

Investigação sobre a manifestação de conhecimentos profissionais docentes na promoção da Educação Científica Fundamentada em Modelagem^{1,2}

Leandro Oliveira³

ORCID: 0000-0002-5597-3438

Rosária Justi⁴

ORCID: 0000-0001-6535-5046

Resumo

Parece consenso entre pesquisadores e professores de Ciências a necessidade de discutir, em contextos de formação inicial e continuada de professores, abordagens mais contemporâneas de ensino, especialmente as que envolvem práticas e processos científico-epistêmicos. Apesar de o campo de Formação de Professores ter avançado neste sentido, aspectos da prática de ensino de educadores de professores de Ciências ainda são pouco investigados. Este estudo tem como objetivos identificar e caracterizar conhecimentos profissionais docentes mobilizados por uma educadora de professores ao ensinar licenciandos em Química a perspectiva de ensino pautada na Educação Científica Fundamentada em Modelagem. Para isso, acompanhamos todos os encontros de um minicurso sobre o tema conduzido por ela, registramos dados obtidos a partir de videogravação, entrevistas, notas de campo e artefatos que ela produziu e analisamos o ensino promovido. Para a análise, selecionamos dados em três situações distintas de sua prática: planejamento de ensino, condução de atividades de modelagem e reflexão sobre o uso de tal perspectiva de ensino de Ciências. Alguns dos principais resultados revelam uma manifestação dinâmica e variada dos conhecimentos sobre modelos e modelagem da professora que caracterizaram estratégias de ensino interessantes e coerentes com o contexto instrucional. Isso possibilitou discutirmos tanto a relação entre a manifestação desses conhecimentos e como ela ensinou aos licenciandos aspectos da Educação Científica Fundamentada em Modelagem quanto aspectos estratégicos da prática docente relevantes em contextos de formação de professores de Ciências.

1- Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Pró-Reitoria de Pesquisa Unicamp (Fundo de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão – Faepex) pelos auxílios financeiros que possibilitaram a condução do estudo que originou este artigo.

2- Disponibilidade de dados: Todo o conjunto de dados que dá suporte aos resultados deste estudo foi publicado no próprio artigo.

3- Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, Brasil. Contato: leandroo@unicamp.br

4- Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. Contato: rjusti@ufmg.br



<https://doi.org/10.1590/S1678-4634202551281935>

This content is licensed under a Creative Commons attribution-type BY 4.0.

Palavras-chave

Educadores de professores de ciências – Conhecimentos profissionais docentes – Educação Científica Fundamentada em Modelagem – Modelo Consensual Refinado.

Analysis of the manifestation of professional teacher knowledge in the context of Modeling-based Science Education

Abstract

In the contexts of initial and continuing teacher education, there seems to be a consensus among researchers and science teachers on the need to discuss more contemporary teaching approaches, especially those involving scientific-epistemic practices and processes. Although the field of teacher education has made progress in this regard, there are few studies on aspects of science teacher educators' teaching practice. This study aims at identifying and characterizing professional teaching knowledge mobilized by an educator when teaching about the Modeling-based Science Education perspective to pre-service Chemistry teachers. To this end, we followed all the meetings of a workshop on the subject led by the educator. Data to support the analysis of the teaching was gathered from video recordings, interviews, field notes and artifacts that she produced. For the analysis, we selected data produced in three distinct situations of her practice: planning teaching, conducting modeling activities, and reflecting on the use of this perspective in science teaching. Some of the main results reveal a dynamic and varied manifestation of her knowledge about models and modeling that characterized interesting teaching strategies that were coherent with the instructional context. This allowed us to discuss the relationship between the manifestation of such knowledge and how she taught aspects of Modeling-based Science Education, as well as strategic aspects of teaching practice relevant in contexts of science teacher education.

Keywords

Teacher educators – Teaching professional knowledge – Modeling-based Science Education – Refined Consensus Model.

Introdução

Uma das tendências do campo de pesquisa educacional é investigar práticas de ensino em programas de formação de professores (FP). Nesse sentido, pesquisadores em Educação em Ciências vêm tentando compreender melhor como professores de Ciências ensinam, como esses professores aprendem a ensinar, e, mais recentemente, como educadores de professores (EP) ensinam professores de Ciências a ensinar (Krainer *et al.*, 2021).

O ensino promovido por EP ganhou destaque nos trabalhos de Shulman (1986, 1987) que definiram bases de conhecimentos profissionais docentes (CPD). A partir disso, pesquisas sobre a FP começaram a apresentar resultados variados abrangendo, por exemplo, didática, currículos e políticas educacionais. Mesmo com este avanço no campo, há pesquisadores que consideram que conhecimentos sobre aspectos da prática de EP de Ciências ainda estão em um estágio inicial se comparados àqueles desenvolvidos em contextos de Educação Básica (EB) – o que implica pouco conhecimento sobre como eles mobilizam CPD para ensinar (Goodwin; Kosnik, 2013; Krainer *et al.*, 2021).

Nos últimos anos, uma das tendências observadas no campo de FP em Ciências tem sido a discussão de aspectos do ensino e da aprendizagem envolvendo estudantes em processos análogos aos das ciências (Stroupe; Hammerness; McDonald, 2020; Krainer *et al.*, 2021; Sasseron; Duschl, 2016). Nesse contexto, destacamos a perspectiva da Educação Científica Fundamentada em Modelagem (ECFM), que consideramos promissora por ser um contexto educacional no qual práticas científico-epistêmicas podem ocorrer tendo como centralidade os processos de produção e uso de modelos, visando que estudantes aprendam a usar e a construir conhecimentos de e sobre ciências vivenciando as diversas práticas científico-epistêmicas inerentes à modelagem. Isso vai ao encontro do que Lehrer e Schauble (2006) denominam autenticidade do ensino de Ciências, uma vez que a ECFM favorece a geração de ambientes de ensino e aprendizagem nos quais os sujeitos envolvidos podem se posicionar como participantes legítimos nas dimensões social, epistêmica e material das Ciências, com foco em modelos e modelagem (MM). Para tanto, é imprescindível que o professor tenha e mobilize uma gama de CPD sobre MM (CPDMM) para, por exemplo: ajustar e organizar o ambiente de aprendizagem; estabelecer relacionamentos conscientes e críticos entre o que os estudantes fazem e o que cientistas fazem para construir conhecimentos; promover o ensino visando favorecer a produção de sentidos (a partir da elaboração de modelos) para aquilo que a comunidade escolar situada realiza em termos de prática.

A prática de ensino de EP pode ser influenciada por variados fatores e, neste artigo, chamamos a atenção para dois deles: quais CPD professores manifestam ao ensinar e como isto acontece; e qual(ais) perspectiva(s) e/ou abordagem(ns) eles utilizam para ensinar. Para discutir tais fatores, objetivamos investigar a manifestação de CPDMM de uma EP de Química (EPQ) ao ensinar licenciandos em Química (LQ) sobre a perspectiva da ECFM, focando em três situações distintas de um minicurso sobre o tema conduzido por ela: planejamento das atividades; condução de atividades de modelagem vivenciadas pelos LQ; e discussão reflexiva com os LQ sobre a ECFM e seu uso como perspectiva de ensino na EB. Tal objetivo se traduz nas seguintes questões de pesquisa (QP): Quais CPDMM são manifestados na prática de ensino de uma EPQ ao ensinar sobre ECFM? e quais contextos de ECFM tendem a favorecer a manifestação desses CPDMM?

Referencial teórico

Ensino de ciências e a Educação Científica Fundamentada em Modelagem

Desde o final da década de 1990, o campo de Educação em Ciências tem discutido novos objetivos educacionais que reflitam a natureza situada contingente e contextual das Ciências. Isso teve várias consequências que levaram a redefinições de objetivos do ensino e a mudanças de perspectiva nos modos de ensinar e de formar professores de Ciências. Durante muitos anos, a FP se concentrou em metodologias de ensino sob uma epistemologia objetivista e falhou em envolver professores em formação em uma pedagogia mais significativa (Dana; Campbell; Lunetta, 1997), resultando em um ensino (em todos os níveis) majoritariamente focado na transmissão de conhecimentos. A partir da definição desses novos objetivos, houve um crescente estímulo à promoção de práticas de ensino construtivistas nas quais estudantes possam se envolver efetivamente em discursos científicos contínuos promovidos pela mediação de professores (McGinn; Roth, 1999). Nessa direção, Dana, Campbell e Lunetta (1997) consideraram necessário focar a FP de Ciências: na consideração de práticas formativas construtivistas socioculturais que moldam a natureza colaborativa da aprendizagem de professores; na valorização de processos reflexivos necessários para a consideração de diversos assuntos educacionais; e na efetivação de espaços formativos como comunidades de prática.

