

APLICAÇÃO DE MODELAGEM CIENTÍFICA: SEQUÊNCIA DE ENSINO E APRENDIZAGEM (SEA) PARA O ENSINO DE FÍSICA TÉRMICA

Renata Rios Venancio Severo¹
Emmanuel Marcel Favre-Nicolin²

¹ Instituto Federal do Espírito Santo – Campus Cariacica. Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF – Polo 33). E-mail: renatarios87@yahoo.com.br

² Instituto Federal do Espírito Santo – Campus Cariacica. E-mail: emmanuel@ifes.edu.br

INTRODUÇÃO

O Ensino de Ciências por Investigação deve constituir uma abordagem pedagógica que posiciona o estudante como agente ativo na construção do conhecimento científico, por meio de práticas que envolvem problematização, experimentação, formulação de hipóteses, coleta e análise de dados, além da elaboração e validação de modelos explicativos.. Visto que muitos educandos apresentam dificuldades no estudo da física, principalmente em compreender e fazer uso correto das fórmulas matemáticas presentes em cada assunto, este produto educacional, por meio de uma Sequência de Ensino e Aprendizagem (SEA), tem por intenção dar significado a estas fórmulas, particularmente as utilizadas no estudo de calorimetria, *utilizando modelagem científica a partir de situações-problemas* apresentadas a estudantes do segundo ano do ensino médio, em contribuição a um entendimento mais significativo dos conceitos vinculados ao conteúdo. Para o educador, trazer melhor compreensão para a resolução dos cálculos que envolvem fórmulas é um desafio relacionado ao ensino da matemática da física, especialmente no uso de equações prontas, em que o estudante realiza apenas a substituição de variáveis antes mesmo de entender — ou atribuir — significado a elas. Gehlen e Delizoicov (2009), ao citar Delizoicov (2001), interpretam que a prática comum de resolução de problemas se constitui em práticas pedagógicas fundadas na simples memorização mecânica de fórmulas matemática.

Este produto educacional emerge de uma pesquisa de mestrado desenvolvida entre 2022 e 2025 no âmbito do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), polo 33 do Instituto Federal do Espírito Santo (IFES-Cariacica). Trata-se de uma Sequência de Ensino-Aprendizagem (SEA) composta por 11 aulas totais de 50 minutos cada, destinada a estudantes da 2ª série do Ensino Médio em uma escola pública estadual do Espírito Santo. A proposta fundamenta-se na integração de referenciais teóricos como Instrução por Modelagem (MI) de Hestenes (1992, 1997, 2006), a Pesquisa Baseada em Design – Design-Based Research (DBR), a teoria dos registros de representações semióticas de Raymond Duval (2012), a teoria sociocultural de Lev Vygotsky (2007) com ênfase na Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP), e a tipologia das interações discursivas de Mortimer e Scott (2002, 2016). Essa articulação teórica-prática visa promover a construção coletiva de modelos conceituais e matemáticos a partir de situações-problema e experimentos

acessíveis, rompendo com o ensino tradicional de física térmica (calorimetria) e atendendo às competências investigativas preconizadas pela Base Nacional Comum Curricular (BNCC).

A relevância da SEA reside na sua capacidade de atribuir significado físico às equações térmicas, como $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$, $Q = P \cdot \Delta t$ e $Q = m \cdot L$, frequentemente tratadas como ferramentas operacionais desconectadas do raciocínio conceitual. Aplicada em turma de composta por 25 alunos, a sequência demonstrou avanços consideráveis, embora modestos, na compreensão conceitual, conforme evidenciado por testes, pré e pós-intervenção, e análise qualitativa de modelagens em quadros brancos portáteis. O guia didático, com 46 páginas no formato original, serve como produto tangível replicável, de baixo custo e alta aplicabilidade em contextos escolares públicos.

DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO EDUCACIONAL

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E PROCESSO DE ELABORAÇÃO

A elaboração da SEA seguiu os princípios da DBR, caracterizada por ciclos iterativos de planejamento, implementação, análise e refinamento de intervenções pedagógicas em ambientes autênticos de sala de aula. Essa abordagem metodológica, distinta de experimentos laboratoriais controlados, reconhece a complexidade do contexto escolar e integra o conhecimento prático do professor ao processo investigativo. No presente caso, a DBR permitiu documentar e ajustar a SEA ao longo de sua aplicação em 2022-2024, com base em dados qualitativos em análise das interações discursivas e suas representações em quadros brancos e quantitativos por meio do ganho de Hake a partir dos testes conceituais (Lang e Moreira, 1996).

