



EXPERIMENTAÇÃO EM CONTEXTO DE ATIVIDADES DE MODELAGEM MATEMÁTICA: UMA ANÁLISE À LUZ DE PESQUISAS ATUAIS

*EXPERIMENTATION IN THE CONTEXT OF MATHEMATICAL MODELLING TASKS:
AN ANALYSIS IN THE LIGHT OF CURRENT RESEARCHES*

Paulo Henrique Hideki Araki

Doutorando em Educação para a Ciência e a Matemática
Universidade Estadual de Maringá – UEM
phh.araki@gmail.com

Karina Alessandra Pessoa da Silva

Doutora em Ensino de Ciências e Educação Matemática
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR
karinasilva@utfpr.edu.br

Resumo

O presente artigo tem por objetivo apresentar uma análise acerca de uma investigação conduzida à luz da Modelagem Matemática e das relações existentes entre o conhecimento matemático e o conhecimento extramatemático decorrente da experimentação, com base na interrogação: o que revelam as pesquisas apresentadas em eventos sobre Modelagem Matemática nas quais a experimentação se constitui enquanto elemento da atividade de modelagem? Para tanto, o foco está nos trabalhos apresentados em três eventos da área da Modelagem, a nível regional (Conferência Paranaense de Modelagem na Educação Matemática), nacional (Conferência Nacional sobre Modelagem na Educação Matemática) e internacional (International Conference on the Teaching of Mathematical Modelling and Applications), nos quais a articulação entre experimentação e Modelagem é evidenciada. A partir de uma pesquisa de caráter inventariante subsidiada na Análise de Conteúdo em que as unidades de contexto levaram em consideração as áreas de conhecimento mobilizadas pela experimentação e os tipos de experimento presentes nas atividades de modelagem analisadas – demonstração/observação, verificação ou investigação – foi possível evidenciar que as atividades, quase que unanimemente, buscaram conciliar o entendimento que o aluno tem acerca de um fenômeno, real ou conceitual, com a Matemática.

Palavras-chave: Educação Matemática; Modelagem Matemática; Experimentação.

Abstract

This paper aims to provide an analysis regarding an investigation carried out in the light of mathematical modelling and existing relations between mathematical knowledge and extra-mathematical knowledge resulting from experimentation, based on the interrogation: what is revealed by researches presented in events about mathematical modelling in which the experimentation is constituted as an element of the modelling task? For this purpose, focuses on papers presented in three events of the modelling field, at a regional (Conferência Paranaense de Modelagem na Educação Matemática), national (Conferência Nacional sobre Modelagem na Educação Matemática) and international (International Conference on the Teaching of Mathematical Modelling and Applications) level, in which the articulation between experimentation and modelling is emphasized. From an inventory-based research subsidized by content analysis in which the context units took into account the knowledge fields mobilized by experimentation and the types of experiments present in the analyzed modelling tasks – demonstration/observation, verification or investigation – it made possible for to evidence that those tasks, almost unanimously, sought to conciliate the understanding that students have about a phenomenon, real or conceptual, with Mathematics.

Keywords: Mathematics Education; Mathematical Modelling; Experimentation.

1 INTRODUÇÃO

No decorrer das últimas três décadas, o ensino e a aprendizagem em Matemática vêm sendo alvo de discussões na comunidade escolar e acadêmica, sobretudo no que se referem às relações evidenciadas na tríade aluno-professor-saber matemático. Tal cenário se mostrou favorável para a ascensão de diversas tendências metodológicas no âmbito da Educação Matemática, dentre as quais podemos evidenciar as contribuições da Modelagem Matemática.

A Modelagem¹ no âmbito da Educação Matemática vem se estabelecendo à medida que passa a existir uma preocupação acerca de um ensino “para além da axiomatização, da lógica e da memorização” (MUTTI; MATIOLI; KLÜBER, 2018, p. 23), em um esforço de se evidenciar o potencial formativo e informativo da Matemática a partir de tópicos alinhados aos interesses dos alunos. De fato, autores como Herminio e Borba (2010), Malheiros (2012) e Cararo e Vertuan (2020) vêm discutindo o potencial de atividades de modelagem na abordagem de situações propostas pelos alunos ou que sejam capazes de despertar sua curiosidade.

Uma vez que a temática de uma atividade de modelagem não se restringe apenas ao universo da Matemática, torna-se possível associá-la a outras áreas do conhecimento humano, como é o caso das ciências naturais. Segundo Barbosa (2009), a Modelagem, nesse sentido, possui um papel fundamental para o entendimento de fenômenos advindos das Ciências, da Biologia, da Física e da Química, podendo estar diretamente relacionada à formalização de suas teorias a partir da experimentação. Logo, o conhecimento científico associado à experimentação e o conhecimento matemático necessário para a dedução de um modelo se constituem enquanto elementos complementares para um estudo abrangente de determinado fenômeno ou conceito.

Tendo em vista a sua importância para o contexto educacional, bem como a ampla possibilidade de aplicações, é cada vez mais expressiva a quantidade de pesquisas que versam sobre a Modelagem. Em consonância com o crescente interesse, a comunidade de professores e pesquisadores investidos no trabalho e na pesquisa em Modelagem passou a contar com eventos específicos voltados à área. Tais eventos, para além de congregarem pesquisadores e grupos de pesquisa de várias instituições, têm contribuído para a socialização de assuntos que constituem pontos de interesse para a comunidade.

Estimulados por essas reflexões iniciais acerca da Modelagem, pela possibilidade de articulação entre o conhecimento matemático e o conhecimento extramatemático e pelas discussões apresentadas em eventos da área, consideramos pertinente a interrogação: “*o que revelam as pesquisas apresentadas em eventos sobre Modelagem Matemática nas quais a experimentação se constitui enquanto elemento da atividade de modelagem?*”. Para tanto, procuramos traçar um panorama acerca de trabalhos que versam sobre Modelagem e experimentação, buscando evidenciar aquilo que tem sido discutido sobre essa temática em eventos da área, a nível regional (Encontro Paranaense de Modelagem na Educação Matemática – EPMEM), nacional (Conferência Nacional sobre Modelagem na Educação Matemática – CNMEM) e internacional (*International Conference on the Teaching of Mathematical Modelling and Applications – ICTMA*), possibilitando ao leitor ter conhecimento acerca das pesquisas em desenvolvimento no cenário nacional e internacional.

¹ Empregamos o termo modelagem com o mesmo significado de modelagem matemática.

O presente estudo se mostra relevante uma vez que, enquanto as contribuições acerca da Modelagem em contexto de atividade experimental vêm sendo discutidas no domínio da Educação Científica (BATISTA, 2009; SILVA NETO, 2015; NEVES, 2019), investigações sobre a Experimentação no âmbito da Modelagem ainda são pouco exploradas no âmbito da Educação Matemática. Sendo assim, a validade desse esforço, para além de evidenciar aquilo que vem sendo discutido em pesquisas atuais, talvez possa contribuir para que a temática seja abarcada por outros pesquisadores que possam se interessar pela temática.