No contexto dessas mudanças, há uma tendência emergente em introduzir e incorporar, no ensino de Ciências, perspectivas, abordagens e metodologias de ensino baseadas em práticas e processos científico-epistêmicos (Osborne, 2014; Sasseron; Duschl, 2016). Neste artigo, entendemos processos científico-epistêmicos tal como Osborne (2014) os define, processos nos quais podem ocorrer tanto práticas científicas como práticas epistêmicas. O autor também explica que práticas científicas são aquelas específicas que obedecem a conjuntos de valores, critérios normativos e regras consensualmente acordadas realizadas por cientistas em seus trabalhos diários, geralmente envolvidos em comunidades de pesquisadores. Dentre as mais usuais nas ciências, ele destaca: fazer perguntas; desenvolver e usar modelos; construir explicações baseadas em evidências; engajar-se em argumentação a partir de evidências; planejar e realizar investigações; analisar e interpretar dados e usar ferramentas matemáticas e computacionais para pensar. Sobre práticas epistêmicas, apoiamo-nos em Kelly (2008, p. 99), que as define como “os modos específicos pelos quais os membros de uma comunidade propõem, justificam, avaliam e legitimam o conhecimento em uma estrutura disciplinar”.

Neste artigo, focamos na modelagem por esta ser um dos importantes processos científico-epistêmicos nas Ciências. Isto porque, tal como definem Gilbert e Justi (2016), a modelagem é um processo cíclico, complexo não linear e não pré-determinado de produção de modelos (um dos principais produtos das Ciências), com os quais cientistas pensam e agem ao buscar produzir explicações e previsões acerca de entidades, eventos e processos científicos. Os autores destacam etapas da modelagem que favorecem a vivência de práticas científicas (tais como as indicadas por Osborne (2014): criação de um proto-modelo, resultante da definição de propósitos para tal e da obtenção de informações sobre a entidade a ser modelada; expressão, caracterizada pela materialização do modelo visando sua comunicação

a outras pessoas; testes empíricos e/ou mentais do modelo, que resultam na produção de evidências e informações que permitem reformular um modelo ou decidir por abandoná-lo; e avaliação, por meio de um processo de identificação de limitações, potencialidades e abrangência do modelo quando usado em diferentes contextos, o que pode resultar em sua validação perante os pares. Ao longo do processo podem ocorrer idealizações e aproximações, além de produção de conhecimentos sobre mecanismos, processos ou investigações que podem funcionar como base para várias inferências tanto sobre a entidade modelada quanto sobre processos de produção de conhecimento (Gilbert; Justi, 2016). Tais autores apontam ainda que a modelagem também favorece a ocorrência de práticas epistêmicas, uma vez que, ao se envolverem nela, cientistas geralmente: propõem e discutem ideias; as comunicam (a membros de uma comunidade científica situada); avaliam o modelo proposto visando legitimá-lo; e constroem conhecimentos em diversos níveis de complexidade (que podem ser usados e modificados por outros para atender a diferentes objetivos).

Quando tal processo permeia atividades em contextos escolares, caracteriza-se o que denominamos ECFM. Nela, estudantes têm oportunidades de vivenciar as práticas científicas já mencionadas a partir do envolvimento nos principais processos cognitivos que permeiam a modelagem: realização de experimentos mentais, argumentação, criação de representações imagísticas e uso de raciocínio analógico. Como destacado anteriormente, espera-se que, nesse processo, estudantes aprendam a construir e usar conhecimentos *de* e *sobre* ciências. Entretanto, é importante ressaltar que não se espera que o conhecimento a ser construído por eles seja constituído por modelos científicos (isto é, aqueles aceitos na comunidade de cientistas em um determinado contexto histórico), mas modelos curriculares (versões simplificadas de modelos científicos incluídas em currículos escolares). Tal distinção, proposta por Gilbert e Boulter (1995) nos primórdios das ideias sobre uso de modelos e modelagem no ensino de Ciências, é essencial para evitar possíveis associações inadequadas entre ECFM e a visão ultrapassada de que a educação em Ciências visa formar cientistas.

Conhecimentos profissionais docentes e a Educação Científica Fundamentada em Modelagem

Os CPD são uma base de conhecimentos para a preparação e atuação profissional de professores. Tendo como marco de consolidação os trabalhos seminais de Shulman (1986, 1987), CPD passaram a ser entendidos como bases de conhecimentos específicos da docência que atribuíam a professores *status* de profissionais especializados, garantindo-lhes competências específicas para ensinar. Assim, práticas, estratégias e ações docentes passaram a ser interpretadas como o resultado de manifestações de CPD. Posteriormente, no universo de pesquisas educacionais, as categorias de conhecimentos de professores propostas por Shulman foram modificadas e reorganizadas resultando na proposição de modelos de CPD para professores em geral (por exemplo, Grossman, 1990) e modelos específicos para CPD de professores de Ciências, por exemplo (Magnusson; Krajcik; Borko; 1999; Gess-Newsome, 2015; Carlson; Daehler, 2019).

Neste trabalho, pautamos nossas discussões sobre CPD de professores de Ciências no Modelo Consensual Refinado (MCR). Apresentado por Carlson e Daehler (2019) após uma reunião da qual participaram renomados *experts* no assunto na época, o MCR

considera uma estrutura organizacional até então inexistente que tem como características fundamentais: relações concêntricas e influências bidirecionais entre diversos CPD; consideração de ciclos de raciocínio pedagógico na ação docente envolvendo planejamento, ação e reflexão; e consideração explícita da influência de sujeitos (outros professores e estudantes, por exemplo) na manifestação de CPD. Também são considerados como fatores influenciadores nessa manifestação: filtros (aspectos e fatores que dificultam ou limitam a manifestação de CPD); amplificadores (com destaque para crenças, identidade docente, motivações e orientações); e contextos de aprendizagem dos estudantes. Em linhas gerais, o RCM considera influências mútuas entre CPD das bases gerais de conhecimentos (BGC), conhecimentos pedagógicos de conteúdo (PCK)⁵ e contextos de aprendizagem.

Os CPD das BGC, mais genéricos, amplos e não conectados a uma disciplina específica, incluem:

- Conhecimentos de Conteúdo (CK)⁶, conhecimentos de conteúdos acadêmicos, ideias centrais disciplinares e conceitos transversais das Ciências;
- Conhecimentos Pedagógicos (CP), aqueles sobre estratégias gerais para gerenciamento de salas de aula (organização do ambiente de ensino, uso de técnicas de comunicação, dentre outros);
- Conhecimentos dos Estudantes (CE), conhecimentos sobre o que eles sabem ou devem saber e sobre suas habilidades mentais e motoras sobre conteúdos e práticas do ensino de Ciências;
- Conhecimentos de Currículo (CC), que envolvem aspectos curriculares do ensino de Ciências, tais como objetivos, estruturas, aporte teórico e orientações que o sustentam, papéis de planejamentos de aulas ou estratégias de ensino, além de capacidade de avaliar tais aspectos;
- Conhecimentos de Avaliação (CA), que dizem respeito ao design e uso de avaliações e a como usar seus resultados para projetar ou modificar o ensino (Carlson; Daehler, 2019).

Carlson e Daehler (2019) também explicam que os PCK são considerados no MCR como o núcleo de competência profissional de professores de Ciências, sendo caracterizados em três tipos:

- PCK coletivos (cPCK), compartilhados por mais de uma pessoa e mantidos coletivamente, combinando as próprias contribuições de um professor aos conhecimentos compartilhados por pesquisadores em Educação em Ciências;
- PCK pessoais (pPCK), conjunto cumulativo e dinâmico de PCK que um professor possui, construído a partir de suas experiências individuais (por exemplo, de leituras de livros e artigos) e coletivas (como as vivenciadas com outros sujeitos, tais como professores, pesquisadores, especialistas e estudantes); e
- PCK na ação (ePCK)⁷, que são manifestados em situações específicas de ensino, sendo mobilizados de modo particular em cada uma delas.

5- Optamos por utilizar a sigla em inglês do termo *Pedagogical Content Knowledge* (PCK) ao invés da sigla que remete ao termo em português (conhecimentos pedagógicos de conteúdo) devido à sua ampla utilização nas literaturas nacional e internacional.

6- Pelo mesmo motivo apontado na nota 1, optamos por utilizar a sigla em inglês do termo *Content Knowledge* (CK) ao invés de usar a sigla que remete ao termo em português (conhecimentos de conteúdo).

7- A sigla ePCK deriva do termo *enacted PCK* (Carlson; Daehler, 2019). A tradução que consideramos mais apropriada para o termo *enacted*, em português, é *no ato de ensinar* ou *na ação* (em sala de aula), mesmo tendo consciência de que *enacted* tem um significado um pouco mais amplo do que estes.

Esses ePCK configuram um ciclo de raciocínio pedagógico ‘planejar-ensinar-refletir’ executado por professores de Ciências. Pautados nessa definição de ePCK, Alonzo e colaboradoras (2019) a ampliam propondo três subtipos e situações específicas: ePCK no planejamento (ePCK_p), manifestados em ações de planejamento de ensino; ePCK na ação (ePCK_a), manifestados no ato de ensinar estudantes específicos; e ePCK na reflexão (ePCK_r), manifestados em situações de reflexão sobre planejamento e ensino.

