

# Integração de ferramentas digitais no ensino de física no ensino superior: análise de movimento, modelagem matemática e simulações interativas como estratégia de aprendizagem ativa

*INTEGRATION OF DIGITAL TOOLS IN PHYSICS TEACHING IN HIGHER EDUCATION: MOTION ANALYSIS, MATHEMATICAL MODELING, AND INTERACTIVE SIMULATIONS AS AN ACTIVE LEARNING STRATEGY*

**Antonio Eduardo Assis Amorim**

Coordenadoria da Construção Naval, Fatec-JAHU/CPS,  
Jahu, SP, Brasil

**Líria Baptista de Rezende**

Coordenadoria de Sistemas Navais, Fatec-JAHU/CPS,  
Jahu, SP, Brasil

## Apresentação do trabalho

O ensino de Física no ensino superior frequentemente apresenta desafios relacionados à elevada abstração conceitual e à dificuldade de estabelecer conexões entre modelos matemáticos, representações gráficas e fenômenos físicos observáveis (Suwasono *et al.*, 2023; Williams, 1999). Estudos na área de educação em Física indicam que muitos estudantes apresentam dificuldades em interpretar de forma integrada diferentes representações de um mesmo fenômeno físico, como equações, gráficos e resultados experimentais. Essa limitação pode comprometer o desenvolvimento de uma compreensão conceitual mais profunda e a capacidade de aplicar modelos físicos na análise de situações reais.

Nos cursos superiores de Tecnologia e Engenharia, cuja formação exige forte integração entre teoria e prática, essa dificuldade torna-se ainda mais evidente. Nesses contextos, espera-se que os estudantes sejam capazes de relacionar formalismos matemáticos com fenômenos observáveis e processos experimentais. Entretanto, quando essa articulação não ocorre de forma adequada, os conceitos físicos tendem a ser percebidos como estruturas abstratas desconectadas de aplicações práticas. Nesse cenário, a utilização de tecnologias digitais pode contribuir para tornar o processo de aprendizagem mais interativo, visual e investigativo.

Diversas pesquisas na área de *Physics Education Research* indicam que abordagens baseadas em aprendizagem ativa e no uso de tecnologias digitais podem contribuir significativamente para melhorar a compreensão conceitual dos estudantes. Simulações interativas, por exemplo, permitem explorar fenômenos físicos complexos em ambientes controlados e manipuláveis, favorecendo o desenvolvimento do raciocínio científico e de habilidades investigativas.

Simulações como as desenvolvidas pelo projeto PhET da Universidade do Colorado permitem que estudantes explorem modelos físicos por meio de ambientes interativos que conectam fenômenos do mundo real a representações científicas formais. Esses ambientes favorecem a exploração de variáveis, a formulação de hipóteses e a construção progressiva de modelos conceituais pelos estudantes (Perkins *et al.*, 2006).

De forma complementar, ferramentas de vídeo-análise, como o software Tracker, têm sido amplamente utilizadas no ensino de Física para permitir a análise quantitativa de movimentos reais capturados em vídeo. Essa abordagem possibilita integrar experimentos reais com modelagem matemática e análise computacional, promovendo a comparação entre dados experimentais e previsões teóricas.

A aprendizagem ativa constitui um dos pilares das abordagens contemporâneas em educação científica. Nesse modelo, o estudante deixa de assumir um papel predominantemente passivo e passa a participar ativamente do processo de construção do conhecimento, por meio da investigação de fenômenos, da análise de dados e da resolução de problemas.

Estudos indicam que ambientes educacionais que integram experimentação, simulação e análise quantitativa favorecem o desenvolvimento do pensamento científico e contribuem para melhorar o desempenho dos estudantes em disciplinas de Física. Simulações interativas como as desenvolvidas pelo projeto PhET permitem visualizar fenômenos microscópicos e macroscópicos de forma integrada, contribuindo para a construção de modelos mentais mais consistentes e para o fortalecimento da compreensão conceitual.

Pesquisas recentes também indicam que o uso de simulações PhET pode aumentar significativamente a motivação dos estudantes e melhorar o desempenho acadêmico em tópicos de Física, especialmente quando combinado com metodologias investigativas e atividades baseadas em problemas.

Nesse contexto, o presente trabalho apresenta uma proposta pedagógica baseada na integração de diferentes ferramentas digitais no ensino de Física, incluindo aulas expositivas dialogadas, simulações computacionais, experimentação em laboratório, vídeo-análise e modelagem matemática assistida por ferramentas digitais. O objetivo é promover um ambiente de aprendizagem investigativa no qual os estudantes possam explorar fenômenos físicos de maneira ativa, articulando teoria, experimentação e modelagem quantitativa.

## Descrição do trabalho

A proposta pedagógica foi desenvolvida no contexto de disciplinas de física nos cursos da área de exatas. A metodologia adotada baseia-se em princípios de aprendizagem ativa

(metodologia baseada em problemas) e investigação científica, nos quais os estudantes participam do processo de construção do conhecimento por meio de atividades experimentais, simulações e análise quantitativa de dados.

Trata-se de uma pesquisa qualitativa, de natureza aplicada e descritiva. A aula foi ministrada para quarenta alunos dos cursos de graduação dos cursos de Construção Naval e Sistemas Navais, nas disciplinas de Fundamentos da Física, Fundamentos da Hidrostática e Termodinâmica. A carga horária de cada uma destas disciplinas é duas horas-aula semanais.

O material é disponibilizado na plataforma TEAMS, na qual em cada módulo é colocada a apostila, com uma seção específica de atividades, que contém as tarefas que são então anexadas no FORMS, que está na forma de teste, ou então pede-se que sejam anexadas fotos ou imagens da resolução da atividade. Por exemplo, em uma das atividades na qual os alunos precisam colocar a linha de tendência linear em um gráfico, a questão no FORMS fornece várias equações e o aluno deve escolher a que mais se aproxima do valor.

A turma de fundamentos da Física era composta por 12 alunos, sendo 8 do sexo masculino e 4, feminino, tendo 3 com idade acima dos 30 anos. Na turma de Fundamentos da hidrostática, a turma era composta de 8 alunos, sendo 3 do sexo masculino e 5 do sexo feminino, com três deles com idade acima dos 30 anos. A turma de termodinâmica era composta de 23 alunos, sendo 14 do sexo masculino e 9 do sexo feminino, tendo 5 com idade acima dos 30 anos.

