessa cultura. Um membro mais experiente de uma cultura pode ajudar um membro menos experiente estruturando as tarefas, tornando possível que ele as desempenhe e internalize o processo, ou seja, convertendo-as em ferramentas para controle consciente.

Existe aqui uma questão importante para a educação em ciências. Se a

construção do conhecimento for vista apenas como processo individual, isso é semelhante ao que tem sido tradicionalmente identificado como aprendizagem por descoberta. Se, no entanto, os aprendizes tiverem que ter acesso aos sistemas de conhecimento da ciência, o processo de construção do conhecimento tem que ultrapassar a investigação empírica pessoal. Quem aprende precisa ter acesso não apenas às experiências físicas, mas também aos conceitos e modelos da ciência convencional. O desafio está em ajudar os aprendizes a se apropriarem desses modelos, a reconhecerem seus domínios de aplicabilidade e, dentro desses domínios, a serem capazes de usá-los. Se ensinar é levar os estudantes às idéias convencionais da ciência, então a intervenção do professor é essencial, tanto para fornecer evidências experimentais apropriadas como para disponibilizar para os alunos as ferramentas e convenções culturais da comunidade científica. O desafio é como alcançar com êxito esse processo de enculturação na rotina da sala de aula comum. Além disso, os desafios são especialmente importantes quando a perspectiva científica que o professor está apresentando é conflitante com os esquemas de conhecimento prévio dos alunos.

Idéias científicas informais e conhecimento de senso comum

Os jovens possuem vários esquemas de conhecimento utilizados para interpretar os fenômenos com que se deparam no seu dia-a-dia. Esses esquemas são fortemente apoiados pela experiência pessoal e pela socialização em uma visão de senso comum. Pesquisas feitas em todo o mundo já demonstraram que as idéias científicas informais das crianças não são totalmente idiossincráticas. Dentro de domínios específicos das ciências existem maneiras informais de modelar e interpretar os fenômenos que são encontrados entre crianças de diferentes países, línguas e sistemas educacionais. Uma

Em vez de construir uma única e poderosa idéia, os indivíduos podem apresentar maneiras diferentes de pensar, ou seja, um perfil conceitual dentro de domínios específicos

das áreas mais exaustivamente estudadas é o raciocínio informal sobre mecânica. Aqui existe uma concepção comum de que é necessário uma força constante para manter um objeto em movimento constante (Clement, 1982; Gunstone e Watts, 1985; Viennot, 1979). Essa noção difere da física newtoniana, que associa força à mudança na condição de movimento, ou seja, à aceleração. Entretanto, não é difícil entender que experiências como empurrar objetos pesados ou pedalar uma bicicleta possam ser vistas como coerentes com a noção de que "movimento constante implica em força constante". Em outro domínio, aquele do raciocínio sobre as substâncias materiais, as crianças não vêem problema em considerar a matéria algo que aparece e desaparece. Quando um tronco de madeira queima até ser reduzido a um amontoado de cinzas, as crianças afirmam que a matéria "se foi com o fogo" (Andersson, 1991). As crianças mais velhas podem reconhecer que existem produtos gasosos originários do fogo. No entanto, eles não são vistos como substâncias, mas como algo que tem propriedades etéreas (Meheut et al., 1985). "Os gases, afinal, não podem ter massa ou peso; se não, por que não caem?" De fato, para muitas crianças a idéia de que o ar ou um gás possa ter peso é totalmente implausível. Muitos chegam a postular que eles têm peso negativo, porque tendem a fazer as coisas subirem (Brook et al., 1989; Stavy, 1988). Um raciocínio semelhante é utilizado sobre o papel dos gases nos processos biológicos, como a fotossíntese, a respiração e a degradação (Leach et al., no prelo).

Esses são apenas alguns exemplos dos tipos de idéias informais que prevalecem no raciocínio de jovens e adultos. Em domínios como os aqui referidos, sustentamos que existem coisas em comum nas maneiras informais de raciocinar, em parte porque os membros de uma cultura compartilham formas de falar e de se referir a fenômenos específicos. Além disso, as

maneiras como os indivíduos experimentam os fenômenos naturais são limitadas pela própria realidade.

No que tange às experiências do dia-a-dia das pessoas, as idéias informais são, na maioria das vezes, perfeitamente adequadas para interpretar e orientar as ações. As fogueiras de fato

No que tange às experiências do dia-a-dia das pessoas, as idéias informais são, na maioria das vezes, perfeitamente adequadas para interpretar e orientar as ações. As fogueiras de fato queimam até virar um monte de cinzas

queimam até virar um monte de cinzas – uma maneira muito usada para livrar-se do lixo indesejado. Se você deseja que um piano continue a ser mover, você precisa de fato de empurrá-lo com um esforço constante. Não é de

admirar que as idéias que são usadas e cuja utilidade é comprovada sejam então representadas na linguagem do dia-a-dia. Expressões do tipo "leve como o ar" ou "o fogo consumiu tudo" refletem e apoiam idéias informais subjacentes. Argumentamos, portanto, que as idéias informais não são apenas visões pessoais do mundo, mas refletem uma visão comum, representada por uma linguagem compartilhada. Essa visão compartilhada constitui o 'senso comum', uma forma socialmente construída de descrever e explicar o mundo.

Durante a infância, as idéias das crianças se desenvolvem como resultado da experiência e da socialização, transformando-se em visões 'do senso comum'. Para crianças muito pequenas (entre 4 e 6 anos), o ar existe apenas como vento ou brisa – os pequeninos não conceituam o ar como substância material. A noção do ar como 'coisa' normalmente toma-se parte dos modelos de mundo das crianças entre 7 e 8 anos. Essa coisa é então conceitualizada como algo que ocupa espaço, mas que não tem peso, ou que tem um peso negativo ou a propriedade de se elevar ('upness' – Brook et al., 1989). Esse exemplo ilustra uma questão muito mais geral: as entidades – o ar como coisa, por exemplo – que são tidas como reais pelas crianças podem ser bastante diferentes para

crianças em faixas etárias diferentes. Em outras palavras, as estruturas ontológicas cotidianas da criança desenvolvem-se com a experiência e com a utilização da linguagem dentro de uma cultura. Essa mudança corresponde ao que outros autores descrevem como uma reestruturação radical das concepções específicas por domínio das crianças (vide Carey, 1985; Vosniadou e Brewer, 1992).

