

**O processo de medição no ensino de Física a partir do enfoque no processo de modelagem científica: subsídios para o desenvolvimento de atividades no ensino de Física<sup>+</sup>**

---

*Letícia Tasca Pigosso<sup>1</sup>*

Colégio Murialdo – Caxias do Sul

*Leonardo Albuquerque Heidemann<sup>1</sup>*

*Eliane Angela Veit<sup>1</sup>*

Instituto de Física – UFRGS

Porto Alegre – RS

**Resumo**

*A medição é uma das operações empíricas básicas da Ciência. Em decorrência disso, as nuances dos processos de coleta e análise de dados foram objetos de estudo de grandes cientistas durante a história. A despeito da importância da medição na Ciência, debates sobre o tema costumam ser pouco frequentes na Educação Básica, e, no Ensino Superior, podem acabar reduzidos a cálculos de procedimentos estatísticos carentes de significado. Neste artigo, com o objetivo de apresentar uma alternativa para se agregar sentido e significado aos procedimentos envolvidos na medição científica, apresentamos reflexões sobre como elementos centrais do delineamento experimental e da coleta e análise de dados podem ser compreendidos a partir do enfoque no processo de modelagem científica. Pautados pela Modelagem Didático-Científica, expomos considerações sobre o papel dos modelos científicos na produção e interpretação de dados experimentais, destacando as diferenças entre observações, medições e experimentos, assim como exploramos a modelagem científica como um meio para a compreensão de incertezas de medições. Por fim, fundamentados nas reflexões apresentadas, propomos duas atividades para o Ensino Médio, uma voltada para situações relacionadas com a dispersão de dados*

---

<sup>+</sup> The process of measurement in Physics teaching from the perspective of scientific modeling process: subsidies for the development of activities in Physics teaching

\* Recebido: 25 de maio de 2023.

Aceito: 20 de fevereiro de 2024.

<sup>1</sup> E-mails: [letitascap@hotmail.com](mailto:letitascap@hotmail.com); [leonardo.h@ufrgs.br](mailto:leonardo.h@ufrgs.br); [eav@if.ufrgs.br](mailto:eav@if.ufrgs.br)

*experimentais e o significado de médias de conjuntos de dados, e outra para situações sobre a imprecisão de instrumentos de medida.*

**Palavras-chave:** *Medição; Modelagem Didático-Científica; Experimentação; Incertezas Experimentais.*

### **Abstract**

*Science relies on measurement as one of its basic empirical operations, which has led to great scientists studying the nuances of data collection and analysis processes throughout history. However, despite its importance, discussions about measurement are often rare in Basic Education and can become reduced to meaningless statistical calculations in undergraduate courses. To address this issue, this article presents reflections on how experimental design and data collection and analysis can be better understood through the process of scientific modeling. Using Didactic-Scientific Modeling, the role of scientific models in the production and interpretation of experimental data is explored, highlighting the differences between observations, measurements, and experiments. Furthermore, scientific modeling is discussed as a way to understand uncertainties of measurements. Finally, two activities are proposed for Secondary School, one focusing on the dispersion of experimental data and the meaning of data set means, and another on the imprecision of measuring instruments, to add sense and significance to the procedures involved in scientific measurement.*

**Keywords:** *Measurement; Didactic-scientific Modeling; Experimentation; Experimental Uncertainty.*

## **I. Introdução**

O segundo turno das eleições de 2020 para a prefeitura de Porto Alegre gerou uma disputa acirrada entre candidatos; a última pesquisa de intenção de votos<sup>2</sup> antes da eleição mostrava que uma candidata contava com (51% ± 3%) dos votos válidos enquanto o segundo

---

<sup>2</sup> Pesquisa do Ibope disponível em: <https://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/eleicoes/2020/noticia/2020/11/28/pesquisa-ibope-para-2o-turno-em-porto-alegre-votos-validos-manuela-51percent-melo-49percent.ghtml>. Acesso em: 01 dez. 2023.

candidato teria ( $49\% \pm 3\%$ ). Na apuração dos votos das urnas<sup>3</sup>, porém, a candidata recebeu 45,37% dos votos e não foi eleita. Esse resultado deflagrou comentários em redes sociais demonstrando descrédito e descontentamento com as pesquisas eleitorais e levantando, mais uma vez, desconfianças sobre os interesses e/ou métodos dos institutos de pesquisa. Os debates gerados também nos grandes grupos de mídia<sup>4</sup> têm sido recorrentes quando os resultados de eleições diferem dos previstos pelas pesquisas de opinião. Ainda que tais pesquisas possam ser manipuladas, a forma como significativa parcela da população reage à diferença entre as previsões e os votos computados evidencia a dificuldade dessas pessoas de compreenderem procedimentos de medição e suas predições, em particular, que as margens de incertezas das previsões não podem ser ignoradas e, ainda, que as pesquisas preveem os resultados dentro de certo nível de confiança, usualmente 95%. Essa dificuldade fica clara quando pesquisas mostram, por exemplo, diferenças de intenção de voto de 1% entre candidatos e, a despeito das margens de erro maiores do que essa diferença, eleitores assumem que um dos concorrentes está à frente do outro.

Medições de intenção de voto, assim como qualquer medição sobre algo real, refletem um estado particular de um objeto ou evento limitado no espaço e no tempo, e sempre são acompanhadas de uma incerteza. A pesquisa publicada no dia anterior à eleição, por exemplo, deve refletir as intenções de voto no momento em que as entrevistas foram realizadas, sendo possível que, entre a coleta dos dados e a votação, eventos tenham interferido na decisão das pessoas. Isso explica por que as pesquisas de boca de urna, feitas no dia da votação, apresentam previsões mais fidedignas. Além disso, as pesquisas eleitorais são feitas com uma parcela (amostra) da população votante e não com todos os eleitores<sup>5</sup>. A partir das respostas dos entrevistados (805 indivíduos na pesquisa para a Prefeitura de Porto Alegre), pretende-se estimar os percentuais que serão atingidos quando computados os votos efetivamente conferidos nas urnas pela população de votantes (um total de 678.295 votos válidos). Essa noção, de que os resultados das pesquisas de intenção de voto se constituem em estimativas (percentuais aproximados) que inevitavelmente apresentam margens de erro dentro de certo limite de confiabilidade, é fundamental para compreender os resultados dessas pesquisas.

---

<sup>3</sup> Resultado disponível em: <https://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/eleicoes/2020/resultado-das-apuracoes/porto-alegre.ghtml>. Acesso em 01 dez. 2023.

<sup>4</sup> Reportagem disponível em: <https://gauchazh.clicrbs.com.br/politica/eleicoes/noticia/2020/11/diferenca-entre-resultados-de-pesquisa-e-de-eleicao-nao-implica-fraude-como-apontou-ex-deputado-ao-mencionar-porto-alegre-ckhw104ig0020014n5db4ppbm.html>. Acesso em: 01 dez. 2023.

<sup>5</sup> Há procedimentos estatísticos recomendados para a construção de amostras (Barbetta, 2019). Por exemplo, para que elas sejam representativas da população de votantes, devem ser entrevistados indivíduos com mais de 16 anos residentes em diferentes municípios do Brasil. É comum que tais municípios sejam definidos por sorteio, ponderado pelo número de eleitores de cada município. Amostragens mais refinadas consideram outros fatores como gênero, situação econômica e escolaridade. Essa discussão foge ao escopo deste trabalho, porém precisamos registrar que dispomos no Brasil de institutos de pesquisa que dominam a ciência de construção de amostras e inferência estatísticas.

É claro que o descontentamento da população com as pesquisas eleitorais é resultado de uma complexa rede de fatores que envolve, entre outras coisas, aspectos emocionais e cognitivos. No entanto, as reações de parte da população evidenciam também que as dificuldades de interpretação de medições empíricas, neste e em outros tantos contextos da sociedade, prejudicam a compreensão da situação e posicionamento das pessoas. Por trás da simplicidade aparente dos dados de uma pesquisa eleitoral, existem procedimentos complexos relacionados com medições que envolvem conhecimentos distantes de significativa parcela da população. As implicações desse desconhecimento refletem também nas dificuldades dessas pessoas para interpretar dados um pouco mais complexos, como os resultados dos testes de vacina para a COVID-19, também divulgados em 2020. Evidencia-se em casos como esses a importância da compreensão de procedimentos de medição para que a população se posicione em questões com grande influência nas suas vidas, e por isso tais procedimentos precisam ser explorados e debatidos na Educação Básica, como é preconizado na Base Nacional Comum Curricular (BNCC) (Brasil, 2018).

Em virtude da sua importância tanto para a interpretação de dados cotidianos como de questões científicas, o procedimento de medição tem assumido uma posição de destaque na área de pesquisa em Ensino de Ciências. Há longo tempo pesquisadores mostram que os estudantes, em diversos níveis de ensino, apresentam dificuldades em compreender a natureza das medições e os resultados delas (e. g., Varelas, 1996; Toplis, 2007; Munier; Merle; Brehelin, 2013; Força; Laburú; Silva, 2013; Leblecioglu *et al.*, 2017). Além disso, com frequência, os alunos demonstram ser capazes de realizar as operações matemáticas envolvidas nas análises de dados das medições, porém não são capazes de interpretá-las de forma adequada (Pigosso; Heidemann, 2023).

Percebendo essas dificuldades, cada vez mais pesquisadores da área de ensino têm se preocupado com esse tema. Buffler, Allie e Lubben (2001), por exemplo, apresentam uma forma de avaliar as concepções dos estudantes baseada nas ideias de Thomas Kuhn. Para isso, propõem a existência de dois paradigmas: um denominado de Paradigma Pontual, sintetizado na crença ingênua de que existe um valor verdadeiro para qualquer tipo de medição e de que tal valor pode ser alcançado em uma única medição, enquanto uma visão mais sofisticada, denominada de Paradigma de Conjunto, resume-se na noção de que medições costumam produzir dados que apresentam flutuações estatísticas e que demandam análises em termos de conjuntos de dados.

