



Encontro Paranaense de Educação Matemática
Curitiba, 26 a 28 de setembro de 2024.

A MOBILIZAÇÃO DE CAPACIDADES CIENTÍFICAS EM ATIVIDADES DE MODELAGEM MATEMÁTICA COM EXPERIMENTAÇÃO DIDÁTICA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Paulo Henrique Hideki Araki
Universidade Estadual de Maringá
phh.araki@gmail.com

Lilian Akemi Kato
Universidade Estadual de Maringá
lakato@uem.br

Resumo

Este artigo apresenta uma revisão sistemática com metassíntese, realizada em bases de dados internacionais, para identificar as aproximações entre Modelagem Matemática, experimentação didática e capacidades científicas. Guiados pela pergunta “que capacidades científicas são mobilizadas por alunos no desenvolvimento de atividades de Modelagem Matemática com experimentação didática?”, encontramos 18 pesquisas relevantes para nossa investigação. A pesquisa qualitativa empregou a Análise de Conteúdo para analisar os dados, revelando cinco categorias temáticas. A partir dessas categorias, evidenciamos o potencial das atividades de Modelagem Matemática com experimentação didática para mobilizar capacidades científicas nos alunos em aspectos cognitivos e comportamentais.

Palavras-chave: Educação Matemática. Educação Científica. Investigação.

Introdução

Nas últimas décadas, a busca por metodologias de ensino que promovam uma aprendizagem contextualizada da Matemática se intensificou. Nesse cenário, a integração da Modelagem Matemática com a experimentação didática se destaca como uma estratégia promissora. Diversas pesquisas comprovam seus benefícios, como: maior engajamento dos alunos; desenvolvimento de habilidades de raciocínio e resolução de problemas; compreensão profunda e significativa de conceitos matemáticos (Godino *et al.*, 2016).

A Modelagem¹ oferece aos alunos a oportunidade de aplicar conceitos e técnicas matemáticas para descrever e analisar fenômenos do mundo real (Bassanezi, 2015). Para Niss e Blum (2020), ao formular modelos matemáticos para representar situações complexas, os alunos desenvolvem habilidades essenciais para o pensamento matemático. Por sua vez, a experimentação didática permite aos alunos explorar conceitos científicos em um contexto prático, desenvolvendo habilidades de

¹ Para fins textuais, recorreremos ao termo Modelagem com o mesmo significado que Modelagem Matemática na Educação Matemática.

investigação e análise de dados que são fundamentais para a prática científica (Cachapuz; Praia; Gil-Pérez, 2002, Carvalho, 2018).

A sinergia entre Modelagem e experimentação pode proporcionar um ambiente fértil para o desenvolvimento de diversas capacidades científicas nos alunos. Segundo Trowbridge e Bybee (1990), tais capacidades constituem habilidades essenciais para a investigação crítica do mundo, a compreensão de conceitos científicos e o desenvolvimento de atitudes científicas. O desenvolvimento dessas habilidades é fundamental para que os alunos se tornem cidadãos cientificamente informados e engajados (Roberts; Bybee, 2011), causando um impacto significativo no desenvolvimento dos currículos escolares.

Diante do breve exposto, este estudo, por meio de uma revisão sistemática da literatura, visa investigar a seguinte questão: “que capacidades científicas são mobilizadas por alunos no desenvolvimento de atividades de Modelagem Matemática com experimentação didática?”. Trata-se de uma complementação e ampliação das análises conduzidas em Araki e Kato (2022), para o contexto de pesquisas internacionais.

Aspectos metodológicos

Esta pesquisa se debruça sobre uma abordagem qualitativa, buscando desvendar os significados e interpretações presentes nos dados. Essa metodologia permite uma imersão profunda no material de análise, construindo uma compreensão mais completa dos fenômenos em estudo. As decisões sobre inclusão e exclusão de dados foram tomadas com base em critérios qualitativos rigorosos (González, 2020).

Para guiar nosso estudo, adotamos os princípios da revisão sistemática com metassíntese. Essa metodologia nos permite analisar e sintetizar achados de diversas pesquisas qualitativas, tecendo um mosaico de conhecimento. Como Finfgeld-Connell (2018) explica, a metassíntese envolve o estudo e a investigação dos resultados de diversos estudos, buscando interpretar os dados de forma abrangente e fiel às interpretações originais.

Siddaway, Wood e Hedges (2019) apontam que este tipo de revisão visa identificar relações e conexões entre estudos qualitativos sobre um tema em foco. Através da metassíntese, mapeamos os temas principais, conceitos e teorias subjacentes que sustentam explicações abrangentes e contextualizadas do fenômeno em questão. A análise e síntese dos resultados dos estudos permitem construir uma nova compreensão do fenômeno, transcendendo a simples soma de resultados e contribuindo para o avanço do conhecimento na área. O Quadro 1 apresenta as etapas percorridas neste estudo, seguindo as seis etapas descritas por Siddaway, Wood e Hedges (2019) para uma revisão

sistemática com metassíntese, a saber: delimitação, planejamento, identificação, triagem, elegibilidade e análise qualitativa.