A coleta de dados foi realizada por meio da técnica de observação participante. Nesse método, o pesquisador acompanha o ambiente interferindo nas ações dos participantes, quando era solicitado, para sanar dúvidas referentes aos conceitos envolvidos para a resolução do problema. Paralelamente, o docente coletava as informações sobre o comportamento e o engajamento deles na atividade, identificando as estratégias adotadas, às dificuldades encontradas e às soluções obtidas. A análise do engajamento pode ser acompanhada no Insights do TEAMS.

A aula era estruturada em duas partes com duas metodologias de ensino: na primeira parte os conceitos teóricos relacionados ao assunto eram apresentados de forma expositiva em sala de aula para a introdução inicial dos conceitos teóricos. Percebe-se que nesta etapa os alunos apresentam grande dificuldade em assimilar os conceitos. Mesmo decompondo a teoria em partes, com questões conceituais e numéricos de reforço após a introdução de conceitos teóricos, os alunos acabam não retendo a informação. Isto ocorre porque a sua formação no ensino médio não foi adequada e o aluno não está acostumado com a linguagem técnica apresentada no curso superior. Portanto, a teoria é apresentada de forma expositiva apenas para que tenham uma informação básica.

A segunda parte consistia na resolução de problemas usando simuladores ou a execução de um ensaio no laboratório. Os alunos podiam interagir com o colega ao lado, para sanar alguma dúvida. As observações identificadas ao longo da aula permitiram efetuar a análise descritiva da atividade, permitindo avaliar as contribuições da metodologia ativa para a melhoria do aprendizado do aluno. Desta forma, a proposta pedagógica foi organizada em eta-

pas sequenciais, permitindo maior sistematização e replicabilidade do método em diferentes contextos educacionais:

## **Etapas 1 – Introdução conceitual**

Inicialmente, os conteúdos são apresentados por meio de aula expositiva dialogada, com o objetivo de introduzir os conceitos fundamentais. Nessa fase, busca-se identificar conhecimentos prévios dos estudantes e possíveis concepções alternativas.

## **Etapas 2 – Exploração por atividade prática**

Os estudantes utilizam simuladores interativos para explorar qualitativamente os fenômenos físicos. Essa etapa permite a manipulação de variáveis e a observação imediata de resultados, favorecendo a construção intuitiva do conhecimento. Outra possibilidade é a atividade prática feita no laboratório. Os alunos realizam experimentos, coletando os dados, sejam numéricos ou por meio da produção de um vídeo, frequentemente utilizando dispositivos móveis para registro em vídeo. A utilização de recursos acessíveis reduz custos e amplia a viabilidade da proposta.

## **Etapas 3 – Análise dos dados**

Se os dados são numéricos, os dados são analisados em uma planilha eletrônica, por meio de gráficos de dispersão e com análise da curva de tendência. Se são gerados vídeos, eles são analisados com o software Tracker, permitindo a extração de dados como posição, velocidade e aceleração. Os estudantes passam a trabalhar com dados reais, aproximando-se da prática científica.

Com base nos dados obtidos, os alunos podem utilizar ferramentas como GeoGebra e Smath Studio para ajustar curvas, identificar padrões e efetuar cálculos numéricos dos modelos matemáticos apresentados.

## **Etapas 4 – Discussão e validação**

Os trabalhos são feitos em grupos de alunos e os resultados são discutidos em grupo, comparando dados experimentais com previsões teóricas. Essa etapa é fundamental para o desenvolvimento do pensamento crítico e efetuar a conexão entre dados experimentais com a exposição da teoria feita na etapa 1. Estas conexões são necessárias pois criam pontes entre as informações previamente fornecidas com a visualização dos ensaios e simuladores. Questões relativas ao ensaio são respondidas pelos grupos para o desenvolvimento do pensamento crítico.

## **Etapas 5 – Consolidação com apoio de IA**

Os estudantes utilizam sistemas de inteligência artificial – IA como ferramenta complementar para resolução de exercícios e verificação de resultados, promovendo autonomia no aprendizado. Eles escolhem os tipos de IA que irão usar.

Como forma de ilustrar a aplicação da proposta, apresenta-se alguns exemplos desenvolvidos nas turmas de ensino superior na disciplina de Física.

O primeiro caso a ser apresentado é quando se aborda o conceito temperatura e suas escalas. Na aula expositiva, é explicado ao aluno que, historicamente Celsius e Fahrenheit usaram dois estados térmicos como referência: uma mistura de água e gelo e água fervente. Para Celsius, o primeiro estado é 0 e o segundo 100 e a escala possuía 100 divisões. Para Fahrenheit, o primeiro era 32 e o segundo 212 e possuía 180 divisões. Kelvin estudava a propriedade dos gases e na sua época, já se tinha o entendimento que a temperatura estava associada com o conceito de energia e, por esta razão, não poderia ter valores negativos.

O ensaio de Kelvin era bastante simples. Consistia em colocar um tubo com gás em um banho térmico e medir a pressão. Considerando os dois estados térmicos citados anteriormente, Kelvin observou que a razão entre a pressão do gás  $p_v$ , a  $100^\circ\text{C}$  e numa mistura de água e gelo  $p_g$ , fornecia um valor independente do gás e da sua quantidade, ou seja, a razão  $k = \frac{p_v}{p_g}$  é uma constante. Por fim, considerando  $p \rightarrow T$ , Kelvin seguiu a escala de Celsius,

$$T_v - T_g = 100, \quad (1)$$

e, como  $p_v = kp_g$ , assim chegou na expressão

$$T_g = \frac{100}{k - 1}.$$

Kelvin chegou ao valor de  $k \sim 1,366$ , o que corresponde ao valor  $T_g = 273,15$ . Os livros de ensino médio e mesmo os livros introdutórios de termodinâmica no ensino superior comentam as escalas de temperatura e a expressão de conversão

