LUMEN ET VIRTUS

Aplicações de experimentos virtuais simulados no ensino de física: Análise dos equivalentes termomecânico e termoelétrico

https://doi.org/10.56238/levv15n40-016

Luciano Soares Pedroso
Doutor em Ensino de Ciências e Matemática – MNPEF – PPGECMaT - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - Diamantina-MG – Brasil

Fabrício Pimenta Neto
Doutorando em Educação - Universidade Nacional de Rosario – Rosario – Argentina

Giovanni Armando da Costa
Mestre em Ensino de Física – MNPEF - Universidade Federal de Alfenas - Alfenas-MG – Brasil

Renato Aparecido Teixeira
Mestrando em Ensino de Ciências, Matemática e Tecnologias - PPGECMaT - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - Diamantina-MG – Brasil

RESUMO

O artigo explora a relevância das simulações computacionais no ensino de Física, com destaque para os Experimentos Virtuais Simulados (EVS), focando especialmente no experimento de Joule sobre o Equivalente Termomecânico. Esses EVS se baseiam em dados experimentais reais, tornando-se uma ferramenta inovadora e extremamente eficaz no contexto educacional. Ao proporcionar uma interface prática e interativa, as simulações permitem que os estudantes explorem e compreendam conceitos complexos de forma mais acessível e dinâmica. Uma das principais vantagens dos EVS é a sua proximidade com os experimentos de laboratório convencionais, já que são desenvolvidos com base em dados obtidos de experimentações reais. Essa característica aproxima os estudantes das condições autênticas de pesquisa científica, o que lhes oferece uma experiência de aprendizado mais rica em contexto e fiel à realidade. Assim, os estudantes podem não apenas compreender teorias abstratas, mas também aplicá-las em cenários práticos, promovendo uma assimilação mais profunda e significativa dos conceitos de Física. Além disso, os EVS proporcionam grande flexibilidade para a experimentação. Por meio de ajustes de variáveis e medições precisas, os estudantes podem observar de imediato os efeitos de suas ações nas simulações, o que fomenta um aprendizado ativo e exploratório. Essa abordagem incentiva a descoberta de relações entre diferentes variáveis físicas e promove o desenvolvimento de habilidades cruciais, como a resolução de problemas e o pensamento crítico. No contexto da Base Nacional Comum Curricular (BNCC-Brasil) para o ensino médio, o uso de EVS também fortalece o diálogo entre a Física e as Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDIC). Dessa forma, prepara os estudantes para enfrentar os desafios de um mundo cada vez mais impulsionado pela tecnologia, integrando o aprendizado científico ao uso de ferramentas digitais que estão cada vez mais presentes em diversas áreas do conhecimento e do mercado de trabalho.

Palavras-chave: Experimento Virtual Simulado, Experimentação, Práticas Experimentais, TDIC, Equivalente Termomecânico, Equivalente Termoelétrico.

1 INTRODUÇÃO

As tecnologias estão presentes em praticamente todos os aspectos de nossas vidas, influenciando a maneira como interagimos, trabalhamos e aprendemos. Na educação, em particular, o avanço tecnológico tem trazido inovações significativas a cada ano, aprimorando métodos e ferramentas que buscam facilitar e enriquecer o processo de ensino-aprendizagem. Essas inovações não apenas tornam o aprendizado mais acessível e dinâmico, mas também oferecem novas possibilidades para o desenvolvimento de habilidades essenciais no mundo contemporâneo.

No ensino de Ciências, e especialmente no ensino de Física, o impacto dessas tecnologias é profundamente notável. O uso de recursos tecnológicos, como simulações computacionais, plataformas digitais interativas e experimentos assistidos por computador, tem revolucionado a forma como os conceitos científicos são apresentados e compreendidos pelos estudantes. Essas ferramentas permitem que os estudantes vivenciem e explorem fenômenos que, de outra forma, seriam difíceis ou até mesmo impossíveis de observar em um ambiente tradicional de sala de aula, aproximando-os de uma aprendizagem mais ativa e conectada com as realidades científicas e tecnológicas do mundo atual.