As formas 'de senso comum' de explicar os fenômenos, conforme exposto aqui, representam o conhecimento do mundo descrito dentro da cultura do dia-a-dia. Elas diferem do conhecimento da comunidade científica de várias maneiras. Obviamente, o senso comum e a ciência diferem nas entidades ontológicas que contém. As entidades tidas como reais dentro do discurso do dia-a-dia diferem das entidades da comunidade científica. Em segundo lugar, o raciocínio de senso comum, embora possa apresentar certa complexidade, também tende a ser tácito ou a não ter regras explícitas. O raciocínio científico, por outro lado, é caracterizado pela formulação explícita de teorias que podem ser comunicadas e inspecionadas à luz da evidência. Em ciências, esse processo envolve vários cientistas comunicando-se uns com os outros. Embora o conhecimento tácito tenha, inquestionavelmente, o seu lugar na ciência, a necessidade de ser explícito na formulação de uma teoria é central para o empreendimento científico. Em terceiro lugar, o raciocínio do dia-a-dia é caracterizado pelo pragmatismo. As idéias são julgadas por sua utilidade para fins específicos ou em situações específicas e, como tal, orientam as ações das pessoas. A busca científica, por outro lado, tem o objetivo adicional de construir um quadro geral e coerente do mundo. O compromisso científico, portanto, não é satisfeito por modelos situacionalmente específicos, mas por modelos que tenham maior generalidade e escopo.

Aprendizagem das ciências envolvendo processos individuais e sociais

Vamos considerar agora o que vemos como as implicações das distin-

ções entre senso comum e raciocínio científico para a aprendizagem das ciências. Já argumentamos que aprender ciências não é uma questão de simplesmente ampliar o conhecimento dos jovens sobre os fenômenos – uma prática talvez mais apropriadamente denominada estudo da natureza – nem de desenvolver e organizar o raciocínio do senso comum dos jovens. Aprender ciências requer mais do que desafiar as idéias anteriores dos alunos mediante eventos discrepantes. Aprender ciências envolve a introdução das crianças e adolescentes a uma forma diferente de pensar sobre o mundo natural e de explicá-lo; é tomar-se socializado, em maior ou menor grau, nas práticas

da comunidade científica, com seus objetivos específicos, suas maneiras de ver o mundo e suas formas de dar suporte às assertivas do conhecimento. Antes que isso possa acontecer, no entanto, os indivíduos precisam engajar-se em um processo pessoal de construção e de atribuição de significados. Caracterizado dessa maneira, aprender ciências envolve tanto processos pessoais como sociais. No plano social, o processo envolve ser introduzido aos conceitos, símbolos e convenções da comunidade científica. Entrar nessa comunidade de discurso não é algo que os alunos descobrem por conta própria, assim como nunca aprenderiam por conta própria a falar esperanto.

Tomar-se socializado nas práticas discursivas da comunidade científica não significa, no entanto, abandonar o raciocínio do senso comum. Os seres humanos participam de múltiplas comunidades de discurso paralelas, cada uma com práticas e objetivos específicos. Atualmente existe bastante interesse por parte da comunidade de educação em ciências no processo de mudança conceitual. Aprender ciências está sendo caracterizado por alguns como a promoção de uma mudança conceitual das idéias informais dos alunos para as idéias da comu-

nidade científica (Hewson, 1981; Posner et al., 1982; West e Pines, 1985). O problema que vemos nessa caracterização é que não deveríamos esperar que os estudantes necessariamente abandonassem suas idéias do senso comum, como resultado do ensino de ciências. Como já argumentamos anteriormente, os estudantes podem continuar a usar essas idéias para se comunicar dentro dos contextos sociais apropriados (Solomon, 1983).

Alguns pesquisadores caracterizam a aprendizagem das ciências como o reflexo de padrões de mudança semelhantes que ocorreram na própria ciência, por meio da reestruturação progressiva das teorias implícitas dos alunos (Carey, 1985; Chinn e Brewer, 1993; McCloskey, 1983; Vosniadou e Brewer, 1987). Embora reconheçamos que a aprendizagem das ciências envolve algum tipo de reestruturação de idéias, argumentamos que a visão da aprendizagem como mudança de teoria coloca uma ênfase exagerada na semelhança entre as idéias informais dos alunos e as teorias científicas. É a natureza implícita e situada dessas idéias informais que as distingue das teorias científicas. Além disso, aprender ciências na escola significa mais do que mudar de um conjunto de teorias para outro; significa, em primeiro lugar, estar articulado de modo consciente sobre o que constitui as teorias.

Uma perspectiva social da aprendizagem em salas de aula reconhece que uma maneira importante de introduzir os iniciantes em uma comunidade de conhecimento é através do discurso no contexto de tarefas relevantes. As salas de aula de ciências estão sendo reconhecidas, atualmente, como comunidades caracterizadas por práticas discursivas distintas (Lemke, 1990). Ao serem engajados nessas práticas, os estudantes são socializados em uma comunidade específica do conhecimento, um processo descrito como aprendizado cultural (Rogoff e Lave, 1984; Seely Brown et

al., 1989). As práticas discursivas nas salas de ciências diferem substancialmente das práticas de argumentação e pesquisa científica que ocorrem dentro das várias comunidades de cientistas profissionais; isso não surpreende, se considerarmos as diferenças entre as escolas e os vários contextos institucionais das ciências em termos de objetivos e relações de poder. Essa disjunção já foi reconhecida, e alguns pesquisadores em ensino de ciências estão experimentando maneiras de organizar as salas de aula de modo a refletir formas específicas de investigação colaborativa que possam ajudar os estudantes a dominar gradualmente algumas das normas e práticas características das comunidades científicas (Eichinger et al., 1991; Roseberry et al., 1992).