Diante do exposto, o presente texto foi organizado de forma a apresentar, nas duas seções seguintes, algumas considerações teóricas sobre Modelagem Matemática na Educação Matemática e sobre a Experimentação. Na sequência, apresentamos a opção metodológica da investigação e concluímos com a apresentação da análise e discussão dos trabalhos, bem como das considerações finais.

2 MODELAGEM MATEMÁTICA

Ainda que se observe uma pluralidade de ideias na literatura acerca do que vem a ser a Modelagem, autores como Niss, Blum e Galbraith (2007) argumentam que as diferentes acepções parecem estar relacionadas com um objetivo em comum: a habilidade de identificação de questões, variáveis e relações existentes em uma situação real e as ações empreendidas para a tradução das informações em termos de uma linguagem matemática.

Nesse sentido, Almeida e Silva (2017, p. 209) argumentam que a modelagem “viabiliza uma leitura, ou até mesmo uma interpretação, ainda que parcial e idiossincrática, de fenômenos do mundo ou da vida”. Tais fenômenos não se restringem ao ambiente escolar, podendo servir de subsídio para a mobilização de conhecimentos matemáticos e extramatemáticos.

Por meio da Modelagem torna-se possível a obtenção de uma estrutura matemática que manifesta em seu âmago características do fenômeno representado. Lesh, Carmona e Hjalmarson (2006) atribuem a tal estrutura o termo “modelo matemático”, isto é, um sistema conceitual descritivo ou explicativo que permite a realização de previsões acerca do problema definido inicialmente.

Para Blum e Leiß (2007), o processo de modelagem pode ser descrito em termos de um conjunto de ações, a constar: (1) o entendimento de um problema real; (2) a simplificação da situação original; (3) a matematização; (4) o trabalho no domínio matemático; (5) a interpretação dos resultados obtidos; (6) a validação; e (7) a apresentação dos resultados. Esse conjunto de ações pode se caracterizar como um processo cíclico – ciclo de modelagem – em que idas e vindas se fazem presentes.

Dadas as possibilidades de condução de investigações envolvendo situações evidenciadas no mundo real, torna-se possível abarcar potencialidades da Modelagem em áreas do conhecimento alheias à Matemática, especialmente no que diz respeito às Ciências da Natureza. Carreira (1998) argumenta que os modelos matemáticos podem possibilitar uma interpretação da realidade, ao tomar como base os conhecimentos matemáticos e científicos. Uma das formas de se evidenciar tal associação vem a ser por meio da proposição de problemas a serem investigados a partir da coleta empírica de dados, com destaque à realização de experimentos.

3 EXPERIMENTAÇÃO E MODELAGEM

A questão da experimentação no âmbito da atividade humana não constitui um tópico relativamente recente, ao passo que as primeiras evidências de tal prática se remetem ao século XIV, com as discussões sobre o método indutivo de investigação científica proposta por Francis Bacon (SCHWARZ, 2012). As contribuições de Bacon, tidas como precursoras da história da ciência moderna, mantiveram-se em evidência em correntes filosóficas subseqüentes, como é o caso do determinismo e do positivismo.

Em suma, a experimentação consiste no estabelecimento de propostas voltadas para o desenvolvimento conceitual de ideias científicas (HODSON, 1994), o que possibilitaria a abordagem de conteúdos diversos, constituindo uma ponte de ligação entre teoria e prática. Em contexto escolar, autores como Moreira e Gonçalves (1980) e Alves Filho (2000) afirmam que, para além de possibilitar a visualização e compreensão de fenômenos reais, as atividades experimentais contribuem para o desenvolvimento lógico e cognitivo do aluno, transformando-o enquanto agente ativo para a construção dos conhecimentos.

Como apontado por Martini e Silveira (2018), a participação dos alunos pode se dar a partir de uma relação teoria-experimento, ou seja, com base na relação entre o fazer e o testar. Ao proporcionar ao aluno a possibilidade de contemplar experimentalmente um fenômeno, o professor pode solicitar que o mesmo recorra aos conhecimentos construídos anteriormente para tentar explicá-lo. Logo, de um ponto de vista cognitivo, a experimentação pode ser considerada uma alternativa pedagogicamente válida, uma vez que, além de possibilitar a construção e mobilização de conhecimentos diversos, favorece para a criação de um ambiente de discussão de ideias e de participação efetiva dos alunos (BASSOLI, 2014).

No que se refere ao contexto de realização de uma atividade experimental, Araújo e Abib (2003) explicam que os principais enfoques levam em consideração o tipo de encaminhamento e o grau de direcionamento proposto, de forma que podem ser classificados em três tipos: (1) *experimentos de demonstração ou observação*, caracterizados pela abordagem de conceitos ainda inéditos, os quais são introduzidos na medida em que o aluno progride na experimentação; (2) *experimentos de verificação*, destinados à generalização e validação de conceitos e leis recentemente estudados; e (3) *experimentos investigativos*, tomando como base a investigação de problemas, oriundos do cotidiano do aluno, a partir de conhecimentos construídos anteriormente.

Tendo em vista a possibilidade de abordagem de conteúdos diversos por meio do estudo de fenômenos reais, a experimentação pode estar diretamente relacionada à Modelagem Matemática. Diversos autores apontam para uma possibilidade de inserção da experimentação no ciclo de modelagem (CARREIRA; BAILOA, 2011; HEIDEMANN, 2012; ARAKI, 2020), destacando as potencialidades de estudo de fenômenos diversos a partir de um viés matemático.

Uma vez elucidados alguns aspectos referentes à Modelagem Matemática e à experimentação, trazemos na seção seguinte os aspectos metodológicos da investigação que tomou corpo a partir da idealização deste estudo teórico.

4 ASPECTOS METODOLÓGICOS

A investigação que apresentamos se embasa nos preceitos de uma pesquisa de caráter inventariante, definida por Ferreira (2002) como estado da arte, na qual o foco de estudo parte do mapeamento e discussão de determinada temática e o levantamento de categorias identificadas nos trabalhos, tanto de maneira individual como ao se considerar o conjunto como um todo.

Para isso, a nossa pesquisa se deu a partir do levantamento dos trabalhos apresentados e publicados nos anais do Encontro Paranaense de Modelagem na Educação Matemática (EPMEM), da Conferência Nacional sobre Modelagem na Educação Matemática (CNMEM) e do *International Conference on the Teaching of Mathematical Modelling and Applications* (ICTMA), no período de 2016 a 2020. A partir de um levantamento inicial, encontramos 452 trabalhos distribuídos entre os três eventos no período supracitado, conforme relacionados no Quadro 1.

Quadro 1 – Relação dos textos analisados

Evento	Total de pesquisas
VII EPMEM (2016)	31 comunicações científicas (CC) 35 relatos de experiência (RE)
VIII EPMEM (2018)	37 comunicações científicas (CC) 46 relatos de experiência (RE) 15 práticas de sala de aula ² (PSA)
X CNMEM (2017)	54 comunicações científicas 46 relatos de experiência
XI CNMEM (2019)	51 comunicações científicas 42 relatos de experiência
XVII ICTMA (2017)	52 capítulos ³
XVIII ICTMA (2019)	43 capítulos

Fonte: Os autores (2022).