Etapas	Descrição das ações realizadas
Delimitação	Ancorados na questão de pesquisa (“ <i>De que forma se apresentam as atividades de Modelagem Matemática com experimentação didática nas séries dos anos finais do ensino fundamental em pesquisas internacionais recentes?</i> ”), propomos realizar uma revisão sistemática com metassíntese. Recorremos a um levantamento de artigos, capítulos de livros e trabalhos apresentados em anais de eventos disponibilizados online e que apresentassem e discutissem acerca da temática.
Planejamento	Com base nas considerações da etapa anterior, elegemos os termos de pesquisa “ <i>Mathematical modelling</i> ”, “ <i>Experimentation</i> ” e “ <i>Middle school</i> ”. Quanto aos critérios preliminares de pertinência da pesquisa, o foco incidiu sobre os trabalhos desenvolvidos no campo da Educação e do Ensino, no período de 2001 a 2023. Ainda, foram definidos critérios de inclusão e exclusão para orientar a leitura dos textos.
Identificação	De modo a identificar as pesquisas, recorremos a plataformas online de bancos de dados de informações bibliográficas, levando em consideração os critérios estabelecidos nas etapas anteriores.
Triagem	Para a triagem dos trabalhos, fizemos a leitura dos resumos, das palavras-chave e dos aspectos metodológicos dos trabalhos selecionados, visando observar a sua pertinência para a pesquisa.
Elegibilidade	A partir das pesquisas selecionadas durante a etapa de Triagem, realizamos a leitura integral dos textos, buscando evidenciar a sua elegibilidade para a composição do corpus de análise. Ainda, no decorrer da leitura integral dos textos, informações potencialmente relevantes foram sendo destacadas.
Análise qualitativa	De maneira a analisar as informações potencialmente relevantes destacadas na etapa de Elegibilidade, recorremos a uma metodologia de análise qualitativa de dados.

Quadro 1 – Síntese das etapas da revisão sistemática desenvolvida

Fonte: os autores

A Figura 2 apresenta um fluxograma que sistematiza o processo de seleção de estudos, revelando o número de estudos em cada etapa. A seleção dos estudos foi realizada nas etapas de Identificação, Triagem e Elegibilidade da revisão sistemática com metassíntese, entre julho e dezembro de 2023, consultando as bases de dados Google Scholar, Web of Science, IEEE Xplore e ScienceDirect.