$$T(K) = T(^{\circ}\text{C}) + 273,15, \quad (1)$$

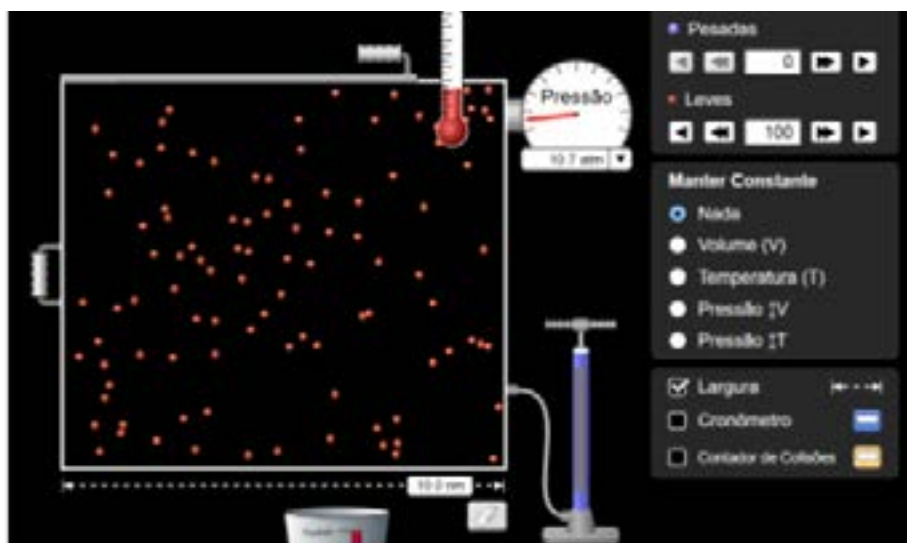
mas pouco abordam sobre o ensaio. Para o aluno, a sensação é que é mais uma unidade e que pouco tem a ver com a sua realidade, já que a sua familiaridade é com a temperatura em graus celsius e não em kelvin, mesmo realizando vários exercícios com conversão de unidades. Para o professor, parece um ensaio complexo, difícil de reproduzir no laboratório.

Nesta aula que mistura a parte científica do conceito com a parte da história da ciência, traz um deslumbre aos alunos. Os alunos utilizam o simulador de propriedades dos gases<sup>1</sup> para reproduzir a experiência de Kelvin, desenvolvido pela Universidade de Colorado. Trata-se de um aplicativo gratuito. A Fig. 1 mostra a tela do simulador. As partículas leves representam a molécula de nitrogênio  $\text{N}_2$  enquanto as partículas pesadas representam o gás He.

O ensaio consiste em inserir 50 partículas leves, ajustar o banho térmico a  $0^\circ\text{C}$  e medir a pressão do gás  $p_g$ . Em seguida, aumenta-se para 100 partículas e mede-se a pressão. O processo repete-se até ter 800 partículas leves. A próxima etapa é repetir o ciclo de inserção de partículas, em um banho térmico a  $100^\circ\text{C}$ , medindo a pressão  $p_v$ . A etapa seguinte é repetir os mesmos procedimentos com a partícula pesada.

1 [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulations/gas-properties](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/gas-properties)

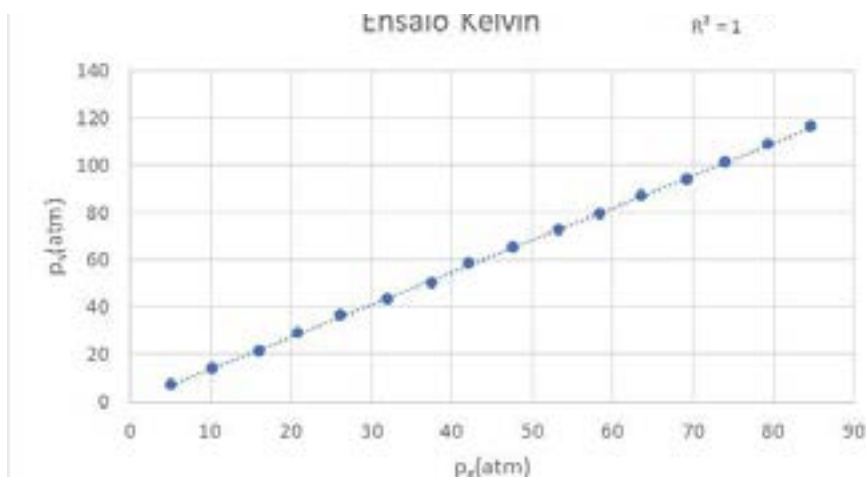
**Figura 1 - Simuladores da Phet – Gases ideais que permite reproduzir o ensaio de Kelvin.**



Fonte: Elaborado pelo/a(s) autor(es)/(as)-2026

Os valores do ensaio são lançados em um gráfico de dispersão usando uma planilha eletrônica, com  $p_g$  na abscissa e  $p_v$  na ordenada. Pedese então que uma linha de tendência linear seja adicionada, com cruzamento em 0 e exibir a equação. A Fig. 2 mostra os gráficos gerados pelos alunos.

**Figura 2 – Resultado gerado pelos alunos.**



Fonte: Elaborado pelo/a(s) autor(es)/(as)-2026

Com isto os alunos obtêm valores próximos aos encontrados por Kelvin. O ensaio é interessante para os alunos, pois eles adotam uma posição ativa no processo de aprendizagem, manuseiam outros aplicativos, usam um simulador e criam uma conexão entre a unidade kelvin com a de graus celsius. O valor de conversão começa a ter sentido para eles, pois não foi algo imposto sem alguma justificativa.

O término da unidade envolve a resolução de exercícios, usando inteligência artificial, com os cálculos sendo reproduzidos no aplicativo Smath Studio, outro aplicativo gratuito,