A aprendizagem na sala de aula de ciências

Nesta seção, vamos identificar algumas das práticas discursivas que apóiam a construção conjunta do conhecimento científico por professores e alunos e que também refletem aspectos da argumentação científica. Apresentamos episódios curtos de ensino e aprendizagem nas salas de aula de ciências, baseando-nos nas perspectivas pessoais e sociais sobre a aprendizagem, a fim de interpretar o que acontece em cada caso. Os exemplos foram retirados de estudos que estamos conduzindo em colaboração com professores, em salas de aula de ciências na Inglaterra, nas quais foi chamada a atenção, explicitamente, para as diferenças entre o raciocínio informal dos alunos sobre um tópico específico e a visão científica (Scott et al., 1992).

Os episódios não têm como finalidade apresentar casos exemplares de ensino e aprendizagem. Na verdade, eles foram escolhidos para ilustrar as maneiras como os alunos desenvolvem significados pessoais dentro do contexto social da sala de aula, como é feita a apropriação dos significados científicos e como as diferenças ontológicas e epistemológicas entre as visões informal e científica podem criar obstáculos para a compreensão individual.

Uma perspectiva social da aprendizagem em salas de aula reconhece que uma maneira importante de introduzir os iniciantes em uma comunidade de conhecimento é através do discurso no contexto de tarefas relevantes

Raios de luz: negociando "novas ferramentas conceituais" — novas entidades ontológicas

Uma classe de alunos entre 8 e 9 anos de idade participou de uma série de aulas introdutórias sobre a luz (vide Asoko, 1993). As crianças nessa idade tendem a considerar a luz como fonte ou efeito (Guesne, 1985), mas têm menos possibilidade de conceituar a luz como algo que existe no espaço e que se desloca a partir de uma fonte. O professor, Michael, estava interessado em ajudar a turma a desenvolver a idéia de que a luz viaja pelo espaço e que se desloca em linha reta. Uma vez estabelecida a concordância de que a luz viaja em linha reta, ele planejou apresentar a representação convencional dos 'raios' de luz.

A princípio, o professor Michael convidou a classe a pensar sobre a luz da sala de aula, e todas as crianças concordaram que se tratava da luz do sol. A seguir ele explorou com elas essa noção um pouco mais, perguntando de onde vem a luz do sol.

Aluno 1: Do sol.

Michael: Quer dizer que a luz que está entrando naquela janela veio do sol? (várias respostas simultâneas)

Aluno 2: Vem do calor, porque é tão quente que faz uma luz brilhante.

Michael: Então como é que ela chega aqui? Se é a luz do sol, como é que pode estar aqui também? Martyn?

Aluno 3: Porque o sol está brilhando sobre nós.

Michael: Mas ele está a 93 milhões de milhas daqui — então como é que a luz do Sol pode estar aqui nesta mesa?

Aluno 4: É por causa da camada de ozônio? (Seguiu-se uma curta interação entre eles, em que vários alunos deram suas idéias sobre o buraco na camada de ozônio que permitia que mais luz do sol passasse, e então Michael recolocou sua pergunta).

Michael: Mas como é que a luz do sol chega até aqui?

Aluno 5: Ela viaja até aqui.

Michael: Coulton disse, e essas são suas palavras exatas, que "ela

viaja até aqui". Em outras palavras, a luz se move do Sol até aqui...

Aluno 5: Sim.

Michael: 93 milhões de milhas. Está certo?

Alunos: Sim (coro de muitas vozes)

Nessa interação, Michael indicou que a idéia do sol brilhando sobre nós poderia ser mais bem elaborada e, com as contribuições da turma, focalizou a idéia da luz como algo que viaja de sua fonte, percorrendo o espaço. Sua interação com a classe, à medida que a idéia foi sendo explorada, fornece uma indicação de que essa é uma idéia geralmente aceita como plausível, um aspecto importante na construção conjunta do conhecimento em sala de aula.

A idéia de que a luz viaja foi desenvolvida um pouco mais através de uma atividade prática feita em grupos. Cada grupo de três a quatro crianças recebeu um jogo de equipamentos contendo uma lâmpada de 12 V, colocada em uma posição central sob uma caixa de cartolina octogonal de aproximadamente 35 cm de diâmetro, colocada sobre uma grande folha de papel. Foi cortada uma fresta de 12 cm de altura por 0,5 cm de largura em cada uma das oito faces. Foi então pedido às crianças para pensar sobre o que veriam quando a luz fosse acesa e para desenhar, na folha de papel, o que esperavam ver. Quase todas as crianças desenharam linhas num ângulo de 90 graus em relação às faces, a partir da fresta, para indicar o caminho da luz. As linhas variavam em comprimento, de 2 a 3 cm até aproximadamente 30 cm. Quando todas as crianças haviam feito pelo menos uma previsão, todas as lâmpadas foram acesas simultaneamente na sala escura. O efeito espetacular causou certa empolgação e não pouca surpresa, quando as crianças perceberam que, em vez de percorrer apenas uma distância curta, os raios de luz continuaram por toda a folha, podendo ser vistos, num plano vertical, quando chegavam a uma superfície como a parede ou os corpos das crianças.

Michael reuniu a turma para discutir suas observações. Ele desenhou, no

quadro, o plano da caixa octogonal. Traçando uma linha para representar a trajetória da luz, ele comentou que todos haviam feito previsões sobre a posição da linha que estavam de acordo com o que eles tinham visto, mas acrescentou que várias pessoas na sala acharam que a luz iria parar.

Michael: Está certo?

Aluno 1: Não, ela continua.

Michael: Ela continua. Quanto mais ela continuaria?

Aluno 2: Até o final. Ela continua toda a vida.

Aluno 3: Continua toda a vida, isto...

Aluno 4: Ela não pode parar. Você não pode parar a luz sem desligá-la.

Nessa seqüência, a noção de que a luz "continua toda a vida" novamente é interpretada como um discurso compartilhado. Michael então convidou as crianças a desenhar mais linhas sobre o seu desenho a fim de mostrar para onde vai a luz. Depois que elas terminaram, Michael começou a usar as palavras *raio de luz* para descrever a trajetória da luz.