A seleção dos trabalhos a serem analisados se deu a partir da leitura dos resumos ou *abstracts* e dos aspectos metodológicos apresentados pelos autores de cada trabalho, guiada pelo questionamento: “*o que revelam as pesquisas apresentadas em eventos sobre Modelagem Matemática nas quais a experimentação se constitui enquanto elemento da atividade de modelagem?*”.

Levando em conta os limites desta pesquisa, optamos em considerar os trabalhos que se enquadram enquanto comunicações científicas, presentes nos anais do EPMEM e da CNMEM, bem como os capítulos publicados nos livros do ICTMA. Para além de uma medida de seleção,

²As práticas de sala de aula correspondem a uma modalidade exclusiva do EPMEM, na qual os trabalhos submetidos foram desenvolvidos por professores que atuam na Educação Básica, apresentando práticas realizadas nas escolas.

³ Os trabalhos referentes ao ICTMA são disponibilizados na forma de capítulos de um livro organizado pelos membros do comitê executivo do evento.

tal escolha encontra-se pautada na possibilidade de atribuir enfoque à articulação teórica explicitada pelos autores desses trabalhos.

Assim, a leitura inicial destes textos revelou a presença de 24 trabalhos, os quais, até certa extensão, abordavam a experimentação no ciclo de modelagem. De modo a facilitar a identificação desses trabalhos, apresentamos a seguir uma compilação de acordo com o seu evento de origem.

De todos os trabalhos presentes nos anais das duas edições do EPMEM, em cinco a experimentação se mostrou presente. No Quadro 2 apresentamos uma relação desses trabalhos selecionados, aos quais recorreremos à letra E seguida de um número para a sua identificação no decorrer deste texto.

Quadro 2 – Trabalhos selecionados dos anais do EPMEM

Identificação	Título
E1	DALTO, J. O.; SILVA, K. A. P. Avaliando uma atividade de modelagem matemática. CC. 2016.
E2	MENDES, T. F.; SILVA, K. A. P.; ALMEIDA, L. M. W. Dedução do modelo matemático em uma atividade de modelagem matemática: uma análise semiótica. CC. 2016.
E3	MIGUEL, R. L.; BORSSOI, A. H. Uma modelagem matemática para o crescimento da bactéria <i>Escherichia coli</i> . CC. 2016.
E4	DALTO, J. O.; SILVA, K. A. P. Avaliação formativa na construção de um portfólio de atividades de modelagem matemática. CC. 2018.
E5	SOUZA, D. C.; ROSA, C. C. Modelagem matemática e sua influência nas representações sociais acerca da trigonometria. CC. 2018.

Fonte: Os autores (2022).

Quanto aos trabalhos referentes às duas edições da CNMEM, elegemos doze para a análise por apresentarem evidências de realização de experimentos. A relação desses trabalhos encontra-se apresentada no Quadro 3, no qual utilizamos a letra C seguida de um número para a sua identificação.

Quadro 3 – Trabalhos selecionados dos anais do CNMEM

Identificação	Título
C1	LITTIG, J.; LORENZONI, L. L. O desenvolvimento do conhecimento reflexivo no ambiente de modelagem matemática a partir das discussões matemáticas, técnicas e reflexivas. CC. 2017.
C2	MENEGUELLI, L.; REZENDE, O. L. T.; LORENZONI, L. L. Desenvolvimento de competências estatísticas numa atividade de modelagem matemática. CC. 2017.
C3	RONCHETTI, W. A.; OLARIO, E. M. V.; REZENDE, O. L. T.; LORENZONI, L. L. As ações cognitivas e a atividade de modelagem matemática na aprendizagem de funções. CC. 2017.
C4	BRITO, D. S.; ALMEIDA, L. M. W. Aprendizagem na modelagem matemática: em busca de uma compreensão fenomenológica. CC. 2017.
C5	SOUZA, H. C. T.; OLIVEIRA, C. F.; ALMEIDA, L. M. W. O seguir regras em uma atividade de modelagem matemática. CC. 2017.
C6	CERON, C. G. S.; BORSSOI, A. H. O crescimento do pé de feijão: uma atividade de modelagem nos anos iniciais. CC. 2019.
C7	SOUZA, B. N. P. A.; ALMEIDA, L. M. W. Regras, convenções e o uso da matemática em atividades de modelagem matemática. CC. 2019.
C8	VIDOTTI, D. B.; KATO, L. A. O uso de erros matemáticos ocorridos no desenvolvimento de uma atividade de modelagem como um incentivo para novas descobertas. CC. 2019.
C9	VIANA, E. R.; VERTUAN, R. E. Estratégias de criatividade em atividades de modelagem: uma reflexão metodológica.
C10	ARAKI, P. H. H.; SILVA, K. A. P. Mobilização de recursos semióticos por alunos nos diferentes momentos de familiarização com a modelagem matemática. CC. 2019.

C11	ROCHA, R. A. R.; SILVA, K. A. P. Signos interpretantes no processo de comunicação em uma atividade de modelagem matemática. CC. 2019.
C12	KOGA, T. M.; SILVA, K. A. P. Estratégias heurísticas reveladas pelos signos em uma atividade de modelagem matemática. CC. 2019.

Fonte: Os autores (2022).

No que se referem às pesquisas decorrentes dos capítulos dos livros do ICTMA, a leitura inicial dos textos revelou a presença de sete trabalhos que associavam experimentação e Modelagem. No Quadro 4 trazemos uma relação desses trabalhos, identificados pela letra I seguida de um número.

Quadro 4 – Trabalhos selecionados dos livros do ICTMA

Identificação	Título
I1	CARON, F.; PINEAU, K. L'Hospital's weight problem: testing the boundaries between Mathematics and Physics and between application and modeling. 2017.
I2	KAWAKAMI, T. Combining models related to data distribution through productive experimentation. 2017.
I3	ORTEGA, M.; PUIG, L. Using modelling and tablets in the classroom to learn quadratic functions. 2017.
I4	KAWAKAMI, T.; KOMEDA, S.; SAEKI, A. Year 6 students' gradual identification of mathematical models of average. 2019.
I5	OREY, D. C.; ROSA, M.; SOARES, R. B. Mathematical modelling as a learning environment. 2019.
I6	BROWN, J. P. Expectations for challenge in modelling and its assessment. 2019.
I7	GOVENDER, R. Mathematical modelling: a 'growing tree' for creative and flexible thinking in pre-service mathematics. 2019.

Fonte: Os autores (2022).

É válido destacar que, apesar de outros textos abordarem as potencialidades da coleta de dados empíricos em atividades de modelagem, optamos em selecionar para análise aqueles nos quais a experimentação, de fato, se mostrava presente no decorrer do ciclo de modelagem.

A partir da seleção dos trabalhos que compuseram o *corpus* de nossa pesquisa, foram realizadas as leituras na íntegra dos textos que apresentavam indícios de realização de experimentos no contexto da atividade de modelagem. Tal etapa buscou identificar os objetivos apresentados pelos autores, o aporte teórico considerado, os resultados e as discussões apresentadas sobre as atividades.