Optamos por nos apoiar no MCR, dentre outros fatores, pelas potencialidades do modelo para a compreensão da dinâmica de manifestação de CPD e de possíveis influências nesse processo, além da consideração das influências mútuas entre eles na prática de professores.

A área de Ensino de Ciências tem cada vez mais explorado aspectos dos CPD em diversos contextos educacionais e, recentemente, dado ênfase à compreensão desses conhecimentos em práticas e processos científicos no ensino (por exemplo, na argumentação (Ibraim; Justi, 2021) e em práticas investigativas (Carvalho; Sasseron, 2018)). Contudo, investigações sobre como CPDMM são mobilizados por EP na FP e como eles influenciam nessa formação não têm acompanhado esta tendência. Alguns estudos que investigaram CPDMM de EP apontaram que: EP participantes nos estudos apresentaram CK sobre modelos como meras representações da realidade e sobre modelagem como integrante de um método científico único (Nielsen; Nielsen, 2019; Oh; Oh, 2011). Diante disso, Oh e Oh (2011) afirmam que é preciso que EP tenham ampla compreensão de significados atrelados a MM e como eles podem ser inseridos na ECFM, podendo assim influenciar a aprendizagem de professores de Ciências em formação e os modos como abordar esses temas futuramente em suas aulas.

Aspectos metodológicos

Este trabalho é um recorte de um estudo de caso amplo cujo sujeito de pesquisa é a EPQ Lizi⁸, uma professora atuante na Educação em Química no Ensino Superior. Lizi foi convidada a participar do estudo por: ser professora experiente (ela atuava há mais de 18 anos); ter experiências na EB e na Educação Superior; e ser especialista em ECFM, visto que em seus contextos de mestrado, doutorado e pós-doutorado ela investigou aspectos desta perspectiva de ensino. Quando aceitou o convite, Lizi nos informou que ofertaria um minicurso sobre ECFM a 11 LQ (bolsistas de um programa de FP da universidade) e nos convidou a conduzir a pesquisa naquele contexto.

Realizado em seis encontros semanais de aproximadamente quatro horas cada, o minicurso visava discutir aspectos do uso da ECFM no ensino de Ciências relacionando-a a outras abordagens e perspectivas de ensino. Para isso, Lizi aplicou duas sequências de ensino, sendo que uma delas envolvia uma sequência de modelagem (SM) sobre o tema polímeros (Quadro 1), que foi aplicada nos dois últimos encontros do minicurso. Este é nosso recorte neste trabalho, visto que foi nesse contexto que realizamos a produção dos dados aqui discutidos.

8- Todos os nomes atribuídos a sujeitos envolvidos na pesquisa são fictícios para mantermos suas identidades no anonimato.

Quadro 1 – Síntese das atividades da SM sobre polímeros

Atividade	Principais objetivos da atividade e da professora
Pensar sobre polímeros	Contextualizar e direcionar a atenção dos LQ para o tema polímeros; favorecer discussões sobre impactos do uso de polímeros na sociedade e sobre vantagens e desvantagens de seus usos.
Pesquisar sobre a legislação para descarte de lixo	Discutir a legislação referente ao descarte de lixo, principalmente o de plásticos e borracha.
Investigar propriedades e comportamento de diferentes polímeros	Possibilitar a participação dos LQ: na etapa de criação do protomodelo para estruturas e comportamentos de diferentes polímeros presentes em alguns materiais de plástico; em reflexões e discussões sobre pré-requisitos essenciais à elaboração de modelos para as estruturas dos polímeros; na elaboração de previsões e realização de experimentos sobre o comportamento maleável dos materiais.
Expressar modelos explicativos para os polímeros	Promover condições para os LQ vivenciarem etapas de criação e de expressão de um protomodelo para a estrutura dos polímeros dos materiais que explicasse suas propriedades e comportamentos.
Apresentar os modelos para os pares	Promover situações para os LQ comunicarem os modelos elaborados para a turma e discutirem suas adequações aos resultados experimentais obtidos.
Testar os modelos	Realizar testes dos modelos elaborados para explicar a maleabilidade dos polímeros frente a um experimento de aquecimento dos materiais.
Apresentar os modelos reformulados para os pares	Promover uma situação para os LQ comunicarem os modelos que reelaboraram a partir das novas informações advindas da experiência de aquecimento dos materiais.
Utilizar o modelo em outro contexto	Oportunizar a avaliação dos modelos elaborados anteriormente apresentados submetendo a borracha aos mesmos procedimentos (previsões, tentativas de dobra e aquecimento) aos quais os materiais plásticos haviam sido submetidos anteriormente; promover discussões sobre a abrangência e limitações dos modelos elaborados. Apesar de a atividade ter sido planejada para favorecer a avaliação, nela podem ocorrer testes, caso o modelo do grupo ainda não tenha satisfeito seus objetivos.

Fonte: Elaboração própria.

Os dados foram produzidos a partir da realização de entrevistas semiestruturadas com Lizi, imediatamente antes e após cada encontro do minicurso, observação não participante dos encontros, produção de notas de campo e coleta de artefatos produzidos por ela. Cada entrevista pré e pós-encontro foi realizada pelo primeiro autor e teve duração média de 20 minutos, sendo todas videogravadas. Nelas visávamos obter informações que, na medida do possível, caracterizassem aspectos do ciclo de raciocínio pedagógico (Carlson; Daehler, 2019) promovido por Lizi em sua prática docente. As perguntas (previamente discutidas e organizadas pelos autores, além de discutidas com outros membros de nosso Grupo de Pesquisa à luz dos objetivos de nosso estudo mais amplo) versavam, respectivamente, sobre aspectos dos encontros relativos ao planejamento (o que pretendia fazer, suas expectativas, organização das atividades e seus objetivos) e à reflexão (suas considerações e/ou expectativas sobre aspectos da prática e do contexto; se e o que ela alteraria no planejamento do próximo encontro).

Para a observação do ensino em sala de aula, o primeiro autor acompanhou Lizi conduzindo todos os encontros e os registrou em vídeo. Ele também produziu notas de campo e recolheu artefatos utilizados por ela naquele contexto (como roteiros de atividades – essenciais para entender o que ela falava sobre planejamento e sondar o

porquê de algo não ter sido de maneira diferente do planejado na aula – e textos teóricos sobre modelagem fornecidos aos licenciandos no final do curso). O uso desses métodos foi importante principalmente para a produção de dados sobre aspectos do ato de ensinar *na* e *sobre* ECFM, tais como sobre a ação performática, aspectos contextuais/organizacionais da prática, observações sobre a influência/comportamento dos LQ.

O tratamento dos dados se iniciou com a transcrição de todo o discurso oral ocorrido nas situações registradas, o que resultou na criação de dois tipos de arquivos textuais de transcrição discursiva: de Lizi e do entrevistador, emergidos das entrevistas pré e pós-encontros; e de Lizi e dos LQ, além da descrição de abordagem, estratégias e ações específicas de ensino promovidas em sala de aula. Na sequência, organizamos todos os arquivos (transcrições, notas de campo e artefatos produzidos pela professora) em ordem cronológica dos acontecimentos do curso. Adotando a perspectiva de Bardin (1977), procedemos à análise de conteúdo nesses arquivos. Para isso, criamos indicadores, categorias analíticas previamente definidas que operam na análise a partir da diferenciação seguida de reagrupamento de elementos constitutivos dos dados. Neste estudo, os indicadores se relacionam a CPDMM e foram gerados a partir da adaptação dos CPD característicos do MCR (Carlson; Daehler, 2019; Alonzo; Berry; Nilsson, 2019). Para adaptarmos as definições gerais de CPD para contextos nos quais professores ensinam sobre MM, utilizamos as caracterizações de MM apresentadas por Gilbert e Justi (2016) por as considerarmos amplas e, também, por serem aquelas que pautam as práticas de ensino de Lizi⁹, em termos de modelo teórico. Isso pode ter contribuído para que a análise se tornasse mais coerente ao ensino dessa professora. A partir de sucessivos movimentos de definição e reformulação, validamos os indicadores de CPDMM, apresentados no quadro 2.

Com os indicadores validados, exploramos os dados criando dois tipos de tabelas: um para analisar os dados advindos das entrevistas pré e pós-encontros e outro para analisar os dados oriundos da observação dos encontros em sala de aula. Em seguida, triangulamos os dados obtidos em ambas as tabelas, de modo a interrelacionar informações em termos das práticas de ensino de Lizi, o que também permitiu integrarmos informações de diferentes situações do minicurso. Por exemplo, houve situações nas quais, em encontros posteriores, Lizi tecia reflexões (ePCK_RMM) sobre o que havia feito (ePCK_TMM) em encontros anteriores. Assim, buscamos identificar e caracterizar os CPDMM que se manifestaram em sua prática docente naquele contexto de aplicação da SM (Quadro 1) a partir dos indicadores (Quadro 2). No Quadro 2, optamos por inserir não só a definição de cada conhecimento, mas também uma breve descrição das situações na ECFM em que tal conhecimento poderia ser identificado, visando a evitar a repetição desnecessária de critérios ao longo da discussão dos resultados. Todo o processo envolveu três rodadas de análise, nas quais cada autor trabalhou individualmente e, após cada uma delas, ocorreram discussões para padronização analítica, busca de consensos e, consecutivamente, validação dos resultados. Salientamos que a análise se pautou apenas nas manifestações explícitas dos CPDMM e em evidências contextuais consistentes de influências sobre eles.