Nesse sentido, ao incorporar essas inovações, o ensino de Física não apenas acompanha as mudanças tecnológicas, mas também se transforma em um campo de estudo mais interativo, envolvente e acessível, ampliando as oportunidades de aprendizagem para os estudantes.

Em um outro sentido, nota-se que ao longo dos anos o ensino de Física tem enfrentado desafios epistemológicos (Moreira, 2021). A compreensão de fenômenos físicos muitas vezes requer a visualização de processos que não são diretamente observáveis a olho nu. Justamente nesse contexto, as simulações computacionais emergem como uma preeminente ferramenta educacional, permitindo que estudantes explorem, interajam e compreendam conceitos desafiadores de maneira mais concreta. Um exemplo notável dessa abordagem é a aplicação das simulações computacionais no ensino do experimento de James Prescott Joule (1818-1889) sobre o Equivalente Termomecânico.

O experimento de Joule[1], realizado no século XIX, trouxe à luz a interconversão entre energia mecânica e térmica, desempenhando um papel crucial na construção da teoria da conservação de energia. No entanto, o experimento envolve interações sutis entre diferentes formas de energia, tornando sua compreensão uma tarefa desafiadora para os estudantes. É aqui que as simulações computacionais entram em cena, oferecendo uma maneira altamente promissora de ilustrar os princípios subjacentes ao experimento de Joule.

Ao explorar a teoria e os resultados do experimento de Joule, este artigo descreve como as simulações computacionais podem ser empregadas para enriquecer o ensino do Equivalente Termomecânico e do Equivalente Termoelétrico, tornando conceitos abstratos mais acessíveis e tangíveis para os estudantes. Além de fornecer uma visão detalhada do experimento de Joule e seus

[1] III. On the mechanical equivalent of heat (royalsocietypublishing.org)

resultados, examinaremos os benefícios inerentes ao uso de simulações nesse contexto educacional. Através de interações virtuais com simulações, os estudantes têm a oportunidade de visualizar os processos envolvidos no experimento de Joule, ajustar parâmetros e observar os resultados de forma imediata. No entanto, é importante reconhecer que, apesar de suas vantagens, as simulações também têm suas limitações, e discutiremos como superar esses desafios.

A aplicação das simulações computacionais no ensino do Equivalente Termomecânico e posteriormente com o Equivalente Termoelétrico não apenas aprimora a compreensão dos conceitos físicos envolvidos, mas também proporciona uma experiência de aprendizado envolvente e interativa. Ao capacitar os estudantes a explorar virtualmente um experimento clássico, estamos capacitando a próxima geração de cientistas e engenheiros a desenvolver um entendimento mais profundo das interações energéticas que governam nosso mundo.

Nas seções a seguir, examinaremos em detalhes os Experimentos Virtuais Simulados (EVS) - Equivalente Termomecânico & Equivalente Termoelétrico - e como as simulações computacionais com viés experimental podem ser aplicadas de maneira ativa no ensino desse conceito fundamental da Física, destacando os benefícios educacionais que essa abordagem proporciona.

2 EXPERIMENTO DE JOULE E SUAS CONTRIBUIÇÕES PARA O PRINCÍPIO DA CONSERVAÇÃO DA ENERGIA

No século XIX, à medida que a compreensão científica da energia evoluía, um experimento pioneiro realizado por James Prescott Joule desempenhou um papel crucial na formação do princípio da conservação da energia na Física. O experimento, conhecido como o Equivalente Termomecânico de Joule, demonstrou de maneira notável a interconversão entre energia mecânica e térmica, lançando as bases para a compreensão de que a energia não é criada nem destruída, mas sim transformada de uma forma para outra.

No coração do experimento de Joule estava a ideia de que o trabalho mecânico realizado sobre um sistema poderia ser convertido em calor. Joule conduziu uma série de experimentos nos quais água em um recipiente era agitada por pás acionadas por um sistema mecânico. A fricção entre as pás e a água dissipava energia cinética, resultando no aumento da temperatura da água. Através da medição, com uma boa precisão, das mudanças de temperatura e da quantidade de água, Joule conseguiu dimensionar a energia mecânica que havia sido convertida em energia térmica.

