

Modelos em Bunge e Lakatos: análise comparativa e implicações para o ensino

Models in Bunge and Lakatos: a comparative analysis and implications for teaching

Ricardo Robinson Campomanes^{*1}, Luiz Paulo Da Cas Cichoski²

¹Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Naturais, Humanas e Sociais, Sinop, MT, Brasil.

²Universidade Federal de Mato Grosso, Programa de Pós-Graduação em Filosofia, Cuiabá, MT, Brasil.

Recebido em 27 de outubro de 2025. Revisado em 21 de maio de 2026. Aceito em 21 de junho de 2026.

Este artigo analisa o papel dos modelos científicos na Metodologia dos Programas de Investigação Científica de Imre Lakatos, a partir de uma interpretação reconstrutiva de sua obra, e o compara com a perspectiva de Mario Bunge. O objetivo é examinar suas convergências e divergências e explicitar implicações epistemológicas e para o ensino de ciências a partir da análise dessas concepções. Para Bunge, os modelos ocupam posição subordinada às teorias, funcionam como mediadores entre estas e a realidade. Sua elaboração deve ser rigorosa desde o início, garantindo consistência lógica e integração a uma teoria geral. A distinção entre modelos de caixa negra e de caixa translúcida é central para avaliar o grau de profundidade explicativa de uma representação. Já Lakatos, insere os modelos na heurística positiva do programa de investigação, sendo tratados como construções transitórias que se desenvolvem por meio de sucessivos aprimoramentos. Nesse quadro, mesmo modelos iniciais ingênuos têm valor, desde que se tornem progressivamente mais sofisticados e capazes de gerar previsões corroboradas. A análise comparativa sugere que a prática científica combina a flexibilidade histórica destacada por Lakatos e a exigência metodológica sublinhada por Bunge, oferecendo subsídios para refletir sobre a natureza dos modelos no ensino.

Palavras-chave: Filosofia da Ciência, Modelos Científicos, Imre Lakatos, Mario Bunge.

This article analyzes the role of scientific models in Imre Lakatos's Methodology of Scientific Research Programmes, based on a reconstructive interpretation of his work, and compares it with Mario Bunge's perspective. The aim is to examine their convergences and divergences and to clarify epistemological implications as well as implications for science education arising from the analysis of these conceptions. For Bunge, models occupy a position subordinate to theories and function as mediators between theories and reality. Their construction must be rigorous from the outset, ensuring logical consistency and integration into a general theory. The distinction between black-box and translucent-box models is central to assessing the explanatory depth of a representation. Lakatos, in turn, situates models within the positive heuristic of a research programme, treating them as provisional constructions that develop through successive refinements. Within this framework, even initially naïve models have value, provided they become progressively more sophisticated and capable of generating corroborated predictions. The comparative analysis suggests that scientific practice combines the historical flexibility emphasized by Lakatos with the methodological rigor highlighted by Bunge, offering grounds for reflection on the nature of models in science education.

Keywords: Philosophy of Science, Scientific Models, Imre Lakatos, Mario Bunge.

1. Introdução

Compreender como a ciência progride não é tarefa simples, dada a multiplicidade de perspectivas filosóficas. Ao nos referirmos somente ao século XX, encontramos o falsificacionismo de Karl Popper, que realizou uma crítica severa à visão indutivista da ciência. Para o indutivismo, o progresso científico ocorreria pela acumulação de observações empíricas. Em *Conjecturas e Refutações*, Popper [1] ao aludir ao exemplo indutivista 'todos os cisnes são brancos', argumenta que nenhum número de observações poderia assegurar a verdade de uma teoria; em contrapartida, um único teste poderia demonstrar

sua falsidade (como de fato ocorre, visto que existem cisnes negros). Ele propõe que toda teoria científica deve se expor ao risco da refutação mediante observações ou experimentos capazes de falseá-la. Essa disposição ao risco de refutação constituiria o critério fundamental para distinguir a ciência da pseudociência, como revelam suas críticas à astrologia, à psicanálise e ao marxismo [2].

Contudo, a prática científica mostrou que o ideal popperiano é difícil de aplicar de forma tão rígida. Raramente os cientistas abandonam uma teoria central logo após o aparecimento de um resultado conflitante. Isso ocorre porque, ao realizar testes, estão envolvidas diversas hipóteses auxiliares e condições experimentais, de modo que o erro pode residir nelas e não necessariamente na teoria central. Essa limitação do falsificacionismo popperiano, que Lakatos o denominou *falsificacionismo*

*Endereço de correspondência: ricardo.santana@ufmt.br

Editor-Chefe: Marcello Ferreira

metodológico ingênuo, levou-o a propor uma reformulação mais abrangente. Em sua crítica, Lakatos¹ [3] argumenta que a avaliação racional das teorias não deve ocorrer isoladamente, mas dentro de programas de investigação científica. Nessa abordagem, o avanço da ciência depende da comparação entre programas concorrentes: um novo programa só substitui outro se, for capaz de resolver problemas anteriores e, além disso, gerar novas previsões corroboradas, especialmente aquelas que não seriam antecipadas pelo programa rival. Assim, o progresso científico passa a ter um caráter construtivo e histórico envolvendo tanto a crítica quanto a reconstrução teórica.

Por outro lado, a história da ciência também mostrou que teorias de grande relevância sobreviveram por muito tempo, mesmo enfrentando sérias dificuldades iniciais. Um exemplo é o heliocentrismo, que por séculos careceu de evidências empíricas diretas e, ainda assim, manteve-se como um programa promissor. Esse tipo de situação indicava que o quadro conceitual original de Popper ainda não captava plenamente a forma como a ciência realmente avança [2]. Buscando lidar com essas questões, Imre Lakatos propôs sua *Metodologia dos Programas de Investigação Científica* (MPIC) [3].

Na MPIC, a ciência é concebida como organizada em estruturas teóricas complexas que se desenvolvem ao longo do tempo. Cada programa de investigação possui um núcleo firme – um conjunto de princípios básicos, considerado inatacável por decisão metodológica – e um cinturão protetor formado por hipóteses auxiliares, que podem ser ajustadas ou substituídas para responder a novos dados e resolver anomalias. O trabalho científico é orientado por duas heurísticas: a negativa, que preserva o núcleo firme contra refutações diretas, e a positiva, que indica caminhos para expandir e fortalecer o programa, muitas vezes por meio da construção de modelos auxiliares [3]. O termo *modelo* é recorrente na MPIC de Lakatos, e será analisado na Seção 3 deste artigo. Seu uso, contudo, não é exclusivo da filosofia da ciência: na prática científica, encontramos, por exemplo, modelos mentais na psicologia, modelos atômicos na química ou modelos de escoamento na física. Já na filosofia, há concepções como modelos lógicos e representacionais [4].

Essa diversidade de usos mostra que o conceito de modelo ocupa posição importante na ciência e na filosofia, mas também exige maior precisão conceitual. Nesse aspecto a concepção de modelo proposta por Mario Bunge² ganha destaque. Para este filósofo, modelos são

construções lógicas baseadas em teorias científicas e atuam como mediadores entre estas e a realidade. A escolha pela abordagem de Bunge justifica-se por sua contribuição para a reconstrução da noção do modelo teórico, especialmente frente às limitações apontadas na análise realizada pelos empiristas lógicos [6]. Entre essas limitações destacam-se a excessiva ênfase na observação, as dificuldades de lidar com conceitos teóricos, ou seja, estavam mais preocupados em reduzir os conceitos científicos a termos observacionais e problemas de verificabilidade.

A seguir descreveremos a motivação e justificativa pela escolha desses filósofos, cujas visões de ciência será aprofundado ao longo deste artigo³. A escolha de Bunge se justifica por sua ênfase na rigorosidade lógica e metodológica desde a elaboração inicial de um modelo. Sua abordagem normativa oferece critérios para avaliar a consistência interna, a adequação teórica e a precisão representacional. Ao diferenciar, por exemplo, modelos de caixa negra e de caixa translúcida, Bunge fornece ferramentas conceituais úteis para classificar e aperfeiçoar representações científicas, destacando o papel das idealizações e a importância de integrar os modelos a uma teoria geral.

Lakatos, por sua vez, é relevante por inserir os modelos⁴ no contexto da MPIC, oferecendo uma perspectiva histórica e dinâmica do desenvolvimento teórico [3]. Ao admitir construções iniciais simplificadas como ponto de partida legítimo – desde que inseridas em programas progressivos capazes de gerar novas previsões corroboradas –, Lakatos amplia a compreensão do funcionamento efetivo da prática científica. Nesse contexto, os modelos desempenham papel estratégico ao viabilizar ajustes no cinturão protetor, gerar novas previsões e sustentar o caráter progressivo do programa de investigação.

A comparação entre essas duas perspectivas permite examinar o papel epistemológico dos modelos científicos sob enfoques complementares. Enquanto, a reconstrução proposta neste artigo, Lakatos é interpretado como enfatizando o caráter histórico, estratégico e progressivo de construções teóricas que desempenham o papel de modelos no interior dos programas de investigação – admitindo inclusive versões iniciais simplificadas ou ingênuas –, Bunge destaca a exigência metodológica e explicativa desde a formulação inicial do modelo. Juntas,

¹ Filósofo húngaro (1922–1974), doutorou-se em filosofia em 1961 na Universidade de Cambridge. Foi discípulo de Popper entre os anos de 1960 e 1969, cuja influência foi fundamental para o desenvolvimento de sua MPIC. Durante esse período, ele trabalhou como pesquisador na *London School of Economics*.

² Filósofo e físico argentino (1919–2020), atuou como professor de Física Teórica e Filosofia na Universidade de Buenos Aires e, posteriormente, na Universidade McGill, no Canadá, onde consolidou sua carreira como um dos principais filósofos da ciência de latino-americana [5].