9- Lizi fez esta afirmação em uma etapa do estudo mais amplo.

Quadro 2 – Indicadores de CPDMM

CPDMM	Definição	Situações na ECFM
Conhecimentos de Conteúdo sobre MM: CKMM	CPD de ordem teórica geralmente manifestados no ensino em definições transversais, expressão de ideias centrais e reconhecimento de referências teóricas sobre MM e temas afins que fundamentam a ECFM.	Quando docentes definem MM, explicitam suas visões sobre modelos, descrevem etapas da modelagem e destacam práticas científico-epistêmicas deste processo.
Conhecimentos de Currículo sobre MM: CCM	CPD relativos à organização curricular em termos de ECFM em diferentes níveis de ensino, objetivos ou estruturas. Podem se relacionar à orientação de uso de MM em documentos curriculares de qualquer esfera educacional, roteiros de sequências e atividades de ensino pautadas na ECFM etc.	Quando docentes explicitam reconhecer orientações curriculares educacionais relacionadas à ECFM, ter consciência e saber organizar sua prática de ensino em torno da ECFM em diferentes níveis (disciplinas, cursos, sequências de aulas, atividades).
Conhecimentos Pedagógicos sobre MM: CPMM	CPD que se expressam na performance de estratégias pedagógicas gerais usadas na promoção da ECFM.	Quando docentes gerenciam a sala de aula (por exemplo, organizando estudantes em grupos nas atividades), incentivam o envolvimento deles nas atividades, usam técnicas de questionamento e favorecimento de discussões entre eles.
Conhecimentos dos estudantes sobre MM: CEMM	CPD relacionados ao desenvolvimento de estudantes que participam de atividades na ECFM em termos de habilidades, conhecimentos de conteúdo, participação e envolvimento em processos de ECFM.	Quando professores explicitam conhecer características dos estudantes relacionadas à ECFM, tais como declarações sobre: seus conhecimentos prévios sobre MM, conhecimentos concernentes à ECFM, situações vivenciadas por eles.
Conhecimentos de Avaliação sobre MM: CAMM	CPD que se expressam quando são realizadas avaliações de cunho diagnóstico, formativo, sumativo e/ou processual de estudantes envolvidos na ECFM.	Quando docentes avaliam o que estudantes sabem ou aprenderam sobre MM; avaliam habilidades, envolvimento e engajamento deles em atividades de modelagem; e utilizam os resultados das avaliações para orientar práticas na ECFM futuras.
PCK coletivos sobre MM: cPCKMM	CPD do tipo PCKMM que se expressam a partir de contribuições mútuas e colaborativas com outros professores e/ou pesquisadores em ambientes favoráveis para compartilhamento de conhecimentos relacionados à ECFM.	Quando docentes reconhecem que PCK foram adquiridos e compartilhados de modo colaborativo com outras pessoas, desde que seja explícita a mutualidade e colaboração na aquisição desses CPD.
PCK pessoais sobre MM: pPCKMM	CPD do tipo PCKMM e habilidades*, ambos relacionados a aspectos pedagógicos que se refletem em experiências do professor em ECFM e que podem ter origem em cursos, leituras e vivências profissionais	Quando docentes informam explicitamente que adquiriram CPD realizando estudos teóricos ou experienciando situações de ensino ou de aprendizagem em ECFM.
PCK na ação de planejar o ensino sobre MM: ePCK _p MM	CPD do tipo ePCKMM relacionados às práticas de planejamento (de ações, estratégias e/ou atividades) para a ECFM.	Quando docentes agem ou fazem declarações que explicitam aspectos de planejamento de ensino para a promoção da ECFM.
PCK na ação de ensinar sobre MM: ePCK _e MM	CPD do tipo ePCKMM relacionados a ações específicas da efetivação de estratégias de ensino sobre MM.	Quando docentes realizam ações ao ensinar visando promover a ECFM de estudantes.
PCK na ação na reflexão sobre MM: ePCK _r MM	CPD do tipo ePCKMM relacionados a situações nas quais o professor reflete explicitamente sobre ações, estratégias, atividades ou planejamentos sobre MM.	Quando docentes expressam a formulação de pensamentos, resgate de lembranças e reflexões sobre aspectos de MM ensinados ou discutidos durante a promoção da ECFM.

* Apesar de a análise não focar explicitamente habilidades, mantivemos esta palavra na caracterização dos pPCK por considerarmos que a mobilização de conhecimentos (um dos focos de nossa análise) requer habilidades específicas..

Fonte: Elaboração própria.

Tal processo metodológico resultou em uma ampla quantidade de dados e resultados o que, para este artigo, requereu recortes de situações específicas, as quais nomeamos Vinhetas Didáticas (VD): descrição de situações ou cenários ocorridos em sala de aula visando à compreensão de aspectos didático-pedagógicos a partir de critérios bem definidos (Veal, 2002). Para isto, adotamos os critérios de diferenciação de contextos instrucionais de ECFM e riqueza de dados que ajudassem a responder às QP.

Resultados e discussões

VD1: Considerações iniciais de Lizi sobre a aplicação da SM

Essa VD ocorreu antes da aplicação da SM baseando-se, então, em dados advindos exclusivamente da entrevista pré-quinco encontro. Ela foi selecionada principalmente por apresentar um rico cenário de manifestação de CPDMM, no qual Lizi destacou o processo de planejamento da aplicação da SM, além de algumas de suas expectativas em relação a esse processo. No início da entrevista, ela explicitou seu principal objetivo para aquela aplicação:

O objetivo é eles [LQ]¹⁰ entenderem como é necessário integrar evidências na modelagem, reconhecer o uso de alguns conhecimentos prévios e como eles vão integrar isso para propor os modelos.

Tal trecho evidencia principalmente a manifestação de ePCK_pMM, uma vez que explicita, mesmo que genericamente, o plano da EPQ de favorecer vivências aos LQ nas importantes práticas da modelagem relacionadas ao uso de conhecimentos prévios e evidências. Indicar sequências de ações organizacionais que os LQ deveriam realizar e destacar tais práticas como inerentes à modelagem evidenciam manifestações de CCMM e CKMM, respectivamente. CPMM também se manifestaram porque essas são indicações de estratégias para o ensino de Ciências.

Lizi também teceu considerações sobre o planejamento organizacional da aplicação da SM:

Hoje, vamos começar a sequência de modelagem científica. Minha ideia é que eles conheçam uma atividade bolada para a Educação Básica, que vivenciem a experiência tal como estudantes do Ensino Médio tiveram [quando eu apliquei anteriormente a SM]¹¹ e que façam uma reflexão do papel do professor, além de refletirem sobre como aplicar aquilo. Isso faz parte do processo formativo. Então, eles modelam e a gente para pra discutir. Eles socializam os modelos e eu vou conduzir uma reflexão sobre 'E os estudantes do Ensino Médio? Será que eles têm os mesmos conhecimentos prévios que vocês? Como isso impactaria o desenvolvimento do modelo? [...] Ou acham que não teria diferença no nível de conhecimento que vocês têm?' Eu também vou chamar

10- Para que a análise do discurso fizesse mais sentido, realizamos adições ao texto transcrito, representadas entre colchetes. Nesses casos, tomamos sempre o cuidado de não alterar o sentido semântico do discurso e considerar todo o contexto em que ele ocorre. Em outros momentos, no discurso de Lizi havia falas que destoavam do assunto principal. Para focar nos dados de interesse, substituímos tais falas pelo símbolo [...].

11- Esta informação nos foi dada por Lizi em outro contexto analítico da pesquisa ampla e a utilizamos aqui para melhor compreensão do leitor.



atenção para minha condução da aula perguntando 'E vocês, como vocês conduziram? Seria interessante vocês conduzirem da mesma forma que eu estou fazendo?'. Isso para eles pensarem na ação docente.

Neste trecho, ePCK_pMM se manifestaram com indicações explícitas de ideias, expectativas e organização de atividades, com destaque para uma apresentação curricular organizada para o processo, o que teve influências de CCMM. Tal relacionamento fica mais evidente quando Lizi explicitou seus objetivos pautados no aspecto formativo educacional de oportunizar aos LQ aprender sobre a ECFM e discutir sobre isso no campo pedagógico. Assim, consideramos que CPMM também se manifestaram na intencionalidade de fomentar discussões, socialização de modelos e reflexões sobre o processo de modelagem que seria vivenciado. Além disso, a declaração explícita de ter estruturado o planejamento da aplicação da SM no minicurso a partir de experiências anteriores aplicando a mesma SM é uma evidência bastante consistente da manifestação de pPCKMM.