O experimento executado por Joule foi uma contribuição pioneira para o princípio da conservação da energia (Hewitt, 2023, p. 289). Antes desse experimento, a compreensão da relação entre diferentes formas de energia era limitada. O trabalho de Joule demonstrou de maneira tangível que a energia poderia ser transformada de uma forma para outra, mas a quantidade total de energia

permaneceria constante. Isso foi um passo crucial para a formulação do princípio da conservação da energia, que afirma que a energia total em um sistema isolado permanece constante ao longo do tempo.

Com este experimento, as descobertas de Joule tiveram implicações profundas na Física e na compreensão da natureza fundamental da energia. O experimento, conforme Hewitt (2023, p. 314) demonstrou que, apesar das várias transformações pelas quais a energia poderia passar, a quantidade total de energia em um sistema isolado permanecia inalterada. Essa compreensão revolucionária pavimentou o caminho para o desenvolvimento de teorias fundamentais como a primeira lei da termodinâmica, que formaliza o princípio da conservação da energia.

> Mais importante do que ser capaz de enunciar o que é a energia é compreender como ela se comporta – como ela se transforma. Podemos entender melhor os processos e transformações que ocorrem na natureza se os analisamos em termos de transformações de energia de uma forma para outra ou de transferências de um lugar para outro. A energia é a maneira que a natureza dispõe para prosseguir o jogo. (Hewitt, 2023, p. 314)

O experimento de Joule não apenas desempenhou um papel fundamental na construção da teoria da conservação de energia, mas também influenciou significativamente a maneira como a ciência é ensinada em nossas escolas.

Na próxima seção, exploraremos como as simulações computacionais, com o uso dos EVS, podem ser empregadas para tornar o ensino do Equivalente Termomecânico de Joule e, em complementação o Equivalente Termoelétrico, mais eficazes e envolventes.

3 AS SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS COMO MODELOS

Segundo Moreira (2021) um dos erros no ensino de Física é não dar importância a modelos e modelagem.

> As chamadas ciências exatas, como a Física, não são exatas, são aproximadas, pois dependem de modelos científicos e estes dependem das aproximações feitas, de como são controladas as variáveis. (Moreira, 2021, p. 5)

Na visão epistemológica de Mario Bunge, citada por Brandão, Araujo e Veit (2011), toda a teoria física encerra um aspecto idealizado de um pedaço da realidade e essa idealização é chamada de modelo. Essa visão epistemológica, segundo Nascimento (2014) é clássica e bem aceita no contexto científico. Consoante com o autor, nota-se que o conhecimento científico é construído, modelos científicos são erguidos, teorias científicas são edificadas a partir desses modelos. Toda essa construção começa com um modelo conceitual de um fenômeno de interesse, de uma situação problema necessária. Esse modelo pode evoluir teórica e matematicamente e chegar a uma teoria, cuja aceitação (que é sempre provisória), refutação (que pode ser definitiva) ou revisão (introdução de modificações para melhorá-la) depende da experimentação que se realiza para obter novos dados.

Com base no que foi dito até este momento, o campo conceitual da modelagem didático-científica em Física também pode ser entendido como o conjunto de atividades no Ensino de Física que visam à criação e/ou à exploração de versões didáticas de modelos científicos construídos pelos físicos. Tais atividades podem ser sintetizadas em três classes de situações, que são capazes de dar sentido aos conceitos que se quer introduzir. São elas: (a) atividades de modelagem computacional: envolvendo teoria e simulação; (b) atividades de modelagem em laboratório de ensino: envolvendo teoria e experimento; e (c) atividades de modelagem computacional-experimental: envolvendo simulação e experimento acerca de sistemas, processos e fenômenos físicos.

Com o campo conceitual da modelagem didático-científica e as três classes de situações em mente, o grupo de pesquisa da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) – campus Diamantina-MG elaborou os Experimentos Virtuais Simulados (EVS).