**Figura 3 – Aplicativo Smath Studio com exemplos de conversão de unidades.**

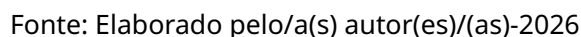
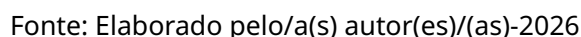
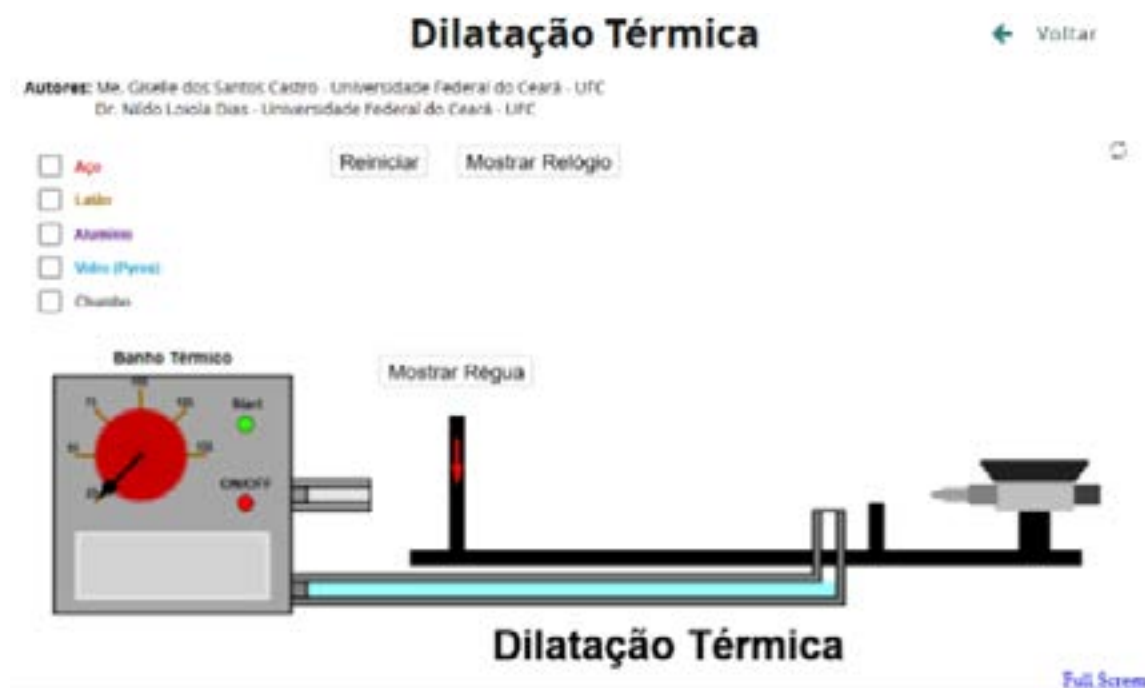


**Figura 3 – Exemplo de monitoramento, por aluno, envolvendo equipamento digital.**



<sup>2</sup> <https://www.laboratoriovirtual.fisica.ufc.br/dilatacao-termica>

**Figura 4 - Simulador desenvolvido para estudos de dilatação térmica.**



Fonte: Elaborado pelo/a(s) autor(es)/(as)-2026

Inicialmente é feita toda a exposição teórica sobre expansão dos sólidos e líquidos. No caso da expansão linear, a variação do comprimento é

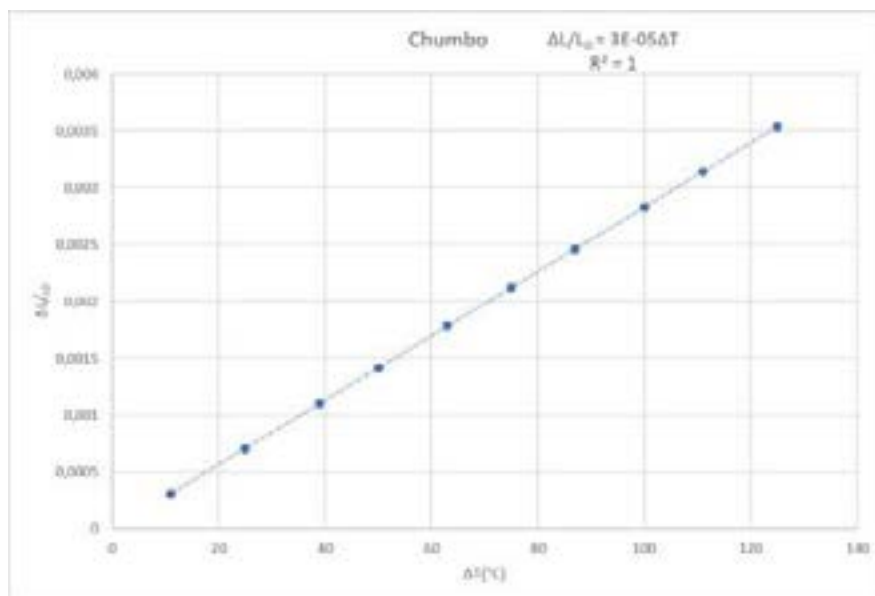
$$\Delta L = L_0 \alpha \Delta T, \quad (3)$$

na qual  $L_0$  é o comprimento inicial,  $\Delta T = T - T_0$  é a variação de temperatura, entre o estado final e o estado inicial e  $\alpha$  é o coeficiente de expansão linear. Após a exposição teórica, os alunos abrem o aplicativo, escolhem o material. Em seguida eles precisam clicar em mostrar a régua e medir o comprimento da barra. Os autores definiram uma peça cujo comprimento não é um número exato, mas envolve a leitura de algarismos verdadeiros e o duvidoso. Na sequência, os alunos precisam clicar em mostrar o relógio comparador e zerar o aparelho, movendo o ponto vermelho. Uma breve explicação sobre o funcionamento do relógio e da leitura é feita aos alunos. Em seguida eles habilitam o banho térmico e pede-se que anotem o valor da temperatura inicial. Pede-se então que selecionem um valor de temperatura entre 25°C e 50°C e anotem o valor do relógio. Depois devem escolher a temperatura de 50°C e anotar o valor. Devem repetir o processo até 150°C.

Os dados são lançados em uma planilha eletrônica, na qual na coluna são lançados os valores de temperatura, na coluna B os valores da variação do comprimento, na coluna C é calculado a variação de temperatura  $\Delta T$  e na coluna D, a razão  $\frac{\Delta L}{L_0}$ . Então pede-se que o aluno gere um gráfico de dispersão, na qual na abscissa é lançado os valores da variação de temperatura e na ordenada, a razão  $\frac{\Delta L}{L_0}$ . Pede-se para introduzir a linha de tendência linear, exibir a equação, cruzamento no zero e  $R^2$ . Este processo é feito com os demais materiais do simulador.

A Fig. 5 mostra um resultado feito pelos alunos para o chumbo.