Nas pesquisas sobre o ensino do processo de medição, as ideias de Thomas Kuhn são predominantes, o que pode ser constatado na revisão da literatura de Pigosso e Heidemann, (2023), evidenciando pouca diversidade em termos de fundamentos epistemológicos nos artigos em que o tema é explorado. Elementos importantes desses procedimentos, como o papel dos modelos científicos no delineamento e na condução de medições e na construção de relações entre teorias e realidade, são pouco ou nada explorados nos trabalhos da área, que dão maior enfoque ao caráter estatístico das medições. Desse modo, é importante para o

ensino de Física a exploração de outras perspectivas para a discussão do conceito de medição científica. Inserido neste contexto, este artigo contribui para trazer diversidade ao tema na área de ensino de Ciências, pois apresentamos uma alternativa para dar sentido e significado, valendo-se de atividades didáticas que evocam a modelagem científica de situações-problemas de fenômenos físicos, aos procedimentos de medição, seus resultados e confiabilidade.

O enfrentamento de situações-problemas do mundo real requer reflexões sobre diversas questões. Por exemplo, quais objetos/eventos do mundo real serão considerados? Quais propriedades desses objetos/eventos são importantes para encontrar uma solução (não necessariamente única) para a situação-problema? Quais idealizações e aproximações são razoáveis? Que medições deverão ser feitas? Como validar o modelo por meio do contraste entre suas previsões e os resultados experimentais? Esse tipo de questionamento é indispensável na abordagem de problemas sobre a natureza física, química e biológica. Procedimentos específicos podem ser requeridos nas diferentes áreas; contudo, em linhas gerais, o processo de modelagem científica requer criação, exploração, validação e expansão ou refinamento de modelos científicos que nos permitem descrever e prever fenômenos do mundo natural. É o que aqui, por simplicidade, denominamos de modelagem científica.

A modelagem científica tem sido apontada como uma forma promissora para a promoção da vinculação entre teoria e prática (Greca; Moreira, 2002; Louca; Zacharia, 2012; Justi, 2015; Brandão; Araujo; Veit, 2011; Heidemann; Araujo; Veit, 2016; Brewe; Sawtelle, 2018; Etkina; Warren; Gentile, 2005; Hestenes, 2006). No contexto da experimentação científica, a conceitualização do real, realizada a partir da construção de modelos científicos, guia os processos e procedimentos de medição, ou seja, dirige o delineamento dos instrumentos de medida, determina as relações entre as grandezas investigadas, indica os parâmetros e variáveis que devem ser controlados, e, a partir da análise das aproximações e idealizações consideradas, possibilita a estimação e compreensão das incertezas envolvidas. Por exemplo, em um experimento didático que visa à compreensão do conceito de período em um pêndulo, o próprio conceito de período é sustentado dentro de uma rede de modelos científicos, tendo sentido em uma série de situações exploradas a partir dessa rede. A medição dessa grandeza pode ser realizada pela medição direta do tempo de oscilação de um pêndulo real. No entanto, o período de um pêndulo real pode ser, dependendo das condições, predito, dentro de certo grau de aproximação, com base no modelo de pêndulo simples, a partir da medição do comprimento do fio do pêndulo real. Destaca-se que, nessa situação, dirigidos pelo modelo de pêndulo simples, consideramos desnecessária a medição da massa do corpo suspenso, contanto que o fio de sustentação possua massa muito menor do que a do corpo que ele sustenta e que os efeitos de resistência do ar sejam desprezíveis. Também dirigidos pelo modelo de pêndulo simples, assumimos que a amplitude de oscilação do pêndulo precisa ser controlada, de tal forma que possamos considerar que o período independe da amplitude para que o evento seja adequadamente representado pelo modelo de referência.

Medição é um tema tão complexo e importante para o mundo contemporâneo que a metrologia se constitui em um campo de conhecimento próprio, que aborda os aspectos teóricos e práticos de processos e procedimentos de medição em atividades profissionais das mais diversas naturezas. Em função da complexidade desse assunto e da necessidade de estabelecimento de padrões internacionais para expressar os resultados de medições e respectivas incertezas, especialistas de diferentes organismos internacionais produziram dois documentos fundamentais: Guia para Expressão de Incerteza da Medição (JCGM, 2008) e o Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM, 2012). Diversos trabalhos já foram produzidos no sentido de esclarecer e introduzir esses novos padrões em atividades de ensino de nível médio e superior (e. g., Cruz *et al.*, 2009; Vuolo, 1999; Buffler; Allie; Lubben; 2001; Lima Junior; Silveira, 2011a; 2011b). Essas publicações enfocam as definições e vocabulário empregados nesses documentos e os procedimentos para obtenção de incertezas.

Nosso objetivo no presente texto é distinto. Pretendemos elucidar potencialidades do ensino de procedimentos de medição científica com enfoque no processo de modelagem científica, aplicáveis em contextos do Ensino Básico. Discutimos neste artigo como aspectos específicos das medições, como a análise de incertezas, podem ser enriquecidos quando explorados com base na Modelagem Didático-Científica<sup>6</sup> (MDC+). Para tanto, partimos na Seção II das ideias de Mario Bunge (2004) sobre o papel dos modelos científicos em três procedimentos empíricos – observação, medição e experimento – e na instrumentação para então discutir as incertezas de medições na perspectiva da modelagem científica. Apontamos como, a partir da análise do modelo teórico que dirige uma medição e/ou experimentação, são delineadas ações de controle de variáveis, coleta de dados, delineamento de investigações, entre outras ações. Então, na Seção III, exemplificamos o uso dessa abordagem no desenvolvimento de duas atividades experimentais para estudantes de Ensino Médio, explicitando como nuances do processo de medição podem oportunizar momentos em que os estudantes debatam sobre eventos físicos mobilizando discursos científicos. Por fim, nos comentários finais (Seção IV) sintetizamos como contribuimos com a área de ensino de Física propondo uma alternativa para o ensino focado em aspectos da modelagem científica voltado para enriquecimento da compreensão dos estudantes sobre o processo de medição.

## **II. O papel dos modelos científicos na produção e interpretação de dados experimentais**

Ainda que o termo modelo possua múltiplos significados na filosofia da Ciência, a noção de representação é usualmente subjacente à sua conceitualização. Trata-se da representação de alguma coisa, em uma construção intencionada pautada por conhecimentos

---

<sup>6</sup> A MDC é um referencial teórico-metodológico construído por meio de uma articulação teórica entre ideias de Mario Bunge sobre modelagem científica e a Teoria de Campos Conceituais de Vergnaud. A MDC+ é uma expansão da MDC, incorporando o fazer científico experimental. Para não estender demais o presente artigo, foge ao seu escopo apresentar inteiramente esse referencial. Vamos nos concentrar nos aspectos teóricos essenciais para a discussão das potencialidades associadas à aprendizagem de medições científicas.

científicos para se apreender um objeto ou um processo<sup>7</sup>. Naturalmente, como qualquer representação, um modelo científico é simplificado, abarcando apenas algumas das características do que ele representa. Na MDC+, esse processo é pormenorizado se destacando que um modelo teórico é, essencialmente, uma combinação entre um objeto-modelo (ou modelo conceitual) e uma teoria geral. Discutiremos esses conceitos a partir de um exemplo.

Vamos supor uma atividade didática dirigida pela seguinte questão: comparando o período de rotação da Terra ao redor do Sol com o de outros planetas do Sistema Solar, ele é menor, maior ou igual? Por quê? Para responder a essa pergunta, vamos iniciar fazendo recortes da realidade. Ainda que saibamos que existem incontáveis corpos celestes, vamos considerar somente o Sol e os planetas do Sistema Solar. Tendo em vista que queremos estudar o movimento dos planetas em um contexto de ensino, a Mecânica Newtoniana pode ser uma teoria geral adequada para esse fim. Tal escolha vai nos dirigir na construção do objeto-modelo que utilizaremos para representar os planetas. Esse processo envolve o estabelecimento de uma descrição do referente do modelo (neste caso, o Sol e os oito planetas do sistema solar) pautada pelas idealizações e aproximações do sistema alvo. Nesse exemplo, podemos desprezar a interação gravitacional entre os planetas, assim como desprezar a influência de outros corpos celestes do Sistema Solar (e.g., cinturão de asteroides). Além disso, podemos idealizar o Sol e os planetas como corpos pontuais, assim como considerar, em uma primeira aproximação, que os planetas realizam órbitas circulares ao redor do Sol. Essas idealizações possibilitam a construção de um modelo teórico didaticamente útil para se explorar o período de translação dos planetas com suficiente precisão. Tomamos então como objeto-modelo um sistema composto por oito corpos pontuais (planetas) transladando ao redor de outro corpo pontual (Sol) com trajetórias circulares.

Porém, pouco adianta estabelecer uma descrição simplificada e não a explicar à luz de teorias gerais. Nesse caso, podemos mobilizar a Mecânica Newtoniana (a Lei da Gravitação Universal e a Segunda Lei de Newton) e, igualando a força centrípeta sofrida pelos planetas em seus movimentos circulares com a força gravitacional entre eles e o Sol, inferir a frequência angular das órbitas e, conseqüentemente, o período sideral dos planetas. Destaca-se que as simplificações consideradas no objeto-modelo são carregadas pelo modelo teórico, determinando o seu grau de precisão e domínio de validade. Em outras palavras, o modelo teórico apresentará imprecisões devido às simplificações consideradas no objeto-modelo que lhe dá origem, limitando o seu grau de precisão, assim como delimitando as situações em que é adequado utilizá-lo para representar um objeto/evento real. Poderia se ter maior grau de precisão em um modelo de sistema planetário em que as órbitas dos planetas

---

<sup>7</sup> Essa noção geral de modelo é legítima, por mais que sejam identificadas divergências sobre, entre outras coisas, a gênese dos modelos científicos, a ontologia do que eles representam, e os critérios de significação utilizados pelos cientistas para avaliarem esses modelos (Gilbert *et al.*, 2000).