³ Evidentemente, as concepções de Bunge e Lakatos representam abordagens específicas no interior do amplo campo da filosofia da ciência e não esgotam a diversidade de interpretações existentes acerca do papel dos modelos científicos. A comparação aqui proposta não pretende oferecer uma visão exaustiva, mas explorar um terreno conceitual compartilhado que se mostra particularmente fértil para a análise da relação entre teoria, modelo e prática científica, bem como para a reflexão sobre o ensino de Física.

⁴ Embora Lakatos utilize o termo *modelo* em sua Metodologia dos Programas de Investigação Científica e ofereça indicações pontuais sobre seu significado, não desenvolve uma teoria sistemática dos modelos. Diante dessa ausência, o presente artigo propõe uma interpretação reconstrutiva de seu papel nos programas de investigação.

essas abordagens contribuem para uma compreensão mais rica e articulada da função dos modelos no desenvolvimento do conhecimento científico.

Nessa perspectiva, o objetivo deste trabalho é analisar o papel dos modelos científicos na MPIC de Imre Lakatos, com base em uma interpretação reconstrutiva de sua obra, e compará-lo à perspectiva de Mario Bunge, examinando convergências, divergências e implicações epistemológicas decorrentes dessas concepções⁵. O artigo também oferece subsídios para a reflexão sobre o ensino de Física, em particular no que se refere à modelagem científica, aos limites das idealizações e à compreensão da Natureza da Ciência.

O artigo está organizado da seguinte forma. Na Seção 2, discute-se a concepção de ciência de Mario Bunge, com atenção especial ao papel dos modelos científicos. A Seção 3 é dedicada à Metodologia dos Programas de Investigação Científica de Lakatos, com ênfase na interpretação reconstrutiva do papel dos modelos. Por fim, a Seção 4 apresenta uma comparação entre essas duas abordagens, bem como as implicações tanto epistemológicas quanto para o ensino de Física.

2. Concepção de Ciência Segundo Mario Bunge

A epistemologia de Bunge baseia-se em uma concepção realista da ciência, segundo a qual as teorias científicas podem ser compreendidas como sistemas conceituais orientados à representação e à explicação de aspectos do mundo real. Nesse contexto, os modelos assumem um papel mediador entre teorias e realidade empírica, sendo entendidos como construções idealizadas que devem preservar a coerência lógica e o rigor metodológico. Essa mediação ocorre porque os modelos viabilizam princípios teóricos gerais ao aplicá-los a sistemas idealizados específicos, tornando possível a formulação de hipóteses testáveis e a confrontação empírica.

A concepção de ciência de Bunge se apoia em três pilares centrais: realismo científico, método científico e estrutura das teorias. Esses pilares não apenas estruturam sua visão epistemológica, como também orientam sua concepção de modelo, assunto principal deste trabalho. Bunge [7] define a ciência como um corpo crescente de ideias construídas racionalmente, voltado à compreensão do mundo. Trata-se de um conhecimento racional, sistemático, preciso, verificável e, ao mesmo tempo, falível. Esse conhecimento possibilita representar conceitualmente a realidade e intervir nela de forma mais segura e eficiente. Ele distingue dois grandes grupos:

- i) *Ciências formais* (matemática, lógica), voltada a estrutura abstratas validadas por demonstração dedutiva;
- ii) *Ciências fatuais*, que investigam fenômenos naturais por meio de observação e experimentação.

A ênfase, neste trabalho, recai sobre as ciências fatuais porque é nelas que se coloca de modo mais explícito o problema da relação entre teoria e realidade empírica – questão central para a análise do papel dos modelos científicos. Embora também existam modelos nas ciências formais, seu estatuto e sua função são distintos, uma vez que não envolvem confrontação empírica. Nas ciências fatuais, a coerência lógica é uma condição necessária, mas insuficiente, é também indispensável a corroboração empírica. Assim, a ciência factual se caracteriza por dois atributos essenciais:

1. *Racionalidade* – organização lógica de conceitos e proposições.
2. *Objetividade* – correspondência aproximada entre teorias e fatos, obtida por procedimentos controláveis e reproduzíveis.

2.1. Realismo científico

O realismo ocupa papel fundamental na epistemologia de Bunge, que o considera indispensável à prática científica. No contexto da modelagem, implica que os modelos devem representar aspectos reais dos sistemas estudados.

Em *Racionalidade e Realismo* [8], Bunge analisa o realismo gnosiológico segundo o qual o mundo existe independentemente da percepção humana e pode ser conhecido, ainda que de modo parcial e progressivo, por meio da ciência. Para ele há três categorias de realismo gnosiológico:

- i) *Realismo ingênuo* – considera que o mundo é exatamente como aparece aos sentidos, sem questionamentos críticos;
- ii) *Realismo crítico* – reconhece que as aparências podem enganar, que a razão aliada à experiência é necessária para compreender a realidade;
- iii) *Realismo científico* – versão robusta do realismo crítico, sustentando que a ciência fornece o melhor conhecimento disponível sobre a realidade, embora sempre revisável.

O realismo científico é, simultaneamente, uma posição epistemológica e ontológica: defende a existência de entidades concretas – campos, organismos, sistemas sociais – regidas por leis. É também crítico e autocorretivo, rejeitando dogmas e exigindo avaliação contínua das teorias, substituindo explicações quando surgem novas evidências.

Para Bunge, o avanço científico é fruto da interação equilibrada entre razão (estrutura formal e matemática das teorias) e experiência (experimentos planejados e interpretados teoricamente). A ciência progride quando

⁵ Neste artigo, o termo *modelo* é empregado no sentido de idealização conceitual que permite a aplicação de teorias científicas a sistemas físicos reais, tal como ocorre na prática científica e no ensino de ciências, e não no sentido técnico-lógico predominante em certas vertentes da filosofia da ciência, como nas abordagens semânticas ou modelo-teóricas das teorias científicas [6].

mantém compromisso simultâneo com a realidade objetiva e com explicações racionais, verificáveis e bem fundamentadas.

2.2. Método científico

Bunge [7, 9] compreende o método científico não como uma sequência rígida, mas como um conjunto de procedimentos racionais e sistemáticos destinados à formulação de problemas, à construção de hipóteses e à sua testagem rigorosa.

Esse método possui dois aspectos:

- i) *Descritivo* – identifica padrões recorrentes na pesquisa científica;
- ii) *Normativo* – estabelece diretrizes para alcançar conhecimento confiável.

Nas ciências formais, a validação ocorre pela dedução a partir de axiomas. Já nas ciências fatuais, exige-se confrontação empírica. Nestas últimas, o método articula teoria, planejamento, experimentação e análise crítica, com o objetivo de reduzir erros e aumentar a confiabilidade dos resultados, preservando o caráter provisório do conhecimento científico.

A investigação nunca começa do zero: parte-se de um corpo teórico prévio que orienta problemas, conceitos e métodos. Dessa forma, a ciência não é mera coleta de dados, mas sim um sistema coerente de ideias que busca compreender e explicar a realidade.

2.3. Teorias científicas

Para Bunge [10], uma teoria científica é um sistema ordenado de conceitos, leis e hipóteses destinado a explicar fenômenos com base em princípios suscetíveis de testagem empírica. A teoria deve ser sistemática, testável, consistente, preditiva e aberta à crítica, à refutação e ao aprimoramento. Essas características retomam os pilares anteriormente discutidos: o realismo científico exige que as teorias se refiram a aspectos reais do mundo; o método científico requer que suas proposições sejam confrontáveis com a experiência e a estrutura sistemática assegura coerência lógica e articulação entre conceitos e leis.

Bunge distingue dois tipos principais de teorias:

- i) *Teorias de caixa negra (fenomenológicas⁶)* – descrevem relações entre variáveis observáveis sem explicar mecanismos internos. São úteis quando tais mecanismos são desconhecidos, inacessíveis ou irrelevantes, como na cinemática, óptica geométrica, termodinâmica clássica e behaviorismo.

⁶ As teorias fenomenológicas descrevem fenômenos a partir de dados observáveis, sem explicar completamente seus mecanismos internos. Toda teoria de caixa negra é fenomenológica, mas nem toda fenomenológica é de caixa negra, pois pode incluir hipóteses sobre a estrutura interna. A termodinâmica clássica ilustra isso: descreve calor e trabalho sem partículas individuais, mas não é caixa negra pura.

- ii) *Teorias de caixa translúcida* (representacionais) – oferecem explicações parciais dos mecanismos internos, utilizando entidades teóricas e hipóteses estruturais, como na dinâmica, na óptica física, na mecânica estatística e nas teorias cognitivas.

Embora reconheça a utilidade das caixas negras pela simplicidade e generalidade, Bunge [10] alerta que o caixa negrismo – uso exclusivo desse tipo de abordagem – pode levar à estagnação. Para ele, “caixas negras são necessárias, mas não suficientes”: o amadurecimento científico exige avançar para teorias mais explicativas, com maior transparência dos mecanismos.

2.4. Maturação da ciência segundo Bunge

Bunge [10] associa a maturidade científica à superação da dependência exclusiva de teorias fenomenológicas, avançando para teorias representacionais mais profundas. Ele usa a metáfora do volume geométrico para descrever o crescimento científico;

1. *Expansão em superfície* – ampliação do escopo sem alteração de fundamentos (ex.: aplicação das leis da mecânica celeste para descobrir exoplanetas);
2. *Expansão em profundidade* – introdução de novas entidades e leis fundamentais (ex. da mecânica clássica à mecânica quântica);
3. *Expansão em superfície e profundidade* – combinação ideal, exemplificada pela teoria de evolução, que uniu descobertas empíricas a avanços conceituais na genética e biologia molecular.