De modo a realizar inferências acerca dos trabalhos coletados, recorreremos à Análise de Conteúdo enquanto metodologia de análise de dados. Segundo Bardin (2016, p. 24), essa vertente metodológica se enquadra enquanto uma “técnica de investigação que tem por finalidade a descrição objetiva, sistemática e quantitativa do conteúdo manifesto da comunicação”. Neste sentido, constitui-se enquanto um procedimento para a descrição e interpretação de um conjunto de textos e documentos.

5 ANÁLISE E DISCUSSÃO

A partir da leitura integral dos 24 textos selecionados e motivados pela interrogação que orientou o nosso trabalho, julgamos pertinente levar em consideração três aspectos: 1 – *A área de conhecimento dos experimentos*; 2 – *O tipo de experimento*; e 3 – *A ocorrência da experimentação*. De um ponto de vista da Análise de Conteúdo, esses aspectos constituem unidades de contexto para a análise dos documentos.

Sobre a unidade de contexto “1 – *A área de conhecimento dos experimentos*”, a leitura dos documentos nos permitiu inferir acerca da área de origem da experimentação e, por consequência, a sua relação com a Modelagem. Deste modo, foi possível observar a presença de cinco unidades de registro distintas: *Experimentos de Física*, *Experimentos de Química*, *Experimentos de Biologia*, *Experimentos de Ciências* e *Experimentos de Matemática*. No Quadro 5 apresentamos uma classificação dos trabalhos selecionados levando em consideração a unitarização proposta.

Quadro 5 – Unitarização dos trabalhos quanto às áreas de conhecimento mobilizadas

Unidade de contexto	Unidades de registro	Trabalhos
1 - Sobre a área de conhecimento dos experimentos	Experimentos de Física	E1, E2, C2, C5, C10, I1, I2, I3, I4, I6
	Experimentos de Química	C10 ⁴ , C11, C12
	Experimentos de Biologia	E3, C7
	Experimentos de Ciências	C6
	Experimentos de Matemática	E4, E5, C1, C3, C4, C8, C9, I5, I7

Fonte: Os autores (2022).

Em dez trabalhos observamos a presença de experimentos acerca de conceitos oriundos da Física, como a mecânica e a termologia. Três trabalhos apresentaram experimentos sobre conceitos da Química, como a química inorgânica. Em dois trabalhos houve o desenvolvimento de atividades de modelagem associadas à experimentação de conceitos da Biologia, como a microbiologia. Um trabalho apresentou a discussão de uma atividade de modelagem conduzida com alunos dos anos iniciais do Ensino Fundamental a partir da experimentação envolvendo o conceito de vida e evolução, abordado na disciplina de Ciências. Outros nove trabalhos apresentaram discussões acerca de atividades de modelagem relacionadas com a experimentação de conceitos da Matemática, tais como a geometria e a álgebra.

A experimentação no âmbito do ensino de Ciências pode ser tida enquanto um meio de promoção da aprendizagem ao se considerar a comprovação de leis e teorias a partir da observação experimental de fenômenos (SILVA NETO, 2015). Para além de constituir uma possibilidade de observação de leis e teorias estudadas em sala de aula, Moreira e Gonçalves (1980) afirmam que a promoção de um ambiente de realização de experimentos favorece o

⁴ O trabalho C10 apresenta a descrição e discussão de três experimentos, sendo dois relacionados à Física e um à Química e, portanto, aparece em ambas as áreas de conhecimento.

desenvolvimento da capacidade de generalização conceitual por parte dos alunos, tomando como base os procedimentos de observação e coleta de dados empíricos.

Quanto à relação existente entre experimentação e Matemática, podemos evidenciar a presença de duas situações: a experimentação enquanto ponte de ligação entre conhecimentos matemáticos e científicos e a experimentação a partir de conhecimentos matemáticos. Sobre a primeira, Oliveira (2015) afirma que essa associação leva em consideração o potencial da Matemática para a compreensão do mundo, pois:

É certo que os avanços nas ciências experimentais estimularam muitas vezes o aparecimento de novas ideias em matemática: Newton, por exemplo, para compreender a força gravítica e o movimento dos planetas em torno do Sol, desenvolveu um novo ramo da matemática (o Cálculo Diferencial, também descoberto por Leibniz de forma independente). Outras vezes são os avanços da matemática que conduzem ao progresso das ciências experimentais: a teoria da relatividade de Einstein (1915) encontrou na geometria de Riemann (1850) os fundamentos matemáticos que necessitava (OLIVEIRA, 2015, p. 7).

No que se refere à experimentação a partir de conteúdos matemáticos Sá (2020), argumenta que o ensino de Matemática por atividade experimental pode ser desenvolvido a partir da realização de tarefas cujo objetivo central seja evidenciar determinado conceito matemático. Para isso, faz-se uso de materiais e procedimentos que permitem aos alunos a realização de análises e reflexões acerca dos resultados obtidos a partir dessas atividades.

Com isso, a associação entre experimentação e Modelagem vai ao encontro da percepção de Modelagem de Almeida, Silva e Vertuan (2012, p. 18), uma vez que “o aluno se depara com a necessidade de comparação e distinção de ideias, generalização de fatos, articulação de conhecimentos de diferentes áreas”.

A respeito da unidade de contexto “2 – *O tipo de experimento*”, vislumbramos identificar as relações evidenciadas entre experimentação e Modelagem, com destaque ao tipo de experimentação que se mostrou presente no decorrer da atividade desenvolvida. Embasados na classificação proposta por Araújo e Abib (2003), apresentamos no Quadro 6 a unitarização dos trabalhos de acordo com as três unidades de registro emergentes.

Quadro 6 – Unitarização dos trabalhos quanto ao tipo de experimentação

Unidade de contexto	Unidades de registro	Trabalhos
2 - Sobre o tipo de experimentação	Experimentos de demonstração/observação	I3
	Experimentos de verificação	E5, C3,C6, C8, C11, I1, I4, I6, I7
	Experimentos investigativos	E1, E2, E3, E4, C1, C2, C4, C5, C7, C9, C12, I2, I5

Fonte: Os autores (2022).

A unidade de registro “*Experimentos de demonstração/observação*” é constituída por um trabalho. O principal aspecto que emergiu dessa categoria veio a ser a utilização de experimentos para a formalização de conceitos ainda não estudados pelos alunos. No trabalho

I3, os autores discutem acerca de uma atividade de modelagem que envolve a relação existente entre a altura de uma bola arremessada e o tempo decorrido. Com base na matematização do fenômeno, evidenciou-se que o modelo matemático deduzido era constituído por uma função quadrática. Ao término da atividade, então, o professor elucidou alguns conceitos referentes à cinemática, de modo que a atividade serviu de introdução para o estudo acerca dos movimentos retilíneos uniformemente variados.

Neste caso, a realização de experimentos de demonstração/observação em contexto de atividades de modelagem matemática pode estar relacionada com o início de uma sequência didática (ETKINA et al., 2002). Logo, o modelo matemático e sua interpretação em termos da situação inicial podem constituir o ponto de partida para o estudo de determinado conceito.

A respeito da unidade de registro “*Experimentos de verificação*”, evidenciamos a presença de nove trabalhos. Dentre as características concomitantes, percebemos que os experimentos propostos estavam de acordo com a definição de Araújo e Abib (2003), ou seja, abordavam uma teoria ou um conceito estudado anteriormente. Dentre as ocorrências dos experimentos de verificação, percebemos que os mesmos poderiam estar relacionados aos questionamentos de alunos acerca do conceito estudado, seja ao término de uma unidade de estudo ou ao término de uma disciplina.