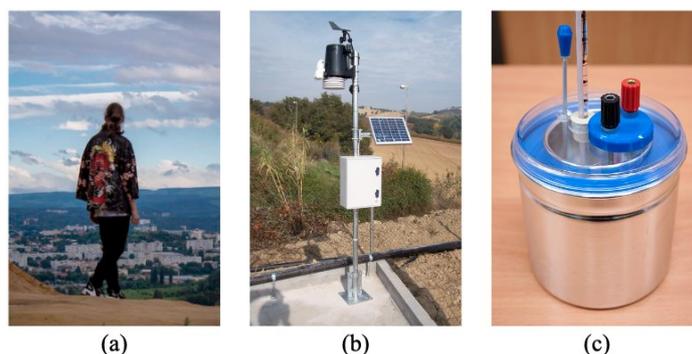
fossem consideradas elípticas, porém isso implicaria um tratamento matemático um pouco mais elaborado.

Fica evidente no exemplo citado que a compreensão da Ciência como uma rede complexa de modelos é permeada pela concepção de que o empreendimento científico é humano, mutável e representacional. Em virtude disso, o enfoque na modelagem científica em contextos didáticos vem ganhando notoriedade (Louca; Zacharia, 2012; Koponen, 2007; Oh; Oh, 2011; Brandão, 2012; Weber, 2021), sendo visto como uma forma promissora para proporcionar aos estudantes a mobilização de aspectos epistemológicos e conceituais da Física. Louca e Zacharia (2012), em uma revisão da literatura, identificaram que o enfoque na modelagem científica possibilitou aos estudantes evoluções em: i. Compreensões conceituais de conhecimentos científicos; ii. Compreensões da natureza operatória da Ciência; iii. Habilidades procedimentais e de resolução de problemas; e iv. Apropriações de pensamentos e linguagem científica.

Até aqui discutimos noções gerais sobre modelagem científica e aspectos conceituais associados a modelos científicos, particularmente, as relações entre modelo teórico, objeto-modelo e teorias, na acepção de Bunge (2004) utilizada na MDC+. No que segue, ressaltaremos o papel dos modelos científicos no delineamento e na condução de procedimentos empíricos, em especial em medições científicas.

## **II.1 Observação, medição e experimento: quais são as diferenças entre esses procedimentos empíricos?**

Bunge (2004) destaca três tipos de procedimentos empíricos: observações, medições e experimentos, conforme ilustrado na Fig. 1. As observações são procedimentos básicos e, segundo o autor, são percepções da realidade intencionadas e ilustradas, ou seja, feitas com um objetivo (por isso, seletivas) e guiadas por um corpo de conhecimentos (por isso, interpretativas). Elas, porém, são feitas sem precisão quantitativa. Segundo Bunge (idem), uma observação envolve tomar consciência do objeto, reconhecê-lo e, por fim, descrevê-lo. Nas publicações científicas, observações são pouco frequentes. Por exemplo, observações astronômicas despertam grande interesse do público leigo e também de astrônomos; entretanto, os avanços científicos da astronomia e astrofísica se fundamentam em medições. No cotidiano, contudo, são comuns. Por exemplo, quando olhamos para o céu para, analisando as nuvens, prever as condições climáticas futuras, estamos realizando uma observação. Destaca-se que, como qualquer procedimento empírico, tal observação é dirigida por um modelo, que pode ser científico ou não. Nesse caso, é natural que a pessoa que olha para o céu tenha, implícita ou explicitamente, um modelo que representa as relações entre o comportamento das nuvens e a ocorrência de chuva. É com base nesse modelo e nas suas observações que ela faz suas previsões.



*Fig. 1 – Ilustrações de procedimentos empíricos. Em (a), uma pessoa realizando uma observação das nuvens com a intenção de prever o tempo; em (b), uma medição da umidade relativa do ar, por exemplo, realizada em uma estação meteorológica; em (c), a montagem de um experimento para a determinação do calor específico de uma substância. Fonte: Vide nota de rodapé<sup>8</sup>.*

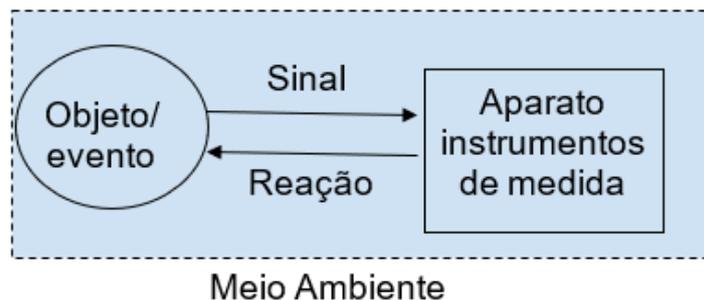
Quando quantificadas, observações se tornam medições. Assim como nas observações, as interpretações decorrentes de medições são suportadas por modelos teóricos. A informação de que, por exemplo, a medição da velocidade de um rio hipotético é de  $(5 \pm 1)$  m/s pode fazer sentido em um modelo em que se pressupõe que a velocidade desse rio é constante, ou seja, mesmo se sabendo que a velocidade de tal rio não é idêntica em todos os locais e pode variar com o tempo, assume-se que ela é constante e se atribui um valor a uma grandeza idealizada cujo significado é estabelecido em um modelo teórico.

Em alguns casos, medições são realizadas em condições naturais, não controladas, como em medições da temperatura e pressão ambiente em estações meteorológicas (Fig. 1b) ou em medições astronômicas. Em outros casos, elas são realizadas em ambientes artificiais, controlados a partir de procedimentos dirigidos por modelos teóricos. Nos casos controlados, denominamos experimentos. Bunge (idem) explica que experimentos demandam alterações planejadas e objetificadas no ambiente, requerem construções cognoscitivas e práticas, objetos abstratos (ideias, conceitos, hipóteses, teorias) e concretos (materiais, instrumentos). Assim, experimentos, que podem ser qualitativos ou quantitativos, exigindo medições, demandam o desenvolvimento de técnicas experimentais que permitam o controle do ambiente.

Conforme ilustrado na Fig. 2, um experimento envolve três elementos: o objeto/evento em estudo, o aparato experimental, incluindo os instrumentos de medidas, e o meio ambiente. É preciso planejá-lo e construí-lo de modo tal que a interferência do meio ambiente seja a mínima possível.

---

<sup>8</sup> As três figuras utilizadas possuem licenças permissivas, podendo ser acessadas, respectivamente, em: [https://unsplash.com/pt-br/fotografias/uma-pessoa-em-pe-no-topo-de-uma-colina-com-vista-para-uma-cidade-BARfQGE\\_QcU](https://unsplash.com/pt-br/fotografias/uma-pessoa-em-pe-no-topo-de-uma-colina-com-vista-para-uma-cidade-BARfQGE_QcU); <https://www.publicdomainpictures.net/en/view-image.php?image=25133&picture=weather-station-bit-line> e [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aluminium\\_Calorimeter.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aluminium_Calorimeter.jpg).



*Fig. 2 – Representação esquemática de um experimento. Idealmente o objeto de estudo e instrumentos de medida devem ser isolados do meio ambiente, como indicado pela linha tracejada. Fonte: Adaptada de Bunge (2004, p. 665).*

Um modelo teórico de referência guia as ações de controle do experimentador sobre o objeto ou evento investigado, como o controle das variáveis que precisam ser mantidas constantes. Por exemplo, suponha que um indivíduo queira medir o valor do calor específico de um líquido X. Baseando-se em um modelo da termometria, o indivíduo pode planejar o seguinte experimento: providencia uma mistura de água e do líquido X a diferentes temperaturas iniciais e mexe levemente até entrar em equilíbrio térmico. Supondo que toda energia perdida por um dos líquidos (o de maior temperatura) seja absorvida pelo de menor temperatura, o calor específico do líquido X pode ser calculado por meio do balanço da energia cedida por um dos líquidos e recebida pelo outro. Supor que não há perdas de energia para o meio ambiente requer que a mistura seja feita em um recipiente termicamente isolado, como ilustrado na Fig. 1c. Os mensurandos<sup>9</sup> são as massas da água e do líquido X, as temperaturas iniciais dos dois líquidos e a temperatura final da mistura. Os instrumentos de medida necessários são uma balança e um termômetro. O ideal é que o termômetro não interfira na temperatura da mistura, mas isso só ocorre se a capacidade térmica do seu bulbo for desprezível frente à capacidade térmica da mistura. Aí temos uma fonte de erro sistemático, pois uma fração (ainda que muito pequena) da energia do líquido de maior temperatura será cedida ao termômetro. Também é desejável que o meio não interfira na temperatura aferida pelo termômetro. Então, ele deve estar, juntamente à mistura, isolado termicamente do meio. Outra possibilidade seria optar por um instrumento diferente para medir temperatura. Por exemplo, um sensor de temperatura acoplado a uma placa Arduino diminuiria o efeito do instrumento sobre a medição e ainda permitiria medidas em função do tempo. Não queremos aqui esgotar a discussão sobre experimentos para determinação de calor específico, mas tão somente reiterar a importância dos modelos no planejamento e execução de experimentos e medições. Em síntese, perturbações (ainda que pequenas) no mensurando,

<sup>9</sup> Segundo VIM (2012, p. 30), mensurando é a grandeza que se pretende medir: “A especificação de um mensurando requer o conhecimento da natureza da grandeza e a descrição do estado do fenômeno, do corpo ou da substância da qual a grandeza é uma propriedade, incluindo qualquer constituinte relevante e as entidades químicas envolvidas”.

nos instrumentos de medida e/ou no ambiente que contém ambos são fontes de erros e incertezas.

Em outro exemplo, podemos analisar um caso comum em laboratórios didáticos de Física: o uso de trilhos de ar para o estudo de movimentos. A decisão de utilizar um trilho de ar costuma ser balizada pela intenção de minimizar a influência de forças dissipativas sobre os objetos que se movem sobre o trilho para que se possa contrastar evidências experimentais colhidas com esse aparato com previsões de modelos em que as forças dissipativas são consideradas desprezíveis. Em suma, o modelo teórico de referência dirige a tomada de decisão sobre quais grandezas precisam ser analisadas em um delineamento experimental. Heidemann, Araujo e Veit (2016, p. 356) destacam tal fato dizendo que “*o trabalho experimental é sempre delineado, conduzido e avaliado dentro de um corpo teórico composto por teorias, modelos, hipóteses, etc.*”.

