



**FUNÇÕES EPISTÊMICAS DE MODELOS NO PROCESSO DE ENSINO
E APRENDIZAGEM EM CITOGENÉTICA: UMA ANÁLISE NO CONTEXTO DA
FORMAÇÃO INICIAL DE PROFESSORES DE BIOLOGIA**

Epistemic functions of models in the teaching and learning process in cytogenetics: an analysis in the context of pre-service biology teachers

Paula Cristina Cardoso Mendonça [paulamendonca@ufop.edu.br]
*Departamento de Química & Programa de Pós-graduação em Educação
Universidade Federal de Ouro Preto
Campus Morro do Cruzeiro, s/n, Bauxita, Ouro Preto, Bauxita, MG, Brasil*

Denise Suzane Oliveira Cláudio [deniseniseoc@yahoo.com.br]
*Programa de Pós-graduação em Educação
Universidade Federal de Ouro Preto
Rua do Seminário, s/n - Mariana, MG, Brasil*

Luiz Gustavo Franco [luizgfs658@gmail.com]
*Departamento de Métodos e Técnicas de Ensino, Faculdade de Educação
Universidade Federal de Minas Gerais
Avenida Presidente Antônio Carlos, 6627 - Pampulha, Belo Horizonte, MG, Brasil*

Resumo

Nesta pesquisa, analisamos como professores de Biologia em formação inicial mobilizam funções epistêmicas de modelos nos processos de ensino e aprendizagem em citogenética. Coletamos dados de interações de um grupo de licenciandos em uma sequência didática sobre divisão celular que envolveu a prática de modelagem. Para análise, transcrevemos situações com maior potencialidade analítica, organizadas em cenas e episódios de ensino. Os resultados indicam que os licenciandos mobilizaram diferentes funções epistêmicas dos modelos em discussão: (i) representar, no sentido de similaridade e no sentido de estar no lugar; (ii) investigar e prever; (iii) comunicar; (iv) dar suporte a argumentos e explicações científicas; (v) simplificar e (vi) disponibilizar uma imagem conceitual. Funções epistêmicas relacionadas à comunicação de ideias e argumentação ampliaram oportunidades para que dúvidas de caráter conceitual e/ou visões distorcidas de alguns conceitos emergissem nas interações. Além disso, o estudo aponta implicações para a formação de professores e o ensino de Biologia, especialmente no que diz respeito ao uso da modelagem não apenas como uma atividade de mera manipulação ou representação, mas como uma oportunidade para refletir sobre modelos como artefatos epistêmicos ao possibilitar a vivência mais autêntica da prática científica em contextos de ensino.

Palavras-Chave: modelos; funções epistêmicas; ensino de Biologia; citogenética.

Abstract

In this research, we analyze how pre-service Biology teachers mobilize epistemic functions of models in the teaching and learning processes in cytogenetics. We collected data from an interaction in a group of pre-service Biology teachers in a teaching sequence on cell division that involved the practice of modeling. For analysis, we transcribed situations with greater analytical potential, organized in scenes and teaching episodes. The results indicate that pre-service Biology teachers mobilized different epistemic functions of the models under discussion: (i) representation as showing and representation as standing for; (ii) investigate and predictive; (iii) communicate; (iv) to support scientific arguments and explanations; (v) to simplify and (vi)

to provide a conceptual image. Epistemic functions related to the communication of ideas and argumentation expanded opportunities for conceptual doubts and/or alternative views of some concepts to emerge in the interactions. In addition, the study points out implications for science education and the teaching of Biology, especially with regard to the use of modeling not only as an activity of mere manipulation or representation as showing, but as an opportunity to reflect on models as epistemic artifacts by enabling a more authentic experience of scientific practice in teaching contexts.

Keywords: models; epistemic functions; Biology teaching; cytogenetics.

INTRODUÇÃO

No ensino de Biologia, modelos têm sido utilizados como alternativa metodológica para o ensino de temas como citologia e genética, uma vez que envolvem entidades abstratas, estruturas e processos de difícil visualização (Oliveira & Galembeck, 2016; Puig, Ageitos, & Jiménez-Aleixandre, 2017). Na presente pesquisa, buscamos compreender de que modo modelos desempenham funções epistêmicas para o ensino e aprendizagem em citogenética¹. Esta proposta parte de um contexto mais amplo: a ênfase em metodologias tradicionais no ensino de conteúdos relativos à citogenética (e.g. cromossomos, mitose, meiose) e as dificuldades dos professores em inovar no ensino desses conteúdos (Barden-Gabbei, 2006; Fernández & Tejada, 2019). Em geral, os recursos instrucionais mais comuns registrados na literatura são livros didáticos, aulas expositivas, além de uma orientação voltada para a memorização de diversos nomes de estruturas e processos (Gonzalez-Weil & Harms, 2012; Oliveira & Galembeck, 2016).

Os estudos sobre o tema se inserem na pesquisa sobre o ensino de biologia celular, que tem avançado a partir de algumas tendências predominantes: a análise de conhecimentos dos estudantes (por exemplo, Duda & Adpriad, 2020; Fuchs, Bonney, & Arsenaut, 2021; Suwono, Saefi, & Susilo, 2019) as dificuldades enfrentadas pelos estudantes na aprendizagem dos conteúdos (Fernández & Tejada, 2019; Gonzalez-Weil & Harms, 2012; Vlaardingerbroek, Taylor, & Bale, 2013) e as alternativas metodológicas para o ensino (Felipe, Gallarreta, & Graciela, 2005; Oliveira & Galembeck, 2016; Puig et al., 2017).

Parte desses estudos se refere a conhecimentos genéticos em citologia, objeto de interesse do presente artigo. Tais pesquisas apontam algumas concepções recorrentes entre os estudantes, como: (i) a ideia que nem todos os organismos vivos têm genes e cromossomos; (ii) de que a informação hereditária é encontrada apenas em células sexuais; (iii) que os cromossomos sexuais são encontrados apenas nos gametas; (iv) que mitose e meiose ocorrem em todos os tipos celulares; (v) a não distinção de células somáticas e gaméticas; (vi) a falta de vínculo entre a mitose e o processo de crescimento e (viii) a falta de vínculo entre a meiose e o processo de herança biológica (Armenta, 2008; Ayuso & Hernández, 2002; Infante-Malachias, Padilha, Weller, & Santos, 2010; Ruiz-Gonzalez, Banet, & López-Banet, 2017).

Com relação às dificuldades dos estudantes, por sua vez, as pesquisas apontam os problemas mais comuns como: i) dimensionar o tamanho das estruturas celulares e escalas (Vlaardingerbroek et al., 2013); ii) compreender a estrutura interna das células (Gonzalez-Weil & Harms, 2012); iii) reconhecer as células como parte integrada de um ser vivo (Vijapurkar, Kawalkar, & Nambiar, 2014); iv) visualizar as células e seus componentes ao microscópio (Fernández & Tejada, 2019).

Para superar tais dificuldades, as pesquisas investem nas análises sobre como ensinar esses conteúdos em sala de aula. Há um consenso na busca por estratégias que possibilitem um papel mais ativo dos estudantes na construção do conhecimento e o uso de recursos para lidar com os aspectos microscópicos da citologia (Fernández & Tejada, 2019). Nesse sentido, uma estratégia que vem sendo explorada pela pesquisa é a utilização de modelos e modelagem (Oliveira & Galembeck, 2016; Phelan & Szabo, 2019; Puig et al., 2017; Reinke, Kynn, & Parkinson, 2021). Algumas dessas pesquisas exploram, especificamente, o uso de modelos visando a construção de conhecimentos em citogenética.

Clark e Mathis (2000), por exemplo, analisam o uso de kits de modelagem para ensino dos processos de mitose e meiose. O estudo analisa um conjunto de atividades cujo objetivo era a elaboração de modelos para o processo de meiose e sua utilização na explicação de dois problemas envolvendo erros na divisão celular. As atividades foram desenvolvidas com estudantes do curso introdutório de biologia em nível superior, que deveriam consultar modelos bidimensionais da meiose, para elaborar modelos concretos. As análises foram construídas a partir do modo como professor verificava possíveis erros conceituais nos modelos e discutia com os estudantes ao longo do processo de elaboração, além de

¹ A citogenética é um campo que estuda as estruturas e funções da célula relacionadas à genética (e.g. estrutura cromossômica, processo de mitose e meiose) (Alberts, Bray, & Johnson, 2011).

entrevistas realizadas após as atividades. Os resultados indicaram uma boa aceitação do material entre professores e estudantes, além de uma maior possibilidade em tornar mais visível e compreensível o processo de meiose entre os participantes.