Nesse conjunto de seqüências, Michael estava introduzindo às crianças, por meio do discurso, a *maneira científica de ver as coisas*, tomando essa visão plausível no contexto de uma experiência memorável. Tendo se convencido de que as crianças tinham uma representação mental para "o caminho pelo qual a luz viaja", ele introduziu a convenção ou representação simbólica do raio de luz, uma ferramenta cultural que seria utilizada em aulas subsequentes. Ao longo de toda a seqüência, foi surgindo uma estória coerente, uma estória que Michael verificava, através de feedbacks, ser comum a toda a turma. Esse processo de desenvolver um significado compartilhado entre professor e alunos é central àquilo que Edwards e Mercer (1987) chamam de *conhecimento comum* na sala de aula. Esse conhecimento comum ou discurso compartilhado passou a se referir a uma nova estrutura ontológica sobre a luz, uma estrutura na qual a luz viaja, e viaja em linha reta (representada simbolicamen-

te por 'raios de luz') por longas distâncias.

A pressão do ar: estruturando (scaffolding) "uma nova maneira de explicar" — conflito entre o senso comum e a perspectiva científica

O processo pelo qual os alunos desenvolvem novas maneiras de explicar podem envolver interações dialógicas entre professor e alunos ou entre pequenos grupos de alunos. Nessas interações, o adulto (ou um colega mais competente) fornece aquilo que Bruner (1986) chamou de 'andaime' (*scaffolding*) para a aprendizagem dos alunos enquanto eles constroem novos significados para si mesmos.

Numa sequência instrucional sobre a pressão do ar entre alunos de 11 e 12 anos (Scott, 1993), o professor desenvolveu, por meio de demonstrações e conversa com a classe, uma nova maneira de explicar vários fenômenos simples (como, por exemplo, por que uma garrafa plástica murcha quando o ar é retirado de dentro dela). Essa nova maneira de explicar baseava-se nas diferenças entre a pressão do ar dentro e fora da garrafa. Foi pedido à turma para trabalhar em grupos a fim de usar essa idéia de diferença de pressão para explicar outros fenômenos — por exemplo, como borrachas de sucção, a exemplo dos desentupidores de pia, grudam em superfícies lisas ou como um líquido pode ser sugado para uma pipeta.

...nas interações entre professor e alunos, o professor fornece o que Bruner chamou de 'andaime' para a aprendizagem dos alunos

Nas passagens que se seguem, vemos exemplos de um adulto experiente tentando 'andaimear' (*to scaffold*) o raciocínio dos estudantes em termos do modelo de diferença de pressão. Vemos também as maneiras como as teorias informais dos alunos, como por exemplo a idéia de que "o vácuo suga", influenciam na formação de sentido pelos indivíduos.

Christa e Adele completaram uma

atividade com as borrachas de sucção e ficaram surpresas com a força que precisaram fazer para retirá-las de uma superfície lisa. Elas então discutiram sua explicação para o fato:

Christa: É uma superfície lisa e não existe ar na borracha, então há menos ar dentro do que fora, por isso ela gruda.

Adulto: Então, o que é que empurra... o que é que faz grudar?

Christa: O ar.

Adele: A sucção.

Adulto: O que é sucção?

Adele: É algo que puxa... algo que puxa para baixo...

Adulto: Uns minutinhos atrás, você disse que tinha a ver com o ar empurrando aqui fora.

Adele: Sim.

Adulto: Então você também disse que tinha a ver com sucção. Trata-se da mesma explicação, ou são explicações diferentes?

Adele: São quase... (Adele não tem certeza e interrompe sua fala).

O adulto então lembrou as duas meninas da demonstração anterior do colapso da garrafa plástica, que elas explicaram em termos de diferença na pressão do ar dentro e fora. As meninas então voltaram a pensar no caso das borrachas de sucção.

Adulto: Agora, onde é que estão a parte de dentro e de fora?

Adele: Bem... esta é a parte de dentro (indica a parte de baixo da borracha de sucção)

Adulto: Sim... certo.

Adele: É, e esta é a parte de fora.

Adulto: Ok. — Você pode usar a mesma explicação usada para a garrafa, para poder explicar o que acontece aqui? (O adulto volta a se referir à garrafa plástica que murchou).

Adele: Tem alguma coisa a ver com gravidade?

Adulto: Por que você está dizendo isto?

Adele: Puxando para baixo.

Após uma conversa adicional, Adele e o adulto concordaram que a gravidade pode estar agindo mesmo quan-

do não existe ar, e que são, portanto, coisas diferentes. Eles continuaram a pensar nas borrachas de sucção:

Adele: Está agarrado no fundo... ele [o ar] sai todo pelas laterais.

Adulto: Tudo bem, mas e o ar do lado de fora?

Christa: O ar de fora está empurrando para baixo.

Adele: Então fica difícil puxar para cima.

Neste trecho, o adulto estruturou o curso do raciocínio, primeiro lembrando às meninas da explicação que a turma construiu para o fenômeno ocorrido com a garrafa plástica e, a seguir, ajudando-as a fazer a ligação com o caso da borracha de sucção ao levá-las a pensar no ar dentro e fora da borracha.

Logo em seguida, Adele levantou uma outra questão:

Adele: Como é que quando você prende a borracha, e então você puxa para um canto da mesa e ela solta?

Adulto: Ah, esta é uma ótima pergunta. Vocês querem analisar isto um minutinho?

Adele: É que...

Christa: Não, deixa eu mostrar o que acontece. É o ar, ele consegue entrar de volta, não consegue?

Adele: É, ele volta para dentro, então o ar empurra para cima, não é?

As duas: É.

Aqui, o adulto retirou o apoio ou *scaffolding*, tomando-se apenas um espectador interessado, e as próprias garotas usaram com confiança a explicação baseada na diferença de pressão. No entanto, uma pergunta final de Christa sugere que ainda pode haver problemas:

Adulto: Agora... (pausa longa) vocês têm alguma pergunta a respeito?

Christa: Por que... por que o ar empurra para baixo... quando o ar sai pelas laterais? Por que o ar empurra para baixo?