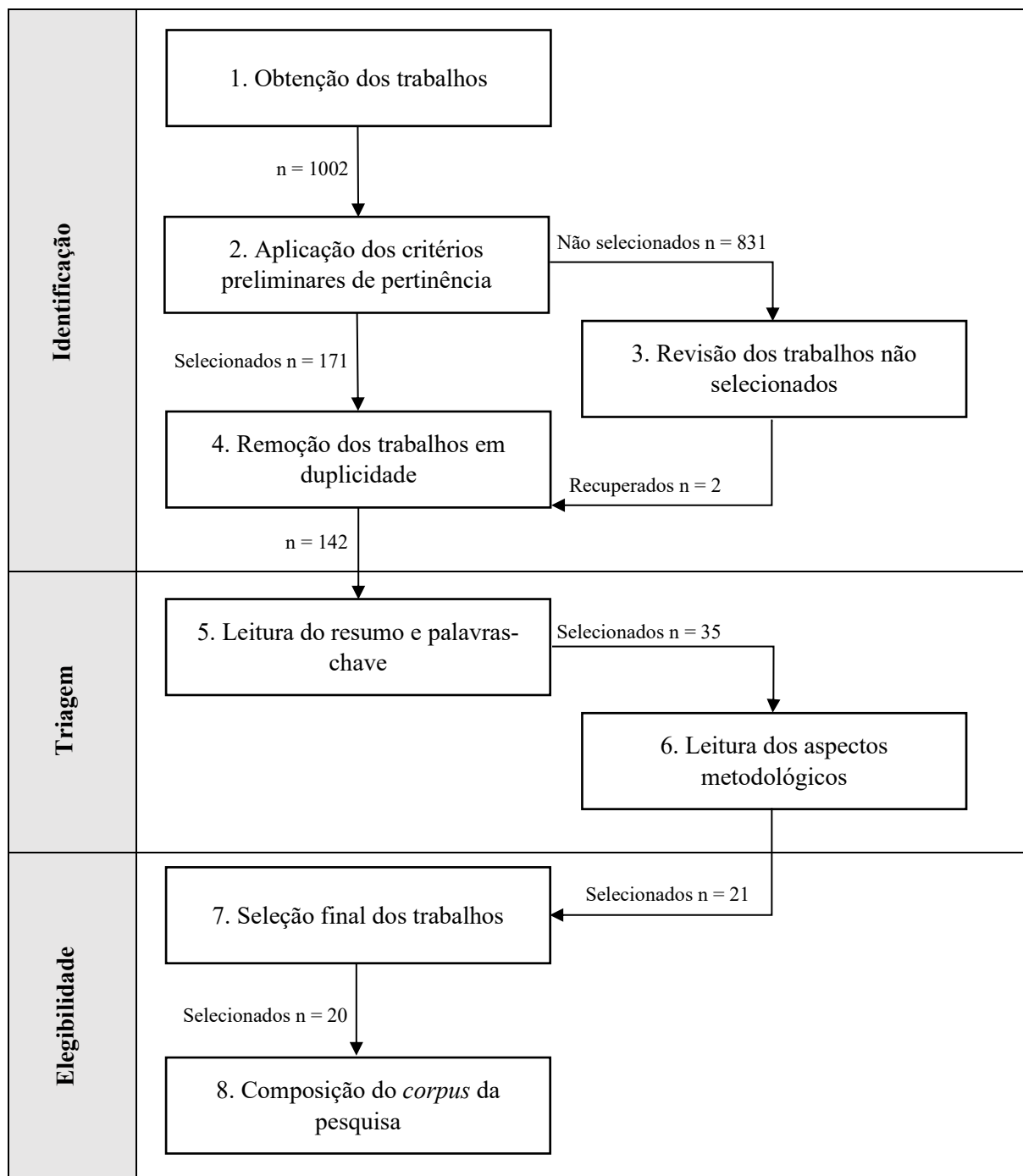


Figura 2 – Esquematização da seleção de trabalhos

Fonte: os autores

A busca por estudos relevantes foi guiada pela estratégia de pesquisa definida na etapa de Planejamento, utilizando o operador booleano AND para combinar termos de busca. Dos 1002 estudos encontrados, 831 foram excluídos após a aplicação de critérios preliminares de relevância. Essa alta taxa de exclusão se deve ao fato de que a maioria dos estudos encontrados abordava pesquisas em que a Modelagem era utilizada em experimentos científicos complexos de nível

superior, o que não se alinhava com os objetivos da revisão sistemática. Após análise detalhada dos estudos não selecionados, dois foram recuperados, aumentando o número final de estudos para 171.

Para garantir a qualidade do corpus da pesquisa, foi realizada a remoção de trabalhos em duplicidade. Analisaram-se os títulos dos 171 estudos que atendiam aos critérios preliminares de relevância. Após essa etapa, 29 estudos que estavam presentes em mais de um banco de dados foram excluídos, resultando em 142 estudos candidatos à composição do corpus da pesquisa.

Para garantir a qualidade e relevância dos estudos selecionados para o corpus da pesquisa, foram definidos critérios rigorosos de análise. Os estudos foram analisados com base em dois critérios de inclusão: (1) o estudo deve apresentar e discutir uma atividade de Modelagem Matemática com experimentação desenvolvida com alunos e (2) o nível de ensino das turmas investigadas deve corresponder aos anos finais do ensino fundamental no Brasil. Além disso, dois critérios de exclusão foram definidos: (1) foram excluídos estudos que não estivessem disponíveis na íntegra e (2) foram excluídos estudos que não estivessem escritos em inglês, espanhol ou português.

Os critérios supracitados resultaram na seleção de 18 estudos que atendem aos objetivos da pesquisa e garantem a representatividade do corpus, conforme apresentado no Quadro 2.

Código	Identificação	Autor(es)	Título	País(es)
A ₁	2005_01	MOLEFE, N. P. J.; LEMMER, M.; SMIT, J. J. A.	Comparison of learning effectiveness of computer-based and conventional experiments in science education	África do Sul
A ₂	2010_01	DAHER, W.	Building mathematical knowledge in an authentic mobile phone environment	Israel
A ₃	2011_01	CARREJO, D.; ROBERTSON, W. H.	Integrating mathematical modelling for undergraduate pre-service Science education learning and instruction in middle school classrooms	EUA
A ₄	2017_01	CARREIRA, S.; BAIOA, A. M.	Creating a color palette: the model, the concept, and the mathematics	Portugal
A ₅	2018_01	FERRARELLO, D.; MAMMANA, M. F.	Graph theory in primary, middle, and high school	Itália
A ₆	2018_02	CARREIRA, S.; BAIOA, A. M.	Mathematical modelling with hands-on experimental tasks: on the students' sense of credibility	Portugal
A ₇	2019_01	LEUNG, A.	Exploring STEM pedagogy in the mathematics classroom: a tool-based experiment lesson on estimation	China