Barden-Gabbei (2006), por sua vez, analisa as ações do professor no uso de modelos. Tais ações ocorrem no contexto de atividades sobre mitose, meiose e funções enzimáticas, desenvolvidas com estudantes de cursos introdutórios de biologia. As análises apontam que o modo como o professor usou projeções de modelos bidimensionais e a manipulação de modelos concretos para demonstrar conceitos e processos favoreceu a aprendizagem dos estudantes em contraste com aquela em que eles apenas visualizam as imagens nos materiais instrucionais. Em direção similar ao que apontavam Clark e Mathis (2000), a pesquisadora justifica que a abordagem utilizada pelo professor favoreceu a compreensão de processos subcelulares que não são visíveis a olho nu.

Outras pesquisas buscam explorar conhecimentos genéticos em nível molecular. Suas análises estão relacionadas ao envolvimento e aprendizagem dos estudantes em atividades que demandam a manipulação e/ou construção de modelos para as moléculas de DNA, RNA, proteínas e para gene (Lucas, 2021; Roth, Franz-Josef, Mierdel, & Bogner, 2020).

Essas pesquisas utilizam uma concepção de *modelos como representação*. Isto é, os modelos são elaborados e/ou usados para representar entidades abstratas e de difícil visualização (Justi, 2006). Essa concepção é dominante não apenas nas pesquisas sobre citogenética, mas também naquelas sobre o ensino de citologia de modo geral (ver, Barden-Gabbei, 2006; Garimella & Robertson, 2015; Gonzalez-Weil & Harms, 2012; Oliveira & Galembeck, 2016; Vijapurkar et al., 2014; Vlaardingerbroek et al., 2013).

Em pesquisas como de Clark e Mathis (2000) e Barden-Gabbei (2006), o termo modelagem foi utilizado para fazer menção à construção de modelos concretos. As abordagens identificadas nesses trabalhos consistem na elaboração de modelos concretos tridimensionais pelos estudantes após a visualização de modelos bidimensionais em livros didáticos ou daqueles concretos já elaborados previamente pelo professor.

Nas atividades analisadas por Clark e Mathis (2000), as demandas instrucionais evidenciam a concepção de modelo como representação. As atividades podem ser compreendidas como uma prática verificacional, uma vez que os estudantes apenas comprovam a validade de um modelo ou teoria já aprendido(a). Quando os códigos representativos e os domínios a serem representados já estão estabelecidos, limita-se a autenticidade da elaboração de modelos, porque o processo de decidir qual a melhor forma de expressar suas ideias é prejudicado. Além disso, os estudantes podem concluir que existe uma única maneira de expressar o modelo (Justi, 2006).

No caso de Barden-Gabbei (2006), os modelos concretos e as projeções atuaram como modelos de ensino, isto é, artefatos utilizados pelos professores com intuito de favorecer a explicação e/ou visualização do alvo a ser ensinado. De acordo com Justi & Gilbert (2002), os modelos de ensino são utilizados pelo professor para representar um modelo-domínio, que pode ser um modelo científico ou um modelo curricular, sendo esse último uma versão simplificada do primeiro desenvolvido para fins de ensino, variando conforme o nível instrucional dos estudantes. Contudo, as análises não evidenciam uma participação ativa dos estudantes na proposta, uma vez que atuaram como consumidores das relações entre domínio e código representativo estabelecidos pelo professor. Nesse tipo de abordagem, diferente da anterior (Clark & Mathis, 2000), os modelos são manipulados em sala de aula apenas pelo professor com o intuito de ajudar na compreensão conceitual dos estudantes.

Outro aspecto desses estudos é o enfoque sobre os conteúdos conceituais. As pesquisas sobre os conhecimentos dos estudantes, as suas dificuldades e o uso de modelos, de modo geral, discutem a aprendizagem conceitual em citogenética. Propostas capazes de extrapolar os limites do domínio conceitual nesse contexto e envolver outros aspectos centrais para a educação científica ainda são escassas. Tendo em vista as demandas atuais da formação de estudantes em ciências e o predomínio de metodologias tradicionais no ensino de citogenética, é urgente buscarmos alternativas capazes de gerar um equilíbrio entre o domínio conceitual e os domínios epistêmico e social do conhecimento científico em sala de aula (Duschl, 2008; Franco & Munford, 2020; Kelly & Licon, 2018). Ensinar ciências significa também gerar formas de introduzir os estudantes em práticas de construção do conhecimento científico para além de uma mera transmissão e memorização de conceitos. Dessa forma, considerando as concepções de modelo nessas pesquisas e o domínio conceitual do conhecimento como orientação predominante, julgamos relevante um aprofundamento nas discussões sobre o papel da modelagem de ensino de citogenética.

Na presente pesquisa, buscamos analisar os modelos a partir de outro olhar, entendendo-os a partir de suas funções epistêmicas para os processos de ensino e aprendizagem (Gilbert & Justi, 2016). Esta concepção, apesar de ainda pouco presente no ensino de citogenética, pode trazer uma série de benefícios ao campo, tendo em vista a relevância da formação epistêmica dos estudantes na educação científica no século XXI (Kelly & Licona, 2018). Tomando como referencial o conceito de modelo elaborado por Gilbert e Justi (2016), que vai além da sua função de representação, podemos compreender modelos como artefatos humanos que, de alguma forma materializados, auxiliam no desenvolvimento de várias práticas científicas e a construção de conhecimentos científicos. Há poucos estudos, no contexto das pesquisas sobre citogenética, alinhados a concepções de modelo como esta. As pesquisas de (Felipe e colaboradores, 2005) e (Puig, Ageitos e Jiménez-Aleixandre, 2017) oferecem apontamentos relevantes nesse sentido.

Felipe e colaboradores (2005) desenvolveram análises sobre a criação modelos concretos para o processo de segmentação embrionário inicial dos animais com futuros professores de biologia. O estudo concebeu a modelagem a partir de uma série de atividades nas quais os estudantes (i) usaram diferentes formas de representação dos conceitos desenvolvidos para formular descrições e explicações; (ii) elaboraram suas representações próprias; (iii) analisaram criticamente os modelos utilizados e julgaram suas abrangências e limitações. Ao fazer estas análises, os estudantes tiveram que aplicar os modelos em contextos diferentes, incluindo conteúdos da citogenética, para explicar os processos de meiose e mitose. Os professores criaram, testaram e avaliaram modelos comunicando suas ideias no plano social da sala de aula. Com isso, adquiriram experiência trabalhando com modelos, usando-os como ferramentas para resolver problemas, e puderam também refletir sobre essas experiências ao discutir as funções dos modelos em pesquisas científicas.

Em uma direção similar, Puig, Ageitos e Jiménez-Aleixandre (2017) analisaram modelos para expressão gênica. Neste caso, a modelagem demandava articulações entre conhecimentos em nível molecular (DNA, RNA, gene) e conteúdos em nível celular (e.g. forma dos cromossomos, subunidades de ribossomos, núcleo). Estudantes do 9º ano do Ensino Fundamental trabalharam em grupos para propor, explicar, discutir e decidir qual seria o melhor modelo para o fenômeno da expressão gênica. As análises indicaram que os estudantes apresentaram maior engajamento em determinadas práticas relacionadas à modelagem (e.g. propor um modelo) e dificuldades com relação a outras (e.g. expressar critérios para avaliar o modelo, comunicar características do modelo). Além disso, as autoras também identificaram relações entre a modelagem e a argumentação nas tentativas dos estudantes em desenvolver modelos mais sofisticados.

Nessas pesquisas, há uma compressão de modelo e modelagem que se aproxima daquela que nos propomos a explorar. Nos alinhamos a esses estudos buscando contribuir com a área de Educação em Ciências, tendo em vista a relevância da modelagem como estratégia didática para o ensino de ciências e a necessidade do avanço nas concepções de modelo no ensino de citogenética. O uso das concepções propostas por Gilbert e Justi (2016) são importantes nesse diálogo, pois atribuem um papel ativo e reflexivo do estudante na construção de modelos, com oportunidades para explicitar suas ideias, elaborar hipóteses, testando-as conforme os dados e comunicando-as aos pares. Partindo dessas demandas e propostas, o artigo buscou responder à seguinte questão de pesquisa: *de que modo professores de biologia em formação inicial mobilizam funções epistêmicas de modelos nos processos de ensino e aprendizagem em citogenética?*

Para construir respostas a esta questão, analisamos interações de um grupo de professores em formação inicial. Essa escolha foi realizada a partir de demandas do próprio campo, tendo em vista a relevância das discussões sobre alternativas metodológicas para o ensino de citologia na formação inicial (Fernández & Tejada, 2019) e a escassez de pesquisas nesse contexto. A maior parte das pesquisas sobre o tema é realizada no contexto da educação básica, e aquelas desenvolvidas no contexto do ensino superior está voltada para profissionais das áreas de saúde e de ciências biológicas (Phelan & Szabo, 2019; Reinke, Kynn & Parkinson, 2021; Vlaardingerbroek, Taylor & Bale, 2013) e não para a formação de professores de biologia (Felipe e colaboradores, 2005).