A MI de Hestenes estrutura o ensino em ciclos de modelagem sequenciais: (1) identificação do problema e exploração conceitual; (2) construção do modelo (qualitativo e matemático); (3) validação empírica via experimentação; (4) aplicação em novos contextos; e (5) refinamento iterativo. Essa organização fomenta o desenvolvimento de competências científicas autênticas, como argumentação, crítica de modelos e articulação entre registros semióticos (verbal, gráfica, algébrica e simbólica), conforme Duval (2012). A mediação docente opera na ZDP vygotskiana, alternando interações dialógicas (exploração de concepções prévias) e de autoridade (síntese conceitual), juntamente com as interações discursivas de Mortimer e Scott (2002).

Este material foi pensado para apoiar o(a) professor(a) da educação básica que deseje implementar uma abordagem mais ativa, reflexiva e dialógica no ensino da física. Espera-se que este material possa contribuir para a valorização da física térmica como conteúdo

com alto potencial formativo, favorecendo a aprendizagem significativa dos estudantes e tornando as aulas mais instigantes e conectadas à realidade.

Materiais utilizados: ebulidor de imersão (1000W), balança digital, copos volumétricos, recipientes de isopor (isolamento térmico), quadros brancos portáteis (90x60cm em MDF com papel contact branco), cronômetros e termômetros digitais. Esses recursos garantem acessibilidade em escolas públicas, com protocolos de segurança.

DESCRIÇÃO DAS MODELAGENS DA SEA

De acordo com o Quadro1, pode-se perceber sua estrutura geral e, em seguida, uma descrição da SEA e das modelagens, com suas principais características e processos envolvidos em cada uma das seis modelagens desenvolvidas, que orientou a investigação e a prática pedagógica deste trabalho. Cada modelagem buscou promover a compreensão dos fenômenos térmicos em seus diferentes aspectos — desde a distinção entre calor e temperatura até as mudanças de estado físico — por meio construção ativa e crítica de modelos que permitem explicar, prever e aplicar os conceitos estudados.

Quadro 1 - Estrutura Geral da SEA

Etapa	Aulas	Duração Total	Objetivos Principais
Diagnóstico	1	50 min	Mapear concepções alternativas (calor vs. temperatura)
Introdução Conceitual	2	50 min	Vídeos introdutórios (ex: diferenciação calor/temperatura)
Modelagens Básicas	3-4	100 min	$Q = m \cdot \Delta T$; introdução c (Modelagens 1-2)
Aprofundamento	5-6	160 min	Consolidação via vídeos/exercícios
Modelagens Avançadas	7-9	150 min	Potência, equilíbrio térmico, calor latente (Modelagens 3-5)
Integração/Avaliação	10-11	160 min	Síntese e pós-teste (Modelagem 6)

Fonte: própria autora

A sequência iniciou com a aula 1, em que os estudantes realizaram um pré-teste conceitual para diagnosticar ideias prévias sobre calor, temperatura e energia, preparando o terreno para a primeira modelagem. Na aula 2, um vídeo introduziu os conceitos básicos de calor e temperatura, reforçando a transição da linguagem cotidiana para a científica e susten-

tando o início da construção dos modelos conceituais, articulando observação, experimentação inicial e discussão guiada.

A aula 3 marcou efetivamente a modelagem 1, quando os estudantes observaram o aquecimento de duas massas diferentes de água utilizando um ebulidor, com as massas previamente medidas em uma balança digital e sob o mesmo intervalo de tempo. Os grupos compararam as variações de temperatura e diferenciaram calor e temperatura de forma qualitativa. A professora conduziu discussões guiadas para que articulassem suas percepções prévias, representassem o fenômeno nos quadros brancos e construíssem, de modo verbal e gráfico, um primeiro modelo qualitativo que relacionava massa, energia absorvida e variação de temperatura. Esse processo consolidou os conceitos térmicos fundamentais e estruturou a base conceitual necessária para avançar à modelagem seguinte.