A pergunta de Christa sugere que, embora ela tivesse tido êxito (com o

apoio do adulto) em construir a explicação com base na diferença de pressão para esse caso, a situação ainda não é plausível para ela ("Por que o ar empurra para baixo?"). Na verdade, é bastante improvável que qualquer experiência ou explicação anterior sobre o ar estático pudesse apoiar a idéia de que ele exerce tanta pressão. A nova maneira de explicar desafia as idéias dos alunos sobre aquilo que o ar pode e não pode fazer; desafia suas ontologias pessoais sobre o ar.

Os exemplos aqui apresentados chamam a atenção para o ponto fundamental de que domínios diferentes da ciência envolvem tipos diferentes de aprendizagem. No primeiro exemplo, os jovens alunos pareciam ter pouca dificuldade em compreender e acreditar que a luz viaja e persiste, a menos que seja bloqueada. Eles adotaram o discurso científico e usaram as idéias de forma produtiva. A situação no segundo exemplo parece ser bastante diferente. O professor havia envolvido os alunos nas atividades e no discurso a fim de apoiá-los na construção da visão científica, e mesmo assim vemos as alunas passando por dificuldades para tomar aqueles modelos da ciência significativos e apropriá-los à realidade de cada uma. Sugerimos que essas diferenças nas reações dos alunos podem, em parte, ser explicadas ao se considerar as demandas ontológicas e epistemológicas de aprendizagem nos domínios distintos da ciência que estão sendo estudados. No entanto, o que é comum em ambos os casos é o processo pelo qual o professor, familiarizado com o modo de ver científico, torna acessíveis aos alunos as ferramentas culturais da ciência, apoiando a (re)construção de suas idéias por meio do discurso sobre eventos físicos comuns.

Resumo e comentários finais

A visão de que o conhecimento científico é socialmente construído, válido e comunicado é central neste artigo. Apresentamos uma perspectiva de aprendizagem das ciências como processo de *enculturação* e não de descoberta, argumentando que o estudo empírico do mundo natural não resultará em conhecimento científico

porque o conhecimento científico é, por natureza, discursivo. Mostramos que os alunos de ciências possuem representações cotidianas sobre os fenômenos que a ciência explica. Essas representações são construídas, comunicadas e validadas dentro da cultura do dia-a-dia. Elas se desenvolvem à medida que os indivíduos convivem dentro de uma cultura. Mostramos que existem diferenças epistemológicas e ontológicas entre o raciocínio cotidiano e o raciocínio científico. Embora a aprendizagem das ciências envolva interações sociais, no sentido de que as ferramentas culturais da ciência precisam ser apresentadas aos alunos, defendemos a posição de que os indivíduos precisam entender de forma pessoal as maneiras de ver o mundo que lhes foram apresentadas. Se as representações cotidianas de certos fenômenos naturais forem muito diferentes das representações científicas, a aprendizagem acaba sendo difícil. Já argumentamos que a relação entre as visões de aprendizagem e a pedagogia é problemática e que não existem regras simples para a prática pedagógica que emergem de uma visão construtivista da aprendizagem. Existem, no entanto, aspectos importantes do processo de mediação que podem ser identificados. Para que os alunos adotem formas científicas de conhecer, é essencial que haja intervenção e negociação com uma autoridade, normalmente o professor. Nesse aspecto, o ponto crítico é a natureza do processo dialógico. O papel do professor, como autoridade, possui dois componentes importantes. O primeiro deles é introduzir novas idéias ou ferramentas culturais onde for necessário e fornecer apoio e orientação aos estudantes a fim de que eles próprios possam dar sentido a essas idéias. O outro é ouvir e diagnosticar as maneiras como as atividades instrucionais estão sendo interpretadas, a fim de subsidiar as próximas ações. O ensino visto nessa perspectiva é, portanto, também um processo de aprendizagem para o professor. Aprender ciências na sala de aula requer que as crianças entrem numa nova comunidade de discurso, numa nova cultura; o professor é o guia, quase sempre pressionado, des-

sa excursão, que faz a mediação entre o mundo cotidiano das crianças e o mundo da ciência.

O que foi apresentado aqui difere fundamentalmente do programa educacional positivista, cuja ênfase reside na racionalidade técnica e na apresentação não-problemática do conhecimento a ser adquirido. Participando das atividades discursivas das aulas de ciências, os alunos vão sendo socializados nas formas de conhecimento e nas práticas da ciência escolar. Isso representa uma grande demanda para os educadores: O desafio está em criar, entre os alunos, uma perspectiva crítica sobre a cultura científica. A fim de desenvolver tal perspectiva, os alunos precisarão estar conscientes dos objetivos variados do conhecimento científico, de suas limitações e das bases sobre as quais se assentam suas asserções. Um desafio crucial para o cotidiano da sala de aula é, portanto, transformar esses aspectos epistemológicos no foco explícito do discurso e, assim, socializar os alunos na perspectiva crítica da ciência como forma de conhecimento.

Rosalind Driver foi professora titular de ensino de ciências na Faculdade de Educação da Universidade de Leeds, Reino Unido, onde **Hilary Asoko**, **John Leach** e **Phillip Scott** são professores de ensino de ciências. Em 1996 Rosalind Driver assumiu a posição de professora titular do King's College, em Londres. Todos os quatro têm em comum o interesse no ensino e aprendizado das ciências, com um enfoque específico sobre o desenvolvimento da compreensão de conceitos, tendo sido membros do CLIS (Children's Learning In Science Research Group), atualmente LIS. **Eduardo Mortimer** é professor adjunto da Faculdade de Educação da Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil, também interessado no desenvolvimento da compreensão de conceitos nas ciências.

*Este artigo foi originalmente publicado em *Educational Research*, v. 23, n. 7, p. 5-12, 1994. Sua tradução foi autorizada pela American Educational Research Association.

Agradecimentos

Os autores agradecem os comentários feitos por Robin Millar a uma versão anterior deste trabalho, bem como as valiosas sugestões feitas por revisores anônimos.