Consideramos que a vivência reflexiva de práticas de ensino desvinculadas da pedagogia tradicional na formação inicial pode contribuir no desenvolvimento dos conhecimentos docentes para o ensino (Diniz-Pereira, 2011), especialmente em conteúdos classicamente marcados pelas práticas desta pedagogia. Por isso, analisamos interações entre licenciandos em ciências biológicas no contexto de uma sequência didática que visava possibilitar reflexões sobre como ensinar ciências valorizando dimensões epistêmicas do conhecimento científico.

REFERENCIAL TEÓRICO

Modelos no Ensino de Ciências

Neste artigo construímos nossas visões sobre modelos a partir das propostas de Justi e Gilbert (2002) e Gilbert e Justi (2016). Inicialmente, esses autores fundamentaram sua proposta de modelagem na ideia de modelos como representações parciais da realidade (ideias, processos, objetos, eventos) construídos para finalidades específicas (Justi & Gilbert, 2002). Contudo, críticas à ideia de modelo como representação foram fundamentais para uma atualização de suas propostas (Gilbert & Justi, 2016). Uma primeira crítica se refere ao entendimento de que modelos são representações da realidade, o que implica pensar que temos conhecimento da realidade de forma a nos tornar capaz de representá-la. Isto reduziria o papel investigativo dos modelos na ciência, assumindo-os apenas como ferramentas de comunicação. Pelo contrário, eles são amplamente usados como ferramentas envolvidas na elaboração de novo conhecimento. Em algumas áreas, como a inteligência artificial, não há acesso aquilo que está sendo representado, pois novas realidades são criadas por meio de simulações. Uma segunda crítica se refere à noção de que modelos são agentes independentes das teorias e dos dados, ao contrário da perspectiva que os coloca como subordinados. Isto se justifica pelo caráter independente que assumem em processos de investigação na ciência na produção do conhecimento.

Considerando tais críticas, os autores passaram a adotar uma visão de modelos como artefatos do pensamento ou mediadores do conhecimento (Gilbert & Justi, 2016). Nesse sentido, eles definem modelos como artefatos humanos que, de alguma forma materializados, auxiliam no desenvolvimento de várias práticas científicas e a construção de conhecimentos científicos. Para os autores, esta definição se torna mais coerente com os objetivos da modelagem científica, uma vez que aprendemos e geramos conhecimento com os modelos quando imaginamos e simulamos, elaboramos idealizações e previsões, apresentamos argumentos e chegamos às explicações (Gilbert & Justi, 2016). Considerando essa definição, compreendemos modelos como artefatos que apoiam o pensamento e que assumem funções epistêmicas nas investigações científicas. Tais funções evidenciam a complexidade do uso de modelos na ciência e indicam possibilidades para o trabalho com modelagem em sala de aula. A proposta de pensar em modelos a partir de suas funções epistêmicas parte do princípio que um modelo não se representa por si só, mas requer um uso social feito por alguém conforme suas intenções e propósitos no processo de construção do conhecimento. Gilbert e Justi (2016) apresentam as funções epistêmicas desempenhadas por modelos, definidas como:

- (i) **representação parcial**, função a partir da qual os modelos são compreendidos como representações de objetos, eventos, ideias e processos que apresentam alguma relação estrutural com o que está sendo representado. Entretanto, deve existir uma clareza sobre o entendimento de representação, pois se representação está sendo compreendida como similaridade, os modelos podem ser entendidos como cópias da realidade ou imagens com diferentes níveis de semelhança com o que está sendo representado. Se representação está sendo compreendida como “estar no lugar” significa que algo está substituindo o que está sendo representado, com o intuito de possibilitar o raciocínio e auxiliar na elaboração de explicações. Considerando a visão semântica de modelo, o compreendemos como representação que “está no lugar” da entidade, sistema ou processo modelado(a).
- (ii) a **função investigativa** do modelo permite que o conhecimento seja construído, desse modo, ele é utilizado para investigar aspectos da entidade ou processo modelado(a) que não são bem conhecidos. A função investigativa amplia o entendimento de modelo como representação da realidade, uma vez que para representar a realidade deve se ter o conhecimento da entidade a ser modelada e da sua forma de representação, desse modo, não há investigação quando se conhece todos os aspectos da entidade a ser modelada, assim o conhecimento está apenas sendo representado e não construído conforme a investigação sugere.
- (iii) a **função preditiva** dos modelos está relacionada com a investigativa, uma vez que os modelos são usados em simulações de comportamento sobre a entidade a ser modelada sem ter clareza de suas características reais.
- (iv) na **função comunicativa** os modelos são usados para comunicar uma ideia, que pode ser: um argumento ou uma explicação científica, no sentido de esclarecer e informar a comunidade sobre o conhecimento científico em questão.

- (v) para dar suporte aos argumentos e explicações científicas os modelos são usados com o **papel de justificar** o conhecimento e na tomada de decisão sobre a plausibilidade de uma conclusão.
- (vi) na **função de simplificar e idealizar** os modelos são usados para favorecer a resolução de questões problemas e facilitar o entendimento da realidade quando esta é complexa, dando enfoque a aspectos relevantes.
- (vii) para **disponibilizar uma imagem conceitual** os modelos possibilitam visualizar com os olhos da mente objetos e processos não observáveis diretamente.

Buscando compreender os modelos no ensino de ciências, a partir de distintas funções epistêmicas, é necessário aproximar o ensino a uma perspectiva epistemológica que priorize a justificação social do conhecimento. Em aulas de ciências, o objetivo não é a produção de novos conhecimentos, mas de compreender um *corpus* de conhecimento científico consensualmente acordado e estabelecido na comunidade científica (Kelly & Licona, 2018; Sasseron, 2021). Todavia, esse processo não deve ser sinônimo de mera transmissão de conteúdos, mas um processo contínuo de apropriação de modos de fazer e falar ciências. Nessa concepção, estudantes são familiarizados com as práticas de construção do conhecimento científico de forma a desenvolver suas próprias formas de expressão que caracterizam o seu discurso ao propor, justificar, avaliar e legitimar o conhecimento em aulas de ciências (Kelly, 2008).

Modelagem científica no Ensino de Ciências

A modelagem no ensino de ciências tem potencial para contribuir com uma visão mais ampla de Ciência, porque os estudantes têm oportunidades de explorar os objetivos, os alcances e as limitações de modelos científicos consensuais e históricos. Desse modo, podem se apropriar da modelagem como prática científica, as funções epistêmicas de modelos, enquanto **criam, expressam, testam e avaliam** seus próprios modelos (Justi & Gilbert, 2002; Justi, 2006):

- (i) a **criação** de um modelo envolve a elaboração de uma primeira proposta a partir da definição e/ou compreensão dos objetivos que ele deve atingir. Para a criação do modelo é necessário que o estudante tenha alguma experiência com o alvo a ser modelado. Essas experiências podem ser informações previamente existentes, como os conhecimentos prévios dos estudantes, ou adquiridas no momento da elaboração do modelo, por exemplo, por meio de um experimento ou dados fornecidos pelo professor.
- (ii) a **expressão** consiste na escolha dos modos de representação do modelo (e.g. concreto, visual, verbal, matemático, computacional). A seleção da representação depende da proposta e da natureza dos elementos a serem modelados, podendo ser estática, dinâmica, concreta ou abstrata. Outro aspecto importante é estabelecer os códigos de representação, ou seja, dar significado ao material. Os estudantes devem estar atentos às limitações desses diferentes modos de representação, bem como ao acesso a recursos disponíveis para a utilização de cada um deles. A partir dessas limitações e recursos, nem sempre o modelo originalmente criado será expresso da mesma forma.
- (iii) a etapa de **teste** ocorre quando os modelos são testados frente aos objetivos propostos, ou seja, o modelo deve dar conta de sustentar as explicações solicitadas. Os testes podem ser mentais, quando o sujeito simula as situações, e/ou empírico, por meio de coleta de dados relacionada à entidade modelada. Nesta etapa, os estudantes devem buscar convencer os colegas que seu modelo é o mais adequado.
- (iv) na **avaliação**, por sua vez, o modelo é analisado frente ao seu poder explicativo, sua abrangência e limitações. Essa avaliação ocorre na tentativa de usar o modelo em outras situações, diferentes do objetivo inicial. Nesta etapa, os estudantes também buscam convencer os colegas de que seu modelo é o mais abrangente.

Essa concepção de modelagem se constitui como uma prática articulada a outras práticas científicas, como a argumentação e elaboração de explicações científicas (Mendonça & Justi, 2013). Essas articulações favorecem a construção de noções mais complexas acerca de modelos e modelagem no ensino de ciências.