Apoiado em um modelo teórico, o delineamento experimental engloba as decisões sobre os procedimentos empíricos que precisarão ser realizados para alcançar respostas para a questão de pesquisa do processo de modelagem científica conduzido. Por sua vez, os procedimentos empíricos possibilitam a obtenção de evidências que permitem a contrastação empírica, ou seja, possibilitam a contrastação de previsões construídas com base em um modelo teórico com o comportamento exibido pelos objetos/sistemas ou eventos reais, ou supostos como tal, que serviram de referentes para esse modelo. Ainda, o modelo teórico é construído com base em uma ou mais teorias gerais.

Por exemplo, se a intenção é medir o período orbital de um Quasar, utilizamos medições de grandezas características desse objeto, como o seu brilho aparente. Nesse caso, não somos capazes de manipular o evento investigado; podemos apenas acessar e quantificar características do objeto investigado. Trata-se, portanto, do procedimento empírico medição. Já se buscamos avaliar a variação do período de um pêndulo, podemos controlar o evento investigado construindo, guiado pelo modelo de pêndulo simples, um pêndulo real com um fio pouco extensível e com massa muito menor do que a massa do corpo suspenso, por exemplo. Podemos então realizar um experimento quantitativo, já que construímos o aparato experimental com o objetivo de realizar a medição do período controlando o comprimento do fio e a massa do corpo suspenso e do fio do pêndulo real.

Segundo Bunge (idem), a medição é um dos principais procedimentos na experimentação, de modo que o seu entendimento é indispensável na compreensão das operações empíricas em geral e, em particular, na validação de modelos científicos. Por outro lado, a medição pressupõe a observação. Para algo ser medido, precisa ser direta ou indiretamente observável. O autor destaca que, se algo é observável, então é assumido como real, de modo que a existência é uma necessidade para a observabilidade de um ente. Em outras palavras, “*se algo é observado efetivamente com a ajuda de instrumentos empíricos adequados, então pode-se adiantar provisoriamente a hipótese de sua existência física*” (Bunge, 2004, p. 603). Nessa passagem, Bunge aponta que a utilização de instrumentos

empíricos pode ser necessária para uma observação, de modo que podem existir entes observáveis para os quais ainda não dispomos do aparato necessário para sua observação. A história da Física está repleta de exemplos em que novos instrumentos descortinaram um novo mundo, possibilitando um salto gigantesco para o conhecimento científico, como é o caso do telescópio de Galileu e do telescópio James Webb para observações em escala astronômica, e o microscópio óptico e eletrônico para observações em escala microscópica e, inclusive, em nanoescala.

## II.2 O papel dos modelos científicos na medição e experimentação

Medição é uma operação empírica que atribui um valor numérico específico a uma determinada propriedade de um objeto ou evento sob observação (Bunge, idem). Denominamos de mensurando o estado dessa propriedade de um sistema concreto que pretendemos medir, como se pode ver na Tabela 1, em que exemplificamos os níveis de um processo de medição.

Tabela 1 – O mensurando e seus níveis, ilustrados com um exemplo (adaptado de Bunge, 2004, p. 638).

Entidade	Nível	Exemplo	
		Símbolo	Propriedade
Mensurando (estado de uma propriedade)	Realidade	$L$	comprimento da varinha <----->
Valor numérico de uma propriedade	Teoria	$1m$	$100cm$
Valor medido de uma propriedade	Experiência	$L_{medido}$	$(100,0 \pm 0,1) cm$

O mensurando é o “recorte” da realidade ao qual se busca atribuir um valor. No caso da grandeza “comprimento”, podemos estar interessados em medir o comprimento de uma varinha; nesse caso, a varinha é a realidade, e o comprimento da varinha (mensurando) é um valor numérico atribuído a uma propriedade da realidade. Se o objetivo é utilizar a varinha como escala para definir o comprimento de um metro, então, no nível de teoria, temos o valor numérico dessa propriedade definido como 100 cm. Já quando passamos ao valor medido dessa propriedade, estamos no nível de experiência, e o valor passa a ser acompanhado de uma incerteza, podendo, como exemplo, estar no intervalo  $(100,0 \pm 0,1) cm$ . Para a associação de um valor numérico a um estado de uma propriedade de um objeto ou evento, é necessário que exista alguma teorização sobre o conceito que dá sentido a essa propriedade, de modo que, sem teoria, a propriedade, caracterizada por uma grandeza, não poderá se tornar um mensurando.

Segundo Bunge (idem), como visto na Tabela 1, todo valor medido deve ser acompanhado de sua incerteza, originada pelo próprio ato de medir<sup>10</sup>. Isso porque a medição, em nível de experiência, é um processo físico em que pelo menos o dispositivo de medição é macroscópico e, como não existem duas coisas idênticas em nível macroscópico, é improvável a obtenção de resultados idênticos em medições. Assim como Hieráclito dizia que a mesma pessoa não pode entrar no mesmo rio duas vezes, as mesmas propriedades do rio não poderão ser medidas igualmente duas vezes (BUNGE, idem).

Aprofundando o exemplo do rio tratado na última seção, vamos imaginar que desejamos medir a velocidade da sua correnteza. Para fins didáticos, podemos coletar medidas dessa velocidade repousando uma boia sobre a água e, assumindo que ela se desloca na mesma velocidade da correnteza, inferir tal velocidade pela taxa de variação da posição da boia em função do tempo. A incerteza da medição, produto de um conjunto de dados coletados, no que se refere ao mensurando, decorrerá principalmente das idealizações de que: i) a velocidade do rio é constante em toda sua extensão e profundidade; ii) a boia se desloca com a mesma velocidade da água com que ela tem contato; iii) a velocidade do rio não varia com o tempo, ou seja, desprezam-se variações da velocidade do rio em função do tempo transcorrido entre cada medida coletada. Fica claro aqui que as idealizações consideradas nos modelos teóricos de referência e auxiliares nas operações empíricas influenciam nas incertezas das medições. Há ainda as imprecisões associadas à medição em si, nesse caso a medição da posição da boia em função do tempo para estimar a velocidade da boia, suposta igual à do rio.

Os instrumentos de medida definem as técnicas que são usadas tanto na medição quanto na experimentação, e elas dependem da natureza do mensurando, do conhecimento disponível, dos requisitos de precisão e da habilidade do operador (BUNGE, 2004). Dependendo da técnica utilizada, a medição pode ser direta, quando feita por meio da comparação direta do mensurando com um padrão ou unidade de uma escala natural. Por exemplo, réguas medem diretamente um construto definido em uma rede de modelos teóricos utilizados para representar objetos e/ou eventos: a grandeza comprimento. Já em outros casos, os instrumentos são concebidos com base em modelos teóricos auxiliares e permitem medições indiretas. Por exemplo, para medir temperaturas, é comum utilizar um modelo de dilatação linear para construir termômetros clínicos ou a álcool, assumindo que o comprimento da coluna do líquido contido no termômetro é diretamente proporcional à temperatura registrada. A grandeza diretamente mensurada é o comprimento da coluna de líquido, que nos permite a medição indireta da temperatura. As idealizações assumidas ao se optar por esse procedimento de medição são discutidas na próxima seção.

---

<sup>10</sup> Em pleno acordo com JCGM (2008) e VIM (2012).

### **II.3 Incerteza de medições na perspectiva da modelagem científica**

Segundo Bunge (idem), a medição propriamente dita só começa após o projeto, construção e calibração dos instrumentos necessários. Isso porque tanto no caso de medição direta quanto indireta, é necessária a admissão de diversos pressupostos, tanto da natureza dos corpos quanto da natureza dos modelos evocados na interpretação do mensurando e dos instrumentos de medida. Por exemplo, na medição direta do comprimento de um objeto com o uso de uma régua, costumamos supor que o comprimento do objeto é constante, assim como o comprimento da escala registrada na régua, ainda que haja pequenas variações de temperatura. Para melhor precisão, seria necessário conhecer em que temperatura foi calibrada a régua e o coeficiente de dilatação linear do material de que é feita. Na medição indireta de temperatura com um termômetro, a propriedade relevante é o comprimento da coluna de líquido no interior do termômetro, mas a escala é calibrada e marcada no termômetro em graus centígrados, usualmente. Costumamos assumir que o termômetro está em equilíbrio térmico com o meio cuja temperatura se deseja aferir e também que o efeito do termômetro sobre a temperatura do meio é desprezível, ou seja, fazemos suposições que precisam ser levadas em conta no planejamento experimental, para mitigar efeitos que não se deseja considerar nos modelos adotados.

Existem experimentos que são realizados uma única vez por diferentes razões. Por exemplo, porque o experimento é caro, é perigoso ou não se tem instrumentos suficientemente sensíveis para detectar variações das grandezas em estudo. No entanto, sempre que viável, dá-se preferência por fazer o experimento repetidas vezes nas mesmas condições para coletar um conjunto de dados. Passaremos a discutir as incertezas associadas a esse tipo de experimento.

### **II.4 Incertezas de medição em um conjunto de dados**

Como discutido anteriormente, os resultados de qualquer conjunto de medidas, mesmo que feitas com instrumentos adequados e com todo cuidado, não são idênticos, pois os sistemas constituintes desses processos estão submetidos a diversos tipos de perturbações. Para que se absorvam as diferenças individuais e se produza alguma estabilidade, são necessárias representações de séries de dados para uma medição.

Se todos os dados forem distribuídos em um histograma, ou seja, em um gráfico que apresenta a distribuição de frequência em função do valor medido, obteremos um padrão de frequência dos dados; se as fontes de erro de uma medição são relativamente independentes e aleatórias, uma curva normal tende a se ajustar ao histograma do conjunto de muitos dados do construto mensurado, como é ilustrado na Fig. 3 (Lima Junior; Silveira, 2011a).