**Figura 5 – Gráfico da expansão linear do chumbo.**



Fonte: Elaborado pelo/a(s) autor(es)/(as)-2026

Após a prática no simulador, os alunos vão o laboratório fazer um ensaio similar com equipamentos reais. O aparato para a medida é mostrado na Fig. 6. O aluno insere o tubo metálico, prende-o por meio dos parafusos e conecta tubos de silicone em suas extremidades. Um dos parafusos tem uma marca que precisa estar alinhada ao zero da escala. Em seguida o aluno zera o relógio comparador. Na sequência, o aluno aquece a água no bquer até atingir a temperatura de 80°C. Um dos alunos despeja a água no funil enquanto outro faz a leitura do relógio. Mistura-se um pouco de água no bquer, mede-se a temperatura e repete o processo.

**Figura 6 – Ensaio para a medida da expansão linear de tubos metálicos.**



Fonte: Elaborado pelo/a(s) autor(es)/(as)-2026

As aulas em laboratório, diferentemente das feitas no simulador, são interessantes pois envolvem um ambiente na qual o aluno não tem controle. Envolve aquecimento de água, leitura com o termômetro, habilidade manual em pegar o béquer com a água aquecida e despejar no funil, fazer a leitura no relógio comparador. Os alunos repetem o mesmo processo descrito no simulador. Por fim são feitas algumas questões sobre o ensaio, para analisar os resultados, explicar por que alguns materiais expandem mais que os outros. No final, os alunos devem realizar exercícios usando IA para a resolução com a posterior apresentação.

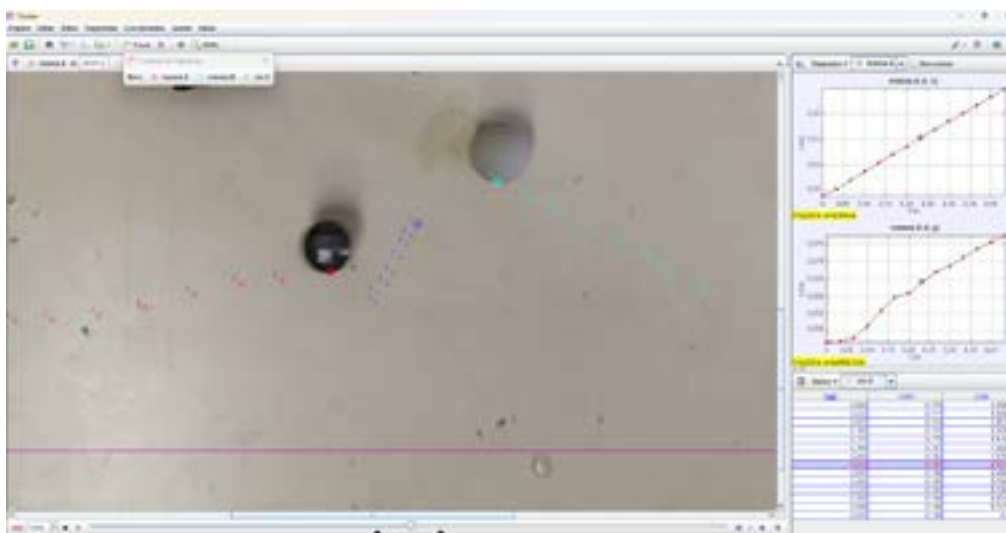
No último caso a ser discutido, que trata do movimento de corpos, inicialmente é feita uma explanação sobre centro de massa e centro de gravidade e mostra-se que a posição do centro de gravidade – CG é tal que neste ponto o torque do sistema de partículas é igual ao torque do CG, assim como a soma das forças externas do sistema de partículas é igual a resultante aplicada no CG. Com isto, deduz a expressão da posição do CG,

$$\vec{CG} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^n m_i \vec{r}_i, \quad (4)$$

na qual  $M$  é a massa total do sistema,  $m_i$  e  $\vec{r}_i$  é a massa e a posição da  $i$ -ésima partícula.

Na análise de movimento, os alunos gravam o ensaio do movimento com o celular e depois analisam o seu movimento usando o aplicativo Tracker<sup>3</sup>, mantido pela Open Source Physics. Eles medem a massa das esferas com a balança. A Fig. 7 mostra o resultado da análise feita com o aplicativo.

**Figura 7 - Interface do software Tracker utilizada para análise de movimento e extração de dados experimentais.**



Fonte: Elaborado pelo/a(s) autor(es)/(as)-2026

Por meio da tecnologia de processamento digital de imagens, o aplicativo rastreia o movimento dos objetos, gerando gráficos, tabelas e analisar a forma da curva do gráfico do movimento.

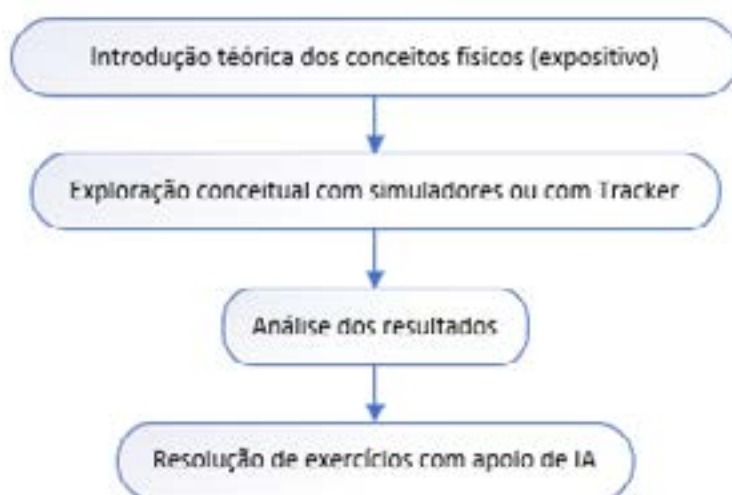
3 <https://opensourcephysics.github.io/tracker-website/>

Ao habilitar um novo rastreamento, os alunos escolhem o centro de massa e escolhem as partículas. Com isto, o aplicativo gera a posição do CG (em tom azul escuro).

Na etapa seguinte, após a coleta de dados, os alunos, em grupos, devem responder a um questionário para a discussão dos resultados. Eles devem calcular teoricamente o valor da posição do CG e comparar com o valor fornecido pelo aplicativo. O questionário envolve tanto a parte interpretativa do fenômeno, a parte comparativa dos valores experimentais com os valores previstos na teoria, a parte dedutiva, na qual, com base em uma série de dados deve-se interpolar os dados para extrair a equação. Com isto os alunos mesclam a teoria que foi apresentada na forma expositiva, com a teoria que é trabalhada na forma baseada em problemas.