A argumentação é uma atividade comunicativa central na ciência, pois existe a necessidade de justificar e adequar os modelos e teorias com base em evidências, e os cientistas devem estar abertos a críticas para serem avaliados e legitimados em suas comunidades epistêmicas (Blanco-Anaya, Bustamante, & Mendonça, 2019; Mendonça & Justi, 2013). A argumentação, articulada à construção de modelos em sala de aula, favorece a compreensão do *status* científico de modelos na ciência, e caminha em direção contrária ao ensino no qual os modelos científicos são apresentados como verdades absolutas, sem considerar sua historicidade, seus contextos de elaboração e sua base epistêmica. A elaboração de explicações científicas, por sua vez, está articulada à argumentação, uma vez que os argumentos são necessários para justificar e persuadir a comunidade em questão sobre a melhor explicação (Osborne & Patterson, 2011). Desse modo, há uma relação intrínseca entre modelagem, enquanto processo de elaboração e crítica de modelos, argumentação e elaboração de explicações científicas. Na modelagem, os modelos elaborados guiam e suportam as justificativas do argumento, e o último auxilia na avaliação da adequação dos modelos convergindo para a produção de uma explicação consensual, elaborada a partir de um modelo e avaliada com base nas evidências (Blanco-Anaya et al., 2019; Mendonça & Justi, 2013). A partir de tais propostas, a modelagem é entendida como uma prática científica autêntica em sala de aula, e não apenas uma atividade manual de produção de representações (Osborne, 2014).

METODOLOGIA

Coleta e construção dos dados

Apresentamos neste artigo a análise de uma atividade sobre cromatina e cromossomo que compunha uma sequência didática sobre mitose. O desenvolvimento da sequência ocorreu na disciplina Estágio Supervisionado no Ensino de Ciências Biológicas I (7º período da graduação do curso de Ciências Biológicas Licenciatura da Universidade Federal de Ouro Preto), com um total de 18 licenciandos matriculados. Nesta disciplina, são discutidas metodologias de ensino de ciências, os professores em formação inicial planejam atividades e vivenciam experiências didáticas que visam articular teoria e prática em sala de aula. Julgamos que seria de grande relevância desenvolver a sequência didática nessa disciplina, pois nos pareceu uma proposta interessante trabalhar a vivência das práticas científicas proporcionando aos estudantes de licenciatura o desenvolvimento das práticas epistêmicas, contribuindo assim para uma aprendizagem mais autêntica sobre Ciência.

A proposta da sequência didática (Cláudio & Mendonça, 2021) buscava ampliar as possibilidades de trabalho dos professores em formação inicial com os conteúdos de citogenética a partir de um conjunto de seis atividades (Tabela 1) orientadas pelas etapas da modelagem conforme Justi & Gilbert (2002) e Justi (2006) e pelos objetivos de aprendizagem propostos por Duschl (2008):

- (i) conceitual: visando explorar os processos que envolvem a divisão celular, abordando desde os conceitos iniciais sobre o DNA até condições genéticas causadas por erro na divisão celular, como a síndrome de Down;
- (ii) epistêmico: visando levar os estudantes a questionarem porque sabemos o que sabemos de modo a refletirem sobre o conhecimento em construção;
- (iii) social: visando inserir os estudantes em um conjunto de normas sociais relacionadas à representação e comunicação do conhecimento em construção.

Tabela 1: Síntese da sequência didática desenvolvida com o grupo investigado (para mais detalhes, consultar Cláudio & Mendonça, 2021)

Atividade	Objetivo	Breve descrição
1	Ter experiências com o alvo: Prática laboratorial de extração de DNA	Os estudantes realizaram uma extração de DNA vegetal, discutiram os significados dos procedimentos necessário à realização daquela prática e iniciaram uma discussão sobre a estrutura do DNA.
2	Papel das evidências e da argumentação na construção de modelos	Os estudantes realizaram discussões a partir das ideias de textos sobre como a ciência construiu um modelo para a molécula de DNA. A proposta era compreender o papel da argumentação com base em evidências na construção de modelos científicos.
3	Construção e uso de modelos: cromatina e cromossomos	Os estudantes construíram modelos para a cromatina, cromossomos simples, homólogos e duplicados. A partir da proposta, os estudantes tiveram que comunicar e discutir seus modelos junto aos colegas.

Atividade	Objetivo	Breve descrição
4	Construção e uso de modelos: ciclo celular	Os estudantes elaboraram um modelo para o ciclo celular, discutindo as fases G0, G1, G2 e síntese, para que na atividade seguinte fosse discutido de forma mais aprofundada o processo da mitose.
5	Construção e teste do modelo da mitose	Os estudantes elaboraram modelos da mitose com base na evidência científica de micrografia óptica de fluorescência do processo. Houve discussões sobre as possibilidades e limites do uso desta evidência.
6	Avaliação do modelo da mitose	Os estudantes utilizaram o modelo elaborado para avaliar afirmativas sobre o conteúdo de mitose. Em seguida, o grupo buscou utilizar o modelo para explicar fenômenos que ocorrem no corpo humano, como o mosaïcismo celular e a síndrome de Down.

A pesquisadora (2ª autora deste artigo) foi responsável pela condução da sequência didática, em acordo com o professor da disciplina. Desse modo, essa intervenção aproxima-se da pesquisa participante, em que o pesquisador possui uma interação com os envolvidos nas situações investigadas (Cohen, Manion, & Morrison, 2011).

A pesquisa foi orientada por uma abordagem qualitativa da pesquisa educacional, uma vez que não demos enfoque ao produto da aprendizagem, mas ao seu processo (Cohen et al., 2011). As aulas nas quais a sequência didática foi desenvolvida foram registradas em vídeo e áudio, pois desta forma tornou-se possível o acesso posterior às discussões em sala de aula, possibilitando análise das falas e reações dos licenciandos e da pesquisadora.

Processos de análise

Desenvolvemos os processos de análise em diferentes níveis de trabalho com os dados. Em um primeiro momento, os vídeos das aulas foram assistidos para um mapeamento de práticas que nos interessavam: analisar e interpretar dados, construir evidências, elaborar explicações científicas. A partir dessa identificação, em um segundo momento, foi realizada a transcrição das aulas. A transcrição não foi feita na íntegra, mas apenas daquelas interações com maior potencial analítico. A partir da transcrição, construímos episódios de ensino para desenvolver análises das interações.

A partir da definição de Carvalho (2006), episódios de ensino são “momentos extraídos de uma aula, onde fica evidente uma situação que queremos investigar” (p. 33). Para seleção dos episódios, identificamos trechos de aulas nos quais foi possível identificar discussões que nos auxiliaram na construção de respostas ao nosso problema de pesquisa. Ainda de acordo com Carvalho, um mesmo episódio pode não ser contínuo, sendo organizado em cenas pelo pesquisador. Desse modo, as interações que se referem à situação em análise podem não ocorrer no mesmo espaço de tempo, havendo interrupções entre diferentes momentos de uma mesma aula ou em aulas diferentes. Assim, cabe ao pesquisador a tarefa de articular as cenas que constituem um episódio, construindo sentido aos dados (Carvalho, 2006). A partir dessas propostas, selecionamos cenas nas quais a mobilização de funções epistêmicas dos modelos estava mais visível no discurso dos participantes. Transcrevemos essas cenas, que constituíram dois episódios selecionados para análise neste artigo. Esses episódios ocorreram no interior das interações da aula 3 da sequência didática apresentada na tabela 1.

As análises dos episódios foram desenvolvidas a partir de quadros de interações nos quais as falas dos participantes foram identificadas por turnos conforme a transcrição realizada². Esses quadros foram produzidos com três colunas: a primeira com a numeração de turnos de fala, a segunda com a transcrição das falas e a terceira com as imagens dos modelos e/ou gestos relacionados aos modelos e utilizados pelos participantes. Usamos nomes fictícios para identificar os participantes da pesquisa³. Para análise das interações, partimos das discussões sobre funções epistêmicas desempenhadas por modelos de Gilbert e Justi (2016), e elaboramos as seguintes categorias de análise:

² Além do conteúdo das falas, também identificamos pausas, representadas por (...); e os nossos comentários ou explicações sobre as falas, sinalizados por dois parênteses (()) (Carvalho, 2006).

³ Adotamos princípios éticos da pesquisa em educação, buscando preservar a identidade dos participantes, prezando pelo bem estar, privacidade e segurança dos mesmos. Para participar da pesquisa, os licenciandos assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), no qual foram informados sobre os objetivos do estudo, seus riscos e benefícios. A pesquisa foi aprovada pelo comitê de ética em pesquisa da instituição responsável.