Em três trabalhos a atividade surgiu a partir de indagações de alunos sobre os conceitos que estavam sendo estudados em sala de aula. No trabalho E5 a motivação por trás da realização da atividade se deu a partir da utilização prática da trigonometria, conteúdo abordado nas aulas de Matemática. Para tanto, foi proposta a construção e o manuseio de um teodolito⁵ visando a aferição da altura da caixa d’água do colégio. De maneira similar, os autores de I7 discutem acerca de uma proposta de investigação envolvendo conceitos da trigonometria e da proporcionalidade para a determinação da altura de uma árvore.

No caso do trabalho C11, os autores partem de um questionamento evidenciado no diálogo entre alunos – “*porque será que a garrafa ‘soa’ quando enche de água gelada*” – para a proposição de uma atividade de modelagem envolvendo a condensação da água e o ponto de orvalho⁶.

A realização de experimentos a partir de indagações dos alunos pode contribuir para que haja uma aproximação dos mesmos com o objeto de estudo, na promoção de uma curiosidade epistemológica. Segundo Francisco Junior, Ferreira e Hartwig (2008, p. 26), a partir do desenvolvimento dessa curiosidade, “a discussão e problematização dos resultados para a consequente aprendizagem terão efeitos e serão mais efetivos”, contribuindo para o desenvolvimento da capacidade crítica do aluno.

Em quatro atividades, os experimentos de verificação se mostraram presentes ao término de uma unidade de estudo. Na atividade apresentada no trabalho C3, após o estudo de razão áurea, foi proposto um experimento para a identificação das relações tidas como “perfeitas” no corpo humano, recorrendo à mensuração de diferentes partes e a sua com o número de ouro. No caso da atividade apresentada e discutida no trabalho C6, as autoras descrevem o desenvolvimento do processo de observação e coleta de dados referentes ao crescimento de um

⁵ Instrumento de precisão utilizado na mensuração de ângulos verticais e horizontais, frequentemente utilizado na topologia e na geofísica.

⁶ Temperatura em que o vapor de água contido no ar passa para o estado líquido.

pé de feijão, conduzido após os estudos na disciplina de Ciência acerca do desenvolvimento de plantas.

No trabalho I4, os autores apresentam uma atividade de modelagem desenvolvida após o estudo do conceito de velocidade, na qual os alunos buscavam evidenciar a relação presente em gráficos plotados com o auxílio de sensores de detecção de movimento e calculadoras gráficas. Quanto ao trabalho I6, após o estudo da Lei de resfriamento de Newton, os alunos buscaram investigar o resfriamento de café no interior de copos feitos a partir de diferentes materiais.

Ao analisarmos esses trabalhos, percebemos que a proposição de experimentos após o estudo de uma unidade teórica demonstra ser favorável ao processo de aprendizagem do aluno, uma vez que “este tipo de atividade estimula, ao máximo, a interatividade intelectual, física e social, contribuindo, sobremaneira, para a formação de conceitos” (BASSOLI, 2014, p. 583).

A terceira ocorrência de experimentos de verificação veio a ser a realização de experimentos ao término de um curso ou disciplina, contando com dois trabalhos. No trabalho C8 a atividade de modelagem desenvolvida consistiu na determinação de uma equação capaz de representar a superfície de uma laranja. Para tanto, a partir da realização de experimentos para a determinação do volume da laranja e a relação com a quantidade de suco que era extraída, os alunos mobilizaram os conhecimentos construídos ao longo da disciplina de Cálculo Diferencial e Integral II.

Quanto à discussão conduzida em I1, os autores propuseram a realização de um experimento baseado no problema de otimização de L'Hospital, no qual os conhecimentos acerca do estudo de vetores de força, geometria e trigonometria foram mobilizados para a identificação do centro de equilíbrio de um peso disposto em um sistema de polias.

A proposição desses experimentos, ao término de cursos ou disciplinas, vai ao encontro da concepção proposta por Araújo e Abib (2003, p. 183), dada a “capacidade de facilitar a interpretação dos parâmetros que determinam o comportamento dos parâmetros que determinam o comportamento dos sistemas físicos estudados”. Nesse sentido, o conhecimento matemático e a Modelagem contribuem para a formalização do conhecimento científico construído ao longo do curso ou da disciplina.

Por fim, a unidade de registro “*Experimentos investigativos*” englobou treze trabalhos. De maneira geral, os experimentos propostos recorreram a duas situações específicas: a investigação conduzida a partir de problemas cotidianos e a investigação de um marco conceitual.

Um dos temas mais recorrentes acerca da investigação de problemas cotidianos envolveu o estudo de problemas envolvendo alimentos. No trabalho E2 os autores apresentaram uma discussão acerca de um experimento de resfriamento de um mousse de maracujá no interior de um refrigerador. Na investigação apresentada em C12 os autores apresentaram um experimento destinado para a identificação do modo como diferentes misturas caseiras agiam ao substituir o fermento industrializado. Já no trabalho E1, foi apresentada e discutida uma atividade envolvendo o processo de aquecimento e resfriamento de grãos de café torrados.

Outro tema de investigação que se mostrou recorrente foi a proposição de atividades envolvendo o ambiente escolar. O trabalho C1 tratou da avaliação da quantidade de água necessária para a irrigação de um canteiro da escola. Ainda, em C2 os autores apresentaram o

desenvolvimento de uma atividade voltada para a investigação dos níveis de ruído e temperatura em diferentes locais dentro de uma mesma escola.

Temas envolvendo experimentos investigativos, como o tempo necessário para se carregar completamente a bateria de um telefone celular (E4), a quantidade de vezes que uma pessoa pisca em um dia e a forma como esse número varia em determinadas situações, como ao assistir à televisão (C9), a construção de carrinhos de rolimã e a maneira como as suas dimensões influenciariam na velocidade atingida (I5) se mostraram presentes no decorrer da nossa análise.

Em comum, esses experimentos investigativos relacionavam fenômenos observados em situações típicas encontradas no cotidiano enquanto subsídio para a atividade de modelagem. Com isso, concordamos com Araújo e Abib (2003, p. 186) ao apontarem que a abordagem dessas situações “são consideradas como fundamentais para a formação das concepções espontâneas dos estudantes”, sobretudo ao se considerarem as possibilidades de associação dos conteúdos escolares com a realidade do mundo que os cerca.

Por sua vez, outros seis trabalhos apresentaram análises e discussões acerca de atividades de modelagem envolvendo a experimentação investigativa de um marco conceitual. Em comum, percebemos que o problema que originou a atividade de modelagem partiu da investigação de uma situação específica ao estudo de determinado conceito.

O trabalho E3 apresentou uma proposta de investigação envolvendo o crescimento de uma cultura de bactéria *Escherichia coli* em função do tempo, levando em consideração as condições necessárias para a reprodução desse micro-organismo. No trabalho C4, os autores discutiram uma atividade de modelagem voltada para a investigação de eventuais relações existentes entre o volume de refrigerante no interior de uma lata e a sua capacidade de permanecer em equilíbrio, quando apoiada de maneira inclinada em relação ao solo.