Em geral, nesta VD houve predomínio de manifestação de ePCK_pMM, algo que já esperávamos por ser o contexto analisado o de descrição do planejamento da aplicação da SM – o que também justifica a ausência de mobilização de ePCK_tMM e ePCK_rMM. Contudo, evidenciamos uma considerável influência mútua entre pPCKMM e ePCK_pMM nesse contexto, algo possível a partir da explicitação de influências de suas experiências anteriores na configuração de aspectos de seu planejamento (a partir do destaque ao fato de a mesma SM já ter sido aplicada por ela em situações de ECFM passadas). Os CPD das BGC (CCMM, CKMM e CPMM) também se manifestaram na situação de planejamento e entendemos que são coerentes, uma vez que nelas geralmente são apresentados aspectos curriculares de ensino (CCMM), quais conteúdos e conceitos ensinar (CKMM) e quais estratégias de ensino usar (CPMM). Por fim, não identificamos a manifestação de CAMM e CEMM, o que também é coerente visto que Lizi não tinha elementos para caracterizar a avaliação nem o que os estudantes conheciam sobre os temas abordados, pois ainda não havia promovido o ensino sobre ECFM.

VD2: Condução dos LQ no processo de elaboração de modelos para explicar o comportamento e propriedades de materiais poliméricos

A VD2 ocorreu no quinto encontro e caracterizou como Lizi conduziu os LQ no primeiro processo de modelagem da sequência. Esta VD foi selecionada porque nela a EPQ mobilizou diversos CPDMM buscando garantir que os LQ vivenciassem a modelagem e compreendessem tanto os propósitos das atividades quanto seus significados pedagógicos na ECFM.

O processo se iniciou com Lizi organizando os LQ em grupos para que realizassem as atividades, apresentando pedaços de materiais poliméricos do tipo plástico (sacola plástica, SP, e carcaça de TV, CTV) e explicando a atividade experimental. Nela, eles realizariam previsões e levantamento de hipóteses sobre o comportamento daqueles materiais caso alguém tentasse dobrá-los manualmente, a partir de suas experiências diárias sobre propriedades físico-químicas (com foco na maleabilidade) daqueles materiais

e conhecimentos sobre constituição química de polímeros. Isto fomentou a criação de protomodelos. Em seguida, os LQ realizaram a atividade em grupo e ela solicitou que cada grupo apresentasse suas previsões, hipóteses e justificativas à turma. De um modo geral, os grupos afirmaram que os pedaços de SP poderiam ser dobrados e os de CTV não, sendo que isso estaria relacionado às diferenças nas constituições químicas daqueles materiais.

Certificando-se de que eles haviam realizado anotações, Lizi aplicou a segunda atividade experimental. Ela distribuiu pedaços dos materiais e solicitou que eles efetivamente tentassem dobrá-los:

Nós vamos passar para uma outra atividade em que vocês vão pensar no que acontece quando estão dobrando esses materiais plásticos, mas pensando mais no [nível] submicroscópico. Cada grupo vai discutir e pensar em como esses materiais são constituídos a ponto de conferir essas propriedades a eles. Nesse momento, vocês podem utilizar qualquer recurso que tenham disponível, o computador, o quadro. Às vezes é necessário pensar em um modelo 3D, por isso, eu trouxe, para quem quiser usar, massinha, bolinha de isopor, palito. E se vocês quiserem desenhar essas coisas, colorir, fiquem à vontade. Depois vocês vão ter que apresentar os modelos para os colegas.

Tais instruções demarcaram a manifestação dos primeiros ePCK_{TMM} de Lizi, uma vez que ela performou ações pedagógicas na condução do processo de modelagem que influenciaram e foram influenciados mutuamente por seus: CCMM, a partir da descrição sequencial das atividades e direcionamento aos LQ para realizá-las considerando o que eles observavam; CPMM, mobilizando estratégias importantes para a expressão dos modelos como incentivá-los a trabalhar em grupo na modelagem, oferecer-lhes recursos educacionais e sugerir que eles utilizassem variadas representações; e CKMM, ao destacar a possibilidade de modelos serem expressos de diferentes maneiras. Em seguida, Lizi conduziu uma discussão com a turma, fomentando a circulação de ideias e deu orientações:

Então, considerem isso tudo e o que vocês pensam na elaboração dos modelos. O Miguel e a Monique não estão falando coisas opostas. Vocês podem dialogar em relação a isso, né? Por exemplo, ele considerou as forças repulsivas, mas vocês podem considerar todas as forças existentes, ok? Então, pensando nisso, eu quero que vocês desenvolvam um modelo e, logo em seguida, apresentem para a turma e expliquem principalmente por que conseguem dobrar um material e o outro não, mas no nível submicroscópico, em termos de constituição.

Além de ePCK_{TMM} mobilizados por Lizi neste trecho, manifestaram-se CPMM, a partir das estratégias de lembrar e orientar os LQ a valorizar suas próprias ideias e as considerar no processo e CAMM, a partir da avaliação inicial sobre ideias de dois LQ naquela etapa e do reconhecimento de que elas não eram opostas.

Enquanto os grupos realizavam as tarefas, Lizi seguiu mobilizando ePCK_{TMM} ao solicitar explicações e justificativas, fazer comentários e/ou questionamentos aos grupos e fomentar discussões com a turma sobre aspectos daquela atividade (baseada na expressão e alguns testes dos modelos que estavam sendo elaborados). Assim, CPMM também se manifestaram por estratégias de acompanhar e guiar de perto os trabalhos em grupo serem importantes na ECFM.

No contexto de entrevista pós-quinto encontro, Lizi enfatizou intensamente a demanda de tempo para a finalização das atividades:

Entra ano, sai ano, estou na modelagem e eu não aprendo que isso toma muito tempo. Eu achei que a elaboração dos modelos seria muito mais rápida. Se bem que, por outro lado, foi bacana porque eu consegui acompanhar nos grupos.

Rememorando experiências anteriores com a ECFM, Lizi mobilizou pPCKMM para manifestar ePCK_rMM característicos de reflexões sobre atividades que já havia aplicado e relacioná-las àquela situação. Ao fazer isso, ela focou a demanda de tempo, paralelamente às vantagens que o tempo gasto teve no processo. Isso evidenciou também influências mútuas desses CPDMM e CPMM e de como eles influenciaram no acompanhamento dos trabalhos nos grupos (estratégia de ensino adotada por ela).

Em resumo, nesta VD de condução de um processo de modelagem, houve destaque para a manifestação de ePCK_rMM da EPQ, que subsidiaram a realização de várias ações. Tais CPD quase sempre se manifestaram junto com algum dos CPD das BGC (CCMM, CPMM, CKMM e CAMM). Destacamos a recorrente manifestação mútua de ePCK_rMM e CPMM nesta VD2 como algo coerente porque suas ações na condução do processo de modelagem caracterizavam estratégias instrucionais na ECFM.

VD3: Discussões formativas sobre o uso de atividades de modelagem na EB

Após a produção de modelos relatada na VD2, Lizi conduziu outras duas situações semelhantes nas quais os LQ foram conduzidos a repensar seus modelos a partir de outras atividades de modelagem que ocorreram em torno de experimentos de aquecimento dos mesmos materiais e, por último, com pedaços de pneu de borracha. A VD3 ocorreu ao final do sexto encontro e se configurou em torno de discussões formativas sobre a ECFM. Lizi iniciou perguntando aos LQ:

Agora vamos fazer uma breve relação com os estudantes nas escolas. Pensando neles, o que se ganha em termos de aprendizagem quando introduzimos atividades de modelagem no ensino?

Com esta pergunta (ePCK_rMM), Lizi proporcionou aos LQ um momento de reflexão e discussão sobre como o uso da modelagem pode favorecer a aprendizagem de estudantes. Vários LQ opinaram, com destaque para o relato de uma LQ que afirmou que atividades de modelagem como aquela oportunizam aos estudantes se envolver em práticas de argumentação, comunicação, socialização de ideias e raciocínio durante todo o processo. Ela comparou a produção de modelos com o uso de modelos prontos e afirmou que a primeira leva estudantes a pensar sobre o complexo processo, enquanto a segunda foca apenas na aplicação do modelo. Guiados por Lizi, outros LQ complementaram essas considerações. Ela também os questionou: “No segundo caso, os estudantes já recebem um modelo pronto e usam como se fosse o único correto. Não questionam, não é mesmo?”. Isso desencadeou uma ampla discussão sobre diferenças entre o uso de modelos prontos

e a elaboração de modelos e seus usos pelos próprios estudantes e sobre limitações e potencialidades de cada opção.