Bunge alerta que a expansão apenas em superfície leva ao esgotamento por falta de inovação, e a exclusiva em profundidade pode tornar-se especulativa. O amadurecimento ideal envolve: (i) hipóteses sobre entidades não observáveis; (ii) mecanismos explicativos que as conectem aos fenômenos; e (iii) organização lógica, preferencialmente axiomatizada [10].

2.5. Modelos como subordinados e mediadores de teorias científicas

Na perspectiva de Bunge [10, 11], os modelos científicos ocupam uma posição subordinada às teorias – pois derivam diretamente de seus princípios e conceitos – mas exercem, ao mesmo tempo, um papel mediador entre a teoria e os fenômenos que ela busca explicar [6, 12]. Assim, cumprem a função de tornar operacionais as abstrações teóricas, conectando-as a situações concretas e passíveis de teste. Essa relação pode ser compreendida a partir de dois eixos principais:

1. A concepção de modelo teórico
2. A distinção entre modelos de caixa negra e modelos de caixa translúcida.

2.5.1. Modelo teórico

Bunge [10] define modelo teórico⁷ como “um sistema hipotético-dedutivo que concerne a um objeto-modelo, o qual, por sua vez, é a representação conceitual esquemática de uma coisa ou situação real ou suposta como tal”. O sistema do modelo teórico é composto por hipóteses ou axiomas, proposições derivadas por dedução lógica e formalizações que articulam o objeto-modelo à teoria geral.

Um *objeto real* é algo físico, real ou suposto como tal (ver Figura 1.a), como uma molécula, um cérebro ou um planeta⁸, que pode ser representado por um modelo idealizado. Este último denominado *objeto-modelo*, que é

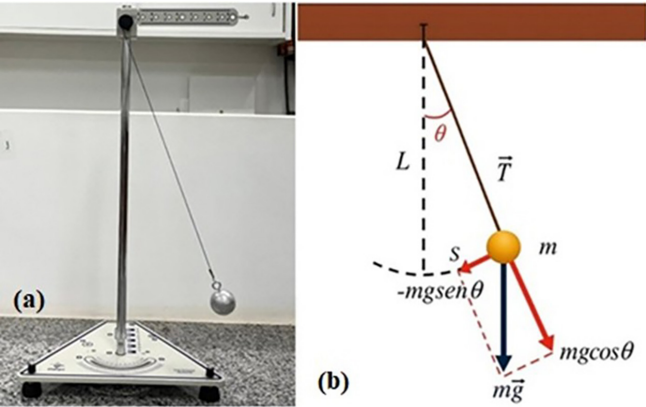


Figura 1: Do objeto real ao modelo teórico segundo Bunge: (a) Pêndulo real de laboratório, com suporte, fio e massa, sujeito a múltiplas interações físicas, correspondendo ao objeto real; (b) objeto-modelo, obtido por idealizações (fio sem massa, partícula pontual, ausência de dissipação), sobre o qual se constrói o modelo teórico, do pêndulo simples, para descrever o movimento oscilatório para pequenos ângulos.

⁷ Bunge também o denomina *teoria específica*; neste trabalho, utiliza-se apenas modelo teórico.

⁸ Embora exemplos como moléculas, cérebros ou planetas se refiram a entidades reais, seu significado científico é sempre

uma representação idealizada ou simplificada do objeto real: seleciona aspectos considerados essenciais para o problema investigado e abstrai características tidas como irrelevantes (Ver Figura 1.b).

Por outro lado, a Teoria Geral é de bastante importância na perspectiva dos modelos de Bunge. Ela é um conjunto abrangente de conceitos, leis e princípios que estruturam um campo de conhecimento sem se restringir a casos específicos. A teoria geral – i.e., a mecânica de Newton, a mecânica quântica, o eletromagnetismo ou a termodinâmica – fornece o arcabouço conceitual e formal que torna possível formular o modelo teórico.

O Quadro 1 apresenta exemplos de situações modeladas na Física, segundo a visão de Bunge, oferecido por Brandão et al. [13, p. 41]. Na primeira linha, ao se estudar o escoamento da água em uma tubulação, o objeto-modelo pode ser um fluido contínuo sem viscosidade ou um fluido contínuo viscoso. Com base na mecânica dos fluidos, esses objetos-modelo levam à construção, respectivamente, de um modelo de fluido ideal e de um modelo de fluido viscoso. Ambos se referem ao mesmo sistema físico, mas produzem modelos teóricos diferentes devido às hipóteses adotadas.

O processo de construção de um modelo teórico pode ser sintetizado na Figura 2, que esquematiza as etapas:

1. Definição do objeto-modelo, a partir da idealização do objeto real, mediante a introdução de pressupostos simplificadores e hipóteses que delimitam seus aspectos relevantes.
2. Inserção do objeto-modelo em uma teoria geral.
3. Dedução do modelo teórico, mediante a derivação de consequências lógico-matemáticas a partir das hipóteses adotadas.

mediado por modelos e teorias que lhes atribuem propriedades e estruturas específicas. Nesse sentido, mesmo os chamados “objetos reais” da ciência são acessíveis apenas por meio de construções conceituais.

Quadro 1: Exemplos de situações modeladas na Física segundo Bunge (Adaptado de [13]). O quadro evidencia a sequência que vai do objeto real à concepção do objeto-modelo adotado pelo pesquisador, da escolha da teoria geral pertinente até a formulação do modelo teórico.

Objeto real	Objeto-modelo	Teoria Geral	Modelo Teórico
Escoamento da água no interior de uma tubulação	Fluido contínuo sem viscosidade	Mecânica dos Fluidos	Modelo de fluido ideal
	Fluido contínuo com viscosidade		Modelo de fluido viscoso
Certa quantidade de gás num recipiente fechado	Sistema de partículas termicamente isolado que não interagem entre si	Mecânica Estatística	Modelo do gás ideal clássico
		Mecânica Quântica	Modelo do gás ideal quântico
Comportamento da matéria em nível microscópico	Sistema planetário	Mecânica Clássica e Eletromagnetismo	Modelo atômico de Rutherford
Movimento dos planetas do sistema solar		Mecânica Clássica	Modelo planetário de Newton

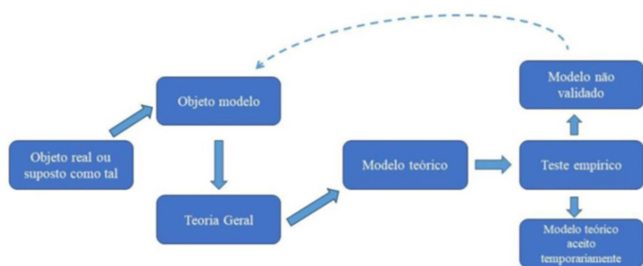


Figura 2: Etapas da modelagem segundo Bunge. As setas indicam o movimento articulado que cada etapa deve passar para o desenvolvimento do modelo teórico.

4. Teste empírico, que pode levar à aceitação provisória do modelo teórico ou à reformulação do objeto-modelo.

Quando o teste empírico não confirma as previsões, o processo retorna à fase de idealização, reformulando o objeto-modelo e reiniciando o ciclo. É esse caráter iterativo que garante o aperfeiçoamento gradual dos modelos. Esse caráter iterativo expressa traços centrais da concepção de ciência de Bunge: o conhecimento científico é provisório, crítico e autocorretivo. A importância da confrontação empírica reside justamente em submeter hipóteses e modelos à prova, permitindo identificar erros, limites e pressupostos inadequados.

Bunge [10] enfatiza que somente os modelos teóricos, e não as teorias gerais, podem ser submetidos diretamente a testes empíricos. Isso porque as teorias gerais são abstratas e abrangentes, enquanto o modelo teórico se aplica a um caso particular, com condições bem definidas e passíveis de verificação experimental. Desse modo, um modelo adquire valor explicativo e preditivo quando está integrado a uma teoria geral, mostrando-se subordinado a ela.

2.5.2. Modelos de caixa negra e caixa translúcida

Bunge [10] afirma que existem diversas espécies de objeto-modelo e, consequentemente, de modelos teóricos. Por exemplo: no Quadro 1, estudo do escoamento da água em uma tubulação, apresenta dois objetos-modelo, como resultado obtém-se dois modelos teóricos (modelo do fluido ideal e modelo do fluido viscoso). Os modelos podem ser situados em um espectro que vai desde representações extremamente simples, como a *caixa negra*, passando por modelo intermediários, como as *caixas cinzentas* com alguns estados internos, até os modelos de *caixa translúcida*, que incorporam mecanismos internos mais detalhados. A diferença central entre eles está no grau em que consideram os processos ou mecanismos internos do sistema. Na sequência, apresentamos com mais detalhe os extremos desse espectro de modelos.

i) Modelos de caixa negra: dotada somente de entradas e saídas, “que constituirá uma representação do comportamento global do sistema” [10, p. 19]. São

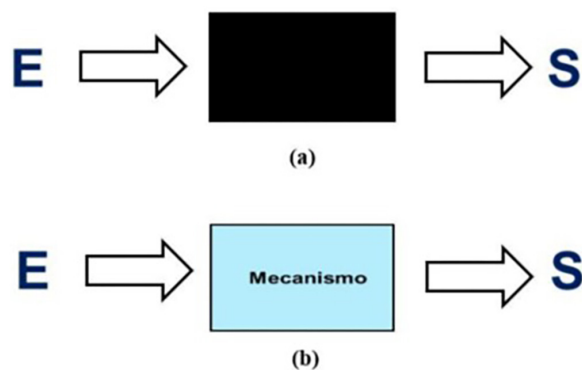


Figura 3: Representação esquemática de modelos: (a) de caixa negra, no qual o sistema é descrito apenas por relações funcionais entre grandezas observáveis de entrada (E) e saída (S); e (b) de caixa translúcida, que introduz estrutura interna e mecanismos causais explicativos.