Os EVS são simulações computacionais produzidas a partir da utilização das chamadas Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDIC) que vem contribuindo de forma significativa no processo de ensino e de aprendizagem de estudantes do Ensino Médio (Sampaio, 2016; Esteves; Silva, 2019; Rego; Peralta; Silva, 2018; Moura; Ramos; Lavor, 2020), do Superior (Hadad; Melo Junior; Silva, 2018; Hadad; Silva, 2021), inclusive, no Ensino a Distância (Alonso; Silva, 2018). Por exemplo, no trabalho de Pedroso e Da Costa (2023) foram empregados alguns EVS no ensino de Física para a Educação do Campo, envolvendo conceitos de mecânica newtoniana com um viés metodológico adequado para operacionalização das atividades de sondagem, investigação e construção de conceitos. Segundo os autores, nas condições em que foram realizadas as atividades – via remota, percebeu-se que o domínio conceitual e a capacidade de aplicação ou abstração dos conceitos dos estudantes em situações diversas não coexistem no mesmo nível cognitivo, mas que são complementares, pois diante da constatação dos índices dos escores obtidos nos dois levantamentos realizados acerca dos conhecimentos prévios dos estudantes, considerando as sequências didáticas implantadas, notaram um expressivo ganho conceitual da turma como um todo quando o aspecto focado é o percentual de "respostas corretas" no segundo levantamento em relação ao primeiro levantamento.

4 PARTICULARIDADES DOS EVS FRENTE A UMA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL (SC)

Para a elaboração dos cerca de 180 EVS, utilizou-se o software *Easy Java Simulations* (EJS[2]) na compilação de *Java Script* (js) em função de seus inúmeros recursos que permitem construir simulações que se aproximam de um fenômeno físico, com alto grau de interatividade e aporte de uma

[2] Easy Java Simulations Wiki | Main / EJS Home Page (um.es) – acesso em 07 set. 2024.

biblioteca de arquivos que possibilitam alterar as questões propostas aos estudantes em cada momento que este os manipula.

As Simulações Computacionais trazem consigo diferenças significativas quando comparadas ao ato de experienciar um fenômeno científico. Segundo Medeiros e Medeiros (2002, p. 5) se tal diferença não for notada ou mesmo alertada, as simulações podem, por vezes, comunicar concepções do fenômeno opostas àquelas que o professor pretendia veicular com o seu uso. Ainda, segundo os autores:

> Toda animação, toda simulação estão baseadas em uma modelagem do real. Se essa modelagem não estiver clara para professores e educandos, se os limites de validade do modelo não forem tornados explícitos, os danos potenciais que podem ser causados por tais simulações são enormes. (Medeiros e Medeiros, 2022, p.6)

Com essa premissa em mente, os EVS foram edificados à luz de experimentos reais realizados no laboratório de Física da UFVJM.

Os EVS diferem-se das SC pois foram elaborados tomando como base os resultados emergentes dos experimentos que estes demonstram. Assim, os EVS partem de modelos com base em dados reais coletados em situações reais de um laboratório, observando a temperatura ambiente, dados de umidade relativa do ar, aceleração gravitacional local, latitude, longitude, resistências mecânicas e elétricas, atritos, dentre outros. Com os dados, os EVS simulam de forma modelada, ainda com algumas limitações, os experimentos que se pretende empregar.

Hoje há cerca de 180 EVS que possuem uma vertente experimental, ou seja, não se utilizam de propostas meramente matemáticas ou de modelagem computacional.

Os EVS foram edificados para que os estudantes busquem suas respostas através da construção de gráficos, tabelas e funções matemáticas para comprovar seus resultados. Ainda, devido ao uso do EJS, é possível fornecer ao estudante 180 variações diferentes dos dados apresentados em cada experimento virtual, ou seja, cada vez que o estudante renderizar – abrir – o EVS, ele se depara com uma situação diferente dos dados a serem analisados para a comprovação dos conceitos envolvidos no experimento.