Junto aos ePCK_TMM mobilizados por Lizi, manifestaram-se CPMM e CKMM na estratégia de suscitar discussões sobre diferentes práticas com modelos para aprender sobre elas, o que requereu definir tais práticas e suas características. As discussões colaborativas levaram Lizi a manifestar mutuamente outros ePCK_TMM e CKMM a partir de algumas afirmações sobre:

- MM, envolvendo, por exemplo, ser mais fácil apontar as limitações e inconsistências de modelos prontos do que daqueles que são produzidos em atividades de modelagem; e
- aprendizagem de estudantes na ECFM, em termos de desenvolvimento de raciocínio sobre os modelos que eles elaboram e o próprio processo de modelagem, criatividade nos processos, vivências de várias práticas científico-epistêmicas, reconhecimento de limitações e potencialidades ao trabalhar com modelos e aspectos de natureza da ciência no processo.

Ela também promoveu discussões que resultaram em definições consensuais da turma sobre MM e ECFM, tais como:

A modelagem é uma prática social na qual é preciso compreender e respeitar o processo de criação do outro. [...] Modelagem envolve investigação, conhecimentos [...] E a gente não está falando só do conteúdo final, mas de todo o processo. Também tem uma série de habilidades (de questionar, argumentar, socializar, expressar) que você vai precisar desenvolver para construir o modelo. [...] É isto que vocês estão dizendo: 'o estudante poderá pensar na coerência de seu modelo, pensar em como vai defender o seu modelo'. Você tem mais acesso ao que ele está pensando e pode até perceber a incoerência das ideias deles.

Essas estratégias evidenciaram a mobilização de ePCK_TMM simultaneamente à manifestação de: CEMM, ao reforçar ou complementar as ideias que os LQ expressavam; CPMM, no movimento pedagógico de sondar o que eles pensavam e usar as ideias deles para discutir aspectos sobre MM e ECFM; e, principalmente, CKMM, ao apresentar as conclusões a que eles chegaram coletivamente na finalização das discussões.

Depois, Lizi mudou o foco das discussões abordando desafios inerentes à ECFM perguntando, em tom de ironia: “E são tudo flores? A partir de agora eu vou dar aula só de modelagem pro resto da minha vida?”. Os LQ responderam que não e listaram alguns desafios para professores, tais como: a modelagem ser um processo longo e demorado; e os currículos escolares dificultarem a promoção da ECFM, por serem geralmente rígidos. Lizi sinalizou concordar com essas ideias e complementou:

Um fator grave, limitante, é realmente a questão do tempo. A gente tem que pesar e pensar nisso também. E têm ações, têm conhecimentos, conceitos que podem ser modeláveis. Agora, não é para a gente pensar que os estudantes dão conta de modelar tudo. A gente precisa apresentar algumas informações para eles. E por mais que a gente saiba fazer, às vezes, bolar uma atividade de modelagem não é simples. É algo que também requer tempo do professor.

Mobilizando $ePCK_{TMM}$, Lizi explicitou novamente aspectos da ECFM no ensino de Ciências e parece ter se preocupado em favorecer reflexões sobre a aplicação das atividades de modelagem. Nesse mesmo cenário, ela manifestou: CCMM, ao declarar explicitamente que o tempo é um grave fator limitante para a promoção da ECFM; CKMM, ao indicar que professores precisam considerar este fator ao planejar e aplicar atividades e serem conscientes de que alguns conhecimentos e conceitos são favoráveis ao processo e outros não; CEMM, ao reconhecer que estudantes podem ter dificuldades nesses processos, dependendo do que esteja sendo modelado; e CPMM, ao buscar guiar o raciocínio dos LQ a partir da apresentação de informações. Além disso, ao afirmar que produzir atividades de modelagem não é uma tarefa simples, houve evidências de manifestação de $pPCKMM$, por tal afirmativa se pautar em experiências do passado.

Lizi também descreveu algumas experiências prévias com outras atividades e estabeleceu relações entre elas e as atividades que aplicou à turma:

Têm algumas ideias que sempre surgem. Algumas ideias que vocês apresentaram aqui ainda não tinham aparecido. Por eu já ter trabalhado com esta atividade algumas vezes, eu já tinha me preparado para imprevisibilidades. Enquanto professora, eu tenho que estar preparada para lidar com o diferente para, na hora, mobilizar conhecimentos e estratégias para discutir com os estudantes seus modelos, independentemente de ter previsto algo ou não.

Ao refletir ($ePCK_{RMM}$) sobre ações passadas, Lizi parece ter acessado aspectos de seus $pPCKMM$ e CEMM porque ela fez afirmações sobre ideias frequentes de estudantes. $ePCK_{pMM}$ também foram mobilizados quando ela afirmou que se prepara para situações imprevistas. A estratégia de usar suas próprias experiências para tratar um assunto relacionado à ECFM ($ePCK_{TMM}$) naquele contexto de FP foi uma evidência de manifestação de CPMM.

Lizi também comentou sobre a ECFM em currículos de Ciências:

E como já disse, eu considero que não dá pra trabalhar toda a vida com os estudantes só a modelagem. É irreal. Não existe uma única estratégia que supra sozinha todos os conhecimentos e habilidades que você queira trabalhar com os estudantes.

Além de $ePCK_{TMM}$, Lizi manifestou simultaneamente nesta consideração: $pPCKMM$, por se lembrar de que havia discutido sobre o trabalho docente na ECFM e CCMM, ao discutir a integração da ECFM nos currículos de ensino no Ciências. Na entrevista pós-sexto encontro, ela refletiu sobre essa discussão:

Eu achei bacana quando perguntei se a modelagem era interessante para os estudantes e eles falaram: 'é sim porque estudante tem que pensar! É diferente de você entregar uma coisa pronta'. A fala do Miguel foi excelente. Ele pegou exatamente essa parte: 'a modelagem é diferente porque ele não tá pensando num modelo para chegar no produto, ou no objeto em si. Tem tudo o que você tem que aprender no meio do caminho, todos os processos'. É muito mais complexo.

Este trecho evidencia a mobilização de $ePCK_{RMM}$ sobre o processo, influenciada por: CAMM, uma vez que ela avaliou considerações reflexivas dos LQ sobre o que aprenderam no processo e parece ter ficado satisfeita com os conhecimentos apresentados sobre MM e ECFM; CEMM, quando indicou conhecer o que os LQ pensavam, consideravam e aprenderam naquele contexto; e CKMM, vistas as suas considerações sobre a ECFM ser uma perspectiva de ensino diferenciada, processual e na qual estudantes são levados a compartilhar ideias. Lizi também se lembrou de uma consideração feita pela LQ Monique sobre o cansaço que a ECFM pode causar nos estudantes:

Isso é legal de falar. A gente fica cansado porque precisa pensar e é uma coisa que eu realmente vejo muito na modelagem. Então, eu acho que é muito interessante eles terem apresentado essa percepção, é algo bem positivo da discussão.

Além de $ePCK_{RMM}$, manifestaram-se nessas considerações $pPCKMM$, pela base de raciocínio se fundamentar em outras experiências na ECFM, tais como quando estudantes ficam cansados porque precisam pensar e CAMM, por avaliar como “interessantes” e “positivos” os relatos dos LQ. Por fim, Lizi refletiu, avaliando o processo:

Dessa discussão sobre a modelagem no ensino eu me dei muito por satisfeita. Tanto por como eles perceberam a vivência no processo quanto por perceberem como isso pode ser aplicado no ensino.

Neste trecho, evidenciamos a mobilização de $ePCK_{RMM}$ junto à manifestação de CA em um processo de avaliação do desenvolvimento do minicurso, com foco na aprendizagem dos LQ.

Assim, esta VD3 se configurou como um rico cenário de manifestação de CPDMM. Nele, todos os tipos de $ePCKMM$ (com predomínio de $ePCK_{TMM}$) e de CPD das BGC se manifestaram, além de $pPCKMM$. Por ter sido um contexto que envolveu definições para MM e para a ECFM, CKMM se manifestaram com bastante frequência. Além disso, por ter sido um momento de finalização do minicurso, CAMM também se manifestaram recorrente e mutuamente a $ePCKRMM$, principalmente a partir de feedbacks dados aos LQ.

Conclusões

Neste estudo, investigamos a manifestação explícita de CPDMM da EPQ, enquanto Lizi aplicou uma SM sobre polímeros a LQ, com foco em três situações distintas de sua prática: declarações sobre o planejamento da aplicação da SM; condução de parte do processo de ensino; e reflexão junto aos LQ sobre o uso da ECFM no ensino de Ciências.