úteis quando o funcionamento interno é desconhecido, complexo ou irrelevante para o objetivo da investigação (ver Figura 3.a).

ii) Modelos de caixa translúcida: além de entradas e saídas, incluem hipóteses sobre a estrutura e o funcionamento interno do sistema. Incorporam entidades teóricas, muitas vezes não observáveis diretamente, e propõem mecanismos explicativos que conectam essas entidades ao comportamento observado (ver Figura 3.b).

Segundo Campomanes *et al.* [14, p. e-1], um modelo de caixa translúcida “engloba proposições sobre as estruturas internas do objeto ou evento representado, carregando hipóteses sobre os mecanismos que determinam o comportamento do sistema-alvo”. Assim, enquanto os modelos de caixa negra se limitam a descrever a relação de entrada e saída, os modelos de caixa translúcida fornecem explicações sobre o que ocorre dentro do sistema, permitindo entender como e por que ele se comporta dessa maneira.

Pode-se notar uma semelhança de enfoque que modelos compartilham com o que já foi tratado sobre teorias na Seção 2.3. Teoria e modelos podem ser tanto *fenomenológicos*, no caso da caixa negra, ou *representacionais*, no caso da caixa translúcida. Entretanto, há uma distinção em termos de alcance. A teoria possui caráter mais amplo, geral e abstrato, funcionando como arcabouço conceitual. Já o modelo tem natureza particular e aplicada, servindo como uma representação específica para testar hipóteses ou explicar fenômenos delimitados.

Essa distinção entre modelos de caixa negra e de caixa translúcida é importante para compreender as transições de modelos de caixa negra para translúcida, associadas ao amadurecimento de uma ciência⁹. O uso inicial de caixas negras pode ser estratégico, mas a progressão rumo a caixas translúcidas amplia o alcance explicativo, integrando hipóteses estruturais e mecanismos que

⁹ Estudo em fase de conclusão que será submetido para publicação.

permitem não apenas prever, mas também entender o fenômeno.

2.5.3. Implicações para a filosofia da ciência e para o ensino

A transição de modelos da caixa negra para modelos de caixa translúcida, na história da ciência, mostra que o desenvolvimento de modelos é mais do que uma técnica de resolução de problemas: trata-se de um processo epistemológico de aproximação sucessiva da realidade. Quanto mais transparentes os modelos, ou seja, quanto mais mecanismos internos descritos, mais madura se torna a ciência em questão. Nesse sentido, Bunge [10] alerta para o risco de adoção acrítica de modelos demasiadamente simplificados, algo frequente no Ensino de Física. Quando não se discutem as hipóteses, idealizações e limites desses modelos, corre-se o risco de transmitir aos estudantes uma visão empobrecida da prática científica e da própria natureza da ciência.

A proposta deste trabalho, portanto, não se restringe à análise epistemológica dos modelos científicos na prática científica, mas possui implicações diretas para o ensino e a aprendizagem de Física. Em geral, os estudantes resolvem inúmeros exercícios utilizando modelos apresentados em livros didáticos, frequentemente aceitando seus resultados como corretos sem problematizar as hipóteses, idealizações e domínios de validade envolvidos. Nesses contextos, os modelos tendem a ser tratados apenas como ferramentas operacionais voltadas à obtenção de respostas numéricas.

Um exemplo recorrente ocorre na associação de duas molas em paralelo. Em muitos livros didáticos, apresenta-se um modelo simplificado – aqui denominado modelo tradicional – segundo o qual a constante elástica equivalente é dada pela soma das constantes individuais ($k_E = k_1 + k_2$). Contudo, frequentemente esse desenvolvimento aparece de forma bastante simplificada, sem discussão explícita das hipóteses assumidas, particularmente a condição de igualdade das elongações das molas, nem qualquer contraste empírico das previsões teóricas [15].

Sob a perspectiva do ensino por investigação [16], o professor pode transformar esse modelo em objeto de análise crítica pelos próprios estudantes. Em vez de apenas aplicar a fórmula, os alunos investigam experimentalmente sua validade utilizando diferentes pares de molas¹⁰. Organizados em grupos, realizam medições e comparam os resultados experimentais com as previsões do modelo tradicional. Essa atividade permite perceber que a hipótese de igualdade das elongações nem sempre é satisfeita, sobretudo quando as constantes elásticas diferem significativamente, produzindo um conflito cognitivo

nos alunos, pois confronta a expectativa inicial de validade geral do modelo aprendido no livro didático.

Nesse contexto, o professor atua como mediador da investigação, orientando os estudantes a reinterpretarem criticamente as hipóteses assumidas. Assim, os alunos passam a compreender que o modelo tradicional possui domínio restrito de validade, funcionando adequadamente apenas quando $k_1 \approx k_2$. Em etapa posterior, o professor pode estimular os estudantes a elaborarem coletivamente um modelo expandido, capaz de representar situações em que as deformações das molas são diferentes. Dependendo do nível de formação da turma, essa reconstrução pode ocorrer com maior ou menor grau de autonomia, envolvendo análise qualitativa, dedução matemática e posterior validação experimental¹¹. Finalizada essa etapa, o professor pode promover discussões coletivas entre os grupos, incentivando os estudantes a compararem criticamente o modelo tradicional e o modelo expandido.

Nesse processo, a passagem de um modelo simplificado – do tipo caixa negra ou cinzenta – para um modelo mais translúcido não ocorre apenas no plano epistemológico da ciência, mas também no plano cognitivo da aprendizagem. Os estudantes deixam de compreender os modelos como fórmulas prontas e passam a reconhecê-los como construções provisórias, dependentes de hipóteses, idealizações e testes empíricos. Além disso, compreendem o papel dos modelos como mediadores entre teoria e realidade, desenvolvendo capacidades de argumentação, pensamento crítico e reflexão sobre a Natureza da Ciência.

Outro exemplo significativo, encontra-se no trabalho de Schisler et al. [17], intitulado “E se a energia não se conserva? Um estudo sobre o escoamento d’água em um recipiente por meio de um orifício circular”. Nesse estudo, analisa-se o modelo tradicionalmente apresentado nos livros de Física do ensino superior para descrever o escoamento não dissipativos de líquidos por orifícios laterais em recipientes. Os autores observam que nesses materiais didáticos, raramente são discutidas as idealizações e limitações do modelo, tampouco se realiza validação experimental de suas previsões. A investigação evidenciou divergências significativas entre as previsões do modelo (modelo não dissipativo) e os resultados experimentais. Em resposta, foi proposta uma expansão do modelo incorporando variáveis associadas à dissipação de energia, mobilizando conceitos da hidrologia, como coeficientes de contração, de velocidade e de descarga, usualmente ausentes no ensino de física. O modelo expandido (modelo dissipativo) apresentou maior adequação empírica e poder explicativo, ilustrando novamente a passagem de um modelo de caixa negra ou cinzenta para um modelo mais transparente.

No contexto das discussões sobre modelagem científica no ensino de Ciências, Pietrocola [18] discute como o

¹⁰ Os pares de molas helicoidais podem ter diferente espessura do fio como diâmetro de mola, mas devem ter o mesmo comprimento sem elongação.

¹¹ Campomanes et al. [15] apresentam detalhadamente a construção desse modelo expandido e sua validação empírica.

realismo científico de Mario Bunge pode contribuir para uma compreensão mais rica do ensino, especialmente por meio da modelização científica. Segundo o autor, os modelos científicos não devem ser entendidos apenas como simplificações instrumentais ou recursos didáticos, mas como construções teóricas que mediam a relação entre teoria e realidade. Nessa perspectiva, ensinar Ciências implica também ensinar como a ciência constrói representações do mundo. Do ponto de vista didático, essa abordagem possui implicações profundas: o estudante deixa de ocupar um papel passivo de memorização de fórmulas e passa a participar de processos de construção, avaliação e comparação de modelos. Isso favorece uma compreensão mais sofisticada da Natureza da Ciência, mostrando que o conhecimento científico é provisório, idealizado e dependente de hipóteses.

De forma semelhante, Westphal e Pinheiro [19] ao discutirem a epistemologia de Bunge, destacam que o ensino de Ciências deve apoiar-se em um realismo científico crítico e no uso de modelos científicos. Nessa perspectiva bungeana, o conhecimento científico é compreendido como historicamente construído e mediado por modelos, sem, contudo, reduzir a ciência a mera opinião ou construção arbitrária. Desse modo, os modelos científicos são compreendidos como construções provisórias e historicamente situadas, mas ainda capazes de fornecer conhecimento confiável sobre o mundo.

Além desses estudos, diversos trabalhos em ensino de Física têm recorrido explicitamente à concepção de modelos científicos de Bunge como referencial epistemológico. Moreira e Massoni [20, p. 23] afirmam que “As implicações da epistemologia de Bunge para o ensino de ciências são claras e importantes: a ciência é aproximada; o método científico, como receita infalível, não existe; tudo começa com modelos, todas as teorias têm modelos subjacentes”. Heidemann [21] e Heidemann, Araujo e Veit [22] utilizam explicitamente a distinção entre objeto real, objeto-modelo e modelo teórico para estruturar seqüências didáticas, enfatizando o papel das idealizações, das condições de aplicação e da contrastação empírica. Silva, Dorneles e Heidemann [23], por sua vez, investigam a adaptação dos Episódios de Modelagem ao Ensino Médio, em atividades sobre pêndulos e geração de energia elétrica.

Os exemplos que analisamos indicam que o amadurecimento científico não se limita ao aperfeiçoamento técnico ou à obtenção de melhores ajustes empíricos. Trata-se de um processo epistemológico no qual os modelos evoluem de representações superficiais, que apenas correlacionam variáveis de entrada e saída, para estruturas teóricas que buscam capturar os mecanismos subjacentes dos fenômenos. No contexto do ensino, explicitar essa dinâmica permite aproximar os estudantes da prática científica, evitando a apresentação dogmática de modelos prontos e favorecendo uma compreensão mais crítica da ciência, de seus limites, idealizações e processos de revisão.