Nota do tradutor

1. No original, "is burnt away". É difícil encontrar uma expressão semelhante em português.

Referências bibliográficas

ANDERSSON, B. Pupils' conceptions of matter and its transformations (age 12-16). *Studies in Sci. Educ.*, v. 18, p. 53-85, 1990.

ASOKO, H. First steps in the construction of a theoretical model of light: a case study from primary school classroom. In: *Proceedings of the Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*. Ithaca, NY: Misconceptions Trust, 1993.

BACHELARD, G. *The philosophy of no*. Nova Iorque: The Orion Press, 1968. Trad. de *La philosophie du non* de G.C. Waterston, 1940.

BROOK, A.; DRIVER, R. e HIND, D. *Progression in science: the development of pupil's understanding of physical characteristics of air across the age range 5-16 years*. Reino Unido: Centre for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds, 1989.

BRUNER, J. Vigotsky: a historical and conceptual perspective. In: J. Wertsch (Ed.), *Culture, communication and cognition: Vygotskian perspectives*. Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press, 1985.

BRUNER, J. *Actual minds, possible worlds*. Cambridge, MA: Harvard Univ. Press, 1986.

CAREY, S. *Conceptual change in childhood*. Cambridge, MA: MIT Press, 1985.

CARMICHAEL, P.; DRIVER, R.; HOLDING, B.; PHILLIPS, I.; TWIGGER, D. e WATTS, M. *Research on students' conceptions in science: a bibliography*. Reino Unido: Centre for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds, 1990.

CHINN, C. e BREWER, W. The role of anomalous data in knowledge acquisition: a theoretical framework and implications for science instruction. *Review of Educational Research*, v. 63, n. 1, p. 1-50, 1993.

CLEMENT, J. Students' preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, v. 50, n. 1, p. 66-71, 1992.

COLLINS, H.M. *Changing order*. Londres: Sage Publications, 1985.

DRIVER, R.; GUESNE, E. e TIBERGHEN, A. (Eds.) *Children's ideas in science*. Milton Keynes, Inglaterra: Open University Press, 1985.

DRIVER, R. Oldham, V. A constructivist approach to curriculum development in science. *Studies in Science Education*, v. 13, p. 105-122, 1986.

DUCKWORTH, E. *The having of wonderful ideas and other essays on teaching and learning*. Nova Iorque: Teachers' College Press, 1987.

EDWARDS, D. e MERCER, N. *Common knowledge — the development of understanding in the classroom*. Londres: Routledge, 1987.

EICHINGER, D.; ANDERSON, C.W.; PALINSCAR, A.S. e DAVID, Y. An illustration of the roles of content knowledge, scientific argument and social norms in collaborative problem solving. Artigo apresentado no Annual Meeting of the American Educational Research Association, Chicago, IL, Abril, 1991.

FENSHAM, P.; GUNSTONE, R. e WHITE, R. (Eds.). *The content of science*. Londres: Falmer Press, 1994.

GUESNE, E. Light. In: DRIVER, R.; Guesne, E. e Tiberghien, A. (Eds.) *Children's ideas in science*, p. 10-32. Milton Keynes, Inglaterra: Open University Press, 1985.

GUNSTONE, R. e WATTS, M. Children's understanding of force and motion. In: Driver, R., Guesne, E., Tiberghien, A. (Eds.) *Children's ideas in science* (p. 85-104). Milton Keynes, Inglaterra: Open University Press, 1985.

HANSON, N.R. *Patterns of discovery*. Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press, 1968.

HARRÉ, R. *Varieties of realism*. Oxford: Blackwell, 1986.

HEWSON, P.W. A conceptual change approach to learning science. *European Journal of Science Education*, v. 3, n. 4, p. 383-396, 1981.

JOHNSTON, K. e DRIVER, R. *A constructivist approach to the teaching of the particulate theory of matter: a report on a scheme in action*. Reino Unido: Centre for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds, 1990.

LATOUR, B. e WOOLGAR, S. *Laboratory life: the social construction of scientific facts*. Londres: Sage, 1979.

LEACH, J.; DRIVER, R.; SCOTT, P. e WOOD-ROBINSON, C. Children's ideas about ecology 2: Ideas about the cycling of matter found in children aged 5-16. *International Journal of Science Education* (no prelo).

LEMKE, J.L. *Talking science. Language, learning and values*. Norwood, NJ: Ablex, 1990.

MATTHEWS, M.R. Constructivism and empiricism: an incomplete divorce. *Research in Science Education*, v. 22, p. 299-307, 1992.

MCCLOSKEY, M. Intuitive physics. *Scientific American*, v. 248, p. 122-130, 1983.

MEHEUT, M.; SALTIEL, E. e TIBERGHEN, A. Pupils' (11-12 years old) conceptions of combustion. *European Journal of Science Education*, v. 7, n. 1, p. 83-93, 1985.

MILLAR, R. Constructive criticisms. *International Journal of Science Education*, v. 11, n. 5, p. 587-596, 1989.

MILLAR, R.; DRIVER, R.; LEACH, J. e SCOTT, P. *Students' understanding of the nature of science: Philosophical and sociological foundations of the study*. Working Paper 2 from the project The Development of Understanding of the Nature of Science. Reino Unido: Centre for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds, 1993.

MORTIMER, E.F. Studying conceptual evolution in the classroom as conceptual profile change. In: *Proceedings of the Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*. Ithaca, NY: Misconceptions Trust, 1993.

NUSSBAUM, J. e NOVICK, S. Alternative frameworks, conceptual conflict and accommodation. *Instructional Sci.*, v. 11, p. 183-208, 1982.

OSBORNE, J. Beyond constructivism. In: *Proceedings of the Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*. Ithaca, NY: Misconceptions Trust, 1993.

OSBORNE, R. e FREYBERG, P. *Learning in*

science: the implications of children's science. Auckland: Heinemann, 1985.

PFUNDT, H. e DUIT, R. *Bibliography: student's alternative frameworks and science education*. Kiel: IPN, 1985.

PIAGET, J. *La construction de réel chez l'enfant*. Neuchâtel: Delachaux et Niestlé, 1937.