A ₈	2020_01	CARREIRA, S.; BAIOA, A. M.; ALMEIDA, L. M. W.	Mathematical models and meaning by schools and university students in a modelling task	Portugal Brasil
A ₉	2020_02	HUNG, J.-F.; TSAI, C.-Y.	The effects of a virtual laboratory and meta-cognitive scaffolding on students' data modelling competencies	Taiwan
A ₁₀	2020_03	VILLAREAL, M. E.; MINA, M.	Actividades experimentales con tecnologías en escenarios de modelización matemática	Argentina
A ₁₁	2021_01	BAHADIR, E.; GÜNER, E. N.	Mathematical activity designs conducted with e-portfolio by secondary school students within the framework of realistic mathematics education	Turquia
A ₁₂	2021_02	QOSIMJONOVNA, D. O.	Use of ICT tools to increase the effectiveness of teaching physics in general secondary schools	Uzbequistão
A ₁₃	2022_01	COLIPAN, X.; LIENDO, A.	Discrete mathematics as a resource for developing scientific activity in the classroom	Chile
A ₁₄	2022_02	BAGOSSI, S.; FERRETTI, F.; ARZARELLO, F.	Assessing covariation as a form of conceptual understanding through comparative judgment	Itália
A ₁₅	2022_03	FERRARELLO, D.; GIONFRIDDO, M.; GRASSO, F.; MAMMANA, M. F.	Graph theory and combinatorial calculus: an early approach to enhance robust understanding	Itália
A ₁₆	2023_01	NÚÑEZ, R. P.; SUÁREZ, C. A. H. SUAREZ, A. A. G.	Didactic scenarios for teaching the concept of quadratic function and its applications in the framework of physics teaching	Colômbia
A ₁₇	2023_02	HAGENKÖTTER, R.; NACHTIGALL, V.; ROLKA, K.; RUMMEL, N.	"Our results correspond with our assumption": students' biased interpretation of data gained through mathematical hands-on experimentation	Alemanha
A ₁₈	2023_03	BAIOA, A. M.; CARREIRA, S.	Mathematical thinking about systems – students modeling a biometrics identity verification system	Portugal

Quadro 2 – Corpus da pesquisa

Fonte: os autores

A Análise de Conteúdo foi a metodologia escolhida para desvendar as nuances e significados presentes nos 18 estudos selecionados. Essa metodologia, como explica Bardin (2016), se destaca por sua capacidade de oferecer uma descrição objetiva, sistemática e quantitativa do conteúdo das comunicações, além de permitir sua interpretação profunda. Essa característica a torna ideal para estudos que buscam compreender as diversas camadas de significado presentes em diferentes tipos de textos, como os artigos científicos selecionados para este estudo. A Análise de Conteúdo se organiza em três etapas principais: (1) Pré-análise, com a organização do corpus; (2) Exploração do material, com o estabelecimento de unidades de registro e unidades de contexto e; (3) Tratamento dos resultados, com a interpretação dos dados coletados e codificados, com base nas categorias temáticas identificadas

Em certa medida, a etapa de Pré-análise da Análise de Conteúdo foi realizada em paralelo às etapas de Identificação, Triagem e Elegibilidade da revisão sistemática com metassíntese, o que incluiu a leitura flutuante dos textos e a composição do corpus, seguindo os critérios de validade propostos por Bardin (2016): exaustividade, representatividade, homogeneidade, pertinência e exclusividade.

A Exploração do material teve início na etapa de Elegibilidade da revisão sistemática com metassíntese, e as informações potencialmente relevantes destacadas durante a leitura completa dos textos auxiliaram na definição das unidades de registro e de contexto. Para facilitar o processo, utilizamos o software Atlas.ti, uma ferramenta que possibilita maior visibilidade e transparência à análise de dados, auxiliando na categorização dos dados.

Análise dos dados

A partir do movimento analítico descrito na seção anterior, o processo de categorização se enquadrou em cinco categorias temáticas, definidas a priori: 1) Capacidades aquisitivas; 2) Capacidades organizacionais; 3) Capacidades criativas; 4) Capacidades manipulativas e; 5) Capacidades comunicativas. A definição das categorias ocorreu de acordo com as capacidades científicas mobilizadas no desenvolvimento de experimentações didáticas, segundo Trowbridge e Bybee (1990).

Na categoria *Capacidades aquisitivas*, elencamos os aspectos relacionados à coleta de informações que embasam o desenvolvimento de atividades de Modelagem Matemática com experimentação didática pelos alunos. A análise dos materiais revelou a presença de três subcategorias, conforme sintetizadas no Quadro 3.

Unidades de sentido	Descrição e ocorrências nas pesquisas
Ouvir	Ouvir às explicações e instruções do professor
Observar	Observar ilustrações/fotos/vídeos
Pesquisar	Localizar fontes, localizar um problema, entender o contexto

Quadro 3 – Subcategorias que deram origem à categoria Capacidades aquisitivas

Fonte: os autores

A escuta ativa, mais do que simplesmente *ouvir*, se configura como uma ferramenta essencial para o sucesso da aprendizagem, especialmente nas etapas iniciais das atividades. Ao promover a escuta atenta e criar um ambiente de aprendizagem positivo, professores e pesquisadores podem potencializar o engajamento dos alunos, facilitar a assimilação de novos conhecimentos e desenvolver habilidades importantes para a vida.

A₁₃, por exemplo, ao propor uma investigação decorrente da matemática discreta com alunos chilenos, recorreu à apresentação verbal da temática e do problema a ser investigado. Já na sequência didática de A₁₆, a condução da atividade de modelagem matemática se deu após uma explicação/revisão dos conceitos de função e função quadrática.