3. Metodologia dos Programas de Investigação Científica e Interpretação Reconstitutiva da Concepção de Lakatos Sobre os Modelos

A Metodologia dos Programas de Investigação Científica de Imre Lakatos [3], constitui uma teoria da ciência de caráter histórico, racional e realista, voltada à análise do progresso científico por meio da dinâmica entre núcleo firme, cinturão protetor e heurísticas positiva e negativa. Embora Lakatos utilize o termo *modelo* em sua MPIC e apresente observações pontuais sobre seu significado, ele não desenvolve uma teoria sistemática dos modelos. Mediante esse cenário, a análise desenvolvida nesta seção adota, portanto, uma perspectiva interpretativa e reconstitutiva, tentando desenvolver o que seria a concepção de modelos científicos para Lakatos.

A MPIC de Lakatos representa um esforço de síntese entre o falsificacionismo de Popper e a concepção histórica de Kuhn. Lakatos buscou compreender o avanço científico não a partir de teorias isoladas, mas de programas de pesquisa que se desenvolvem ao longo do tempo, confrontando-se com dados empíricos e sendo avaliados comparativamente em relação a programas concorrentes.

Um programa de investigação possui dois componentes principais [3, p. 55]:

1. *Núcleo firme* – conjunto de princípios considerados irrefutáveis por decisão metodológica. Sua função é estabelecer estabilidade teórica, protegendo a base conceitual do programa (ver Figura 4).
2. *Cinturão protetor* – conjunto de hipóteses auxiliares, modelos e suposições adicionais que cercam o núcleo firme. Essas hipóteses podem ser

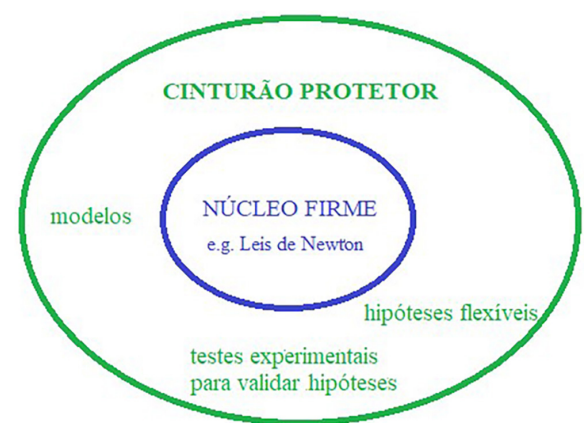


Figura 4: A Metodologia dos Programas de Investigação Científica de Lakatos; (a) *Núcleo Firme*: conjunto de poucas asserções, como axiomas e/ou leis de uma teoria. (b) *Cinturão protetor*: conjunto de hipóteses auxiliares, modelos, condições iniciais e suposições adicionais que envolvem o núcleo firme. Ele suporta o embate dos testes empíricos, ajustando-se ou sendo substituído para proteger o núcleo.

modificadas ou substituídas para acomodar novas evidências ou resolver problemas.

Por outro lado, as Heurísticas¹² do programa são diretrizes metodológicas que orientam o trabalho dos cientistas. A heurística negativa impede ataques diretos ao núcleo firme; a heurística positiva busca solucionar problemas e aprimorar o programa. Ela sugere caminhos para novas investigações, indicando novos problemas e propondo soluções.

Para Lakatos [3, p. 55]: “Um programa de investigação é bem sucedido se tudo isto conduz a uma alteração de problemas progressiva”. Ou seja, um programa é progressivo quando consegue prever novos fatos e explicar fenômenos de maneira crescente e produtiva. Isso significa que, à medida que o programa evolui, suas hipóteses auxiliares (do cinturão protetor) são ajustadas de forma a expandir seu poder explicativo e preditivo, sem comprometer o núcleo firme. Para exemplificar um programa de investigação científica progressivo, Lakatos apresenta o desenvolvimento da teoria da relatividade de Einstein, que não apenas explicou anomalias na mecânica newtoniana, mas também previu fenômenos como a curvatura da luz em torno do sol, confirmada posteriormente por experimentos.

De modo contrário, um programa é degenerativo, quando em vez de gerar novas previsões bem-sucedidas, apenas ajusta suas hipóteses auxiliares para acomodar anomalias sem oferecer avanços significativos. Quando um programa precisa recorrer constantemente a modificações *ad hoc*¹³ para evitar a falsificação, ele tende a se tornar degenerativo. Um exemplo disso foi o modelo geocêntrico de Ptolomeu que adicionava epiciclos para justificar as órbitas planetárias observadas¹⁴, mas não conseguia fornecer previsões novas e inovadoras, sendo substituído pelo modelo heliocêntrico de Copérnico¹⁵.

Além disso, Lakatos menciona que, no desenvolvimento da ciência, não há um único programa de pesquisa

dominante que detenha todas as respostas ou que seja a única abordagem válida. Em vez disso, diferentes programas científicos competem entre si, buscando explicar os mesmos fenômenos de formas distintas. Essa consideração tem um impacto importante sobre a forma como devemos tratar programas de pesquisas nascentes. Lakatos sugere que não devemos deixar de considerar um programa por ser jovem e por não superar, prontamente, um adversário consolidado. Ele afirma: “Enquanto for possível reconstruir racionalmente, [...]”, um programa de investigação nascente, ele deverá ser protegido durante algum tempo de um rival poderoso estabelecido” [3, p. 82]. Também, Lakatos afirma não haver experimentos novos capazes de derrubar imediatamente um programa de investigação de forma isolada, uma vez que a avaliação racional incide sobre o programa como um todo, e não sobre hipóteses consideradas independentemente. Nesse ponto, afasta-se do falsificacionismo ingênuo associado a Popper, segundo o qual uma hipótese poderia ser refutada decisivamente por um único contraexemplo empírico.

Um exemplo concreto interessante foi vivenciado durante a pandemia de Covid-19. Nesse contexto, ocorreu uma acirrada competição entre diferentes plataformas tecnológicas biomédicas para o desenvolvimento de vacinas. Sob a lente da MPIC, é possível interpretar essas plataformas – como RNA mensageiro (Pfizer/BioNTech), vetor viral (AstraZeneca/Oxford) e vírus inativado (CoronaVac) – como programas de investigação, cada um com um princípio operacional distinto em seu núcleo (a forma de apresentar o antígeno ao sistema imunológico) [24]. No entanto, é crucial notar que todos compartilhavam um paradigma imunológico subjacente comum. A intensa disputa foi impulsionada não apenas por esta divergência de rotas tecnológicas (heurísticas positivas), mas também, e de forma decisiva, por fatores pragmáticos como velocidade de desenvolvimento, capacidade de produção e interesses econômicos e geopolíticos. Nesse sentido, o episódio ilustra como, em contextos históricos concretos, a dinâmica entre programas pode envolver simultaneamente dimensões epistemológicas e tecnológicas, sem se reduzir a uma controvérsia puramente teórica sobre fundamentos.

Também, encontram-se outros exemplos de aplicação da MPIC, em diversas áreas, mostrando sua flexibilidade e alcance explicativo sobre a prática científica, como na parasitologia, onde Cabaret e Denegri [25] mostraram como o conceito de núcleo firme e cinturão protetor pode estruturar a pesquisa sobre helmintos, favorecendo a integração entre hipóteses biológicas e metodológicas. Na economia Williams [26] utilizou o arcabouço da MPIC para avaliar criticamente a teoria do capital do conhecimento, identificando seu caráter degenerativo ao não gerar novas previsões empíricas. Esses são exemplos que ilustram o potencial interdisciplinar da MPIC de Lakatos.

Sumarizando, Lakatos defendia um pluralismo teórico onde graças à disputa de programas de investigação

¹² É uma estratégia, método ou abordagem que facilita a resolução de problemas ou a tomada de decisões, muitas vezes por meio de regras práticas. Em vez de analisar todas as possibilidades, as heurísticas ajudam a chegar a soluções de maneira mais rápida e eficiente, ainda que possam levar erros em alguns casos.

¹³ Para Chalmers [2], uma modificação *ad hoc* consiste em um ajuste introduzido em uma teoria, tal como o acréscimo de um postulado extra ou uma mudança em algum postulado existente, que não produz novas consequências empíricas além daquelas previstas pela versão anterior, sendo motivado principalmente pela tentativa de acomodar anomalias sem ampliar o conteúdo empírico da teoria.

¹⁴ A caracterização retrospectiva do programa ptolomaico como degenerativo não deve obscurecer o fato de que, durante séculos, ele foi empiricamente bem-sucedido e conceitualmente sólido, sendo sua substituição dependente de transformações mais amplas na física e na concepção de natureza.

¹⁵ O modelo copernicano também usava epiciclos e tinha seus próprios problemas (como a falta de paralaxe estelar observável). No entanto, Lakatos argumenta que ele era heurísticamente superior: oferecia um caminho de pesquisa mais promissor, com explicações mais simples e elegantes para alguns fenômenos (como a ordem dos planetas e as retrogradações).

adversários a ciência progride. Essa competição entre programas de pesquisa é essencial para o avanço da ciência, pois permite que hipóteses e teorias sejam comparadas em termos de sua capacidade de previsão, coerência e crescimento progressivo. Programas mais bem-sucedidos (progressivo), que expandem o conhecimento e resolvem problemas, tendem a se fortalecer, enquanto aqueles que não evoluem (programas degenerativos) ou se mostram inconsistentes e acabam sendo abandonados.