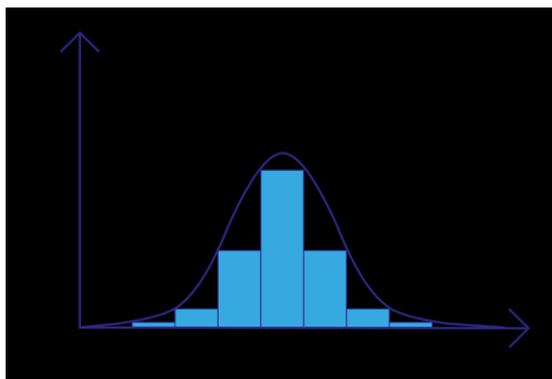


Fig. 3 – Padrão frequentemente formado por um conjunto de dados em um gráfico de frequência em função do valor medido.

Tendo em vista que todos os dados obtidos dizem respeito à mesma propriedade e foram medidos cuidadosamente com instrumentos bem calibrados, os erros deverão flutuar em torno de um valor estatisticamente mais provável. Da perspectiva da modelagem científica, entendemos esses erros tanto como um produto da variabilidade própria do mensurando como da falta de precisão dos instrumentos de medida, das montagens experimentais e do meio ambiente. Para analisar isso, vamos voltar ao exemplo da determinação do calor específico de uma substância. Ainda que se tome todo cuidado na execução do experimento, e se procure repeti-lo  $n$  vezes em condições idênticas, os resultados das medições não serão idênticos por diversos fatores. Por exemplo, supõe-se que a mistura é termicamente homogênea e a posição do termômetro não faria diferença, porém, na prática, podem ocorrer pequenas variações da temperatura detectada em torno de um valor médio. Supõe-se que não haja perda de energia para o meio ambiente. Alguma perda há e introduz um erro sistemático, porém em  $n$  medições essas perdas devem flutuar em torno de um valor médio. Em nível de teoria, podemos associar um valor numérico bem definido às temperaturas e massas, assim como ao calor específico. Em nível de experiência, espera-se obter um intervalo de valores para o calor específico, não um único valor, a partir de um conjunto de valores medidos (em acordo com a Tabela 1).

Em uma grande quantidade de valores medidos, se as fontes de erro possuem variância constante nas medições, a probabilidade dos desvios das medições se distribuírem para valores maiores ou menores do que o valor mais provável é igual, de forma que a distribuição dos valores medidos passa a ser simétrica (Lima Junior *et al.*, 2013). Nesse caso, podemos obter uma estimativa do valor medido e da sua incerteza a partir de métodos estatísticos.

Uma das formas lógicas de representar um conjunto de valores variáveis em um único valor é o uso da média aritmética  $\bar{m}$  dos  $N$  valores medidos:

$$\bar{m} = \frac{m_1 + m_2 + \dots + m_N}{N},$$

onde  $m_N$  é o  $n$ ésimo valor medido do mensurando, e  $N$ , o número de dados coletados. Em um conjunto de dados, toma-se o valor médio como sendo o valor mais provável de ser medido em outra medição nas mesmas condições, no caso de medições precisas, revisadas e cuidadosas (BUNGE, 2004). No caso da medição do calor específico exemplificado, da perspectiva da modelagem científica, o valor médio sintetiza o melhor valor que representa um valor abstrato de um construto que só faz sentido dentro de um modelo teórico.

Uma forma de se avaliar a adequação de algumas das idealizações dos modelos teóricos é analisar a variabilidade dos dados medidos de uma grandeza considerada constante; uma variabilidade pequena é um indicativo de que é razoável se considerar a grandeza constante. Quando é possível coletar um conjunto de  $N$  medidas de uma grandeza ( $N > 20$  ou  $30$ ), é comum se avaliar a variabilidade dos dados por meio do desvio padrão dos dados.

Assim como o valor médio é proveniente do valor mais provável da curva normal, o desvio padrão também é um conceito estatístico proveniente dessa curva teórica, como é ilustrado na Fig. 4.

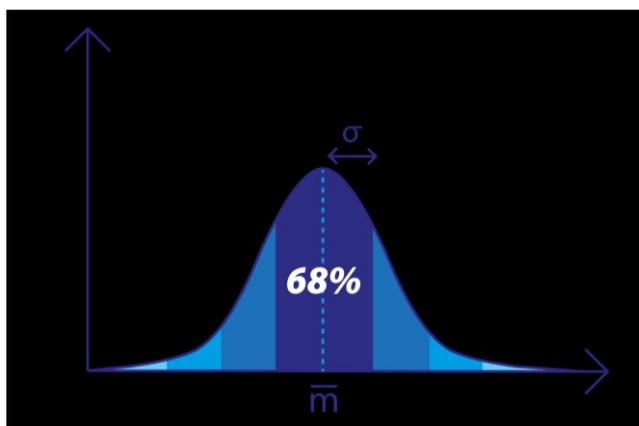


Fig. 4 – Representação do valor médio e do desvio quadrado  $\sigma$  de um conjunto de medidas sintetizados em uma curva normal.

Na Fig. 4, vemos uma distribuição normal em que está representado o valor médio das medições e em azul escuro o intervalo compreendido pelo desvio padrão dos dados,  $[\bar{m} - \sigma; \bar{m} + \sigma]$ . O desvio padrão dos dados  $\sigma$  é definido de tal maneira que, se uma nova medição for feita em condições idênticas, a probabilidade de que esteja contida no intervalo  $[\bar{m} - \sigma; \bar{m} + \sigma]$  é de 68%, e a probabilidade de que esteja entre  $[\bar{m} - 2.\sigma; \bar{m} + 2.\sigma]$  é de 95%. Já se um novo conjunto de  $N$  dados forem coletados nas mesmas condições, pode-se calcular o desvio padrão da média definido por  $\sigma_m = \sigma/\sqrt{N}$ , e costuma-se expressar o valor medido da seguinte forma:

$$m = [\bar{m} - \sigma_m, \bar{m} + \sigma_m].$$

A representação da medição como um conjunto fechado é uma alternativa didática que explicita que o produto desse processo é um intervalo:  $[\bar{m} - \sigma_m, \bar{m} + \sigma_m]$ .

Até esse ponto desta seção, abordamos as incertezas do tipo A, inferidas por meio de métodos estatísticos. Quaisquer incertezas inferidas por outros métodos são consideradas do tipo B. Usualmente são obtidas por meio da avaliação da precisão do instrumento de medida e pelas incertezas propagadas quando uma grandeza é inferida a partir de outras das quais conhecemos suas incertezas<sup>11</sup>. Quando não temos a oportunidade de coletar mais de uma medida, podemos inferir a incerteza das medidas por meio da imprecisão dos instrumentos utilizados. Da perspectiva da modelagem científica, as incertezas do tipo B podem ser entendidas por meio da compreensão do papel dos modelos teóricos auxiliares subjacentes aos instrumentos de medida. Já que tais modelos pressupõem idealizações tanto quanto qualquer modelo científico, é natural que os resultados de medições envolvam erros e incertezas. Adicionalmente, a sensibilidade dos instrumentos de medida impõe limitações na precisão dos valores lidos.

Em suma, da perspectiva da modelagem científica, podemos aprofundar nossa compreensão sobre aspectos que influenciam nas incertezas das medições a partir do entendimento de que a variabilidade das medidas decorre: i. do fato de que as idealizações assumidas na conceitualização do mensurando não são perfeitamente controladas no evento investigado (e.g., quando medimos a velocidade de um rio, essa velocidade não é constante); e ii. das idealizações consideradas no modelo teórico auxiliar do instrumento utilizado (e.g., em um termômetro analógico, a altura de líquido não tem uma relação perfeitamente linear com a temperatura). Não se trata aqui de esgotar os fatores que influenciam na variabilidade dos dados. É claro que, por exemplo, tanto em instrumentos analógicos quanto digitais, imprecisões na coleta de dados são importantes. O objetivo com a discussão construída é evidenciar fatores que, apesar de fundamentais no processo de medição, costumam ser pouco enfatizados no contexto didático, e poderiam contribuir para, além de promover a aprendizagem de habilidades experimentais, proporcionar avanços dos estudantes sobre elementos relacionados com a natureza do conhecimento científico.

### **III. Duas atividades experimentais para o Ensino Médio focadas no conceito de medição científica**

Procurando exemplificar formas de explorar o enfoque na modelagem científica em atividades sobre o processo de medição no ensino de Física, apresentamos nesta seção duas problematizações delineadas especificamente para o Ensino Médio. Desse modo, nos alinhamos a estudos (e.g., Camargo Filho; Laburú; Barros, 2015; Munier; Merle; Brehelin, 2013; Gomes, 2016) que argumentam em defesa da inserção de tópicos relacionados com a medição científica nas aulas de crianças e adolescentes, inclusive nos primeiros contatos que elas tiverem com as Ciências.

---

<sup>11</sup> Detalhes sobre formas de se calcular incertezas propagadas, com e sem derivadas, podem ser consultados em Lima Junior *et al.* (2013).

Na primeira das atividades exemplificadas, intitulada “Quem é mais rápido no gatilho?”, temos o objetivo de fomentar situações para que os estudantes compreendam a dispersão de dados experimentais e o significado de médias de conjuntos de dados, ou seja, nos centramos em incertezas do tipo A. Na segunda, intitulada “Acabou a bebida no bar!”, procuramos proporcionar situações para que os estudantes compreendam aspectos relacionados com a imprecisão de instrumentos de medida, ou seja, nos focamos em análises de incertezas do tipo B.

### III.1 Problematização “Quem é mais rápido no gatilho?”

É frequente que estudantes de Ensino Médio tenham interesse por jogos eletrônicos. Pensando nisso, propomos a seguinte questão para discutir o processo de medição nesse contexto: “*Você é um treinador de um time de Counter-Strike<sup>12</sup> (CS) e um de seus atletas não poderá competir. Vocês têm pouco tempo para decidir o substituto e querem realizar um único teste com os candidatos a ingressar no time. O que você testará nos seus candidatos e como?*”. Um primeiro debate fomentado desta problematização diz respeito à necessidade de se consumir jogos eletrônicos com consciência. Questionamentos como “*Jogos eletrônicos promovem ou não a violência?*” são bem-vindos no início da atividade, para que os estudantes sejam alertados das polêmicas subjacentes a esses tipos de jogos, assim como se posicionem frente a um tema controverso.