A etapa final envolve a complementação do aprendizado por meio da resolução de problemas usando sistemas de inteligência artificial, ou aplicativos tais como o Smath Studio como ferramenta de apoio para a resolução de exercícios. A Fig. 8 mostra a sequência das atividades feitas nesta aula.

**Figura 8 - Fluxograma das etapas utilizadas na integração de ferramentas digitais no ensino de física.**



Fonte: Elaborado pelo/a(s) autor(es)/(as)-2026

## Impactos locais obtidos

A implementação dessa proposta pedagógica produziu impactos positivos no contexto das disciplinas em que foi aplicada. De acordo com o relato de alguns alunos e pela observação, notou-se o maior envolvimento dos estudantes durante as atividades experimentais e maior interesse na análise dos resultados obtidos. Os dados extraídos da ferramenta Insight do TEAMS, permite identificar se houve melhora no aprendizado. Na atividade sobre expansão térmica, 2 alunos tiraram nota inferior a oito, de forma que a média da classe ficou em torno de 9,4. Todos os alunos entregaram a atividade dentro do prazo estipulado. O uso adequado de um simulador, combinado com a metodologia ativa, torna a aula instigante, interes-

sante aos alunos e para o professor, que atua como mediador no processo de ensino aprendizagem (Amorim, 2023). Estes resultados corroboram os achados obtidos por Finkelstein et al. (2005), que notaram como simulações computacionais podem ser ferramentas educacionais mais eficazes do que equipamentos de laboratório reais. Simulações bem elaboradas, quando utilizadas nos contextos adequados, podem ser altamente benéficas.

O engajamento dos alunos nas aulas aumentou, mostrando o interesse em sair da posição de espectador na sala de aula, para a posição de protagonista. A possibilidade de registrar vídeos, extrair dados experimentais e compará-los com modelos matemáticos contribuiu para tornar o processo de aprendizagem mais significativo. A inclusão de demonstrações práticas e experimentos simples pode ser uma estratégia eficaz para superar as dificuldades dos alunos (Coletta et al., 2019; Kekule, 2022).

Outro impacto relevante foi o desenvolvimento de competências relacionadas ao uso de ferramentas computacionais e à análise quantitativa de dados. Os estudantes tiveram a oportunidade de utilizar softwares empregados em atividades de modelagem, simulação e tratamento de dados, semelhantes aos utilizados em contextos científicos e tecnológicos. Essa abordagem contribui para o desenvolvimento do pensamento computacional, da capacidade de resolução de problemas e da modelagem matemática, aproximando a formação acadêmica das competências exigidas na prática profissional em áreas como Física, Engenharia e pesquisa científica (Amorim *et al.*, 2025; Freeman *et al.*, 2014).

Além disso, a integração de diferentes representações, experimental, gráfica e matemática, favoreceu a compreensão conceitual dos fenômenos físicos estudados e a combinação entre experimentação, simulação e modelagem matemática contribuiu para fortalecer a relação entre teoria e prática. A experiência descrita demonstra que a integração entre simulações, análise experimental e modelagem matemática pode favorecer uma aprendizagem mais investigativa no ensino de física.

O quadro 1 mostra as finalidades pedagógicas encontradas para cada um dos aplicativos.

**Quadro 1 - Ferramentas digitais utilizadas**

| Ferramenta              | Finalidade pedagógica             | Aplicação                                                |
|-------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Tracker                 | Análise experimental de movimento | Extração de dados de posição, velocidade e aceleração    |
| GeoGebra                | Visualização matemática           | Representação gráfica de funções e análise de parâmetros |
| Smath Studio            | Modelagem matemática              | Implementação de equações físicas e cálculos numéricos   |
| PhET                    | Simulações interativas            | Exploração conceitual de fenômenos físicos               |
| Inteligência artificial | Apoio à aprendizagem              | Discussão de exercícios e interpretação de resultados    |

Fonte: Elaborado pelo/a(s) autor(es)/(as)-2026

O quadro 2 mostra a diferença entre as abordagens tradicional, focada apenas na aula expositiva e a abordagem com ferramentas digitais ou com ensaios integrados ao processo de aprendizagem. No primeiro caso, quando o docente estava na etapa expositiva, observou-se que alguns alunos estavam fazendo outras atividades como acessar o celular ou conversando com o seu colega. Isso ocorre porque neste tipo de aula, como o aluno é agente passivo, o seu foco no conteúdo é mínimo. Quando a aula passou para a segunda etapa, na qual ele passa a ser agente da atividade, o seu foco passa a ser em realizar a atividade. Na aula no laboratório, alguns executavam a atividade enquanto os demais estavam só observando. Mas ao terminar o ensaio, a turma se deslocou para o laboratório de informática para responder as questões e, novamente, se observa o engajamento, discutindo a execução do ensaio, o comportamento do sistema.

Enquanto a primeira abordagem tende a permanecer dissociada da experiência concreta do estudante, a segunda favorece uma aprendizagem ativa, na qual o aluno interage com fenômenos físicos por meio de experimentos reais e simulações computacionais. Evidências da pesquisa em ensino de Física mostram que atividades experimentais e simulações interativas promovem maior engajamento cognitivo, facilitam a articulação entre representações matemáticas, gráficas e fenomenológicas e contribuem para uma compreensão conceitual mais consistente dos fenômenos físicos (Freeman *et al.*, 2014; Hake, 1998; Prince, 2004). Sob a perspectiva da neurociência da aprendizagem, experiências multissensoriais e metodologias ativas favorecem processos de plasticidade cerebral associados à consolidação da aprendizagem e da memória de longo prazo (Owens; Tanner, 2017).

Enquanto a primeira abordagem está desconexa no imaginário do aluno, na segunda abordagem o aluno está experimentando novas sensações. Atividades experimentais e simulações interativas estimulam múltiplos sistemas cognitivos e sensoriais, promovendo a formação e o reforço de redes sinápticas no cérebro. Esse processo facilita a integração entre representações matemáticas, gráficas e fenomenológicas dos conceitos físicos.