A *observação* se destaca em dois momentos: na compreensão da situação real e na simplificação/estruturação da situação-modelo, com base na experimentação. Quanto à compreensão da situação real, podemos evidenciar que a mobilização de recursos diversos, como vídeos de experimentos (A₁₄) e animações (A₉), podem auxiliar os alunos nessa etapa. No que se refere à observação de experimentos, destacamos que tal observação contribui para a coleta de dados, a partir de aspectos visuais decorrentes do experimento (A₄, A₆, A₁₁, A₁₇).

A subcategoria *pesquisar* foi observada a partir do momento em que os alunos iniciaram seus movimentos de busca em diversas fontes para o desenvolvimento da atividade. A pesquisa pode ser realizada com tema definido, em uma busca por complementar informações (A₇, A₁₁), ou com tema indefinido, visando a sua definição (A₂, A₁₀).

Em resumo, as capacidades aquisitivas representam um conjunto de habilidades e conhecimentos que os alunos desenvolvem durante o processo de aprendizagem. O desenvolvimento dessas capacidades é crucial para a formação sólida, preparando os alunos para os desafios do mundo real e o avanço do conhecimento. Diversas áreas da ciência, como biologia, química, física e matemática, oferecem oportunidades para o desenvolvimento das capacidades de aquisição através de atividades práticas, como experimentos, análises e resolução de problemas (Fernandes e Pereira, 2021). O currículo escolar, a instrução eficaz e a avaliação adequada são fatores essenciais para o sucesso nesse processo.

De maneira geral, as *capacidades organizacionais* referem-se à organização e ao tratamento dos dados coletados empiricamente. Sua ocorrência é observada com mais frequência nas etapas de matematização do modelo real e no trabalho matemático decorrente da obtenção do modelo matemático. O Quadro 4 sintetiza as principais subcategorias que emergiram da nossa análise.

Unidades de sentido	Descrição e ocorrências nas pesquisas
Analisar	Procurar implicações e relações, causas e efeitos
Avaliar	Reconhecer aspectos bons e ruins,
Classificar	Organizar dados em grupos e subgrupos, identificar categorias
Comparar/ Contrastar	Perceber como as coisas se assemelham, olhar para as similaridades, perceber propriedades idênticas
Registrar	Recorrer a tabelas, gráficos

Quadro 4 – Subcategorias que deram origem à categoria Capacidades organizacionais

Fonte: os autores

A subcategoria *analisar* se refere à busca por implicações e relações de causa e efeito entre os dados obtidos pelas experimentações. Isso permite aos alunos ir além da superfície e desvendar os segredos por trás dos fenômenos. No estudo A₉, a análise das variáveis envolvidas no sistema permitiu aos alunos formular conjecturas sobre a mudança de temperatura, a troca de calor e a massa de água. Já em A₁₆, após a coleta de dados sobre o lançamento horizontal de um projétil, os alunos buscaram analisar o comportamento das variáveis envolvidas na situação (posição e tempo).

A *avaliação* se manifesta quando os alunos analisam sua própria prática, buscando reconhecer aspectos positivos e pontos que demandam aprimoramento. Essa atitude reflexiva é fundamental para o aprendizado contínuo. Exemplos disso podem ser contemplados em A₈ e A₁₇, onde a avaliação se intensificou nos momentos de validação do modelo matemático deduzido, permitindo aos alunos identificar pontos fortes e fracos do modelo.

A *classificação* se configura como uma ferramenta essencial para organizar as informações e dar sentido aos dados coletados. Em A₁ e A₁₆, os alunos utilizaram estratégias de classificação para identificar as variáveis e categorizá-las como dependentes ou independentes. Essa categorização é crucial para o desenvolvimento da atividade de Modelagem Matemática, pois torna possível a etapa de matematização.

No processo de modelagem matemática com experimentação didática, a capacidade de *comparar e contrastar* se torna uma ferramenta essencial para os alunos explorarem o mundo ao seu redor de forma mais profunda e crítica. Ao analisar similaridades e diferenças, os alunos: percebem as coisas como elas realmente são, em toda a sua complexa riqueza; embasam suas ações no desenvolvimento da atividade, tomando decisões conscientes; obtêm subsídios para a realização das

experimentações e a subsequente resolução do problema e; promovem o pensamento crítico, e uma apreciação mais profunda da interconexão dos conceitos.

A aplicação da comparação e do contraste se manifestou de diversas maneiras nos estudos analisados: 1) entre fenômenos do mundo real e o problema investigado (A_2); 2) entre o modelo matemático e os dados obtidos (A_5 ; A_8); 3) entre as etapas da atividade de Modelagem Matemática com experimentação didática (A_{15}) e; 4) entre os conhecimentos mobilizados, sobretudo com conhecimentos prévios (A_1 ; A_{14}).

A subcategoria *registrar* destaca a importância de documentar o processo de forma sistemática, utilizando tabelas, gráficos e outras ferramentas visuais para representar os dados. No estudo A_{12} , os alunos registraram os dados coletados, obtendo uma "descrição gráfica da situação investigada", o que facilitou a construção do modelo matemático. A_{16} e A_{18} também evidenciam o uso dos registros para modelar a situação investigada com base nas hipóteses estabelecidas.