Em C5, a investigação apresentada envolveu a análise da ação de pedalada de uma bicicleta com o auxílio de um *software* de análise de vídeo, buscando evidenciar as relações dessa ação com o movimento circular uniforme. Quanto ao trabalho C7, foi apresentada uma atividade de modelagem acerca da investigação da relação entre o peso e o comprimento de peixes da espécie *Poecilia reticulata* em dois ribeirões, levando em consideração as diferenças morfológicas e alimentares desses peixes nos diferentes pontos de coleta.

O trabalho C10 apresenta três atividades de modelagem distintas, correspondentes a diferentes momentos de familiarização⁷ do aluno com a Modelagem, com base em três temáticas distintas: a investigação de relações existentes entre o tempo de combustão de uma amostra de alimento e a quantidade de calorias; as diferenças observadas no funcionamento de canhões de vórtex⁸ de diferentes diâmetros e a distância percorrida pelo ar expelido; e a

⁷ Para Almeida, Silva e Vertuan (2012), o desenvolvimento de atividades de modelagem em um ambiente de ensino e aprendizagem ocorre de maneira gradativa, em três momentos de familiarização do aluno com a Modelagem: no *primeiro momento* ocorre o primeiro contato entre os alunos com a Modelagem, de modo que o professor estabelece uma situação problemática e os dados necessários para o desenvolvimento da atividade; no *segundo momento*, o professor estabelece uma situação problemática e os alunos devem trabalhar em busca da complementação das informações necessárias para a dedução do modelo; e no *terceiro momento* os alunos desenvolvem a atividade de modelagem em sua completude, desde a definição da situação problemática à dedução do modelo matemático.

⁸ Instrumento utilizado para a projeção de ar em altas velocidades.

influência de diferentes proporções de reagentes na confecção de um polímero com relação a sua elasticidade.

Por fim, o autor do trabalho I2 apresenta uma proposta de investigação conduzida por alunos de uma escola japonesa acerca do tempo de voo de helicópteros confeccionados em papel lançados de uma altura determinada com base no tamanho de suas lâminas. Para tanto, os alunos recorreram à construção de gráficos e histogramas para a representação da distribuição dos tempos de voos obtidos no decorrer da atividade, em um esforço para que os dados obtidos contribuíssem para uma discussão estatística dos experimentos.

Neste sentido, podemos afirmar que, até certa extensão, os experimentos investigativos acerca de determinado marco teórico, em contexto de atividade de modelagem, contribuíram para o entendimento de determinado fenômeno, tomando-se como ponto de partida os conhecimentos construídos ao longo das disciplinas escolares. Assim, concordamos com Bassoli (2014, p. 583) ao afirmar que tais experimentos promovem a “aproximação entre a ‘ciência dos cientistas’, considerando-se o seu contexto cultura, e a ‘ciência escolar’, de modo a trazer, para a escola, aspectos inerentes à prática dos cientistas”.

Já no que se refere à unidade de contexto “3 – *A ocorrência da experimentação*”, nossa análise buscou contemplar a forma como a experimentação dialogava com as ações de uma atividade de modelagem, propostas por Blum e Leiß (2007). Para tal, a unitarização contemplou quatro unidades de registro, como evidenciado no Quadro 7: *Experimentos de coleta de dados*; *Experimentos de simulação*; *Experimentos de trabalho matemático*; e *Experimentos de validação*.

Quadro 7 – Unitarização dos trabalhos quanto à ocorrência da experimentação

Unidade de contexto	Unidades de registro	Trabalhos
3 - Sobre a ocorrência da experimentação	Experimento de coleta de dados	E1, E2, E4, C2, C3, C5, C6, C7, C9, C10, C11, C12, I2, I6
	Experimento de simulação	C10, I1, I5
	Experimento de trabalho matemático	E3, E5, C1, C4, C8, I3, I4, I7
	Experimento de validação	C5, C10, C11

Fonte: Os autores (2022).

A unidade de registro “*Experimento de coleta de dados*” foi a mais numerosa, contando com catorze trabalhos cuja motivação para a experimentação foi decorrente da necessidade de coleta de dados quantitativos para serem utilizados no decorrer da atividade de modelagem. Neste caso, os experimentos realizados contemplaram o fenômeno que serviu de situação inicial para a atividade de modelagem.

Similarmente, os três trabalhos referentes à unidade de registro “*Experimento de simulação*” também foram motivados pelo aspecto quantitativo decorrente da experimentação. Todavia, os experimentos realizados constituíram-se enquanto simulações de fenômenos: a construção e manuseio de um instrumento para simular a determinação do valor energético de

alimentos (C10); a utilização de um sistema de polias para a simulação do problema proposto por L'Hospital (I1); a construção de modelos que simulavam carrinhos de rolimã (I5).

De forma geral, os experimentos de coleta de dados e os experimentos de simulação ocorreram entre as ações “*entendimento do problema*” e “*simplificação do problema*” da atividade de modelagem. Isso se torna evidente ao considerarmos que tais experimentos permitiram evidenciar alguns aspectos do fenômeno, tais como as variáveis que poderiam ser utilizadas para o desenvolvimento da atividade.

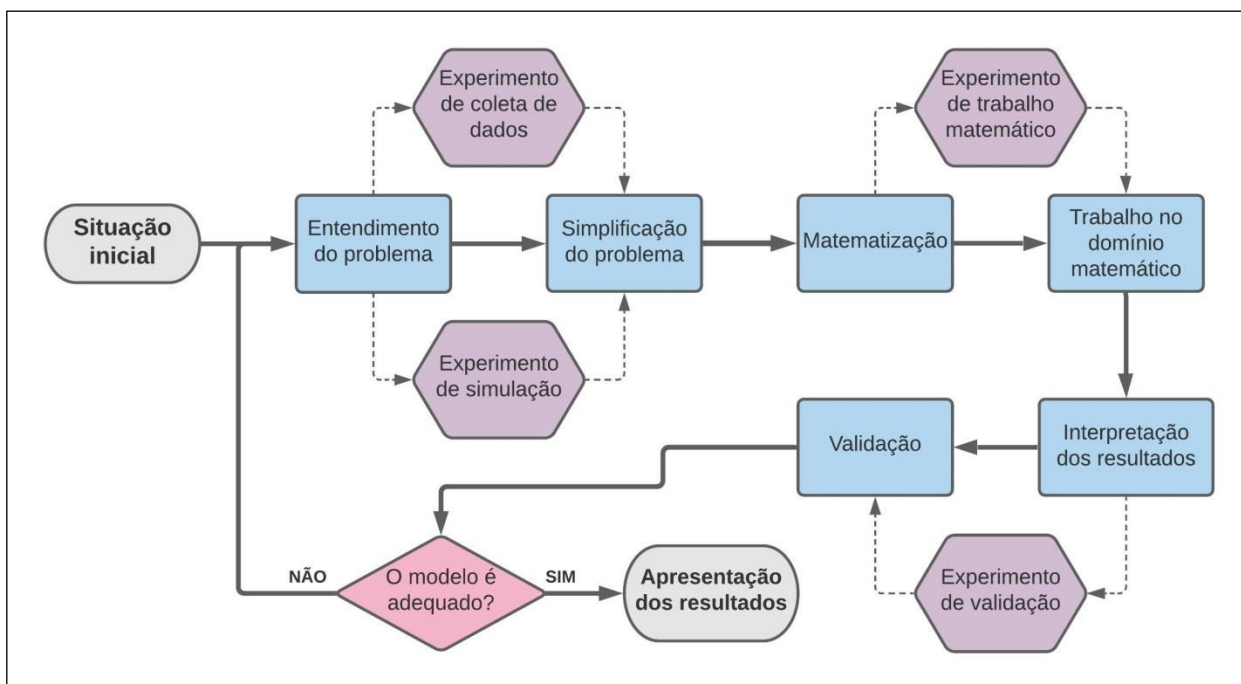
No caso da unidade de registro “*Trabalho matemático*”, observamos a presença de oito trabalhos. Em comum, eles recorrem à experimentação entre as ações de “*matematização*” e “*trabalho no domínio matemático*” da atividade de modelagem, uma vez que evidenciaram a relação entre um fenômeno e um conceito matemático determinado.