A aula 4 introduziu a modelagem 2, na qual os estudantes compararam o aquecimento de três substâncias diferentes — água, óleo e álcool — sob as mesmas condições experimentais, registrando massas, temperaturas e tempos. Ao perceberem que cada material atingia uma temperatura final diferente, reconheceram a limitação do modelo qualitativo anterior e identificaram a necessidade de incluir uma grandeza adicional que representasse essa diferença. A análise dos dados levou os grupos a propor coletivamente um fator característico do material, que mais tarde seria interpretado como calor específico. Durante as discussões, os estudantes recorreram a analogias com propriedades já estudadas, como dilatação térmica e ponto de ebulição, argumentando que, se esses comportamentos variam entre substâncias, então o processo de receber ou ceder calor também dependeria de uma característica própria de cada material; essa reflexão sustentou o refinamento da equação para $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$.

Na aula 5, a professora exibiu vídeos que retomavam calor específico, capacidade térmica e calor sensível, esclarecendo pontos que ainda geravam dúvida e conectando teoria e resultados experimentais. Os grupos na aula 6 resolveram exercícios que exigiam aplicar a expressão $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$ em diferentes situações, comparando valores de calor específico e analisando como cada material respondia ao aquecimento. Esse conjunto de atividades consolidou a modelagem 2, fortalecendo a compreensão de que a natureza do material influencia diretamente a quantidade de calor necessária para alterar sua temperatura.

A aula 7 introduziu a modelagem 3, dedicada ao estudo da potência térmica. Nessa atividade, os estudantes observaram o aquecimento controlado realizado com um ebulidor e passaram a relacionar calor e tempo, compreendendo a potência como taxa de transferência de energia ($P = Q/t$). A partir dos dados coletados, compararam o comportamento de materiais com diferentes capacidades térmicas e analisaram como essa característica influenciava o ritmo de aquecimento. Os grupos integraram as expressões $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$ e $Q = P \cdot t$ para resolver situações que exigiam determinar massas, tempos ou variações de temperatura, aplicando simultaneamente os modelos de calor específico e de potência. Esse processo reforçou a importância de validar o modelo com base nas medidas experimentais e consolidou a compreensão de que a potência define a rapidez com que a energia térmica é transferida para o sistema.

Na aula 8, os estudantes desenvolveram a modelagem 4 ao misturar duas massas de água inicialmente em temperaturas diferentes, registrando as variações térmicas e analisando o comportamento do sistema até o estabelecimento de uma temperatura comum. Utilizando múltiplas representações — esquemas, registros numéricos e explicações verbais — compreenderam que o calor cedido pela água mais quente era igual ao calor recebido pela água mais fria, formulando o modelo de conservação expresso por $Q_1 + Q_2 = 0$. Essa etapa enfatizou o processo de troca de calor e permitiu calcular a temperatura de equilíbrio, consolidando a ideia de que o equilíbrio térmico resulta da interação energética entre os sistemas e da conservação da energia no processo.

A aula 9 introduziu a modelagem 5, centrada nas mudanças de estado, por meio de um experimento de fusão do gelo que permitiu aos estudantes observar um processo térmico sem variação de temperatura. Ao acompanhar o derretimento e registrar as medidas, os grupos identificaram que a relação construída até então não explicava esse comportamento, reconhecendo a necessidade de um modelo específico para transformações de fase. A análise dos dados levou à introdução da expressão $Q = m \cdot L$, que representa a energia envolvida na fusão ou solidificação sem alteração da temperatura. Os estudantes compararam seus resultados com valores de referência, discutindo possíveis discrepâncias e analisando as características energéticas das mudanças de estado. Essa etapa consolidou a compreensão do calor latente como uma grandeza indispensável para descrever processos em que a absorção ou liberação de energia não se traduz em variação térmica.

Por fim, a aula 10 atuou como momento de sistematização e preparação para a modelagem 6, articulando textos, exercícios e quiz que retomavam os modelos já construídos e evidenciavam suas conexões. Na modelagem final, os estudantes integraram todos os modelos desenvolvidos — calor sensível ($Q = m \cdot c \cdot \Delta T$), calor latente ($Q = m \cdot L$), potência térmica ($Q = P \cdot t$) e trocas de calor ($Q_1 + Q_2 = 0$) — resolvendo situações que exigiam a aplicação combinada dessas expressões. As discussões envolveram limites de validade, pressupostos de cada modelo e coerência entre representações, permitindo revisar hipóteses e confrontar resultados. A etapa concluiu-se com a aplicação do pós-teste na Aula 11, que permitiu comparar concepções iniciais e finais, evidenciando a evolução conceitual ao longo dos ciclos sucessivos de modelagem e fortalecendo a compreensão sobre o papel dos modelos científicos no estudo dos fenômenos térmicos.