Após a apresentação da problematização, as perguntas do professor podem conduzir a uma discussão sobre qual medição pode contribuir para se responder à pergunta geradora. Como o problema abordado envolve a ação humana, existem influências incontornáveis; porém, é importante destacar aos alunos que, entre outras coisas, um bom jogador no CS deve ter pensamento e reação rápidos, bom conhecimento do jogo e uma boa estratégia. No entanto, frente à pressa para definir o substituto na equipe, não podemos fazer testes longos para avaliar o melhor candidato para ingressar na equipe. Conclui-se, então, que uma grandeza rapidamente mensurável e que pode ser um bom indicativo da capacidade de jogo dos candidatos é o tempo de reação. Desse modo, uma vez definido que o tempo de reação dos candidatos será usado como critério para a escolha do substituto na equipe, é necessário estabelecer um procedimento de medição dessa grandeza, em que variáveis decorrentes do equipamento usado para medir sejam controladas. Isso porque em um jogo comum existe grande influência da qualidade dos equipamentos eletrônicos, como do computador e do *mouse* utilizados, na rapidez de reação dos participantes. Neste momento, pode-se discutir com os estudantes elementos relacionados com o controle de variáveis em uma medição, destacando que é frequente que façamos procedimentos para amenizar efeitos de fatores não considerados no modelo teórico que dirige o processo de medição. Sugerimos, então, a

---

<sup>12</sup> *Counter-Strike* é um jogo muito popular considerado o mais jogado da Steam (<https://store.steampowered.com/>). Trata-se de um jogo que envolve disparos com armas, onde o tempo de reação do jogador é extremamente importante.

medição dos tempos de reação dos estudantes por meio de um aplicativo disponível no site *Human Benchmark*<sup>13</sup>. A coleta de dados, nesse caso, pode ser feita pelos estudantes em celulares ou computadores.

Esse *site* disponibiliza, também, 81 milhões de dados de tempo de reação ( $t_{reação}$ ) já coletados ao longo de mais de dez anos. Esses dados são apresentados na forma de um gráfico de distribuição de frequência do tempo de reação de milhões de pessoas, reproduzido na Fig. 5. Vê-se que os valores coletados variam entre ~100ms e ~450ms, ou seja, algumas pessoas chegam a ter  $t_{reação}$  cerca de quatro vezes maiores do que os  $t_{reação}$  de outras pessoas. Por um lado, isso justifica parcialmente a dispersão de dados observada na figura. Por outro, as medidas dos tempos de reação de uma única pessoa também apresentam dispersão, como pode ser visto na Fig. 5.b.

Um primeiro aspecto a ser destacado aos estudantes é a necessidade de se usar uma ferramenta de representação adequada para sintetizar os dados coletados. Pouco se pode afirmar a partir dos dados dispostos em tabelas, por exemplo. A sintetização em um gráfico de distribuição de frequência é de grande valia para avaliar a distribuição dos dados e possibilita discussões sobre dispersão de medidas e sua expressão. Uma questão a ser discutida: é possível atribuir um único valor ao tempo de reação das pessoas? Que valor atribuir? Pode-se argumentar em defesa de um intervalo representativo desses valores. Por exemplo, pode-se dizer que a maior parte dos dados da Fig. 5a se situa entre 175 ms e 300 ms.

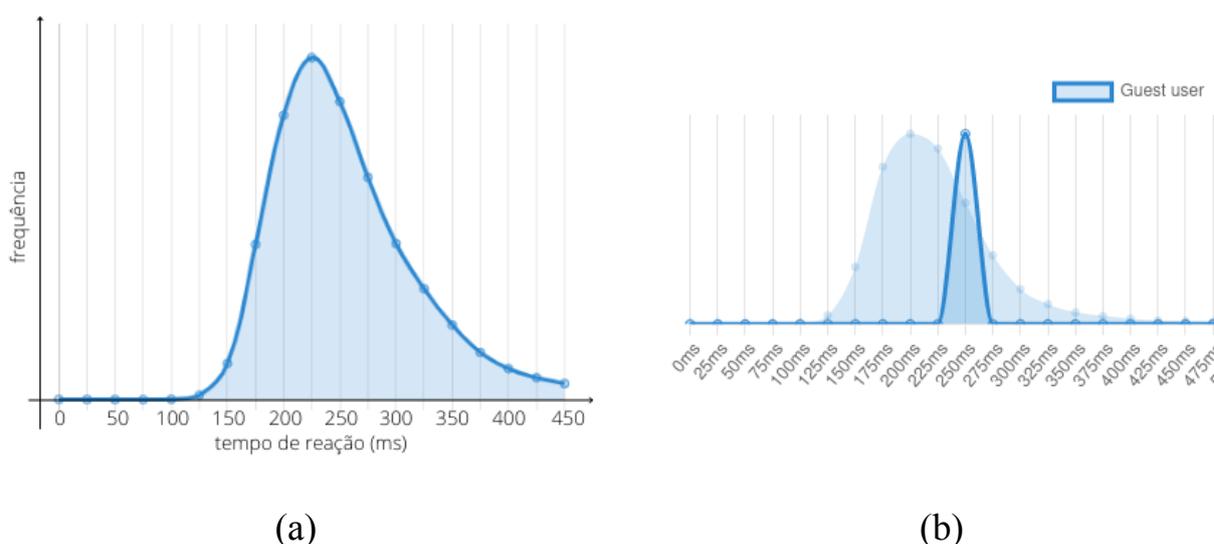


Fig. 5 – Gráficos de distribuição de frequência gerados no site *Human Benchmark*, em janeiro de 2023. (a) Contém mais de 81 milhões de dados de tempo de reação de pessoas. (b) Contém a distribuição de frequência de cinco dados de tempos de reação de uma única pessoa sobrepostos aos dados mostrados na Fig. 5.a.

<sup>13</sup> No site *Human Benchmark*, disponível em: <https://humanbenchmark.com/tests/reactiontime>, a média das medidas é automaticamente calculada após cinco coletas.

Em um conjunto de medições do tempo de reação realizados por uma única pessoa, os valores obtidos variam, conforme ilustrado na Fig. 5b. A atribuição de um valor único, considerado verdadeiro, para o tempo de reação dessa pessoa, portanto, não é razoável. Podemos argumentar em defesa da noção de que o tempo de reação dessa pessoa pode ser representado por um conjunto de dados sintetizado pela sua média e pela sua dispersão  $\delta$ , ou seja, que o tempo de reação da pessoa pode ser representado pelo conjunto  $[t_{\text{reação}} - \delta, t_{\text{reação}} + \delta]$ . Essa dispersão  $\delta$  pode ser entendida como uma incerteza da medição do tempo de reação de uma pessoa<sup>14</sup>. Por exemplo, no caso representado na Fig. 5.b, o intervalo representativo poderia ser  $[250 - 10, 250 + 10]$  ms, ou seja,  $[240, 260]$  ms. Outra forma de expressar a incerteza seria  $250 \pm 10$  ms. Em outras palavras, o valor medido é um intervalo, não um valor singular.

Ao longo da análise desses dados, pode-se destacar a importância da realização de diversas medições de uma mesma grandeza para que se tenha maior confiabilidade nos resultados. Assim como a velocidade do rio comentado na Seção II não é idêntica ao longo do espaço e tempo, o tempo de reação de uma pessoa também não é, quer por questões fisiológicas, quer porque a máxima atenção nem sempre é atingida. Mais medições e em condições mais controladas podem produzir resultados com incertezas menores. De maneira geral, é importante controlar para que fatores ambientais não interfiram no evento investigado, minimizando efeitos de grandezas não consideradas no modelo que dirige a medição. Por exemplo, o efeito de distrações (e.g., decorrentes de conversas na sala ou da presença de um inseto voador) não será levado em consideração na investigação realizada. Então, como idealizamos que as medições ocorrem em uma condição de máxima atenção, fatores ambientais que causam distrações devem ser eliminados, na medida do possível.

Esses elementos podem ser desenvolvidos na medida em que a discussão evolui e em acordo com o nível de compreensão dos conceitos que os estudantes demonstram em seus comentários e perguntas. Pode-se propor que os estudantes colem dados para que, em conjunto, seja possível obter a média dos tempos de reação do grupo e comparar com a de outros usuários disponíveis no *site*; ou determinar a média e incerteza do tempo de reação de cada estudante e compará-las. Nesse momento, é importante destacar que a comparação entre dados individuais de tempos de reação não é razoável e é necessária a análise de dados em conjunto. Também pode ser destacado que dados anômalos devem ser descartados. Caso se queira idênticas condições para todos(as) estudantes nessas medições, um mesmo dispositivo eletrônico deverá ser utilizado por todos(as). A propósito, a assimetria da curva da Fig. 5.a se deve em grande parte à evolução dos equipamentos eletrônicos ao longo do tempo, pois passaram a ter tempo de resposta menor. Também provavelmente os usuários ficaram mais ágeis ao longo dos anos.

---

<sup>14</sup> Dependendo do nível de ensino no qual a atividade é explorada, pode-se argumentar que a dispersão dos dados coletados pode ser quantificada com o desvio padrão da média dos dados coletados. Nossa argumentação tem enfoque no Ensino Médio.