3.1. O papel dos modelos na heurística positiva

Lakatos emprega o termo “modelo” ao esclarecer o significado de heurística positiva. Segundo ele, [3, p. 58]:

A heurística positiva traça um programa que registra uma cadeia de *modelos* de simulação da realidade cada vez mais complicados: a atenção do cientista está fixada na construção dos seus *modelos* seguindo instruções estabelecidas na parte positiva do seu programa.

Na citação acima, Lakatos sugere que a heurística positiva do programa de pesquisa orienta a construção progressiva de modelos científicos cada vez mais sofisticados. A heurística positiva fornece instruções para que os cientistas desenvolvam esses modelos de forma sistemática. Ela é descrita como um guia construtivo, que traça um caminho para o desenvolvimento progressivo do programa.

A pesar de não desenvolver propriamente uma teoria sobre modelos científicos, Lakatos [3, p. 59] propõe uma definição: “Um *modelo* é um conjunto de condições iniciais (possivelmente em conjunto com algumas das teorias observacionais) que se sabe estar sujeito a ser substituído durante o desenvolvimento ulterior do programa, sabendo-se até, mais ou menos, como”. Essa definição enfatiza o caráter transitório dos modelos: eles não são estruturas fixas, mas sim construções temporárias que evoluem conforme o programa avança.

Essa cadeia de modelos, que simulam a realidade, necessariamente deve contar com hipóteses auxiliares observacionais, que permitem confrontar o modelo com dados experimentais. Ou seja, um modelo mais avançado deve apresentar maior poder preditivo e ser contrastado com dados empíricos por meio de teorias observacionais adequadas. Em alguns casos, até mesmo as teorias observacionais dependem de modelos auxiliares – como ocorre com a teoria dos telescópios, necessária para interpretar observações astronômicas. Isso evidencia a interdependência entre modelos e teorias na prática científica.

3.2. Exemplo histórico: o programa newtoniano

Lakatos ilustra sua concepção de modelo com o exemplo do programa de investigação gravitacional de Newton [3]. O primeiro modelo planetário de Newton

era bastante simplificado, considerava o Sol fixo com apenas um planeta em órbita, em que tanto o Sol quanto o planeta eram tratados como pontos de massa. A partir desse modelo, Newton derivou a sua lei de gravitação, aplicando-a às órbitas elípticas descritas por Kepler. Porém, esse modelo inicial violava sua terceira lei e, por isso, precisou ser substituído por outro em que o Sol e o planeta giravam em torno de um centro de gravidade comum. Essa consideração tornou o modelo teoricamente mais consistente, mas ainda era limitado, porque não considerava as interações gravitacionais entre o Sol com os outros planetas conhecidos.

Com o avanço do programa, Newton incorporou ao modelo as forças heliocêntricas resultantes da interação do Sol com todos os planetas, mas ainda ignorava as forças interplanetárias. Posteriormente, aperfeiçoou o objeto-modelo ao tratar o Sol e os planetas como esferas, evitando o problema teórico de densidade infinita associado ao modelo de pontos. Essa mudança, porém, implicou enormes desafios matemáticos, que atrasaram a publicação dos *Principia* por cerca de dez anos [3].

Silveira [27, p. 221], manifesta que os seguidores de Newton nunca duvidaram do núcleo firme do programa e continuaram sofisticando o modelo planetário,

quando foi observado pelos newtonianos que a órbita prevista para Urano era discordante com as observações astronômicas, eles não consideraram que a Mecânica Newtoniana estivesse refutada; Adams e Leverrier, por volta de 1845, atribuíram tal discordância à existência de um planeta ainda não conhecido – o planeta Netuno –, e portanto, não levado em consideração no cálculo da órbita de Urano. Essa hipótese permitiu também calcular a trajetória de Netuno.

A hipótese de Adams e Leverrier foi confirmada em 1846, fortalecendo o programa newtoniano e tornando-o mais progressivo – ou seja, com maior profundidade explicativa [3, p. 56]. Esse exemplo ilustra como a construção e o refinamento de modelos podem fortalecer o núcleo de um programa de investigação, desde que resultem em previsões novas e corroboradas.

3.3. Modelos ingênuos e amadurecimento teórico

Para Lakatos, modelos iniciais ou ingênuos¹⁶ – como o primeiro modelo planetário de Newton – são parte natural do desenvolvimento científico [3]. Eles fornecem um ponto de partida heurístico, ainda que incorporem

¹⁶ O termo “ingênuo” é empregado para indicar tanto a ausência de realismo nas hipóteses de um modelo quanto o seu caráter deliberadamente simplificado. Nas palavras de Lakatos [3, p. 59]: “A maior parte dos “puzzles” newtonianos, se não todos, [...], eram previsíveis na época do primeiro *modelo* ingênuo de Newton e, sem dúvida, Newton e seus colegas *anteviram-nos*: Newton deve ter tido consciência plena da falsidade banal das suas primeiras variantes.”

simplificações, idealizações excessivas ou mesmo elementos posteriormente reconhecidos como problemáticos. Seu papel não é oferecer uma representação definitiva, mas inaugurar uma linha de investigação capaz de ser progressivamente refinada.

Essa característica está diretamente ligada à estrutura da MPIC. Como a avaliação racional incide sobre o programa como um todo, e não sobre formulações isoladas, modelos iniciais podem ser preservados e ajustados mesmo diante de dificuldades empíricas. A heurística positiva orienta a construção de versões sucessivamente mais elaboradas. Assim, o que poderia parecer, sob outra perspectiva metodológica, um defeito inicial torna-se um momento legítimo do desenvolvimento interno do programa.

Além disso, a MPIC permite compreender por que novos programas podem surgir com formulações ainda frágeis ou incompletas. Mesmo que suas explicações iniciais apresentem limitações evidentes, eles podem revelar potencial heurístico para gerar novas previsões e abrir problemas fecundos. O caráter transitório e dinâmico desses modelos contrasta com a estabilidade relativa do núcleo firme: enquanto este é protegido por decisão metodológica, os modelos e hipóteses do cinturão estão em constante reelaboração.

Desse modo, o progresso científico não se reduz à eliminação imediata de teorias inadequadas, mas envolve o desenvolvimento contínuo de cadeias de modelos articuladas por uma orientação heurística. Um programa é progressivo quando essas reformulações ampliam seu conteúdo empírico e explicativo, aprofundando a compreensão dos fenômenos ao longo do tempo.

4. Modelos em Bunge e na MPIC de Lakatos: Aproximações, Tensões e Implicações

A concepção de modelo em Bunge e a interpretação reconstrutiva do papel dos modelos na Metodologia dos Programas de Investigação Científica de Lakatos esclarece diferentes dimensões da prática científica. Embora partam de premissas epistemológicas distintas, ambas reconhecem que os modelos exercem um papel mediador entre teoria e realidade e que sua construção é fundamental para o avanço do conhecimento científico [3, 10]. Todavia, diferem na forma como esses modelos devem ser concebidos e aprimorados.

4.1. Semelhanças

Um primeiro ponto de convergência entre as duas abordagens é o reconhecimento de que os modelos constituem elementos relevantes da prática científica. Em ambos os casos, eles são responsáveis por tornar aplicáveis teorias gerais a sistemas físicos concretos, que são, por natureza, complexos. Essa mediação envolve necessariamente processos de idealização, simplificação e abstração, sem os

quais a investigação empírica e a explicação científica ficariam comprometidas.

Outra aproximação relevante reside no fato de que, tanto para Bunge quanto na interpretação lakatosiana aqui adotada, os modelos não são meras ferramentas auxiliares ou recursos instrumentais secundários. Eles são construções conceituais fundamentais, que operacionalizam compromissos teóricos e permitem o confronto sistemático entre teoria e experiência. A idealização, longe de ser vista como um defeito metodológico, é compreendida como uma condição necessária a operacionalização dos modelos. Modelos não são descrições completas da realidade complexa e teorias científicas não versam sobre todos os aspectos da realidade.

Portanto, há também convergência quanto à inserção dos modelos em estruturas teóricas mais amplas. Em Bunge, os modelos adquirem sentido pleno apenas quando integrados a uma teoria geral, que fornece os princípios conceituais, formais e ontológicos responsáveis por sua inteligibilidade e validade científica. Na interpretação reconstrutiva da MPIC de Lakatos, esse papel é desempenhado pelo núcleo firme do programa de investigação, que orienta a construção e o refinamento dos modelos por meio da heurística positiva. Em ambos os casos, os modelos não são entidades isoladas, mas partes constitutivas de quadros teóricos mais abrangentes, sendo dependentes de teorias científicas gerais ou proposições do núcleo firme de programas de investigação.

É fundamental ressaltar, que para ambos, a confrontação empírica não ocorre diretamente no nível das teorias mais gerais. Em Bunge, as condições de aplicação e as idealizações integram a própria estrutura do modelo teórico. Na interpretação reconstrutiva da MPIC de Lakatos, essas mediações aparecem como hipóteses auxiliares e modelos específicos situados no cinturão protetor do programa. Apesar das diferenças conceituais, há convergência quanto à ideia de que a testabilidade das teorias depende de construções intermediárias – como modelos, hipóteses auxiliares e condições de aplicação – que articulam princípios teóricos gerais a situações empiricamente observáveis.

4.2. Diferenças

A despeito das aproximações apontadas, a concepção de modelo em Bunge e a interpretação reconstrutiva aqui proposta do papel dos modelos na MPIC de Lakatos diferem significativamente quanto à natureza epistemológica dos modelos e aos critérios que orientam sua avaliação. Em Bunge [10, 11], os modelos integram uma concepção estruturada e realista da ciência: embora subordinados às teorias, desempenham papel central na explicação dos mecanismos subjacentes aos fenômenos. Em Lakatos [3], os modelos emergem no interior de uma metodologia histórica da ciência e são avaliados principalmente por sua função heurística no desenvolvimento dos programas de investigação.