PIAGET, J. *Genetic epistemology*. Trad. de E. Duckworth. Nova Iorque: Columbia University Press, 1970.

PIAGET, J. e GARCIA, R. *Psychogenesis and the history of science*. Nova Iorque: Columbia University Press, 1989.

POSNER, G.J.; STRIKE, K.A.; HEWSON, P.W. e GERTZOG, W.A. Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, v. 66, n. 2, p. 211-227, 1982.

ROGOFF, B. e LAVE, J. *Everyday cognition: its development in social context*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1984.

ROSEBERRY, A.; WARREN, B. e CONANT, F. *Approaches to scientific discourse: findings from language minority classrooms* (Working Paper n. 1-92). Cambridge, MA: TERC, 1992.

ROWELL, J.A. e DAWSON, C. Equilibration, conflict and instruction: a new class-oriented perspective. *European Journal of Science Education*, v. 7, n. 3, p. 331-344, 1984.

SCOTT, P. *Overtures and obstacles: teaching and learning about air pressure in a high school classroom*. In: *Proceedings of the Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*. Ithaca, NY: Misconceptions Trust, 1993.

SCOTT, P.; ASOKO, H. e DRIVER, R. Teaching for conceptual change: a review of strategies. In: R. Duit, F. Goldberg e H. Niedderer (Eds.). *Research in physics learning: theoretical issues and empirical studies*. Kiel, Alemanha: Schmidt & Klannig, 1992. p. 310-329.

SCOTT, P.; ASOKO, H.; DRIVER, R. e EMBERTON, J. Working from children's ideas: an analysis of constructivist teaching in the context of a chemistry topic. In: Fensham, P., Gunstone, R., White, R. (Eds.) *The content of science*. Londres: Falmer Press, 1994.

SEELY BROWN, J.; COLLINS, A. e DUGUID, P. Situated cognition and the culture of learning. *Educ. Researcher*, v. 18, n. 1, p. 32-42, 1989.

SOLOMON, J. Learning about energy: How pupils think in two domains. *European Journal of Science Education*, v. 5, n. 1, p. 49-59, 1983.

STAVY, R. Children's conceptions of gas. *International Journal of Science Education*, v. 10, n. 5, p. 552-560, 1988.

VIENNOT, L. Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European Journal of Science Education*, v. 1, n. 2, p. 206-222, 1979.

VOSNIADOU, S. e BREWER, W.F. Theories of knowledge restructuring in development. *Review of Educ. Research*, v. 57, p. 51-67, 1987.

VOSNIADOU, S. e BREWER, W.F. Mental models of the earth: a study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, v. 24, p. 535-586, 1992.

WEST, L. e PINES, A. *Cognitive structure and conceptual change*. Orlando, FL: Academic Press, 1985.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, Gabriela Barbosa de. O Ensino De Genética Na Formação Superior: Uma Experiência de Educação CTS (Ciência – Tecnologia – Sociedade). Dissertação de Mestre em Ensino de Ciências – Área de concentração “Ensino de Biologia”, pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências da Universidade de Brasília. Brasília: 2017.
- AUDINO, Daniel Fagundes; NASCIMENTO, Rosemy da Silva. Objetos de Aprendizagem - Diálogos Entre Conceitos E Uma Nova Proposição Aplicada à Educação. Revista Contemporânea de Educação, vol. 5 n. 10, jul/dez 2010.
- CARNEIRO, Sirley Pereira; DAL-FARRA, Rossano André. As situações-problema na aprendizagem dos processos de divisão celular. Acta Scientiae Canoas v. 13 n.1 p.121-139 jan./jun. 2011.
- BRITO, Márcia Regina Ferreira de. O ensino e a formação de conceitos na Sala de aula, in: Mira, Maria Helena Novaes; Brito, Marcia Regina Ferreira de (org): Psicologia na educação: articulação entre pesquisa, formação e prática pedagógica (Coletâneas da Anpepp no. 5, pag. 73-93). Rio de Janeiro: Associação Nacional de Pesquisa e Pós-graduação em Psicologia. 1996.
- FALKEMBACH, G. A. M. O lúdico e os jogos educacionais. Rio Grande do Sul: Centro Interdisciplinar de Novas Tecnologias na Educação - UFRGS, 2013. p. 1-8
- FIALHO, N. N. Os jogos pedagógicos como ferramentas de ensino. In: VIII Congresso Nacional de Educação da PUCPR - EDUCERE e no III Congresso Iber-Americano sobre Violências nas Escolas - CIAVE, 2008, Curitiba. VIII Congresso Nacional de Educação da PUCPR - EDUCERE e no III Congresso Iber-Americano sobre Violências nas Escolas - CIAVE. Curitiba: Champagnat, 2008. p. 12298-12306.
- FRANZOLIN, Fernanda. Conteúdos básicos de genética para o Ensino Médio: comparando as opiniões dos professores da Educação Básica, dos docentes do Ensino Superior e dos documentos curriculares estaduais. IX CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE INVESTIGACIÓN EN DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS. COMUNICACIÓN. Girona, 9-12 de septiembre de 2013.
- GIACÓIA, L. R. D., Conhecimento básico de genética: Concluintes do Ensino Médio e Graduandos de Ciências Biológicas. 2006. 88f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência). Faculdade de Ciências, UNESP, Bauru, 2006.
- GRANDO, Anita; KONRATH, Mary Lúcia Pedroso; TAROUCO, Liane Margarida Rockenbach. Objetos de aprendizagem para M-learning In: Congresso Nacional de Tecnologia da Informação e Comunicação, 2004, Florianópolis.. In: SUCESU Nacional, 2004, Florianópolis, 2004.
- GRIFFITHS, Anthony J. F. Introdução à Genética. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.

JUSTINA, L. A. D.; FERLA, Marcio Ricardo. A utilização de modelos didáticos no ensino de Genética - exemplo de representação de compactação do DNA eucarioto. *Arquivos do Mudi, Maringá - Paraná*, v. 10, n.2, p. 35-40, 2006.