Uma comparação do tempo de reação de diferentes pessoas é apresentada na Fig. 6. A partir dos gráficos mostrados na Fig. 6a pode-se dizer que a curva da esquerda corresponde a uma pessoa que se mostrou mais ágil, com menor tempo de reação (no dia em que a coleta de dados foi realizada), do que a pessoa representada pela curva da direita. Já a Fig. 6b mostra duas curvas que apresentam superposição parcial e não se pode fazer uma afirmativa com certeza sobre qual delas foi mais ágil. Pode-se argumentar que, quanto mais as dispersões dos tempos de reação de duas pessoas se sobrepõem, menor é a confiabilidade da afirmação de que o tempo de reação de uma dessas pessoas é maior do que o da outra. Assumindo que tal dispersão é uma incerteza do tempo de reação médio dos estudantes, pode-se argumentar que a diferença entre a média dos tempos de reação de dois estudantes é significativa apenas quando não ocorre sobreposição entre as incertezas dessas médias. A partir dessa compreensão, pode-se analisar outros exemplos, como o das eleições citado na introdução deste artigo, ilustrando os processos de medição.

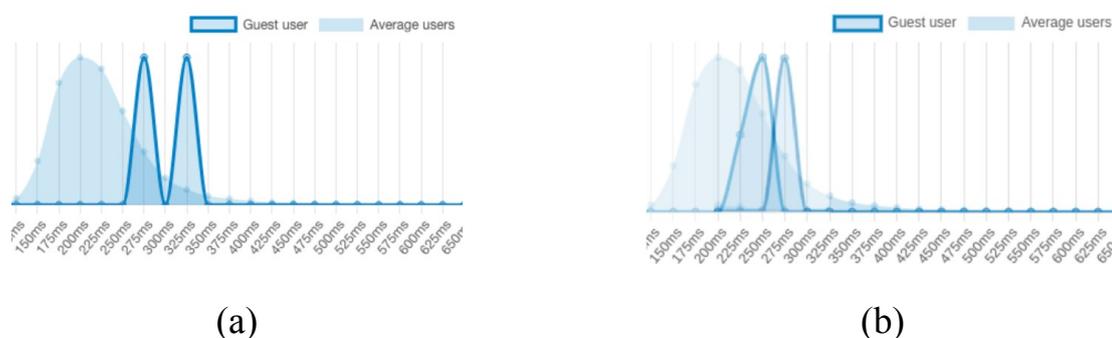


Fig. 6 – Comparações entre medidas coletadas no site Human Benchmark. (a) Medidas de duas pessoas sem sobreposição entre as curvas representativas dos dados coletados; (b) Medidas de duas pessoas com sobreposição, não possibilitando afirmar que uma das duas teve tempo de reação menor.

### III.2 Problematização “Acabou a bebida do bar!”

Explorando uma situação hipotética em que os estudantes estão em uma festa, propomos a seguinte questão geradora: “*Você é o dono de um bar e, por um descuido seu, acabaram as bebidas geladas. Como você poderia gelar as bebidas mais rapidamente para poder voltar a servir os seus clientes? Por que essa forma permite que as bebidas gelem mais rapidamente?*”. Os estudantes são então incentivados a apresentar soluções. Espera-se que sugiram colocar sal no gelo, pois essa é uma possibilidade bastante divulgada nas redes sociais. Caso essa proposta não seja sugerida, pode-se debater com os estudantes sobre o porquê de as coisas esfriarem e como é possível, então, fazer com que algo esfrie mais rapidamente. Para isso, podem ser feitas perguntas como “*Por que a água apenas esfria quando a colocamos na geladeira e congela quando colocamos no congelador?*”. Definido o conceito de temperatura como central nesta investigação, o docente pode conduzir a discussão

com perguntas do tipo: “*Como podemos saber qual ambiente tem menor temperatura?*” e “*Como é possível determinar a temperatura de algo? Podemos inferir um valor confiável por meio apenas da sensação decorrente do toque no objeto?*”. Com as respostas dos alunos, pode-se encaminhar o debate para as diferentes formas de medir temperatura e o porquê de se realizar essa medição.

Para responder à pergunta inicial, propõe-se então a seguinte questão: “*Como podemos obter algo com temperatura inferior à do gelo mesmo fora de um freezer? Que temperaturas conseguimos alcançar?*”. A solução proposta para o problema passa pela medição de temperaturas de soluções (misturas de água, em estado líquido e sólido (gelo), sal e álcool) em diferentes proporções, que atingem valores de temperatura abaixo de zero graus centígrados. Essa atividade é frutífera para introdução de diversas questões conceituais. Por exemplo, pode-se discutir condições para se obter medições mais confiáveis para a temperatura. Mesmo no Ensino Básico, é possível levar os(as) estudantes a refletirem sobre a necessidade de isolamento térmico, e outras questões conceituais levantadas na Seção II.1 em relação ao experimento de determinação do calor específico. Também é notório nesse experimento que a temperatura varia com o tempo até atingir o equilíbrio térmico, e para tornar a aula mais dinâmica e divertida, pode-se sugerir que não se espere o equilíbrio térmico, que sejam feitas medições comparativas de amostras com diferentes concentrações de sal, por exemplo, 15 s após a introdução do sal na solução.

Neste artigo, no entanto, vamos conduzir a discussão dessa atividade nos restringindo à análise de incertezas associadas aos instrumentos de medida, ou seja, à análise de incertezas do tipo B. Considerando que o público é composto por adolescentes com pouco contato com análises de dados, sugerimos que incertezas do tipo A e do tipo B sejam debatidas em atividades separadas, evitando confusões entre as duas abordagens em um contato inicial dos estudantes. Também sugerimos que só sejam discutidas incertezas do tipo B associadas aos instrumentos de medida e não as associadas às montagens experimentais<sup>15</sup>.

Nessa atividade, pode-se solicitar que os estudantes realizem a medição das temperaturas de algumas soluções utilizando diferentes instrumentos de medida, especificamente termômetros analógicos e digital, destacando que, para qualquer instrumento, sempre se tem uma incerteza associada a uma medida. Antes do experimento em si, sugere-se desenvolver uma atividade em que os(as) estudantes recebem impressas em papel fotos de termômetros digitais e analógicos, assim como de balanças digitais e analógicas, indicando diferentes temperaturas e massas, e cabe a eles(as) escreverem o valor medido e respectiva incerteza. Sugere-se usar a convenção que a incerteza dos dados é metade da menor escala do instrumento para instrumentos analógicos e a própria divisão da escala para instrumentos digitais. Discussões sobre as razões dessas incertezas e respectivo significado são

---

<sup>15</sup> “*De uma maneira geral, a avaliação da incerteza do tipo B deve levar em consideração todo o conhecimento disponível a respeito da propriedade ou do fenômeno em estudo*” (Lima Junior; Silveira, 2011b; p. 2303-4).

imprescindíveis. O material didático de Buffler *et al.* (2009) contém diversas ilustrações inspiradoras.

Por curiosidade, registramos que, em uma aplicação dessa atividade em uma turma de ensino fundamental, alcançamos temperaturas em torno de  $-19^{\circ}\text{C}$ , com misturas com proporção de 50% de massa de sal em gelo triturado.

A discussão sobre incertezas de instrumentos de medida também será necessária durante a preparação das soluções investigadas, já que um dado importante neste estudo é a proporção entre soluto e solvente utilizada, definida como a razão entre a massa de soluto pela massa de solvente. A propagação das incertezas das massas no dado da proporção de soluto no solvente pode ser estimada pelo método dos valores limites, em contextos em que os estudantes estão tendo os primeiros contatos com análises de processos de medição, por um método numérico alternativo proposto por Lima Junior e Silveira (2011b) ou pelo método das derivadas, em contexto mais avançados<sup>16</sup>.

Finalizando a investigação, pode-se comparar as temperaturas alcançadas com diferentes soluções destacando-se, assim como sugerido na problematização “Quem é mais rápido no gatilho?”, que essa comparação só pode ser realizada considerando-se a incerteza das medições realizadas; só se pode afirmar que duas temperaturas são distintas se as incertezas delas não se sobrepõem.

#### **IV. Considerações finais**

Cientes da importância de medições no estudo das ciências naturais e das dificuldades dos(as) estudantes de todos os níveis para compreender as limitações de procedimentos de medição, apresentamos neste artigo uma alternativa para introdução deste tema, particularmente no Ensino Médio. Optamos por fundamentar a discussão nas concepções epistemológicas de Mario Bunge, porque: *i.* enriquece as discussões da área, que costumam se fundamentar nas ideias de Thomas Kuhn em atividades sobre o processo de medição científica, e *ii.* serviu de base, juntamente à Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, para a construção da Modelagem Didático-Científica (Heidemann; Araujo; Veit, 2016), que tem se mostrado frutífera para o enfrentamento de situações-problemas físicas (e. g. Heidemann; Araujo; Veit, 2018; Weber; Heidemann; Veit, 2022; Weber, 2021; Oliveira, 2018).

Procuramos ao longo da Seção II focar nos aspectos conceituais do processo de modelagem científica, dando sentido e significado aos elementos destacados por meio de exemplos da física. Então, discutimos duas problematizações, que já foram usadas pela primeira autora deste trabalho, em aulas para o nono ano (Pigosso, 2022).

---

<sup>16</sup> Detalhes sobre procedimentos para se estimar incertezas e para se avaliar a propagação dessas incertezas podem ser consultados em Lima Junior *et al.* (2013).

A problematização apresentada para a medição de tempo de reação envolveu jogos eletrônicos e por isso sugerimos a medida direta do tempo de reação usando um dispositivo eletrônico para acessar o *site Human Benchmark*. No entanto, semelhante discussão poderia ser feita por meio de medidas indiretas do tempo de reação, via o clássico experimento em que se deixa cair uma régua em queda livre e o(a) estudante precisa segurá-la, ainda no ar, sendo registrada a posição na régua em que o(a) estudante a segura. Da perspectiva da modelagem, o ponto central que defendemos aqui é que, principalmente em uma atividade para crianças e adolescentes, mais importante do que quantificar a dispersão dos dados é proporcionar a compreensão dos motivos dessa dispersão, destacando tanto efeitos de fatores não plenamente controlados na medição como da variabilidade inerente às medições e às limitações dos modelos científicos. Os procedimentos de formalização matemática relacionados com a medição podem ser progressivamente aprofundados dependendo do contexto da atividade. Representações gráficas e discussões conceituais podem, e entendemos que devem, ser introduzidas em nível de Ensino Básico.