Por fim, três trabalhos recorreram à experimentação para a validação do modelo matemático obtido. É importante destacar, contudo, que esses trabalhos também apresentaram a experimentação para a coleta de dados utilizados na atividade de modelagem, de modo que os mesmos experimentos foram revisitados ao final da atividade. Com isso, torna-se evidente a relação obtida entre as ações da atividade de modelagem, e o resultado obtido para a situação inicial por meio do modelo matemático deduzido, e o fenômeno presenciado experimentalmente.

Em termos gerais, a análise dos trabalhos que tratam da experimentação em contexto de atividades de modelagem nos permitiu concluir que, ao optarem por um ambiente de condução de experimentos para a abordagem de fenômenos diversos, os autores consideraram a experimentação enquanto elemento constituinte da atividade. Desta forma, a experimentação se torna evidente entre as ações para o desenvolvimento de atividades de Modelagem no que decorre principalmente em relação a ocorrência da experimentação: experimentos de coleta de dados; experimentos de simulação; experimentos de trabalho matemático; e experimentos de validação.

A partir de uma situação inicial, o aluno que desenvolve uma atividade de modelagem na qual faz uso da experimentação, precisa entender o problema e, em muitos casos simplificá-lo. Nessas duas ações podem ser alocados experimentos de coleta de dados e experimentos de simulação considerando as características de inteiração com o fenômeno investigado. Os experimentos de trabalho matemático, de modo geral, requerem ações de matematizar os dados e, com isso, uma abordagem para o trabalho no domínio da matemática cujo principal objetivo é a dedução de um modelo matemático. O modelo matemático precisa ser interpretado e validado, neste sentido, entre as ações de interpretação e validação se alocam os experimentos caracterizados na nossa pesquisa como de validação. Quando um modelo matemático é considerado válido (adequado) para o que se está investigando no momento, pode ser compartilhado com a comunidade por meio da comunicação de seus resultados. Na Figura 1, organizamos um ciclo de modelagem destacando as ações e localização da unitarização quanto à ocorrência da experimentação.

Figura 1 – Unitarização dos trabalhos quanto à ocorrência da experimentação



Fonte: Os autores (2022).

Corroborando esse entendimento, Carreira e Baioa (2011) apontam para as potencialidades de inclusão da experimentação em atividades de modelagem, embasadas em três fatos:

- (1) Os alunos têm a oportunidade de aprender fazendo (enquanto executam manipulação e experimentação reais, se engajam em conjecturar e validar).
- (2) Trabalhar com materiais físicos concretos é uma maneira de investigar as propriedades matemáticas dos objetos.
- (3) Investigar por meio da experimentação reflete sobre ações mentais e sobre a aprendizagem subsequente de ideias matemáticas e se torna uma maneira de desenvolver compreensão de modelos matemáticos (CARREIRA; BAIOA, 2011, p. 214, tradução nossa).

Ao retornarmos aos trabalhos analisados, percebemos que, com efeito, os fatos apontados por essas autoras se fizeram presentes nas atividades relatadas. Quanto ao primeiro fato, as oportunidades de aprendizagem ocorreram, sobretudo ao considerarmos os experimentos de demonstração/observação e de verificação, nos quais as contribuições da experimentação se mostraram mais proeminentes. No que se refere ao segundo fato, ao recorrer a materiais físicos para o estudo da trigonometria ou da álgebra, por exemplo, houve a promoção da investigação das propriedades matemáticas. Quanto ao terceiro fato, foi possível evidenciar que, em alguns casos, a realização de experimentos contribuiu para o entendimento dos modelos matemáticos, uma vez que permitiu a realização de conjecturas e analogias entre o fenômeno observado e as ideias matemáticas mobilizadas na atividade de modelagem.

Deste modo, a experimentação em contexto de atividades de modelagem apresenta suas potencialidades e pode constituir um tema de relevância para os estudos envolvendo a Modelagem. Todavia, concordamos com Francisco Junior, Ferreira e Hartwig (2008, p. 40) quando afirmam que “o que não se pode é cair no pensamento empirista, para o qual apenas as observações são suficientes para interpretar e explicar fenômenos da natureza”. Neste sentido,

os resultados decorrentes da experimentação e a investigação matemática empreendidos pela Modelagem se complementam e constituem uma poderosa ferramenta à mão do professor para o processo de ensino e de aprendizagem, tanto no âmbito da Matemática quanto das Ciências.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A investigação que conduzimos, acerca da interrogação “*o que revelam as pesquisas apresentadas em eventos sobre Modelagem Matemática nas quais a experimentação se constitui enquanto elemento da atividade de modelagem?*” evidenciou que a associação entre a experimentação e a Modelagem Matemática pode contribuir para o processo de ensino e de aprendizagem.

Com base em uma análise quantitativa dos trabalhos selecionados, podemos evidenciar que essa temática ainda constitui um assunto em aberto e em pleno desenvolvimento na área, uma vez que pouco menos de 12% dos trabalhos, até certa extensão, tratam da articulação entre experimentos e Modelagem. Todavia, a comparação entre a quantidade de trabalhos encontrados nas últimas edições dos eventos e nas edições anteriores revela um breve aumento em sua frequência.

A análise dos textos reiterou que, embora haja a mobilização de diferentes áreas do conhecimento, de diferentes formas e em diferentes momentos, as atividades propostas, quase unanimemente, buscaram conciliar o entendimento que o aluno tem acerca de um fenômeno, real ou conceitual, com a Matemática. Logo, podemos pontuar que, a opção pela recorrência a experimentos no contexto de uma atividade de modelagem, para além de possibilitar a compreensão do fenômeno a partir de um viés matemático, favorece para que o aluno contemple a contextualização do saber matemático.