KLAUTAU-GUIMARÃES, M.N.; OLIVEIRA, Silviene F.; AKIMOTO, A. K.; HIRAGI, Cassia de Oliveira; BARBOSA, L.; ROCHA, Dulce Maria Sucena; Antônio Correia . Combinar e recombinar com os dominós. *Genética na Escola*, v. 3, p. 1-7, 2008.

KLAUTAU-GUIMARÃES, N.; AURORA, A.; DULCE, D.; SILVIENE, S.; HELENA, H. y CORREIA, A. Relação entre herança genética, reprodução e meiose: um estudo das concepções de estudantes universitários do Brasil e Portugal. *Enseñanza de las Ciencias, Número Extra VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, Barcelona*, pp. 2267-2270, 2009.

KLUG, Willian S. *Conceitos de Genética*. 9ª. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

LIMA, Alessandra de Castro; PINTON, Márcia R. G. Mayrink; CHAVES, A. C. L. O entendimento e a imagem de tres conceitos: DNA, gene e cromossomo no Ensino Médio. In: VI ENPEC - Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2007, Florianópolis. MORTIMER, E. F. (ORG.). ANAIS DO VI ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS. Belo Horizonte : ABRAPEC, 2007, 2007. p. 1-12.. Belo Horizonte: ABRAPEC, 2007. v. ANAIS. p. 1-12.

LIMA, M. E. C. C.; AGUIAR JÚNIOR, O.; DE CARO, C. M. A formação de conceitos científicos: reflexões a partir da produção de livros didáticos. *Ciência & Educação*, v. 17, n. 4, p. 855-871, 2011.

MACÊDO, Laércio Nobre de; FILHO, José Aires de Castro;MACÊDO, Ana Angélica Mathias ; SIQUEIRA, Daniel Márcio Batista; OLIVEIRA, Eliana Moreira de; SALES, Gilvandenys Leite; FREIRE, Raquel Santiago. Desenvolvendo o pensamento proporcional com o uso de um objeto de aprendizagem in BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação a Distância. *Objetos de aprendizagem: uma proposta de recurso pedagógico/Organização: Carmem Lúcia Prata, Anna Christina Aun de Azevedo Nascimento*. – Brasília : MEC, SEED, 2007. 154 p. págs. 17-26.

MARTINS, C. M. C. ; PAIVA, A. L. B. . Concepções prévias de alunos de terceiro ano do Ensino Médio a respeito de temas na área de Genética. *Ensaio. Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 7, p. 1-20, 2005.

MARTINEZ, E. R. M.; FUJIHARA, R.T.; MARTINS, C. Show da Genética: um jogo interativo para o ensino de Genética. *Genética na Escola*, v. 03, p. 24-27, 2008.

MIRANDA, Simão de. No fascínio do jogo, a alegria de aprender. *Linhas Críticas, Brasília*, v. 8, n. 14, jan/jun. 2002.

MOURA, Joseane; MEIRELES DE DEUS, Maria do Socorro; GONÇALVES, Nilda Masciel Neiva; PERON, Ana. *Biologia/Genética: o ensino de Biologia, com enfoque a*

Genética, das escolas públicas no Brasil - breve relato e reflexão. *Semina. Ciências Biológicas e da Saúde (Impresso)* (Cessou em 2001), v. 34, p. 167-174, 2013.

MORTIMER, E. F. Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos? *Investigações em Ensino de Ciências*, 1(1), 20-39. 1996.

PEDRANCINI, Vanessa Daiana; CORAZZA-NUNES, Maria Júlia; GALUCH, Maria Terezinha Bellanda; MOREIRA, Ana Lúcia Olivo Rosas; RIBEIROS, Alessandra Claudia. Ensino e aprendizagem de Biologia no Ensino Médio e a apropriação do saber científico e biotecnológico. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* Vol. 6, Nº 2, 299-309, 2007.

PEDROSO, C. V. Jogos didáticos no ensino de Biologia: uma proposta metodológica baseada em módulo didático. In: IX Congresso Nacional de Educação e III Encontro Sul Brasileiro de Psicopedagogia, 2009, Curitiba/PR. *Anais do IX Congresso Nacional de Educação e III Encontro Sul Brasileiro de Psicopedagogia*. Curitiba: Champagnat, 2009.

SCHNEIDER, E. M.; MEGLHIORATTI, F. A.; HARMEL, D. O ensino de genética e as concepções sobre gene apresentadas por estudantes do 3º ano do Ensino Médio. In: Os Estágios Supervisionados em Ciências e Biologia em debate II, 2010, Cascavel. *Os Estágios Supervisionados em Ciências e Biologia em debate II*, 2010.

SCHROEDER, Edson; FERRARI, Nadir; MAESTRELLI, Sylvia Regina Pedrosa. A construção dos conceitos científicos em aulas de ciências: contribuições da teoria histórico-cultural do desenvolvimento. VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências: Florianópolis, 2009.

SEPULVEDA C.; MORTIMER, E. F.; El-Hani. C. N. Construção de um perfil conceitual de adaptação: implicações metodológicas para o programa de pesquisa sobre perfis conceituais e o ensino de evolução. *Investigações em Ensino de Ciências – V18(2)*, pp. 439-479, 2013.

SILVA, Maria Emília Lins e; SILVA, Vanessa Valéria Soares da; LIMA, Maria do Carmo Fernanda de. Jogos educativos no âmbito educacional: um estudo sobre o uso dos jogos no projeto mais da rede municipal do Recife. Trabalho de Conclusão de Curso; (Graduação em Pedagogia) - Universidade Federal de Pernambuco: 2009.

STRACHAN, Tom. READ, Andrew. *Genética Molecular Humana*. Artmed, 2016.

TEIXEIRA, Francimar Martins. Fundamentos teóricos que envolvem a concepção de conceitos científicos na construção do conhecimento das ciências naturais. *Ensaio*. vol 8. nº 2. dez. 2006.

TEMP, Daiana Sonogo; NICOLETTI, Elenize Rangel; BARTHOLOMEI-SANTOS, Marlise Ladvocat. Identificando o conhecimento de genética entre calouros universitários. *Revista SBEnBio - Nº. 7 - Outubro*. V Enebio e II Erebio Regional 1. 2014.