A problematização apresentada para medições de temperatura envolve uma situação instigante, que pode motivar os estudantes, e que possibilita evidenciar a importância de se analisar medições em conjuntos de dados, e não a partir de dados individuais. A atividade, além de proporcionar discussões sobre a medição científica, tem potencial ainda para promover debates sobre temas não explorados neste artigo, como a dissociação de moléculas, energia de ligações e propriedades químicas da água.

Precisamos reconhecer e discutir com os(as) estudantes que no cotidiano a maior parte de resultados de medições não são expressos com a correspondente incerteza. Pesquisas sobre intenção de votos em eleições talvez sejam o caso mais marcante do nosso dia a dia em que o resultado da medição é expresso como um único valor medido, uma incerteza de medição e a confiabilidade dos resultados. Em outras medições, se costuma usar o mesmo critério que se usa em medidas profissionais e é descrito no VIM (2012, p. 18):

*"Caso a incerteza de medição seja considerada desprezável para alguma finalidade, o resultado de medição pode ser expresso como um único valor medido. Em muitos domínios, esta é a maneira mais comum de expressar um resultado de medição".*

## **Agradecimento**

A primeira autora agradece à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado.

## **Referências bibliográficas**

BARBETTA, P. A. **Estatística aplicada às Ciências Sociais**. 9. ed. Florianópolis: EdUFSC, 2019. 320 p.

BRANDÃO, R. V.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. A modelagem científica vista como um campo conceitual. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 3, p. 507-545, 2011.

BRANDÃO, R. V. **A estratégia da Modelagem Didático-Científica Reflexiva para a conceitualização do real no Ensino de Física**. 2012, 230 f. Tese (Doutorado em Ensino de Física) - Instituto de Física, UFRGS, Porto Alegre. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/70335>. Acesso em: 01 dez. 2023.

BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. Brasília, 2018. Disponível em: [http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC\\_EI\\_EF\\_110518\\_versao\\_final\\_site.pdf](http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versao_final_site.pdf). Acesso em: 01 dez. 2023.

BREWE, E.; SAWTELLE, V. Modelling instruction for university physics: Examining the theory in practice. **European Journal of Physics**, v. 39, n. 5, 054001, Jun. 2018.

BUFFLER, A.; ALLIE, S.; LUBBEN, F. The development of first year physics students' ideas about measurement in terms of point and set paradigms. **Internacional Journal of Science**, v. 23, n. 11, p. 1137-1156, 2001.

BUFFLER, A. *et al.* **Introduction to measurement in the Physics Laboratory a probabilistic approach**. Department of Physics, University of Cape Town, 2009.

BUNGE, M. **La Investigación Científica: Su estrategia y filosofía**. Barcelona: Siglo XXI Editores, 2004. 823 p.

CAMARGO FILHO, P. S.; LABURÚ, C. E.; BARROS, M. A. Para além dos paradigmas da medição. **Ciência & Educação**, v. 21, n. 4, p. 817-834, Oct.-Dez. 2015.

CRUZ, A. *et al.* Medições e incerteza de medição: Um contributo baseado nas convenções e resoluções internacionais. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 26, n. 1, p. 125-135, abr. 2009.

ETKINA, E.; WARREN, A.; GENTILE, M. The Role of Models in Physics Instruction. **The Physics Teacher**, v. 44, n. 1, p. 34-39, 2005.

FORÇA, A. C.; LABURÚ, C. E.; DA SILVA, O. H. M. Uma proposta de estratégia pedagógica para iniciação aos conceitos de medição por avaliação de dois métodos alternativos. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 6, n. 3, p. 87-105, nov. 2013.

GILBERT, J. K. *et al.* Science and education: Notions of reality, theory and model. *In*: GILBERT, J. K.; BOULTER, C. J. (Eds) **Developing Models in Science Education**. Dordrecht: Springer, 2000. cap. 2, p. 19-40.

GOMES, A. D. T. Concepções de estudantes do Ensino Médio sobre os conceitos de média e dispersão de dados. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 33, n. 1, p. 51-71, 2016.

GRECA, I. M.; MOREIRA, M. A. Mental, Physical, and Mathematical Models in the Teaching and Learning of Physics. **Science Education**, v. 86, n. 1, p. 106-121, 2002.

HEIDEMANN, L. A.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. Modelagem Didático-científica: integrando atividades experimentais e o processo de modelagem científica no ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 33, n. 1, p. 3-32, 2016.

HEIDEMANN, L. A.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. Dificuldades e avanços no domínio do campo conceitual da Modelagem Didático-Científica: um estudo de caso em uma disciplina de física experimental. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 23, n. 2, p. 352-382, 2018.

HESTENES, D. Notes for a Modeling Theory of Science, Cognition and Instruction. *In*: GIREP CONFERENCE: MODELLING IN PHYSICS AND PHYSICS EDUCATION, 2006, Amsterdam. **Proceedings** [...]. Amsterdam: University of Amsterdam, 2006. p. 34- 65

JCGM - JOINT COMMITTEE FOR GUIDES IN METROLOGY. Evaluation of measurement data – guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM). 1. ed. JCGM, 2008. 142 p. Disponível em: [https://www.bipm.org/documents/20126/2071204/JCGM\\_100\\_2008\\_E.pdf/cb0ef43f-baa5-11cf-3f85-4dcd86f77bd6](https://www.bipm.org/documents/20126/2071204/JCGM_100_2008_E.pdf/cb0ef43f-baa5-11cf-3f85-4dcd86f77bd6) . Acesso em: 01. dez. 2023.

JUSTI, R. Relações entre argumentação e modelagem no contexto da Ciência e do Ensino de Ciências. **Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 17, n. esp., p. 31-48, nov. 2015.

KOPONEN, I. T. Models and modeling in Physics Education: A critical re-analysis of philosophical underpinnings and suggestions for revisions. **Science & Education**, v. 16, n. 7, p. 751-773, 2007.

LEBLEBICIOGLU, G. *et al.* Changes in Students' Views about Nature of Scientific Inquiry at a Science Camp. **Science and Education**, v. 26, n. 7-9, p. 889-917, Nov. 2017.

LIMA JUNIOR, P.; DA SILVEIRA, F. L. Discutindo os conceitos de erro e incerteza a partir da tábua de Galton com estudantes de graduação: uma contribuição para a incorporação de novas abordagens da metrologia ao ensino de física superior. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 2, p. 400-422, ago. 2011a.

LIMA JUNIOR, P.; DA SILVEIRA, F. L. Sobre as incertezas do tipo A e B e sua propagação sem derivadas: uma contribuição para a incorporação da metrologia contemporânea aos laboratórios de física básica superior. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 2, 2303, jun. 2011b.

LIMA JUNIOR, P. *et al.* O Laboratório de Mecânica. E-book. Disponível em: [https://www.if.ufrgs.br/cref/labmecanica/Lima\\_Jr\\_et\\_al\\_2013.pdf](https://www.if.ufrgs.br/cref/labmecanica/Lima_Jr_et_al_2013.pdf). 2013. Acesso em: 01 dez. 2023.

LOUCA, L. T.; ZACHARIA, Z. C. Modeling-based learning in science education: Cognitive, metacognitive, social, material and epistemological contributions. **Educational Review**, v. 64, n. 4, p. 471-492, 2012.

MUNIER, V.; MERLE, H.; BREHELIN, D. Teaching Scientific Measurement and Uncertainty in Elementary School. **International Journal of Science Education**, v. 35, n. 16, p. 2752-2783, 2013.

OH, P. S.; OH, S. J. What teachers of science need to know about models: An overview. **International Journal of Science Education**, v. 33, n. 8, 1109-1130, 2011.

OLIVEIRA, V. **Resolução de problemas abertos para aprendizagem de física no Ensino Médio na perspectiva da Modelagem Didático-Científica**. 2018, 186 f. Tese (Doutorado em Ensino de Física) - Instituto de Física, UFRGS, Porto Alegre. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/188445>. Acesso em: 01 dez. 2023.

PIGOSSO, L. T. **Um estudo exploratório sobre atividades investigativas com enfoque no processo de medição no ensino fundamental**. 2022, 149 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Instituto de Física, UFRGS, Porto Alegre. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/250525>. Acesso em: 01 dez. 2023.

PIGOSSO, L. T.; HEIDEMANN, L. A. Uma revisão da literatura sobre a abordagem do processo de medição científica no ensino de física na educação básica. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 28, n. 2, p. 332-351, 2023.

TOPLIS, R. Evaluating Science Investigations at Ages 14-16: Dealing with anomalous. **International Journal of Science Education**, v. 29, n. 2, p. 127-150, 2007.

VARELAS, M. Between Theory and Data in a Seventh-Grade Science Class. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 33, n. 3, p. 229-263, 1996.

VIM - Vocabulário Internacional de Metrologia: **Conceitos fundamentais e gerais e termos associados**. INMETRO. Duque de Caxias, RJ, 2012. 94 p. Disponível em: [https://metrologia.org.br/wpsite/wp-content/uploads/2021/02/vim\\_2012.pdf](https://metrologia.org.br/wpsite/wp-content/uploads/2021/02/vim_2012.pdf) . Acesso em: 01 dez. 2023.

VUOLO, J. H. Avaliação e expressão da incerteza em medição. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 21, n. 3, p. 350-358, set.1999.

WEBER, R. **Um Estudo Explanatório sobre as dificuldades e avanços de estudantes de graduação em Física em situações experimentais do Campo Conceitual da Modelagem Didático-Científica envolvendo Ótica**, 2021. 213. F. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Instituto de Física, UFRGS, Porto Alegre. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/225236> . Acesso em: 01 dez. 2023

WEBER, R.; HEIDEMANN, L. A.; VEIT, E. A. Um estudo sobre as contribuições de atividades de laboratório com enfoque no processo de modelagem científica no domínio de universitários sobre conceitos de ótica e sobre o trabalho experimental. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, p. e36646, 1-32, 2022.



Direito autoral e licença de uso: Este artigo está licenciado sob uma [Licença Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).