De maneira geral, as capacidades organizacionais em ciências e matemática são um conjunto de habilidades essenciais para o sucesso acadêmico e profissional. Elas permitem aos indivíduos estruturar informações, desenvolver ideias, resolver problemas e trabalhar em equipe de forma eficaz. Através da organização de dados, comunicação clara, análise crítica e pensamento criativo, os alunos podem se tornar aprendizes mais eficientes, produtivos e preparados para os desafios do mundo real.

No processo de modelagem matemática com experimentação didática, as capacidades organizacionais assumem um papel crucial na organização e no tratamento dos dados coletados empiricamente (Barbosa, 2009). Sua relevância se evidencia principalmente na matematização do modelo real, na organização dos dados coletados durante a experimentação, no trabalho matemático decorrente da obtenção do modelo matemático.

A Categoria 3 reúne as evidências de demonstração de *capacidades criativas* por parte dos alunos no desenvolvimento das atividades de Modelagem Matemática. Geralmente, essa demonstração ocorre nas etapas de simplificação e estruturação da situação-problema e de matematização, com o objetivo de construir o modelo matemático. O Quadro 5 detalha as três subcategorias identificadas: inventar, planejar e sintetizar.

Unidades de sentido	Descrição e ocorrências nas pesquisas
Inventar	Criar um método ou técnica
Planejar	Procurar possíveis resultados e modos de ataque, hipotetizar
Sintetizar	Colocar coisas familiares em um novo arranjo

Quadro 5 – Subcategorias que deram origem à categoria Capacidades criativas

Fonte: os autores

O ato de *inventar* na Modelagem vai além da mera criação de métodos ou técnicas. Trata-se da demonstração da capacidade criativa dos alunos de encontrar soluções inovadoras e originais para problemas complexos. Essa natureza inventiva reside na exploração de diferentes caminhos e abordagens, na adaptação de conhecimentos prévios a novas situações e na busca por soluções inéditas. No caso de A₁₇, os alunos inventaram um método para determinar o decaimento da espuma da cerveja, utilizando técnicas matemáticas e físicas.

Já a criação de uma técnica envolve a criação de instrumentos específicos para a coleta de dados. Entre os exemplos observados, podemos citar: o desenvolvimento de uma técnica para construir um sistema de autenticação biométrica (A₈; A₁₈), para a resolução do problema das pontes de Königsberg (A₅) e para o cálculo da quantidade de bolinhas de gude em um frasco (A₇). Nesses casos, os alunos utilizaram uma abordagem instrumental para o desenvolvimento da atividade.

A subcategoria *planejar* reúne as evidências de esforços dos alunos em traçar hipóteses e possíveis planos de ação no decorrer da atividade de Modelagem Matemática. Quanto à determinação das hipóteses, podemos observar que sua ocorrência se deu com base nos fenômenos colocados em questão. No caso de A₁₄, após a compreensão da situação real do movimento de uma bola no plano inclinado, os alunos buscaram definir hipóteses a serem consideradas para a investigação do problema. Essa atitude demonstra autonomia e iniciativa na busca por soluções.

Sobre os planos de ação, o estudo A₇ esclarece que, após a compreensão do problema apresentado à turma – determinar a quantidade de bolinhas de gude –, os alunos foram encarregados de determinar um plano para solucioná-lo, recorrendo a recursos diversos (fotografias, tablets). Na atividade relatada em A₂, para desenvolver a atividade, cada grupo buscou determinar o papel que cada integrante iria desempenhar (medir, observar, registrar, manipular, fotografar).

No que se refere ao ato de *sintetizar*, podemos associá-lo à obtenção de um novo arranjo, ou seja, de um modelo matemático a partir da análise dos dados decorrentes da atividade, na etapa de matematização. Por exemplo, o trabalho A₃ relata que, após a coleta de dados referentes ao deslocamento de uma bola em um plano inclinado, os alunos optaram em reunir as informações em um gráfico, o que possibilitou a predição de condições futuras.

De modo geral, ao incentivar a capacidade criativa na ciência e na matemática, a escola se transforma em um palco para o desenvolvimento de habilidades essenciais para o futuro dos alunos. Por meio de um ambiente propício à exploração e à experimentação, os alunos se preparam para se tornarem cidadãos críticos e engajados na construção de um mundo melhor (Radder, 2003).

Quanto às *capacidades manipulativas*, constatamos que sua presença se deu nas etapas de simplificação da situação-problema, da matematização com vistas a obter a representação matemática e do trabalho matemático na busca de um resultado matemático. O Quadro 6 apresenta as subcategorias encontradas nos trabalhos e que subsidiaram a construção dessa categoria.