1. Representar: Quando os licenciandos forneceram duas interpretações em relação a representação: (i) como uma cópia da realidade e (ii) estar no lugar.
2. Investigar e prever: Quando (i) os licenciandos utilizaram modelos para compreender algum aspecto da entidade a ser modelada que não estava esclarecido e (ii) nos momentos em que a função investigativa estava atrelada à preditiva, uma vez que os estudantes realizaram previsões sobre as conformações dos cromossomos e as consequências dessas conformações no processo de divisão celular.
3. Comunicar: Quando os licenciandos utilizaram o modelo para comunicar uma ideia, argumentar e apresentar explicações.
4. Dar suporte aos argumentos e explicações científicas: Quando o modelo foi utilizado pelos licenciandos para (i) justificar na formulação de um argumento, (ii) ao propor uma explicação científica ou para (iii) avaliar as explicações apresentadas, por exemplo, caso o sujeito discorde delas, usa o modelo para justificar essa discordância.
5. Simplificar e idealizar: Quando os modelos foram utilizados pelos licenciandos para simplificar um processo complexo e/ou abstrato para resolver questões problemas e dar foco a aspectos considerados mais relevantes na proposição.
6. Disponibilizar uma ideia conceitual: Quando o modelo foi usado pelos licenciandos para conceituar processos que não são facilmente observáveis, mas que existem inferências sobre eles.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Episódio 1: Cromossomos homólogos?

O primeiro episódio em análise refere-se ao momento da aula 3 em que ocorreu a elaboração e comunicação dos modelos da estrutura da cromatina, cromossomos simples, duplicados e homólogos⁴ entre os participantes. Diante da demanda de comunicação dos modelos, a licencianda Bruna apresentou o modelo proposto por seu grupo (quadro 1), sem, no entanto, elaborar explicações sobre a proposta. Ela entendia que o modelo falava por si só, aproximando-se do sentido de **representação como estar no lugar**. O grupo de Bruna mobilizou a função epistêmica de **simplificar**, pois escolheu representar somente algumas estruturas da cromatina, além da função **disponibilizar uma imagem conceitual**, uma vez que o grupo fez inferências sobre como é a cromatina e transpuseram para o modelo.

Quadro 1: Episódio 1 – Cena 1

1. Bruna: Essa aqui é a nossa cromatina ((Mostra o modelo para todos)).



Figura 1: Modelo para a cromatina

Fonte: elaboração própria

⁴ Quando a célula está desempenhando sua função no organismo o DNA fica em sua forma menos condensada, configurando-se a cromática, que é um complexo de DNA e proteínas. Essas proteínas incluem histonas que são de cargas positivas, facilitando o DNA, que é negativo, a se enrolar. Cada complexo de DNA mais histonas é chamado de nucleossomo e o conjunto de nucleossomos é a cromatina. Quando a célula está na fase mitótica do ciclo celular, o DNA encontra-se com alto grau de condensação, nessa conformação caracteriza-se cromossomo. Os cromossomos são simples quando há somente uma molécula de DNA. Para ocorrer a divisão celular cada molécula de DNA é duplicada, caracterizando-se como cromossomo duplicado. Os cromossomos homólogos referem-se aos pares de cromossomos com informações respectivamente do pai e da mãe.

Afim de explorar melhor o modelo, a pesquisadora passou a questionar os grupos sobre a escolha do material. Daiana respondeu:

Quadro 2: Episódio 1 – Cena 2

2. Daiana: é porque a gente é... ((gesticula mostrando que o material já é enrolado)) é porque é como se ele estivesse condensadinho...



Figura 2: Gestos para explicar a cromatina

Fonte: elaboração própria

Na cena 2, a licencianda Daiana mobilizou a função epistêmica de **representação como estar no lugar**, ao dizer “é como se estivesse”. Ela indicava que utilizou o modelo para representar a entidade modelada. Sua fala também mobilizou o modelo para **dar suporte a argumentos e explicações científicas**, pois estabeleceu uma relação entre a espiral enrolada com o fato de o DNA ser condensado. Essa função epistêmica do modelo é mobilizada a partir do questionamento da pesquisadora, de modo a favorecer uma reflexão sobre os conhecimentos no desenvolvimento da prática científica. Para auxiliar a sua explicação, Daiana também fez uso do modo gestual (além do concreto), permitindo interpretar que ela estava comunicando uma ideia associada à representação, mobilizando a função **comunicativa** do modelo. Suas mãos representaram o cromossomo e ela conseguiu expressar a ideia que associava o cromossomo condensado ao formato enrolado em espiral. A partir do modo gestual aliado ao concreto é possível perceber uma interpretação equivocada de Daiana, pois ela dá a entender que, sob a forma de cromatina, o DNA está mais condensado, sendo que isso ocorre sob a forma de cromossomo. Em seguida, Bruna continuou apresentando os modelos:

Quadro 3: Episódio 1 – Cena 3

3. Bruna: aqui os cromossomos homólogos ((mostra o modelo para todos))... aqui a gente só...



Figura 3: modelo de um cromossomo duplicado

4. Pesquisadora: esse é o cromossomo homólogo?

5. Bruna: não... esse é o cromossomo homólogo... ((a estudante pega outro modelo de cromossomo)) cromossomo homólogo seriam esses ((ela mostra os dois modelos de cromossomos homólogos corretamente e o colega de grupo, Eduardo, acena positivamente com a cabeça))



Figura 4: modelo do par de cromossomos homólogos

Fonte: elaboração própria

Bruna, no turno 3, apresentou os modelos concretos e mostrou um cromossomo duplicado como sendo homólogo. Os modelos foram usados para **simplificar**, pois elas escolheram algumas estruturas para representar, como os alelos e o centrômero, conforme evidenciado pelas figuras. No turno 4, a pesquisadora questionou Bruna se aquele modelo (figura 3) era realmente de cromossomos homólogos. A licencianda agiu como se fosse apenas uma confusão ao manipular os modelos, pois como podemos observar na figura 4, ela mostrou os dois pares de cromossomos homólogos corretamente. Nesse momento, o licenciando Eduardo concordou com o modelo apresentado. Na cena 5, a seguir, Bruna continuou apresentando os modelos:

Quadro 5: Episódio 1 – Cena 5

6. Bruna: aqui a gente só delimitou aqui pra... como se fossem as cromátides irmãs no caso né? ((Olha para sua dupla, Cristina, que acena com a cabeça afirmando))... e aqui seriam os dois... o masculino e o feminino... no caso seria uma mulher... esse aqui é o nosso cromossomo simples... ((Quando Bruna falou que seria uma mulher, Eduardo apresentou expressão de estranhamento))



Figura 5: modelo dos cromossomos homólogos



Figura 6: modelo do cromossomo simples

Fonte: elaboração própria

No turno 6, Bruna mostrou que marcou as duas cromátides com massinha de mesma cor para evidenciar que são cromátides irmãs. Com isso, demonstrou compreensão que os cromossomos duplicados possuem duas cromátides irmãs, apesar de não explicar se a marcação corresponde a alelos para uma característica. Novamente, vemos que o modelo foi utilizado para **simplificar**. Nessa mesma fala, é possível identificar que a licencianda mobilizou a função de **representação como estar no lugar**, ao usar a expressão “como se fosse”. Em seguida, Bruna mostrou os dois cromossomos homólogos, afirmando que esse conjunto formaria o genótipo de uma mulher, por serem dois X, e apresentou o cromossomo simples corretamente, como podemos observar na figura 6.

Na cena 5, Bruna também usou o modelo para **comunicar** uma ideia que gerou discordância entre os colegas. Quando Bruna disse que os cromossomos que havia feito eram de uma mulher por ser XX, ela associou o formato do cromossomo em X à representação didática dos cromossomos sexuais serem X e Y. Isso levou à discordância e à necessidade de justificativa da fala da Bruna, evidenciado pela reação de Eduardo:

Quadro 6: Episódio 1 – Cena 6

7.	Eduardo: é.... Porque seria uma mulher?
8.	Bruna: é porque na minha cabeça se fosse o cromossomo masculino seria menorzinho aqui não?
9.	Eduardo: ((Ficou um momento calado e com expressão que não estava compreendendo)). não... mas eles são homólogos é do pai e da mãe... para ser uma menina ou um homem já teria que ter ocorrido o restante do processo...
10.	Bruna: ah tá entendi...
11.	Pesquisadora: até porque tem uma outra coisa... vocês fizeram os cromossomos sexuais? ((Nesse momento todos afirmam com a cabeça que não))
12.	Bruna: não
13.	Cristina: se não teríamos feito um X e um Y. ((estudantes confirmam a afirmativa acenando com a cabeça))

Fonte: elaboração própria

Na cena 6, o modelo estava sendo usado como ferramenta de **comunicação** e para **dar suporte aos argumentos e explicações científicas**. Os licenciandos estavam buscando o esclarecimento de um conceito científico, uma vez que eles discutiram sobre a homologia dos cromossomos. Bruna elaborou uma justificativa, utilizando o modelo, mesmo que não estivesse coerente do ponto de vista conceitual. O cromossomo ser representado em formato de X gerou uma confusão conceitual, pois, além de os licenciandos não entenderem porque os cromossomos eram representados nesse formato, eles os confundiam com os cromossomos sexuais, por serem representados como X e Y. Assim a pesquisadora iniciou o próximo episódio questionando Bruna sobre o motivo de ter proposto o modelo do cromossomo em formato de X.