A divergência principal entre as duas perspectivas não se limita ao reconhecimento de que os modelos podem ser modificados ou substituídos ao longo do tempo – aspecto aceito por ambos –, mas diz respeito ao sentido epistemológico e ontológico dessas mudanças. Em Bunge, o refinamento dos modelos é norteado por um padrão normativo de explicação científica: modelos iniciais, frequentemente de tipo caixa negra, devem ser substituídos por representações mais profundas, capazes de explicitar os mecanismos internos responsáveis pelo comportamento dos sistemas reais [10]. Esse movimento expressa um compromisso explícito com a explicação mecanicista e com uma ontologia realista.

Na abordagem lakatosiana, por sua vez, o valor dos modelos é predominantemente histórico e heurístico [3]. Os modelos não são avaliados isoladamente por seu grau explicativo em um dado momento, mas por sua contribuição para o desempenho global do programa de investigação ao longo do tempo, especialmente em comparação com programas rivais. Modelos iniciais simplificados ou mesmo ingênuos não são considerados metodologicamente problemáticos, desde que integrem uma sequência orientada pela heurística positiva e conduzam à formulação de previsões novas e empiricamente corroboradas. Mais que adequação empírica e capacidade explicativa atuais, modelos devem ser avaliados com vistas a sua fecundidade, ao potencial de contribuição em tornar um programa de investigação progressivo.

Essa diferença expressa uma tensão ontológica relevante entre as duas concepções, ainda que não configure uma oposição direta. Em Bunge, os modelos são entendidos como representações provisórias, porém paulatinamente mais fiéis, da estrutura da realidade. Já em Lakatos, a dimensão ontológica não é negada, mas ocupa papel menos explícito, pois sua análise privilegia os critérios metodológicos e históricos de progressividade do programa de investigação. Nessa perspectiva, os modelos funcionam como instrumentos estratégicos de exploração teórica, cujo valor depende de seu papel no progresso do programa. Assim, embora ambos reconheçam a centralidade dos modelos, diferem quanto à ênfase nos critérios que orientam sua construção, avaliação e aperfeiçoamento.

4.3. Implicações epistemológicas

Do ponto de vista epistemológico, a comparação sugere que a concepção de Bunge e a interpretação reconstrutiva do papel dos modelos na MPIC de Lakatos não são mutuamente excludentes, mas iluminam dimensões distintas da prática científica. Em Bunge, enfatiza-se a importância da precisão conceitual e da coerência formal desde as etapas iniciais da modelagem, como ideais normativas de racionalidade científica e uma orientação realista mais contundente. Em Lakatos, destaca-se a dimensão histórica e processual da ciência, admitindo-se a tolerância a inconsistências provisórias enquanto

o programa de investigação apresentar orientação progressiva. Nesse sentido, a proposta de Bunge mostra-se especialmente fecunda para a explicitação de critérios normativos de construção e avaliação de modelos, ao passo que a metodologia lakatosiana privilegia a análise do desenvolvimento efetivo dos programas de pesquisa ao longo do tempo, sem que isso implique abandono de compromissos racionais.

A articulação dessas perspectivas permite evitar tanto a redução dos modelos a meras ferramentas heurísticas, desprovidas de conteúdo explicativo, quanto uma interpretação excessivamente estática dos modelos como representações quase acabadas da realidade. Em ambos os casos, reconhece-se o papel central dos modelos como mediações entre teoria e realidade empírica, ainda que se atribuam pesos distintos ao rigor inicial e ao desenvolvimento histórico dessas construções.

De forma sintética, as diferenças podem ser caracterizadas do seguinte modo:

- *Bunge*: enfatiza critérios normativos de rigor lógico e metodológico, segundo os quais os modelos devem ser cuidadosamente estruturados e integrados a teorias gerais, visando maior profundidade explicativa e adequação empírica.
- *Lakatos*: admite modelos iniciais simplificados ou mesmo ingênuos, avaliando-os sobretudo segundo o caráter progressivo ou degenerativo do programa de investigação ao qual se vinculam.

Essa comparação não implica que tais concepções determinem diretamente a prática efetiva dos cientistas, mas oferece instrumentos conceituais para a reflexão crítica sobre a articulação entre modelos, teorias e evidência empírica no desenvolvimento do conhecimento científico. Ao explicitar critérios de avaliação, modos de integração teórica e dinâmicas de transformação dos modelos, as perspectivas de Bunge e Lakatos contribuem para qualificar tanto a análise filosófica quanto a formação científica, tornando mais conscientes os pressupostos, limites e estratégias envolvidos na prática da modelagem.

4.4. Implicações para o ensino de Física

As implicações da concepção de modelo de Bunge para o ensino de Física foram discutidas na Seção 2.5.2 por meio de estudos de caso, como a associação de molas em paralelo e o escoamento de água de um recipiente. Nesses exemplos, evidenciou-se que a modelagem científica envolve uma avaliação crítica baseada na identificação consciente das idealizações e das condições de aplicação dos modelos, especialmente quando estas são contrastados com situações concretas.

No que se refere à perspectiva lakatosiana, embora Lakatos não tenha desenvolvido uma proposta específica

para o ensino¹⁷, sua MPIC tem sido utilizada como referencial para analisar processos de argumentação, persistência conceitual e mudança teórica. Chang e Chiu [28], por exemplo, utilizam a estrutura dos programas de investigação para examinar a argumentação informal de estudantes em questões sociocientíficas. Os autores identificam uma estrutura análoga à MPIC: *i) núcleo firme*: correspondente às crenças fundamentais, frequentemente inegociáveis, adotadas pelos estudantes; *ii) cinturão protetor*: formado por justificativas, hipóteses auxiliares e argumentos secundários utilizados para defender essas crenças diante de objeções ou evidências contrárias. Compreender essa estrutura auxilia a explicar por que determinadas concepções dos alunos são tão resistentes às mudanças.

Essa interpretação oferece contribuições importantes para o ensino de Física, pois auxilia a compreender por que certas concepções intuitivas persistem mesmo após o contato com explicações científicas. Por exemplo, a crença de que objetos mais pesados caem mais rapidamente que objetos leves. Essa ideia pode ser interpretada como parte de um “núcleo firme” intuitivo, frequentemente sustentando por experiências cotidianas.

Nesse contexto, o professor pode propor estratégias investigativas capazes de promover conflitos cognitivos e revisões conceituais progressivas. Uma possibilidade consiste em perguntar os estudantes sobre qual objeto chegaria primeiro ao chão ao serem soltos simultaneamente da mesma altura: uma folha de papel e uma pequena pedra. Inicialmente, a maioria tende a prever que a pedra cairá mais rapidamente, aparentemente confirmando sua concepção intuitiva. Em seguida, o professor pode amassar a folha de papel e repetir o experimento. Nesse caso, os dois objetos chegam praticamente juntos ao solo, produzindo um desequilíbrio cognitivo nos estudantes.

A partir dessa situação, o professor atua como mediador da reconstrução conceitual, explicando o papel da resistência do ar no retardamento da queda da folha aberta e discutindo que, na ausência de atrito, todos os corpos cairiam com a mesma aceleração. Recursos adicionais, como vídeos de experimentos realizados em câmara de vácuo – nos quais uma pena e uma esfera metálica caem simultaneamente – podem reforçar essa discussão. Desse modo, a perspectiva lakatosiana permite compreender o ensino não apenas como transmissão de conceitos prontos, mas como um processo de reorganização gradual de estruturas conceituais relativamente estáveis, aproximando a aprendizagem da dinâmica histórica e racional do desenvolvimento científico.

Seguindo ideia semelhante à de Chang e Chiu, Silveira [27] utilizam a MPIC de Lakatos para interpretar concepções alternativas dos estudantes como estruturas

relativamente coerentes e resistentes à mudança, análogas ao núcleo firme. Muitas dessas ideias intuitivas sobre força, movimento e corrente elétrica persistem mesmo após o ensino formal. Com base nisso, o autor propõe uma estratégia didática racionalista-crítica: inicialmente, as concepções dos alunos são explicitadas e reconhecidas como tentativas legítimas de explicar a realidade; em seguida, são criticadas quanto às suas limitações; por fim, introduz-se a teoria científica, destacando seu maior poder explicativo. A substituição das concepções prévias não ocorre instantaneamente, mas por um processo gradual de competição entre ideias rivais.

Um exemplo histórico particularmente fértil para articular as perspectivas de Lakatos e Bunge no ensino de Física é o Programa Gravitacional de Newton. Sob a ótica lakatosiana [3], trata-se de um programa de investigação científica cujo núcleo firme é constituído pelas quatro leis de Newton – as três leis do movimento e a lei da gravitação universal – preservadas ao longo do tempo, enquanto modelos específicos, hipóteses auxiliares, condições iniciais e idealizações, que compõem o cinturão protetor do programa, foram continuamente ajustados para lidar com anomalias e ampliar seu poder explicativo. Do ponto de vista de Bunge, esse desenvolvimento pode ser interpretado como uma evolução dos modelos científicos, desde representações iniciais opacas ou de “caixa cinzenta”, como modelos simplificados do sistema planetário, até modelos gradualmente mais translúcidos, nos quais os mecanismos dinâmicos passaram a ser explicitados com maior profundidade. A cada avanço, modificaram-se os objetos-modelo e os modelos teóricos, mantendo-se, contudo, a mesma teoria geral – as quatro leis de Newton. Explorar esse exemplo no ensino de Física permite evidenciar simultaneamente o caráter histórico e progressivo da ciência, enfatizado por Lakatos, e a exigência de rigor explicativo e de modelagem consistente destacada por Bunge, oferecendo aos estudantes uma visão mais rica e realista da prática científica.