Unidades de sentido	Descrição e ocorrências nas pesquisas
Construir	Construir novos equipamentos para demonstração ou experimentação
Demonstrar	Ilustrar princípios científicos
Experimentar	Reconhecer um problema, planejar um procedimento, coletar dados, analisar e tecer conclusões

Quadro 6 – Subcategorias que deram origem à categoria Capacidades manipulativas

Fonte: os autores

O ato de *construir* está intimamente ligada à construção de artefatos, com o objetivo de visualizar um fenômeno e à coleta subsequente de dados. Ao analisar as investigações propostas pelos alunos, A₁₀ observou que, em alguns casos, o tema escolhido exigiu a construção de um dispositivo ou mecanismo especial para a coleta de dados, como, por exemplo, plano inclinado, pêndulo ou funil com papel absorvente. Para realizar a atividade, A₁₂ explica que os alunos construíram um sistema composto por um dinamômetro e uma massa, com o objetivo de identificar a força que era exercida.

A subcategoria *demonstrar* o envolve o uso de experimentos como forma de ilustrar e tornar mais concretos os conceitos e fenômenos em estudo. Os autores de A₃ afirmam que o experimento do deslocamento de uma bola em um plano inclinado serviu como suporte para a introdução de uma matemática mais formalizada e simbólica.

O ato de *experimentar* diz respeito às ações manipulativas decorrentes da investigação de determinado fenômeno, com o objetivo de se reconhecer um problema a ser solucionado, coletar e analisar dados empíricos e tecer algumas conclusões. Uma vez que todos os trabalhos presentes no corpus de nossa pesquisa, até certa extensão, fizeram uso de experimentação didática em contexto de atividades de Modelagem Matemática, a sua ocorrência foi universal. A seguir, elencamos algumas considerações feitas pelos autores.

Ao comparar o desempenho dos alunos em atividades de Modelagem Matemática com e sem investigação experimental, A₉ concluem que a experimentação é mais eficaz na melhora das competências matemáticas dos alunos. Isso ocorre porque a possibilidade de manipulação das variáveis e a observação direta do fenômeno proporcionadas pelo experimento permitem uma aprendizagem mais profunda e significativa. Essa constatação se alinha com a perspectiva de A₅, que

argumentam que a identificação de propriedades decorrentes da manipulação de variáveis contribui para a melhor compreensão do problema, em detrimento ao ato de apenas seguir instruções verbais.

Um dos aspectos mais valiosos da experimentação reside na sua capacidade de promover a integração entre áreas do conhecimento. Os autores do A₁₀ destacam que, nas atividades analisadas, a experimentação teve um papel fundamental, especialmente para a compreensão de fenômenos físicos à luz de conceitos matemáticos. Essa integração entre áreas do conhecimento, promovida pela experimentação, contribui para a implementação de uma abordagem STEM na educação, preparando os alunos para os desafios do mundo atual.

A experimentação em atividades de Modelagem Matemática se destaca como um poderoso instrumento para promover a autonomia dos alunos. Conforme A₇, ao conduzirem experimentos científicos para resolver problemas, os alunos têm a liberdade de decidir quais fatores considerar, como variáveis, instrumentos de medida e métodos de coleta de dados. A₁₃ corroboram essa visão, afirmando que os alunos se sentem livres para definir as ações que tomarão, o que resultou em diferentes estratégias utilizadas pelos grupos no desenvolvimento da atividade. Essa liberdade de escolha, aliada à responsabilidade de tomar decisões embasadas, contribui para o desenvolvimento de habilidades essenciais para a vida, como pensamento crítico, resolução de problemas e trabalho em equipe (Sasseron, 2018).

Evidências da categoria *Capacidades comunicativas* estão presentes ao longo de toda a extensão das atividades de Modelagem Matemática com experimentação investigativa, com maior destaque nos momentos iniciais e finais da atividade, com o objetivo de compartilhar os resultados encontrados com os colegas. O Quadro 7 apresenta algumas subcategorias identificadas na análise do corpus, que detalham as diferentes formas de comunicação presentes nas atividades.

Unidades de sentido	Descrição e ocorrências nas pesquisas
Discutir	Contribuir com ideias próprias, ouvir às ideias dos outros, chegar a conclusões
Escrever	Expressar textualmente

Quadro 7 – Subcategorias que deram origem à categoria Capacidades comunicativas

Fonte: os autores

A subcategoria *discutir* abrange os episódios em que os alunos buscaram contribuir para o debate de alguma ideia, apresentando sua opinião e ponto de vista sobre determinado assunto. Ao analisarmos sua ocorrência no corpus da pesquisa, identificamos duas situações distintas: a discussão que ocorre dentro de um grupo e a que ocorre em toda a sala. No que se refere à discussão entre os integrantes de um grupo, o autor de A₇ destaca as interações que ocorreram após a apresentação do

problema. Em seguida, os alunos, divididos em grupos, buscaram apresentar suas opiniões sobre as formas de conduzir a investigação. No que se refere aos momentos de discussão que envolviam toda a sala, o estudo A₂ menciona os episódios em que cada grupo compartilhou as estratégias utilizadas para solucionar o problema, com o objetivo de destacar similaridades e diferenças.