Além das considerações mencionadas, o presente estudo indicou a relação presente entre experimentação e Modelagem em termos das disciplinas de Matemática e suas correlatas, uma vez que os eventos selecionados estão voltados para o âmbito da Educação Matemática, logo seriam estas as suas áreas de interesse. Neste sentido, emergem algumas questões como: *Quais as contribuições de trabalhos publicados em eventos da área da Educação Científica para o presente assunto? E quanto à produção acadêmica, o que revelaria uma pesquisa conduzida em repositórios de teses e dissertações? Ao considerarmos os parâmetros do ensino de STEM (Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática), de que forma a tecnologia influencia a realização de experimentos em contexto de Modelagem?* Tais questões emergem enquanto novas possibilidades de estudos, evidenciando a potencialidade dessa discussão em diversas áreas.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L. M. W.; SILVA, K. A. P. A ação dos signos e o conhecimento de alunos em atividades de modelagem matemática. **Bolema**, v. 31, n. 57, p. 202-219, 2017.
- ALMEIDA, L. M. W.; SILVA, K. A. P.; VERTUAN, R. E. **Modelagem Matemática na educação básica**. São Paulo: Contexto, 2012.
- ALVES FILHO, J. P. **Atividades experimentais: do método à prática construtivista**. 2000. 448 f. Tese (Doutorado em Educação) – Centro de Ciências da Educação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.
- ARAKI, P. H. H. **Atividades experimentais investigativas em contexto de aulas com modelagem matemática: uma análise semiótica**. 2020. 169 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Matemática) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2020.
- ARAÚJO, M. S. T.; ABIB, M. L. V. S. Atividades experimentais no ensino de Física; diferentes enfoques, diferentes finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 25, n. 2, p. 176-194, 2003.
- BARBOSA, J. C. Modelagem e modelos matemáticos na educação científica. **Alexandria**, v. 2, n. 2, p. 69-85, 2009.
- BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2016.
- BASSOLI, F. Atividades práticas e o ensino-aprendizagem de ciências(s): mitos, tendências e distorções. **Ciência & Educação**, v. 20, n. 3, p. 579-593, 2014.
- BATISTA, M. C. **A utilização da experimentação no ensino de Física: modelando um ambiente de aprendizagem**. 2009. 84 f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência e a Matemática) – Centro de Ciências Exatas, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2009.
- BLUM, W.; LEIß, D. How do teachers deal with modelling problems? In: HAINES, C.; GALBRAITH, P.; BLUM, W.; KHAN, S. (Eds.), **Mathematical modelling: Education, engineering and economics**. Chichester: Horwood, 2007, p. 222-231.
- CARARO, E. F. F.; VERTUAN, R. E. Modelagem Matemática na Educação Matemática: uma experiência no ensino médio. **Revista Dynamis**, v. 26, n. 2, p. 100-121, 2020.
- CARREIRA, S. **Significado e aprendizagem da Matemática: dos problemas de aplicação à produção de metáforas conceituais**. 1998. 666 f. Tese (Doutoramento em Educação – Especialidade de Didática da Matemática). Lisboa: Departamento de Educação da Faculdade de Ciências – Universidade de Lisboa 1998.

CARREIRA, S.; BAILOA, A. M. Students' modelling routes in the context of objects manipulation and experimentation in mathematics. In: KAISER, G.; BLUM, W.; BORROMEO FERRI, R.; STILLMAN, G. (Eds). **Trends in Teaching and Learning of Mathematical Modelling**. New York: Springer, 2011, p. 211-220.

ETKINA, E.; VAN HEUVELEN, A.; BROOKES, D. T.; MILLS, D. Role of experiments in Physics instruction – a process approach. **The Physics Teacher**, v. 40, n. 6, p. 351-355, 2002.
FERREIRA, N. S. A. As pesquisas denominadas “estado da arte”. **Educação & Sociedade**, v. 23, n. 79, p. 257-272, 2002.

FRANCISCO JUNIOR, W. E.; FERREIRA, L. H.; HARTWIG, D. R. Experimentação problematizadora: fundamentos teóricos e práticos para a aplicação em salas de aula de ciências. **Química Nova na Escola**, v. 30, n. 4, p. 34-41, 2008.

HEIDEMANN, L. A. Ciclos de modelagem: uma proposta para integrar atividades baseadas em simulações computacionais e atividades experimentais no ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, n. especial 2, p. 965-1007, 2012.

HERMINIO, M. H. G. B.; BORBA, M. C. A noção de interesse em projetos de modelagem matemática. **Educação Matemática Pesquisa**, v. 12, n. 1, p. 111-127, 2010.

HODSON, D. Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. **Enseñanza de Las Ciencias**, v. 12, n. 3, p. 299-313, 1994.

LESH, R.; CARMONA, G.; HJALMARSON, M. Models and modeling working group. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE NORTH AMERICAN CHAPTER OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR THE PSYCHOLOGY OF MATHEMATICS EDUCATION, 28., 2006, Mérida. **Proceedings...** Mérida: PMENA, 2006, p. 1-4.

MALHEIROS, A. P. S. Pesquisa em modelagem matemática e diferentes tendências em educação e em educação matemática. **Bolema**, v. 26, n. 43, p. 861-882, 2012.

MARTINI, V. P.; SILVEIRA, R. M. C. F. Experimento investigativo a partir dos saberes populares em um enfoque CTS: uma proposta a partir do projeto de extensão para a formação de professores de Química. **Revista Dynamis**, v. 24, n. 2, p. 56-77, 2018.

MOREIRA, M. A.; GONÇALVES, E. N. Laboratório de física estruturado e não estruturado. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 10, n. 2, p. 367-381, 1980.

MUTTI, G. S. L.; MATIOLI, C. E. R. ; KLÜBER, T. E. Modelagem matemática e a teoria dos registros de representação semiótica: uma análise a partir dos artigos publicados na Conferência Nacional sobre Modelagem na Educação Matemática. **Revista Dynamis**, v. 24, n. 2, p. 21-42, 2018.

NEVES, D. R. M. **A experimentação no ensino de física com o uso da eletrônica:** possibilidades e desafios para a formação de professores. 2019. 260 f. Dissertação (Mestrado

em Ensino de Ciências e Matemática) – Instituto de Ciências Ambientais, Químicas e Farmacêuticas, Universidade Federal de São Paulo, Diadema, 2019.

NISS, M.; BLUM, W.; GALBRAITH, P. L. Introduction. In: BLUM, W.; GALBRAITH, P. L.; HENN, W.-H.; NISS, M. (Eds.). **Applications and modelling in mathematics education**. New York: Springer, 2007, p. 3-32.

OLIVEIRA, M. C. P. S. **Da modelação matemática à simulação computacional: a experimentação matemática no ensino**. 2015. 382 f. Tese (Doutoramento em Ciências - área de especialização em Matemática) - Escola de Ciências, Universidade do Minho, Braga, 2015.

SÁ, P. F. As atividades experimentais no ensino de matemática. **Revista de Matemática, Ensino e Cultura**, v. 15, n. 35, p. 143-162, 2020.

SCHWARZ, A. The becoming of the experimental mode. **Scientiae Studia**, v. 10, p. 65-83, 2012.

SILVA NETO, M. J. **Ensino de Física pela comparação entre experimento e modelo teórico com uso da modelagem matemática**. 2015. 131 f. Tese (Doutorado em Educação em Ciências e Matemáticas) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2015.