A compreensão matemática em Física envolve mais do que a aplicação de equações; ela requer a capacidade de interpretar relações quantitativas entre grandezas físicas e de integrar diferentes formas de representação do conhecimento científico. Nesse contexto, abordagens pedagógicas baseadas em atividades experimentais e simulações interativas têm se mostrado particularmente eficazes para promover essa integração. Ao manipular variáveis em experimentos de laboratório ou em ambientes computacionais interativos, os estudantes podem observar diretamente como alterações em determinadas grandezas afetam o comportamento de um sistema físico. Esse processo favorece a construção de conexões entre a representação fenomenológica do fenômeno, suas representações gráficas e a formalização matemática que descreve essas relações.

Do ponto de vista cognitivo, a exploração ativa de experimentos e simuladores contribui para o desenvolvimento de modelos mentais quantitativos, permitindo que os estudantes interpretem equações como representações estruturais de regularidades observadas na natureza. Em vez de perceber a matemática apenas como um conjunto de procedimentos de cálculo,

os estudantes passam a compreendê-la como uma linguagem capaz de descrever e prever o comportamento de sistemas físicos. Esse processo também favorece a redução da carga cognitiva associada ao formalismo matemático, pois a observação direta do fenômeno fornece um referencial concreto que auxilia na interpretação das variáveis e de suas relações funcionais.

Além disso, pesquisas em educação em Física indicam que ambientes de aprendizagem que combinam experimentação, visualização gráfica e manipulação de modelos matemáticos estimulam múltiplos processos cognitivos, incluindo raciocínio espacial, interpretação de padrões e pensamento quantitativo. Essa integração entre diferentes formas de representação contribui para uma compreensão mais profunda dos conceitos físicos e de sua estrutura matemática, favorecendo o desenvolvimento do raciocínio científico e da capacidade de modelagem quantitativa.

O tratamento de erros experimentais constitui um elemento central na integração entre experimentação, simulação e compreensão matemática no ensino de Física. Quando os estudantes realizam medições em laboratório, eles entram em contato com uma característica fundamental da ciência empírica: toda medida física possui incerteza. Assim, o tratamento de erros não é apenas um procedimento técnico, mas um componente essencial do processo de modelagem científica. Quando eles comparam os resultados obtidos por eles com os obtidos pelo docente, geralmente eles acreditam que a variação de valores obtidos nas casas decimais é fruto de erros deles. Não estão acostumados a perceber que a incerteza está presente em todas os ensaios.

Do ponto de vista conceitual, a análise de erros experimentais permite que os estudantes compreendam que as equações físicas representam modelos ideais, enquanto as medições correspondem a estimativas experimentais dessas relações. A comparação entre valores medidos e valores previstos teoricamente conduz à análise de discrepâncias, estimulando a interpretação estatística dos dados, a identificação de fontes de erro (sistemáticos e aleatórios) e a avaliação da confiabilidade dos resultados obtidos.

Dessa forma, o tratamento de erros experimentais funciona como uma ponte entre o fenômeno observado, os dados experimentais e o modelo matemático, permitindo que os estudantes compreendam como o conhecimento científico é construído a partir da interação entre teoria, observação e análise quantitativa. Essa abordagem contribui para o desenvolvimento de uma visão mais autêntica da prática científica, na qual a matemática é utilizada não apenas para descrever fenômenos, mas também para avaliar a precisão e a confiabilidade das evidências empíricas.

A integração entre experimentação, simulação, modelagem matemática e análise de erros experimentais contribui significativamente para a interdisciplinaridade e para a formação profissional dos estudantes. Essa abordagem conecta conhecimentos de Física, Matemática, Estatística e Computação, permitindo que os estudantes compreendam problemas científicos e tecnológicos de forma integrada. Ao trabalhar com dados experimentais, interpretação de resultados e validação de modelos, os alunos desenvolvem competências quantitativas e analíticas fundamentais.

Além disso, essa metodologia aproxima o ambiente educacional das práticas utilizadas na pesquisa científica e na indústria, onde a análise de dados, a modelagem de sistemas e a tomada de decisões baseadas em evidências são essenciais. Como resultado, os estudantes desenvolvem habilidades valorizadas no mercado de trabalho, como raciocínio crítico, resolução de problemas, interpretação de dados sob incerteza e uso de tecnologias digitais. Dessa forma, essa abordagem favorece tanto a integração entre diferentes áreas do conhecimento quanto a preparação para contextos profissionais contemporâneos.

**Quadro 2 – Comparação entre abordagens tradicionais e abordagem integrada com ferramentas digitais no ensino de física**

| <b>Critério</b>                          | <b>Ensino Tradicional</b>          | <b>Abordagem com Ferramentas Digitais Integradas</b>   |
|------------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| <b>Papel do estudante</b>                | Passivo, receptor de conteúdo      | Ativo, protagonista na construção do conhecimento      |
| <b>Metodologia predominante</b>          | Aula expositiva                    | Aprendizagem ativa (PBL, investigação, experimentação) |
| <b>Relação teoria–prática</b>            | Fragmentada                        | Integrada e contextualizada                            |
| <b>Uso de experimentos</b>               | nulo                               | Experimental + simulado + videoanálise                 |
| <b>Visualização de fenômenos</b>         | Abstrata, dependente da imaginação | Concreta, com simulações e gráficos dinâmicos          |
| <b>Compreensão matemática</b>            | Focada em manipulação algébrica    | Interpretação gráfica + modelagem + simulação          |
| <b>Uso de tecnologia</b>                 | Baixo ou inexistente               | Intensivo e diversificado                              |
| <b>Tipo de avaliação</b>                 | Tradicional (provas)               | Processual (análises, relatórios, resolução assistida) |
| <b>Engajamento dos alunos</b>            | Moderado a baixo                   | Elevado                                                |
| <b>Desenvolvimento de habilidades</b>    | Conteudista                        | Analítica, digital e investigativa                     |
| <b>Tratamento de erros experimentais</b> | Pouco explorado                    | Discutido (incertezas, comparação com teoria)          |
| <b>Interdisciplinaridade</b>             | Limitada                           | Favorecida                                             |
| <b>Preparação para o mercado</b>         | Parcial                            | Alinhada com práticas tecnológicas atuais              |

Fonte: Elaborado pelo/a(s) autor(es)/(as)-2026

## Considerações finais e recomendações

Os resultados obtidos indicam que a integração de ferramentas digitais no ensino de física pode contribuir significativamente para tornar o processo de aprendizagem mais dinâmico e investigativo. A utilização de análise de vídeo, simulações computacionais e modelagem matemática permite explorar fenômenos físicos de maneira mais interativa, favorecendo a compreensão conceitual e o desenvolvimento de habilidades analíticas.