No que se refere à subcategoria *escrever*, sua ocorrência esteve associada principalmente ao preenchimento de relatórios sobre a atividade, a pedido do professor ou pesquisador (A₆; A₁₃). De modo geral, a escrita dos relatórios tinha como objetivo identificar as escolhas feitas pelos alunos durante a atividade, bem como a importância que cada grupo atribuiu a cada aspecto da atividade

Considerações finais

Ao longo deste trabalho, exploramos os meandros da modelagem matemática com experimentação didática, desvendando as diversas habilidades e capacidades que florescem nesse processo rico e engajador. Através da análise de diversos estudos, traçamos um panorama abrangente das competências essenciais para o sucesso dos alunos nesta jornada de aprendizagem.

A integração entre Modelagem e experimentação didática, nesse sentido, se configura como uma estratégia pedagógica poderosa, visando: promover de uma aprendizagem significativa e duradoura dos conceitos matemáticos; capacitar os alunos a aplicar seus conhecimentos de forma crítica, criativa e autônoma; permitir aos alunos explorar ativamente a natureza dinâmica e interativa da matemática no mundo real e; estabelecer conexões entre diferentes áreas do conhecimento.

As capacidades científicas destacadas por Trowbridge e Bybee (1990) são essenciais para a formação de cidadãos críticos e preparados para o mundo moderno, onde a ciência e a tecnologia desempenham papéis centrais. O desenvolvimento dessas habilidades permite aos alunos compreender e abordar problemas complexos, tomar decisões informadas e contribuir para o avanço do conhecimento científico. Incorporar essas capacidades no currículo escolar, através de metodologias ativas como a experimentação e a modelagem, pode transformar o ensino em uma experiência dinâmica e significativa, preparando os alunos não apenas para exames, mas para a vida.

Ao desenvolverem essas capacidades, os alunos aprimoram sua capacidade de lidar com informações complexas, extrair conhecimento de dados brutos e comunicar suas descobertas de forma eficaz, habilidades essenciais para a vida acadêmica, profissional e pessoal.

Referências

ARAKI, P. H. H.; KATO, L. A. Aproximações entre modelagem matemática e experimentação didática reveladas a partir de uma revisão sistemática de pesquisas nacionais. In: ENCONTRO

PARANAENSE DE MODELAGEM NA EDUCAÇÃO MATEMÁTICA, 9., 2022, União da Vitória. **Anais...** União da Vitória: SBEM-PR, 2022, p. 1-15.

BARBOSA, J. C. Modelagem e modelos matemáticos na Educação Científica. **Alexandria Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 2, n. 2, p. 69-85, jul. 2009.

BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2016.

BASSANEZI, R. C. **Modelagem Matemática: teoria e prática**. São Paulo: Contexto, 2015.

CACHAPUZ, A.; PRAIA, J.; GIL-PÉREZ, D. A hipótese e a experiência científica em educação em Ciência: contributos para uma reorganização epistemológica. **Ciência & Educação**, v. 8, n. 2, p. 253-262, 2002.

CARVALHO, A. M. P. Fundamentos teóricos e metodológicos do ensino por investigação. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 18, n. 3, p. 765-794, 2018.

FERNANDES, A.; PEREIRA, B. Construindo a literacia científica: articulação entre a prática pedagógica e o ensino experimental das ciências. **Literacia Científica: Ensino, Aprendizagem e Quotidiano**, v. 1, p. 118-130, 2021.

FINFGELD-CONNETT, D. **A guide to qualitative meta-synthesis**. Nova Iorque: Routledge, 2018.

GODINO, J. D. *et al.* Linking inquiry and transmission in teaching and learning mathematics and experimental sciences. **Acta Scientiae**, v. 18, n. 4, p. 29-47, 2016.

GONZÁLEZ, F. E. Reflexões sobre alguns conceitos da pesquisa qualitativa. **Revista Pesquisa Qualitativa**, v. 8, n. 17, p. 155-183, 2020.

NISS, M.; BLUM, W. **The learning and teaching of mathematical modelling**. Abingdon: Routledge, 2020.

RADDER, H. **The philosophy of scientific experimentation**. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, 2003.

ROBERTS, D. A.; BYBEE, R. W. Scientific literacy, science literacy, and science education. In: LEDERMAN, N. G.; ABELL, S. K. (Eds.). **Handbook of research on science education**. v. 2. Nova Iorque: Routledge, 2011. p. 545-558.

SASSERON, L. H. Ensino de ciências por investigação e o desenvolvimento de práticas: uma mirada para a Base Nacional Comum Curricular. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 18, n. 3, p. 1061-1085, dez. 2018.

SIDDAWAY, A. P.; WOOD, A. M.; HEDGES, L. V. How to do a systematic review: a best practice guide for conducting and reporting narrative reviews, meta-analyses, and meta-synthesis. **Annual Review of Psychology**, v. 70, n. 1, p. 747-770, 2019.

TROWBRIDGE, L. W.; BYBEE, R. W. **Becoming a secondary school science teacher**. Columbus: Merrill, 1990.