De um modo geral, as manifestações de CPDMM ocorreram de modo dinâmico e muito raramente evidenciando a manifestação de apenas um de seus tipos. A utilização do modelo RCM (Carlson; Daehler, 2019) nos possibilitou evidenciar esses aspectos da prática da professora. Tais resultados apresentam uma diferença importante em relação a uma tendência de estudos na literatura: investigações de CPDMM de professores de Ciências que caracterizam CKMM e $PCKMM$ numa perspectiva mais geral, sem estabelecer

relações entre eles e outros tipos de CPDMM e com foco predominante na visão de professores sobre MM, por exemplo (van Driel; Verloop, 2002; Justi; Gilbert, 2002). Que seja de nosso conhecimento, apenas o trabalho mais recente de Tay e Yeo (2018) parece evidenciar influências mútuas entre CPDMM, com destaque para os ePCKMM. As autoras focaram em micro ações (que entendemos ser a mobilização de ePCK_iMM) para investigar a transformação de CPDMM das BGC em PCKMM, identificando duas características principais sobre os PCK: (i) seus componentes são fundamentais na implementação de atividades para a ECFM e (ii) desenvolvimento profissional pode ser aprimorado a partir do momento em que professores adquirem PCKMM. Nosso estudo avança porque evidencia a manifestação mútua entre todos os CPD estabelecidos pelo RCM, sendo esta uma das contribuições deste trabalho. Destacamos também que nossas análises possibilitaram capturar aspectos dos pPCK (o que, segundo Carlson e Daehler (2019) não é uma tarefa fácil) manifestados junto a outros CPD. Atribuímos isso à condução das entrevistas com a EPQ uma vez que elas favoreceram a explicitação de situações de ensino anteriores que poderiam influenciar sua prática atual.

A partir dessas conclusões, acreditamos que nosso conjunto de resultados deixa mais claro como a complexidade e influências mútuas entre CPDMM são intrínsecas ao processo de ensino. Inferimos isso porque em todas as vezes que a professora investigada manifestava ePCKMM, suas ações sofriam influências e influenciavam a manifestação de conjuntos de CPDMM bastante idiossincráticos, caracterizando com relativa precisão os contextos de ensino (neste estudo, de planejamento, de ensino e de reflexão sobre a abordagem de ensino). Isso nos ajuda a compreender a manifestação de tais CPD como dinâmica, complexa e relacional, em detrimento de uma visão sobre CPD mais estática e isolada.

Além dessas considerações, nossos resultados destacaram como tais conhecimentos influenciaram a aplicação da SM em termos de diferentes níveis de detalhamento e possibilidades. Para apresentar este panorama, sintetizamos tais níveis no quadro 3.

Quadro 3- Modos gerais como os CPDMM da professora se manifestaram

CPDMM	Situações gerais de manifestação desses conhecimentos
CKMM	Na abordagem de MM em termos de: definição, tipos, visões, características e funções de modelos e etapas da modelagem.
CCMM	Em referências à ECFM, para salientar aspectos de: organização curricular e disciplinar, perspectivas de ensino, prática, roteiros, sequências, estratégias ou ações.
CPMM	Na promoção de estratégias e em ações gerais para favorecer a ECFM em termos de: planejamento, ensino e reflexão.
CEMM	No reconhecimento e/ou valorização de características, ações, conhecimentos prévios e dificuldades dos LQ em termos de ECFM (principalmente quando esses aspectos influenciavam suas próprias ações).
CAMM	Na realização de avaliações dos LQ, com destaque para: participação nas discussões teóricas; mobilização de conhecimentos (cotidianos e científicos); e envolvimento em atividades do minicurso, em etapas específicas da modelagem e da comunicação de modelos.
pPCKMM	Na expressão de aspectos de seus conhecimentos individuais teóricos e práticos sobre a ECFM.
ePCKMM	No planejamento (ePCK _p MM), em ações instrucionais específicas (ePCK _i MM) e em reflexões (ePCK _r MM).

Fonte: Elaboração própria.

Temos consciência de que a riqueza dos dados analisados se relaciona diretamente com características individuais (conhecimentos e experiências prévias) de Lizi na área. Entretanto, investigar um sujeito experiente era essencial para obtermos dados que nos possibilitassem discutir nossas questões de pesquisa. Além disso, tal opção vai ao encontro a outra lacuna observada na literatura e apontada por Chan e Hume (2019): a de que poucos pesquisadores têm se enveredado em campos de investigação sobre professores experientes ou especialistas em determinados assuntos – tendência que nosso levantamento bibliográfico sobre estudos que investigam especificamente CPD confirmou no contexto específico de ECFM. Por isso, entendemos que nosso estudo implica um avanço no campo pois, caracteriza-se como inédito no sentido de ter como sujeito de pesquisa uma professora com essas características. Somando-se a isso, entendemos que, por termos nos baseado em um amplo espectro contextual e analítico relacionado a CPD, pudemos ampliar os focos de discussão, contribuindo para a produção de conhecimento em relação a conhecimentos de professores que utilizam ECFM como uma perspectiva de ensino de Ciências.

Levando em conta os resultados deste estudo, consideramos necessário refletir sobre como estamos envolvendo professores em formação em atividades que têm como foco o ensino e a aprendizagem por meio de processos científico-epistêmicos. Neste sentido, chamamos a atenção para a incipiência da abordagem desse assunto em documentos curriculares brasileiros para a FP, com destaque para a BNC-Formação (CNE, 2019) e a BNCC (Brasil, 2018). Por exemplo, na BNC-Formação, não há orientações para a condução de processos na FP que caminhem nesse sentido. Alguns pesquisadores analisaram o documento e consideram que ele tende a favorecer o ensino de cunho eficientista e tecnicista, pautado no ensino tradicional (Rodrigues; Pereira; Mohr, 2020) e que tende a contribuir para que, ao se formarem, professores de Ciências permaneçam com “concepções equivocadas sobre a ciência, a natureza do conhecimento científico, a atividade científica e as relações e influência da ciência com os complexos da sociedade” (Siqueira; Pinheiro, 2022, p. 534). Visando a contribuir para o rompimento com tendências semelhantes, destacamos os modos como Lizi manifestou seus CPDMM conduzindo os processos de forma a atender seus objetivos principais: oportunizar aos LQ vivenciar a ECFM como estudantes da EB e discutir aspectos desta perspectiva de ensino e seus usos em aulas de Ciências. Por envolver os professores em práticas autênticas para ensiná-los sobre tais práticas, consideramos esse desenho pedagógico inovador na FP. Vivenciando processos científico-epistêmicos, eles podem ser levados a refletir sobre aspectos importantes no ensino de Ciências, especialmente pré-requisitos e conhecimentos prévios dos estudantes, conteúdos científicos a serem abordados nas práticas, aspectos de natureza da ciência possíveis de ser discutidos, dificuldades dos estudantes e possíveis maneiras de relacionar todos esses aspectos a partir de suas experiências formativas e de utilizá-los em suas futuras ações docentes.

No campo de pesquisas sobre FP de Ciências, os estudos que têm EP como sujeitos focam principalmente seus relatos reflexivos (Krainer *et al.*, 2021). Tomando direções diferentes, nosso estudo avança por investigar práticas reais de sala de aula para a FP de Ciências, relacionando a manifestação de CPD de uma EP de modo a estabelecer um elo formativo entre conhecimento, ensino e aprendizagem. Também nesse sentido,



consideramos que nosso estudo contribui para a literatura, uma vez que o foco dado à manifestação dos CPDMM da EPQ em termos do que Lizi fazia para ensinar ECFM em sala de aula nos permite pensar em aspectos do ensino em várias esferas: EB e FP (inicial e continuada). Evidenciar a complexidade dos CPD de formadores de professores e como isto influencia suas estratégias de ensino nos faz refletir sobre a importância de uma formação que dê sentido às experiências, ao invés de se pautar em práticas tradicionais que apenas discutem teoricamente características de metodologias, como e quando aplicá-las (Berland *et al.*, 2016). Assim, uma das implicações disto pode ser o rompimento com técnicas e métodos de ensino fundamentados em uma epistemologia objetivista, buscando envolver os professores em formação em pedagogias com características construtivista, reflexiva e colaborativa (Dana; Campbell; Lunetta, 1997).

Nosso estudo traz evidências de que tais práticas de ensino bem-sucedidas de EPQ tendem a favorecer a manifestação de seus CPD de modo dinâmico e variado e ajudam a compreender o complexo processo de ensinar professores a ensinar. Assim como Tay e Yeo (2018), acreditamos que a busca por compreensões mais amplas de aspectos das ações para o ensino reais e situadas no *locus* da sala de aula é uma tendência na ECFM e em outras práticas contemporâneas do ensino de Ciências. Portanto, esperamos que este estudo possa contribuir para uma maior conscientização do importante papel dos EP, da importância de EP manifestarem diversos CPD e de como suas estratégias de ensino podem ser eficazes na FP, contribuindo para incrementar a qualidade dessa formação e, como defendido por alguns pesquisadores da área (Goodwin; Kosnik, 2013; Krainer *et al.*, 2021), para a consequente melhoria de currículos e do ensino nas escolas básicas.

Referências

ALONZO, Alicia; BERRY, Amanda; NILSSON, Pernilla. Unpacking the complexity of science teachers' PCK in action: enacted and personal PCK. *In*: HUME, Anne; COOPER, Rebecca; BOROWSKI, Andreas (ed.). **Repositioning pedagogical content knowledge in teachers' knowledge for teaching science**. Singapore: Springer, 2019. p. 271-286.