Em síntese, ao se engajarem na modelagem no episódio 1, os licenciandos mobilizaram as funções epistêmicas de: **representar como estar no lugar; comunicar; simplificar; disponibilizar uma imagem conceitual; dar suporte a argumentos e explicações científicas**. Nessas interações, destacamos o papel da função comunicativa do modelo, que proporcionou a identificação de interpretações incoerentes, do ponto de vista conceitual, favorecendo o engajamento dos licenciandos na prática de argumentação, conforme evidenciado nas cenas 5 e 6. Desse modo, a mobilização de funções epistêmicas do modelo deu visibilidade a conhecimentos do domínio conceitual em discussão. Conhecimentos sobre cromatina, tipos de cromossomos e a notação usada para representá-los emergiram quando os licenciandos tiveram que comunicar ideias sobre o modelo.

Episódio 2: Cromossomos em X?

O episódio 2 se refere ao momento da aula 3 no qual os participantes retomaram a discussão sobre o cromossomo X e aprofundaram na questão. A pesquisadora iniciou uma conversa sobre a representação desse cromossomo em formato de X, questionando o grupo de Bruna o motivo da representação:

Quadro 7: Episódio 2 - Cena 1

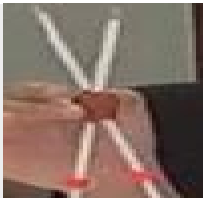

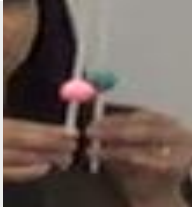

1.	Pesquisadora: outra pergunta... me empresta o seu modelo? ((Solicita o modelo da Bruna)) me explica porque você fez ele ((cromossomo)) em X?	
2.	Daiana: pra representar melhor os dois... ((gesticula mostrando que eles estão unidos)) ... as duas simples unidas.	
3.	Pesquisadora: será que elas estão unidas em X?	
4.	Daiana: não sempre.	
5.	Eduardo: não.	
6.	Pesquisadora: alguma vez ela está?	
7.	Daiana: sim	
8.	Pesquisadora: por que você acha que ela está em X em algum momento?	
9.	Cristina: porque no livro aparece assim ((Os estudantes concordam e dão risadas))	
10.	Eduardo: no modelo estático é assim.	
11.	Daiana: é a maioria das representações costuma ser...	
12.	Pesquisadora: será porquê? Será que tem um erro aí nas representações didáticas? ((Momento de silêncio))... Porque no centrômero... o que vai ligar um cromossomo simples me empresta o simples que você fez... ((solicita a Bruna)) o que vai ligar esse cromossomo... ah vocês fizeram dois... me empresta? ((aponta para outro grupo))... aqui teria que ser da mesma cor né? para eles poderem ser ligados...	
13.	Renata: é só trocar...	
14.	Pesquisadora: não... tudo bem... vamos imaginar que sejam da mesma cor... o que que faz eles se ligarem?	

Figura 7: modelo para cromossomos duplicados

Figura 8: gesto para mostrar o posicionamento dos cromossomos duplicados.

15.	Eduardo: o centrômero...	
16.	Pesquisadora: é o centrômero... o que tem no centrômero que eu não falei anteriormente... mas que liga o cromossomo simples no outro é uma enzima... uma proteína chamada de coesina... a coesina que faz as cromátides se ligarem pra formar um cromossomo... então por que se a coesina que liga aqui ((manuseia o modelo)) por que a gente sempre faz essa representação? ((manuseia o modelo dos cromossomos e os coloca em X))	 <p>Figura 9: modelo para mostrar a função da coesina do par de cromossomos duplicados.</p>  <p>Figura 10: modelo do cromossomo duplicado em formato de X.</p>
17.	Daiana: é porque como a gente estava falando... como geralmente é representado assim... isso até já ficou ...	
18.	Eduardo: convenção...	
19.	Daiana: é...	
20.	Pesquisadora: vocês acham essa uma convenção correta?	
21.	Eduardo: agora não sei...	

Fonte: elaboração própria

No início da cena, Daiana gesticulou para mostrar que as cromátides-irmãs do cromossomo estão unidas. Ao gesticular, ela não cruzou os braços, evidenciando que o gestual era coerente com o conceito científico. Porém, ao ser questionada pela pesquisadora, no turno 3, se as cromátides estão unidas em X, conforme o modelo elaborado, ela disse que “*não sempre*” e Eduardo, de outro grupo, disse que “*não*” – o que evidencia uma contradição com o conhecimento em questão. Nessa discussão, os estudantes utilizaram o modelo para dar suporte a **argumentos e explicações científicas** e para **comunicar**.

Ao gesticular, Daiana **comunicou** suas ideias de forma a conseguir **elaborar uma explicação** para a conformação do cromossomo e o seu gesto indicou que ela estava representando o cromossomo, e, portanto, utilizou também a **função de representar como estar no lugar**. A partir do turno 3, em que a pesquisadora questionou se os cromossomos estão em X, os participantes passaram a mobilizar a função **investigativa e preditiva** dos modelos. Eles discutiram a conformação do cromossomo, e para isso, realizaram previsões para simular como os cromossomos se comportavam.

A pesquisadora questionou Daiana quando ela disse “*não sempre*” com relação à união em X das cromátides-irmãs. A pesquisadora demandava justificativas para as afirmações da aluna (turnos 8 e 12). No turno 9, Cristina afirmou que todos representaram o cromossomo no formato de X, pois no livro didático aparece assim e os colegas concordaram. Eduardo afirmou que o modelo estático é assim e Daiana finalizou dizendo que a maioria das representações costuma ser assim. Desse modo, para Cristina, Daiana e demais colegas, o modelo seria como uma **cópia da realidade**.

A afirmativa de Eduardo evidenciou que ele compreendia o modelo um pouco diferente dos demais estudantes, uma vez que, ao se referir ao modelo como estático, ele considerava que não tem como manusear o modelo, mas caso fosse possível, os estudantes perceberiam que estão em paralelo e não em X. A fala de Eduardo deu indícios de uma visão de **representação como estar no lugar**, de modo que o modelo estaria substituindo o que estava sendo representado, com o intuito de possibilitar o raciocínio.

A pesquisadora, no turno 12, questionou o motivo dessa representação em X. Os licenciandos ficaram em silêncio, indicando que mesmo ao considerarem que a conformação poderia não ser em X, não haviam elaborado uma explicação para tal. A pesquisadora, nesse momento, fez uso do modelo com a

função **investigativa** e **preditiva** e como **representação como estar no lugar**, pois manuseou o modelo buscando compreender mais sobre o cromossomo e fazendo previsões. Após a pesquisadora demonstrar que as cromátides são paralelas e ligadas no centrômero, ela questionou o motivo dessa representação não ser usual e ser comumente representada em X. Os licenciandos afirmaram que por sempre verem os cromossomos representados em X, nunca questionaram ou buscaram entender o motivo de tal representação. Daiana chegou a afirmar que essa representação é uma convenção. Novamente, evidenciamos a visão dos estudantes sobre representação no sentido de ser uma **cópia da realidade**. Na sequência das interações (cena 2), a pesquisadora, continuou questionando os licenciandos e solicitou uma explicação sobre a conformação do cromossomo:

Quadro 8: Episódio 2 - Cena 2


22.	Pesquisadora: ... acho importante a gente problematizar essas coisas com os estudantes: ah então o cromossomo é em X, mas porquê? quem disse? ah por que no livro está assim... como a Cristina falou? mas os cromossomos não estão em X... as coesinas se ligam e elas colam aqui e o que acontece... a gente vê mais ou menos lá a estrutura assim num é? Dobradinha assim, num é? ((pesquisadora manuseia o modelo)) ((Estudantes confirmam dizendo sim e isso)) Pesquisadora: aí dá a impressão que essa parte é essa... ((manuseia o modelo)) então dá a impressão que está em X... mas na verdade não está em X... elas estão coladas pela coesina... por que se estivessem em X não seria uma boa para a mitose? ((Estudantes não dizem nada)) porque tem que ter uma explicação...	
23.	André: porque metade da informação fica para um lado e a outra parte para o outro.	
24.	Eduardo: não daria pra fazer o <i>crossing over</i> .	
25.	Pesquisadora: na hora da divisão celular... como que essa cromátide aqui do pai ou da mãe vai dividir sendo que está em X... eles vão descolar? vão quebrar? como que vai ser feito?	
26.	((Estudantes acenam com a cabeça em sentido de afirmação que não teria como ser em X))	
27.	Pesquisadora: então por isso que é importante a gente problematizar... quando a gente começa a pensar... qual que é a conformação? a gente vê que não faz muito sentido e que estamos ensinando na sala de aula muitas vezes de forma equivocada.	
28.	Cristina: e a gente tá aprendendo até hoje... ((Estudantes concordam))	
29.	Cristina: ai meu Deus... eu aprendi tudo errado então... senhor...	
30.	Eduardo: você está formando e tudo que você aprendeu estava errado...	