5. Considerações Finais

Este artigo realizou uma interpretação reconstrutiva do papel dos modelos na Metodologia dos Programas de Investigação Científica (MPIC) de Imre Lakatos e buscou compará-lo criticamente com a concepção de Mario Bunge, visando compreender suas semelhanças e diferenças, bem como as implicações para a epistemologia e o ensino de ciências, em especial para o ensino de Física.

Na perspectiva de Mario Bunge, os modelos científicos desempenham uma função mediadora entre teorias gerais e sistemas reais. A construção envolve a passagem do objeto real ao objeto-modelo, por meio de idealizações controladas e integrado a uma teoria geral, culmina na formulação do modelo teórico. Esses modelos possuem

¹⁷ Até o momento, não foram identificados trabalhos que articulem diretamente a noção de modelos à luz da MPIC com aplicações ao ensino, possivelmente porque Lakatos não desenvolveu uma teoria sistemática dos modelos.

compromisso ontológico e explicativo, não se reduzindo a instrumentos meramente heurísticos. A dicotomia entre modelos de caixa negra e de caixa translúcida permite avaliar o grau de profundidade explicativa alcançado, especialmente no que se refere à explicitação dos mecanismos e estruturas subjacentes aos fenômenos.

No caso de Imre Lakatos, embora o autor não tenha apresentado uma teoria de modelos, a análise reconstrutiva desenvolvida neste trabalho mostrou que eles ocupam um papel relevante no interior da heurística positiva dos programas de investigação. Modelos específicos, hipóteses auxiliares, condições iniciais e idealizações compõem o cinturão protetor do programa, sendo passíveis de modificação, ajuste ou substituição em resposta a dificuldades empíricas ou teóricas, enquanto o núcleo firme é metodologicamente preservado. Nessa abordagem, mesmo modelos iniciais simplificados ou ingênuos possuem valor, desde que contribuam para o caráter progressivo do programa, ampliando seu alcance explicativo e preditivo.

A comparação entre as concepções de Bunge e Lakatos revela tanto convergências quanto tensões significativas. A principal convergência reside no reconhecimento da natureza representacional dos modelos: ambos concebem modelos como construções idealizadas orientados por objetivos específicos. Ainda assim, modelos possuem um papel fundamental de mediação entre teoria e realidade. Teorias são gerais e abstratas, não sendo capazes de serem aplicadas a casos concretos, enquanto a realidade é complexa, abarcando uma enorme quantidade de variáveis. Modelos figuram, estrategicamente, no meio desses extremos, são representações específicas o bastante para gerarem previsões e serem empiricamente testadas, mesmo que originadas por objetos-modelo idealizados.

Contudo, os autores divergem quanto ao estatuto epistemológico e ontológico dos modelos em especial com relação ao momento em que o rigor deve ser exigido e o compromisso ontológico desse tipo de representação científica. Bunge enfatiza a necessidade de precisão conceitual e coerência formal desde as etapas iniciais da modelagem, ao passo que Lakatos valoriza a dimensão histórica e processual da ciência, admitindo a tolerância a simplificações iniciais, desde que orientadas por um programa progressivo. Na dimensão ontológica, Bunge continua comprometido com seu realismo científico, defendendo que os modelos vão sendo paulatinamente melhorados e resultando em representações cada vez mais precisas da estrutura da realidade. Lakatos, por sua vez, confere maior ênfase ao potencial que modelos possam ter no desenvolvimento de um programa de pesquisa, identificando que cientistas manifestadamente adotam posição antirrealista sobre (alguns) modelos que constroem, estando cientes de que aspectos do modelo não correspondem à realidade, sendo capazes até de prever quando se exigirá alteração dos mesmos. Essa tensão não indica incompatibilidade, mas evidencia que os autores conferem ênfases distintas, mas

possivelmente complementares, acerca de dimensões da prática científica.

Do ponto de vista epistemológico, a articulação dessas concepções permite evitar tanto a redução dos modelos a instrumentos heurísticos desprovidos de conteúdo explicativo quanto uma visão excessivamente estática dos modelos como representações quase acabadas. Bunge oferece uma perspectiva mais normativa, preocupada em oferecer diretrizes de como a ciência deve ser construída para explicar o mundo, enquanto Lakatos apresenta uma abordagem descritiva e histórica, capaz de dar conta da dinâmica real do desenvolvimento científico. Consideradas em conjunto, essas visões contribuem para uma compreensão mais rica da relação entre teoria, modelo e mundo.

No campo do ensino de Física, as implicações dessas perspectivas mostram-se igualmente relevantes. A concepção bungeana tem sido amplamente mobilizada em propostas didáticas que enfatizam a modelagem científica como um processo estruturado, na qual os estudantes aprendem a construir, analisar e validar modelos, explicitando idealizações, hipóteses, condições de aplicação e limites de validade. Essa abordagem favorece a compreensão da relação teoria-realidade, evidenciando o papel explicativo dos modelos científicos e o caráter provisório do conhecimento. Já a perspectiva lakatosiana contribui para compreender a persistência de concepções intuitivas dos estudantes, interpretando-as como estruturas relativamente estáveis, análogas ao núcleo firme dos programas de investigação. Além disso, oferece subsídios para analisar dificuldades de aprendizagem e processos de mudança conceitual progressiva, destacando que a substituição de concepções alternativas não ocorre de modo imediato, mas por meio de revisões graduais, conflitos cognitivos e reorganizações conceituais sucessivas, envolvendo tanto compromissos centrais quanto ajustes periféricos.

Em síntese, o estudo sugere que a integração das perspectivas de Bunge e Lakatos não apenas enriquece o debate filosófico sobre os modelos científicos, mas também oferece um quadro conceitual robusto para repensar a pesquisa e o ensino de Física, valorizando simultaneamente a exigência explicativa e a dinâmica histórica da ciência.

Agradecimentos

Agradecemos aos professores Leonardo Heidemann e André Hoerning pelas pertinentes sugestões, bem como os avaliadores pelos valiosos apontamentos.

Disponibilidade de Dados

Todo o conjunto de dados que dá suporte aos resultados deste estudo foi disponibilizado em um Repositório de Dados:

- Nome do repositório: Repositório de dissertações dos alunos do PPGFil.
- URL ou DOI: <https://ppgfil.org/2026/03/27/>
- Data do depósito: 27 de março de 2026.

Referências

- [1] K.R. Popper, *Conjecturas e Refutações* (Edições 70, Lisboa, 1982).
- [2] A.F. Chalmers, *O que é ciência afinal?* (Brasiliense, São Paulo, 1993).
- [3] I. Lakatos, *Falsificação e Metodologia dos Programas de Investigação Científica* (Edições 70, Lisboa, 1978).
- [4] R. Friggs, *Models and theories: a philosophical inquiry* (Routledge, New York, 2023).
- [5] M. Bunge, *Rev. Filos. Aurora* **29**, 353 (2017).
- [6] S. Hartmann, em: *Theories and Models in Scientific Processes*, editado por W.E. Herfel, W. Krajewski, I. Niiniluoto e R. Wójcicki (Rodopi, Amsterdã, 1995).
- [7] M. Bunge, *La Ciencia, su Método y su Filosofía*, (Ediciones Siglo Veinte, Buenos Aires, 1972).
- [8] M. Bunge, *Racionalidad y Realismo* (Alianza Editorial, Madrid, 1985).
- [9] M. Bunge, *La investigación científica: Su estrategia y su filosofía* (Ariel, Barcelona, 1989).
- [10] M. Bunge, *Teoria e Realidade* (Perspectiva, São Paulo, 1974).
- [11] M. Bunge, *Method, Models and Matter* (D. Reidel, Dordrecht, 1973).
- [12] M.S. Morgan e M. Morrison, *Model as Mediators: perspectives on natural and social science* (Cambridge University Press, New York, 1999).
- [13] R.V. Brandão, *A estratégia da modelagem didático-científica reflexiva para a conceitualização do real no ensino de Física*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (2012).
- [14] R.R. Campomanes, L.A. Heidemann e V.L.F. Frare, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **44**, e20220165 (2022).
- [15] R.R. Campomanes, L.A. Heidemann e E.A. VEIT, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **42**, e20190076 (2020).
- [16] A.M.P. Carvalho (org.), *Ensino de Ciências por Investigação: Condições Para a Implementação em Sala de Aula* (Cengage Learning, São Paulo, 2013), 1 ed.
- [17] J. Schisler, E.A. Veit, L.A. Heidemann e R.R. Campomanes, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **46**, e20240227 (2024).
- [18] M. Pietrocola, *Investigações em Ensino de Ciências* **4**, 213 (1999).
- [19] M. Westphal e T.C. Pinheiro, *Ciência & Educação* **10**, 585 (2004).
- [20] M.A. Moreira e N.T. Massoni, *Ensino, Saúde e Ambiente* **9**, 1 (2016).
- [21] L.A. Heidemann, *Ressignificação das atividades experimentais no ensino de Física por meio do enfoque no processo de modelagem científica*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (2015).
- [22] L.A. Heidemann, I.S. Araujo e E.A. Veit, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **38**, 1504 (2016).
- [23] C.B.S. Silva, P.F.T. Dorneles e L.A. Heidemann, *Experiências em Ensino de Ciências* **15**, 166 (2020).
- [24] W. Gong, A. Aspatwar, S. Wang, S. Parkilla e X. WU, *Expert Review of Vaccines* **20**, 1938550 (2021).
- [25] J. Cabaret e G. Denegri, *Parasite* **15**, 501 (2008).
- [26] D.G. Williams, *Compare* **53**, 105 (2023).
- [27] F.L. Silveira, *Caderno Catarinense de Ensino de Física* **13**, 219 (1996).
- [28] S.N. Chang e MH Chiu, *International Journal of Science Education* **30**, 1753 (2008).