Interações discursivas

As interações discursivas descritos por Mortimer e Scott (2002; 2016), especialmente no movimento entre abordagens mais exploratórias, voltadas à coleta de hipóteses dos estudantes, e momentos de maior direcionamento conceitual, em que a professora organizava e estabilizava os significados construídos coletivamente é evidente. Ao explicitar e argumentar sobre seus modelos, os estudantes consolidavam suas compreensões, aprendendo a representar, comunicar e avaliar criticamente os significados construídos em sala de aula, conforme imagens (Quadro 2). A alternância entre esses padrões favoreceu a emergência de explicações mais elaboradas e sustentou a participação ativa dos estudantes, que se apropriaram de elementos do discurso científico ao longo das aulas.

Quadro 2 - Exposição e socialização dos modelos.



Fonte: própria autora

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A implementação da SEA evidencia que a modelagem científica pode funcionar como uma abordagem pedagógica expressiva para o ensino de Física Térmica em perspectiva investigativa. Os ciclos de construção, teste e revisão de modelos favoreceram a elaboração de explicações mais consistentes, o uso articulado de diferentes representações e a ampliação da capacidade dos estudantes de justificar relações entre grandezas. Os registros produzidos em aula — diálogos, esquemas, cálculos e decisões tomadas durante os experimentos — apontam para maior engajamento e para uma aproximação progressiva ao modo de raciocínio característico das ciências, em alinhamento com Hestenes, Clement e com a análise discursiva de Mortimer e Scott (2002, 2016). A experiência mostra que a instrução por modelagem cria condições para que o estudante investigue, confronte evidências e revise interpretações, favorecendo aprendizagens em conteúdos tradicionalmente complexos. A combinação entre experimentação, discussões e mediação discursiva contribuiu para que as equações emergissem como sínteses justificadas pelos fenômenos e não como elementos abstratos.

Do ponto de vista pedagógico, o produto educacional demonstra viabilidade em escolas públicas, tanto pelo baixo custo dos materiais quanto pela clareza das etapas. A sequência também se articula às competências da BNCC, ao promover análise de dados, argumentação e comunicação científica. A experiência destaca a necessidade de formação docente voltada à modelagem e à condução de interações discursivas produtivas, bem como o valor de recursos simples, como quadros brancos individuais, para tornar visíveis os caminhos de pensamento dos estudantes.

Embora aplicada em uma única turma, a SEA apresenta potencial para uso em diferentes anos e contextos escolares. Estudos posteriores, envolvendo múltiplas turmas, poderão aprofundar a compreensão sobre a consolidação conceitual e sobre a eficácia dos padrões de interação descritos por Mortimer e Scott.

AGRADECIMENTOS

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, código 001); Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES 138/2022); IFES-Pólo Cariacica; EEEFM Petronilha Vidigal, no papel de seu gestor e alunos participantes.

REFERÊNCIAS

- DUVAL, R. Registros de representações semióticas e pensamento matemático. *Revista Eletrônica de Educação Matemática*, v.7, n.2, p.266-297, 2012.
- GEHLEN, I.C.; DELIZOICOV, D. [Referência conforme dissertação]. 2009.
- HESTENES, D. Modeling instruction for conceptual change. *American Journal of Physics*, v.60, n.6, p.440-454, 1992.
- HESTENES, D.; WELLS, M.; SWACKHAMER, G. A modeling method for high school physics instruction. *American Journal of Physics*, v.63, n.6, p.606-619, 1995.
- LANG, M.; MOREIRA, M.A. Validação de teste sobre calor, temperatura e energia interna. *Revista de Ensino de Física*, v.18, n.2, p.23-35, 1996.
- MORTIMER, E.F.; SCOTT, P.H. *Meaning making in secondary science classrooms*. Maidenhead: Open University Press, 2003.
- VYGOTSKY, L.S. *A formação social da mente*. São Paulo: Martins Fontes, 2007