Figura 11: modelo para mostrar a posição dos cromossomos.

Fonte: elaboração própria

No turno 23, André apresentou uma explicação coerente ao dizer que se os cromossomos fossem em X não daria para ocorrer a separação na mitose, já que as cromátides se separariam. Os modelos estão sendo usados para **dar suporte a argumentos e explicações científicas**. Aproveitando a explicação dada por André, a pesquisadora utilizou um dos modelos para mostrar que o material genético poderia ser danificado caso as cromátides se rompessem de forma abrupta. No turno 25, a pesquisadora utilizou o modelo com a função de **investigação e previsão**, uma vez que ela supôs como seria o processo caso o cromossomo fosse em X. Nos turnos 28 a 30, os licenciandos se mostraram incomodados por terem aprendido algo que passaram a considerar equivocado, evidenciando um conteúdo que poderia ter sido mais explorado/problematizado no ensino e acabou se tornando uma verdade imposta para eles.

Em síntese, nesse episódio tivemos uma problematização sobre a estrutura do cromossomo X, de modo que o modelo foi mobilizado com as funções epistêmicas: **investigativa** e **preditiva**, **dar suporte a argumentos e explicações científicas**, **disponibilizar uma ideia conceitual** e **representar no sentido de estar no lugar** ou **como similaridade**. No início do episódio, as falas dos licenciandos são mais declarativas e sem problematizações ou argumentação. Os questionamentos da pesquisadora para que o modelo fosse usado como ferramenta epistêmica na construção do conhecimento se revelaram importantes ao longo da interação. Por meio dos desdobramentos gerados por suas perguntas, o modelo foi além da

função de representar no sentido de cópia da realidade. Além disso, de modo similar ao observado no episódio 1, as funções epistêmicas mobilizadas deram visibilidades a conhecimentos do domínio conceitual em discussão.

Conclusões e implicações do estudo

Nesta pesquisa, apresentamos análises de dados interacionais com professores de Biologia em formação inicial a fim de responder à seguinte questão de pesquisa: *de que modo esses professores de Biologia mobilizam funções epistêmicas de modelos nos processos de ensino e aprendizagem em citogenética?* Os licenciandos utilizaram os modelos em discussão com as seguintes funções epistêmicas:

(i) representar: essa função foi utilizada de duas formas: no sentido de similaridade, de modo que os licenciandos reproduziram o modelo do livro didático ou como já conheciam, realizando assim uma cópia da realidade, apenas construindo o modelo no modo tridimensional; e no sentido de estar no lugar, quando manusearam o modelo para fornecer explicações e estabelecer conclusões, favorecendo a construção do conhecimento.

(ii) investigar e prever: inicialmente os modelos não foram utilizados como ferramentas investigativas e de previsão, mas a partir dos questionamentos da pesquisadora sobre a estrutura do cromossomo em X, essas funções foram mobilizadas, pois tanto os licenciandos como a pesquisadora utilizaram o modelo para prever o comportamento do cromossomo na mitose.

(iii) comunicar: o modelo foi utilizado como uma ferramenta comunicativa, pois os licenciandos discutiram sobre cada código de representação utilizado e elaboraram explicações sobre o modelo para toda a turma, pois tinham que convencer que o modelo era válido. Além disso, expressaram pontos de vista diferentes sobre os modelos, tiveram que argumentar sobre as produções e alcançar um consenso sobre os modelos.

(iv) dar suporte a argumentos e explicações científicas: os licenciandos construíram explicações dentro de um contexto argumentativo, a fim de obter uma explicação mais adequada sobre a entidade modelada.

(v) simplificar: ao produzir os modelos os licenciandos optaram por representar estruturas do DNA que consideravam coerentes com o objetivo do modelo, selecionaram quais aspectos eram mais relevantes e os representaram, simplificando um fenômeno mais complexo.

(vi) disponibilizar uma imagem conceitual: os estudantes realizaram inferências sobre os cromossomos e a cromatina, embora sejam estruturas que não facilmente observáveis.

De modo mais amplo, esses resultados oferecem contribuições à pesquisa na área de Educação em Ciências e, de forma mais específica, a demandas do ensino de Biologia. Em sentido amplo, os resultados apontam possibilidades de articulação entre diferentes domínios do conhecimento científico: conceitual, epistêmico e social (Duschl, 2008). Nossos dados indicam que a mobilização de funções epistêmicas dos modelos ampliou oportunidades para que dúvidas de caráter conceitual e/ou visões distorcidas de alguns conceitos emergissem nas interações. Isto é, conhecimentos conceituais sobre célula e divisão celular foram melhor discutidos porque os participantes estavam engajados em práticas dos domínios epistêmico e social da ciência (e.g. investigar, prever, comunicar, explicar). Desse modo, os resultados contribuem com a área, que tem buscado avançar na compreensão desse tipo de articulação, na medida em que as propostas de currículos mais harmônicos carecem de dados de sala de aula capazes de evidenciar suas potencialidades e os seus desafios (Franco & Munford, 2020; Sasseron, 2021).

Além disso, nossos resultados indicam que funções epistêmicas relacionadas ao domínio social da ciência, como comunicar ideias e se engajar na argumentação a partir de questionamentos, exerceram um papel relevante. Diferentemente do que tem sido recorrente na literatura sobre modelos citogenéticos, a mobilização dessas funções epistêmicas posicionou a modelagem não como uma atividade de mera manipulação (Puig et al., 2017), mas como uma vivência mais autêntica da prática científica (Osborne, 2014). A análise crítica dos modelos, buscando a legitimação do conhecimento, indicaram formas de ensino alternativas daquelas pautadas na autoridade do professor ou do material instrucional (Sandoval, 2014) e comumente observadas nos conteúdos abordados (Fernández & Tejada, 2019; Oliveira & Galembeck, 2016).

Com relação ao ensino de Biologia, nossos dados reiteram os resultados de pesquisas sobre as dificuldades de aprendizagem em citogenética, conforme evidenciado por uma série de estudos (Armenta,

2008; Ayuso & Hernández, 2002; Infante-Malachias et al., 2010; Íñiguez Porras & Puigcerver, 2013; Ruiz-Gonzalez et al., 2017). O episódio de ensino 1, por exemplo, apontou as dificuldades nas distinções entre cromatina e os tipos de cromossomos, a concepção de que os cromossomos sexuais são encontrados apenas nos gametas, a confusão na distinção entre tipos de cromossomos e a notação usada para representá-los. No episódio de ensino 2, por sua vez, foi possível observar concepções contraditórias em torno da forma do cromossomo, especialmente quando se consideram diferentes fases da mitose. Os nossos dados também possibilitam compreender que o uso dos modelos como artefatos epistêmicos contribuiu para que essas dificuldades fossem trabalhadas pontualmente durante as etapas da modelagem, uma vez que elas se tornaram evidentes quando os licenciandos tiveram que comunicar ideias sobre o modelo e foram questionados com relação às suas visões. Essa abordagem facilita o processo de ensino e aprendizagem, pois o professor consegue identificar dificuldades e discuti-las durante o percurso.

Uma das lacunas identificadas no processo formativo dos licenciandos foi a distinção entre modelos didáticos e os fenômenos representados por tais modelos. Esse desafio foi evidenciado nas interações que analisamos e é algo que se reflete também na Educação Básica (Fernández & Tejada, 2019). O cromossomo X, por exemplo, ao ser representado didaticamente em formato de X, não constitui, a princípio, um erro conceitual. Todavia, é importante que o professor discuta com os estudantes as distinções entre as formas dos cromossomos, especialmente quando são observados ao microscópio, e a denominação do cromossomo X. Não há correspondência entre a notação X do cromossomo e o formato em X dos cromossomos em metáfase. Um caminho para abordar esses aspectos é proporcionar aos estudantes a reflexão sobre modelos como *ferramentas epistêmicas* (Kelly & Cunningham, 2019), para que tenham oportunidades de refletir sobre o conhecimento que está sendo produzido e avaliado (Puig et al., 2017), não utilizando os modelos apenas com a função de representar no sentido de similaridade, como normalmente acontece em sala de aula (Oliveira & Galembeck, 2016; Vijapurkar et al., 2014).

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq, Processo 306259/2021-4, pela bolsa de produtividade da 1ª autora. Ao Programa de Pós-graduação em Educação da Universidade Federal de Ouro Preto pela verba para tradução do artigo para a língua inglesa.