A disseminação de práticas pedagógicas baseadas na integração de tecnologias digitais contribui para a modernização do ensino superior e para a formação de profissionais mais preparados para lidar com problemas científicos e tecnológicos.

## Referências

- AMORIM, A. E. A. **High-Tech High-Touch aplicada a uma aula sobre escala de temperatura em kelvin, suportada com metodologia ativa baseada em problemas e simulador de gases ideais**. REVIS- TA FOCO, [S.l.], v. 16, n. 3, p. e1424, 24 mar. 2023. DOI: <https://doi.org/10.54751/revistafoco.v16n3-120>. Disponível em: <https://focopublicacoes.com.br/foco/article/view/1424>. Acesso em: 5 ago. 2025.
- AMORIM, A. E. A.; REZENDE, L. B. de; ALMEIDA, A. P. de; JURADO, F. H.; ALVES, F. G.; SURIANO, M. F. Z. **Aprimorando a compreensão das leis de Newton por meio da videoanálise**. Revista DCS, [S.l.], v. 22, n. 83, p. e3401, 6 out. 2025. DOI: <https://doi.org/10.54899/dcs.v22i83.3401>. Disponível em: <https://ojs.revistadcs.com/index.php/revista/article/view/3401>. Acesso em: 26 mar. 2026.
- COLETTA, V. P.; BERNARDIN, J.; PASCOE, D.; HOEMKE, A. Feeling Newton's Second Law. **The Physics Teach- er**, [S.l.], v. 57, n. 2, p. 88–90, 1 fev. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1119/1.5088467>. Disponível em: <https://pubs.aip.org/pte/article/57/2/88/362074/Feeling-Newton-s-Second-Law>. Acesso em: 15 set. 2025.
- FINKELSTEIN, N. D.; ADAMS, W. K.; KELLER, C. J.; KOHL, P. B.; PERKINS, K. K.; PODOLEFSKY, N. S.; REID, S.; LEMASTER, R. **When learning about the real world is better done virtually: A study of substituting computer simulations for laboratory equipment**. Physical Review Special Topics - Physics Education Research, [S.l.], v. 1, n. 1, p. 010103, 6 out. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.1.010103>. Disponível em: <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevSTPER.1.010103>. Acesso em: 26 jun. 2026.
- FREEMAN, S.; EDDY, S. L.; MCDONOUGH, M.; SMITH, M. K.; OKOROAFOR, N.; JORDT, H.; WENDEROTH, M. P. **Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics**. Proceedings of the National Academy of Sciences, [S.l.], v. 111, n. 23, p. 8410–8415, 10 jun. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111>. Disponível em: <https://pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.1319030111>. Acesso em: 26 jun. 2026.
- HAKE, R. R. **Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses**. American Journal of Physics, [S.l.], v. 66, n. 1, p. 64–74, 1 jan. 1998. DOI: <https://doi.org/10.1119/1.18809>. Disponível em: <https://pubs.aip.org/ajp/article/66/1/64/1055076/Interactive-engagement-versus-traditional-methods>. Acesso em: 26 jun. 2026.
- KEKULE, T. **Poggendorff's Scales—Demonstration of Newton's Laws in a Less Traditional Way**. The Physics Teacher, [S.l.], v. 60, n. 9, p. 759–761, 1 dez. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1119/5.0057719>. Disponível em: <https://pubs.aip.org/pte/article/60/9/759/2848384/Poggendorff-s-Scales-Demonstration-o-f-Newton-s>. Acesso em: 9 set. 2025.
- OWENS, M. T.; TANNER, K. **D. Teaching as Brain Changing: Exploring Connections between Neuro- science and Innovative Teaching**. CBE—Life Sciences Education, [S.l.], v. 16, n. 2, p. fe2, jun. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1187/cbe.17-01-0005>. Disponível em: <https://www.lifescied.org/doi/10.1187/cbe.17-01-0005>. Acesso em: 26 jun. 2026.
- PERKINS, K.; ADAMS, W.; DUBSON, M.; FINKELSTEIN, N.; REID, S.; WIEMAN, C.; LEMASTER, R. **PhET: In- teractive Simulations for Teaching and Learning Physics**. The Physics Teacher, [S.l.], v. 44, n. 1, p. 18–23, 1 jan. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1119/1.2150754>. Disponível em: <https://pubs.aip.org/pte/article/44/1/18/274167/PhET-Interactive-Simulations-for-Teaching-and>. Acesso em: 31 mar. 2026.
- PRINCE, M. **Does Active Learning Work? A Review of the Research**. Journal of Engineering Education, [S.l.], v. 93, n. 3, p. 223–231, jul. 2004. DOI: <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2004.tb00809.x>. Dispo- nível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/j.2168-9830.2004.tb00809.x>. Acesso em: 26 jun. 2026.
- SUWASONO, P.; PRAMONO, N. A.; HANDAYANTO, S. K.; SANISO, E. **Misconceptions reduction of New- ton's laws through contextualization of problems in PBL**. In: THE 5TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATHEMATICS AND SCIENCE EDUCATION (ICOMSE) 2021: SCIENCE AND MATHEMATICS EDUCA- TION RESEARCH: CURRENT CHALLENGES AND OPPORTUNITIES. 2023. Malang, Indonesia: [S.n.], 2023. p. 050002. DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0112806>. Disponível em: <https://pubs.aip.org/aip/acp/article/2869636>. Acesso em: 2 abr. 2025.
- WILLIAMS, H. T. **Semantics in teaching introductory physics**. American Journal of Physics, [S.l.], v. 67, n. 8, p. 670–680, 1 ago. 1999. DOI: <https://doi.org/10.1119/1.19351>. Disponível em: <https://pubs.aip.org/ajp/article/67/8/670/1043265/Semantics-in-teaching-introductory-physics>. Acesso em: 31 mar. 2025.