BARDIN, Laurence. **Analyse de contenu**. Paris: Presses Universitaires de France, 1977.

BERLAND, Leema *et al.* Epistemologies in practice: making scientific practices meaningful for students. **Journal of Research in Science Teaching**, Toronto, v. 53, n. 7, p. 1082-1112, Sep. 2016.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular da Educação Básica**. Brasília, DF: MEC, 2018.

CARLSON, Janet; DAEHLER, Kirsten. The refined consensus model of pedagogical content knowledge in science education. *In*: HUME, Anne; COOPER, Rebecca; BOROWSKI, Andreas (ed.). **Repositioning pedagogical content knowledge in teachers' knowledge for teaching science**. Singapore: Springer, 2019. p. 77-92.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa; SASSERON, Lúcia Helena. Ensino e aprendizagem de Física no ensino médio e a formação de professores. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 32, n. 94, p. 43-55. set./dez. 2018.

CHAN, Kennedy Kam Ho; HUME, Anne. Towards a consensus model: Literature review of how science teachers' pedagogical content knowledge is investigated in empirical studies. *In*: HUME Anne; COOPER, Rebecca; BOROWSKI, Andreas (ed.). **Repositioning pedagogical content knowledge in teachers' knowledge for teaching science**. Singapore: Springer, 2019. p. 3-76.

CNE. Conselho Nacional de Educação. Resolução CNE/CP n. 2, de 20 de dezembro de 2019. Define as diretrizes curriculares nacionais para a formação inicial de professores para a educação básica e institui a base nacional comum para a formação inicial de professores da educação básica (BNC-Formação). **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, seção 1, v. 157, n. 246, p. 142, 20 dez. 2019.

DANA, Thomas; CAMPBELL, Lois; LUNETTA, Vincent. Theoretical basis for reform of science teacher education. **The Elementary School Journal**, Chicago, v. 97, n. 4, p. 419-432, Mar. 1997.

GESS-NEWSOME, Julie. A model of teacher professional knowledge and skill including PCK. *In*: BERRY, Amanda; FRIEDRICHSEN, Patricia; LOUGHRAN, John (ed.). **Re-examining pedagogical content knowledge in science education**. New York: Routledge, 2015. p. 28-42.

GILBERT, John; BOULTER, Carolyn. Stretching models too far. *In*: ANNUAL MEETING OF THE AMERICAN EDUCATIONAL RESEARCH ASSOCIATION: PARTNERSHIPS FOR A NEW AMERICA IN A GLOBAL COMMUNITY, 1995, San Francisco. **Proceedings** [...]. San Francisco: AERA, 1995. p. 100-112.

GILBERT, John; JUSTI, Rosária. **Modelling-based teaching in science education**. Cham: Springer, 2016.

GOODWIN, Anne Lin; KOSNIK, Clare. Quality teacher educators = quality teachers? Conceptualizing essential domains of knowledge for those who teach teachers. **Teacher Development**, Abingdon, v. 17, n. 3, p. 334-346, Aug. 2013.

GROSSMAN, Pamela. **The making of a teacher: teacher knowledge & teacher education**. New York; London: Teachers College Press, 1990.

IBRAIM, Stefannie; JUSTI, Rosária. Discussing paths trodden by PCK: an invitation to reflection. **Research in Science Education**, Melbourne, v. 51, n. 2 (supplement), p. 699-724, Oct. 2021.

JUSTI, Rosária; GILBERT, John. Modelling, teachers' views on the nature of modelling, implications for the education of modellers. **International Journal of Science Education**, Abingdon, v. 24, n. 4, p. 369-387, 2002.

KELLY, Gregory. Inquiry, activity, and epistemic practice. *In*: DUSCHL, Richard; GRANDY, Richard. (ed.). **Teaching scientific inquiry: recommendations for research and implementation**. Rotterdam: Sense, 2008. p. 99-117.

KRAINER, Konrad; EVEN, Ruhama; ROGERS, Meredith Park; BERRY, Amanda. Research on learners and teachers of mathematics and science: forerunners to a focus on teacher educator professional growth. **International Journal of Science and Mathematics Education**, Melbourne, v. 19, n. 1 (supplement), p. 1-19, May 2021.

LEHRER, Richard; SCHAUBLE, Leona. Cultivating model-based reasoning in science education. *In*: SAWYER, Robert Keith (ed.). **The Cambridge handbook of the learning sciences**. Cambridge: Cambridge University Press, 2006. p. 371-387.



MAGNUSSON, Shirley; KRAJCIK, Joseph; BORKO, Hilda. Nature, sources and development of pedagogical content knowledge for science teaching. *In*: GESS-NEWSOME, Julie; LEDERMAN, Norman (ed.). **Examining pedagogical content knowledge: the construct and its implications for science education**. Dordrecht: Kluwer, 1999. p. 95-132.

MCGINN, Michelle; ROTH, Wolff Michael. Preparing students for competent scientific practice: implications of recent research in science and technology studies. **Educational Researcher**, Atlanta, v. 28, n. 3, p. 14-24. Apr. 1999.

NIELSEN, Sanne Schnell; NIELSEN, Jan Alexis. A competence-oriented approach to models and modelling in lower secondary science education: practices and rationales among Danish teachers. **Research in Science Education**, Queensland, v. 51, n. 2 (supplement), p. 565-593, Oct. 2021.

OH, Phil Seok.; OH, Sung Jin. What teachers of science need to know about models: An overview. **International Journal of Science Education**, Abingdon, v. 33, n. 8, p. 1109-1130, Aug. 2011.

OSBORNE, Jonathan. Teaching scientific practices: Meeting the challenge of change. **Journal of Science Teacher Education**, Abingdon, v. 25, n. 2, p. 177-196, Mar. 2014.

RODRIGUES, Larissa Zancan; PEREIRA, Beatriz; MOHR, Adriana. O documento “Proposta para Base Nacional Comum da Formação de Professores da Educação Básica” (BNCFP): dez razões para temer e contestar a BNCFP. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 20, p. 1-39, jan. 2020. DOI: 10.28976/1984-2686rbpec2020u139. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/16205/15250>. Acesso em: 13 dez. 2020.

SASSERON, Lúcia Helena; DUSCHL, Richard A. Ensino de ciências e as práticas epistêmicas: O papel do professor e o engajamento dos estudantes. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 21, n. 2, p. 52-67, ago. 2016. DOI 10.22600/1518-8795.ienci2016v21n2p52. Disponível em: <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/19/189>. Acesso em 13 dez. 2020.

SHULMAN, Lee. **Knowledge and teaching: Foundations of the new reform**. Harvard Educational Review, Cambridge, v. 57, n. 1, p. 1-23, Apr. 1987.

SHULMAN, Lee. Those who understand: Knowledge growth in teaching. **Educational Researcher**, Atlanta, v. 15, n. 2, p. 4-14, Feb. 1986.

SIQUEIRA, Rafael Moreira; PINHEIRO, Laiza Ribeiro. História e filosofia da ciência e sua (não) presença na base nacional comum para a formação de professores (BNC-Formação). **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 39, n. 2, p. 518-550, ago. 2022. DOI 10.5007/2175-7941.2022.e85851. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/85851/51336>. Acesso em: 11 nov. 2022.

STROUPE, David; HAMMERNESS, Karen; MCDONALD, Scott. **Preparing science teachers through practice-based teacher education**. Cambridge: Harvard Education Press, 2020.



TAY, Su Lynn; YEO, Jennifer. Analysis of a physics teacher's pedagogical 'micro-actions' that support 17-year-olds' learning of free body diagrams via a modelling approach. **International Journal of Science Education**, Abingdon, v. 40, n. 2, p. 109-138, Feb. 2018. DOI 10.1080/09500693.2017.1401752. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09500693.2017.1401752>. Acesso em: 13 dez. 2020.

VAN DRIEL, Jan; VERLOOP, Nico. Experienced teachers' knowledge of teaching and learning of models and modelling in science education. **International Journal of Science Education**, Abingdon, v. 24, n. 12, p. 1255-1272, Dec. 2002.

VEAL, William. Content specific vignettes as tools for research and teaching. **Electronic Journal of Science Education**, Waynesville, v. 6, n. 4, p. 1-37. Jan. 2002.

Recebido em: 03.01.2024

Revisado em: 21.10.2024

Aprovado em: 11.11.2024

Editor: Profa. Dra. Danusa Munford

Leandro Oliveira é doutor e mestre em Educação e Ciências pela Universidade Federal de Minas Gerais. É professor do Instituto de Química da Universidade Estadual de Campinas e dos Programas de Pós-Graduação IQ/UNICAMP e Multiunidades em Ensino de Ciências e Matemática.

Rosária Justi é doutora em Educação pela Universidade de Reading, Reino Unido e mestre em Educação pela Universidade Estadual de Campinas. É professora titular aposentada da Universidade Federal de Minas Gerais e líder do Grupo "Reagir: Modelagem e Educação em Ciências".