REFERÊNCIAS

- Alberts, B., Bray, D., & Johnson, A. (2011). *Fundamentos da Biologia Celular* São Paulo: Artmed
- Armenta, M. C. (2008). Algunas ideas del alumnado de secundaria sobre conceptos básicos de genética. *Enseñanza de las ciencias*, 26(2), 227-244. Recuperado de <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/118096>
- Ayuso, G., & Hernández, E. B. (2002). Alternativas a la enseñanza de la genética en educación secundaria. *Enseñanza de las ciencias*, 20(1), 133-157. <https://10.5565/rev/ensciencias.3983>
- Barden-Gabbei, L. M. (2006). Demonstrating Biological Principles Efficiently & Effectively: The Overhead Is More than Just a Lighted Chalkboard. *The American Biology Teacher*, 68(8), 357-361. <https://doi.org/10.2307/4452012>
- Blanco-Anaya, P., Bustamante, J. D., & Mendonça, P. C. C. (2019). Las destrezas argumentativas en la evolución de modelos en una actividad de geología. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 16, 3105. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i3.3105
- Carvalho, A. M. P. (2006). *Uma metodologia de pesquisa para estudar os processos de ensino e aprendizagem em salas de aula* Ijuí, RS: Unijuí.
- Clark, D. C., & Mathis, P. M. (2000). Modeling Mitosis & Meiosis: A Problem-Solving Activity. *The American Biology Teacher*, 62(3), 204-206. <https://10.2307/4450874>
- Cláudio, D. S. O., & Mendonça, P. C. C. (2021). Construindo práticas científicas no processo de ensino e aprendizagem do ciclo celular. In L. G. F. (Org.). (Ed.), *Ciência em contexto: propostas para construir espaços-tempos de ciência na escola* (Vol. 269-297). São Paulo, SP: Na Raiz.
- Cohen, C., Manion, L., & Morrison, K. (2011). *Research Methods in Education* (7th ed.). London and New York: Routledge.
- Diniz-Pereira, J. E. (2011). A prática como componente curricular na formação de professores *Revista do centro de educação UFSM*, 36(2), 203-218. <https://doi.org/10.5902/198464443184>

- Duda, H. J., & Adpriyadi. (2020). Student's Misconceptions in Concept of Biology Cel. . *Anatolian Journal of Education*, 5(1), 47-52. <https://doi.org/10.29333/aje.2020.515a>
- Duschl, R. A. (2008). Science education in three-part harmony: balancing conceptual, epistemic and social learning goals. . *Review of Research in Education*, 32(1), 268-291. <https://doi.org/10.3102/0091732X07309371>
- Felipe, A. E., Gallarreta, S. C., & Graciela, M. (2005). La modelización en la enseñanza de la biología del desarrollo. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 4(5), 1-32. <https://doi.org/10.14483/23448350.12972>
- Fernández, M. M. F., & Tejada, M. P. J. (2019). Difficulties learning about the cell. Expectations vs. reality. *Journal of Biological Education*, 53(3), 333-347. <https://doi.org/10.1080/00219266.2018.1469542>
- Franco, L. G., & Munford, D. (2020). O Ensino de Ciências por Investigação em Construção: Possibilidades de Articulações entre os Domínios Conceitual, Epistêmico e Social do Conhecimento Científico em Sala de Aula. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 20. <https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2020u687719>
- Fuchs, T. T., Bonney, K. M., & Arsenaut, M. (2021). Leveraging Student Misconceptions to Improve Teaching of Biochemistry & Cell Biology. *The American Biology Teacher*, 83(1), 5-11. <https://doi.org/10.1525/abt.2021.83.1.5>
- Garimella, U. I., & Robertson, B. M. (2015). Modeling the Shapes of Cells *Mathematics Teaching in the Middle School*, 21(3), 180-188. <https://doi.org/10.5951/mathteacmidscho.21.3.0180>
- Gilbert, J. K., & Justi, R. (2016). *Modelling-based Teaching in Science Education*: Springer International Publishing
- Gonzalez-Weil, C., & Harms, U. (2012). Del árbol al cloroplasto: concepciones alternativas de estudiantes de 9º y 10º grado sobre los conceptos «ser vivo» y «célula». *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas [en línea]*, 30(3), 31-52. Recuperado de <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/285682>
- Infante-Malachias, M. E., Padilha, I. Q. D. M., Weller, M., & Santos, S. (2010). Comprehension of basic genetic concepts by brazilian undergraduate students *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 9(3), 657-668. Recuperado de http://reec.webs.uvigo.es/volumenes/volumen9/ART9_Vol9_N3.pdf
- Íñiguez Porras, F. J., & Puigcerver, O. M. (2013). Una propuesta didáctica para la enseñanza de la genética en la Educación Secundaria. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 9(3), 657-668. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4541890>
- Justi, R. (2006). La Enseñanza de Ciencias Baseada en La Elaboración de Modelos. *Enseñanza de las ciencias*, 24(2), 173-194. Recuperado de <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/75824>
- Justi, R., & Gilbert, J. K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369-387. <https://doi.org/10.1080/09500690110110142>
- Kelly, G. (2008). Inquiry, activity and epistemic practice. In R. Duschl & R. Grandy (Eds.), *Teaching scientific inquiry: recommendations for research and implementation* (pp. 288-291). Rotterdam: Holand: Tapei Sense Publishers
- Kelly, G., & Cunningham, C. M. (2019). Epistemic tools in engineering design for K-12 education. . *Science Education*, 103, 1080-1111. <https://doi.org/10.1002/sce.21513>
- Kelly, G., & Licona, P. (2018). Epistemic practices and science education. In M. Matthews (Ed.), *History, Philosophy and Science Teaching: New perspectives* Springer International Publishing.
- Lucas, K. L. (2021). The use of 3-D modeling and priting to teach the central dogma of molecular biology. *Science Activities: Classroom Projects and Curriculum Ideas*, 58(2), 70-76. <https://doi.org/10.1080/00368121.2021.1918048>
- Mendonça, P. C. C., & Justi, R. (2013). The relationships between modelling and argumentation from the perspective of the model of modelling diagram. *International Journal of Science Education*, 35(14), 2407-2434. <https://doi.org/10.1080/09500693.2013.811615>
- Oliveira, M. L., & Galembeck, E. (2016). Mobile Applications in Cell Biology Present New Approaches for Cell Modelling. *Journal of Biological Education*, 50(3), 1-14. <https://10.1080/00219266.2015.1085428>

- Osborne, J. (2014). Teaching Scientific Practices: Meeting the Challenge of Change. *Journal of Science Teacher Education*, 25(2), 177-196. <https://doi.org/10.1007/s10972-014-9384-1>
- Osborne, J., & Patterson, A. (2011). Scientific Argument and Explanation: A Necessary Distinction? *Science Education*, 95(2), 627-638. <https://doi.org/10.1002/sce.20438>
- Phelan, S., & Szabo, E. (2019). Undergraduate lab series using the K562 human leukemia cell line: Model for cell growth, death, and differentiation in an advanced cell biology course. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 47(2), 1-9. <https://10.1002/bmb.21222>
- Puig, B., Ageitos, N., & Jiménez-Aleixandre, M. P. (2017). Learning Gene Expression Through Modelling and Argumentation: A Case Study Exploring the Connections Between the Worlds of Knowledge. *Science & Education*, 24(4), 1193–1222. <https://10.1007/s11191-017-9943-x>
- Reinke, N. B., Kynn, M., & Parkinson, A. L. (2021). Immersive 3D Experience of Osmosis Improves Learning Outcomes of First-Year Cell Biology Students. *CBE Life Sci Educ.*, 20(1). <https://10.1187/cbe.19-11-0254>
- Roth, T., Franz-Josef, S., Mierdel, J., & Bogner, F. X. (2020). Self-evaluative Scientific Modeling in an Outreach Gene Technology Laboratory. *Journal of Science Education and Technology*, 29, 725-739. <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09848-2>
- Ruiz-Gonzalez, C., Banet, E., & López-Banet, L. (2017). Conocimientos de los estudiantes de secundaria sobre herencia biológica: implicaciones para sua enseñanza. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(1), 550-569. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2017.v14.i3.04
- Sandoval, W. (2014). Science Education's Need for a Theory Epistemological development. *Science Education*, 98(3), 383-387. <http://10.1002/sce.21107>
- Sasseron, L. H. (2021). Práticas constituintes de investigação planejada por estudantes em aula de ciências: Análise de uma situação. *Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências*, 23, 1-16. <https://doi.org/10.1590/1983-21172021230101>
- Suwono, H., Saefi, M., & Susilo, H. (2019). *Challenge based learning to improve scientific literacy of undergraduate biology students*. In Atas 6th International Conference for Science Educators and Teachers, Bangkok, Thailand.
- Vijapurkar, J., Kawalkar, A., & Nambiar, P. (2014). What do Cells Really Look Like? An Inquiry into Students' Difficulties in Visualising a 3-D Biological Cell and Lessons for Pedagogy. *Research in Science Education*, 44(2), 307-333. <https://10.1007/s11165-013-9379-5>
- Vlaardingerbroek, B., Taylor, N., & Bale, C. (2013). The problem of scale in the interpretation of pictorial representations of cell structure. *Journal of Biological Education*, 48(3), 154-162. <https://10.1080/00219266.2013.849284>

Recebido em: 13.09.2021

Aceito em: 10.02.2022