Dessa forma, os EVS se aproximam do que apresenta a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) do ensino médio quando difunde, em sua competência nº 3, referente às Ciências da Natureza, destacando o necessário diálogo entre essa área e suas tecnologias:

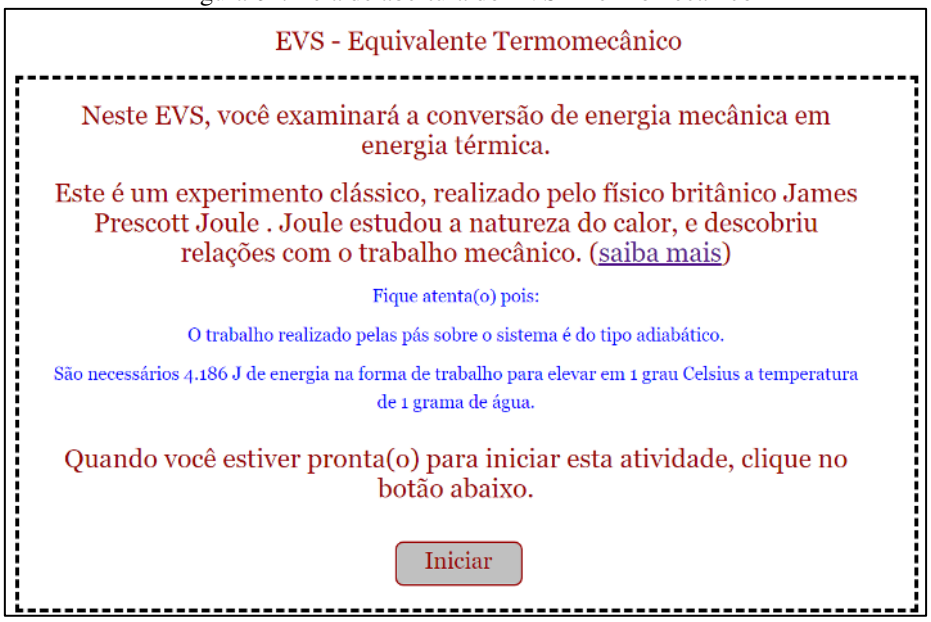
> Investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC). (BNCC, 2018, p. 553)

5 OS EVS EQUILÍBRIO TERMOMECÂNICO E EQUILÍBRIO TERMOELÉTRICO

5.1 O EVS TERMOMECÂNICO

O EVS Termomecânico foi edificado utilizando-se o experimento de mesmo nome no laboratório de Física da UFVJM. Com os dados coletados durante o manuseio do experimento, e utilizando-se o software EJS, o EVS foi elaborado. A imagem abaixo traz a tela de abertura/diálogo quando o estudante renderiza o EVS em seu navegador.

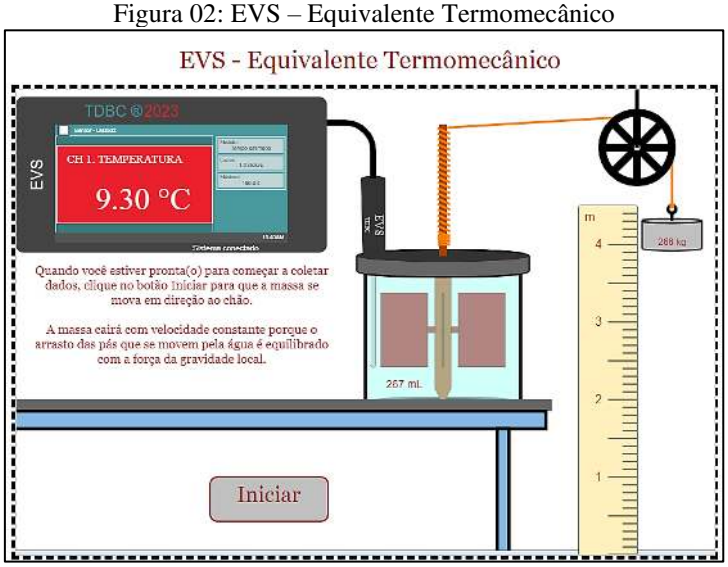
Figura 01: Tela de abertura do EVS - Termomecânico



Fonte: Acervo do autor

A figura 01, caracteriza a caixa de diálogo do EVS onde há uma pequena introdução ao assunto tratado, sempre seguido de um link (saiba mais) onde o estudante pode conhecer um pouco mais sobre o cientista e a história por trás do experimento proposto. Destaca-se, aqui, a importância da história da Ciências pois oferece uma perspectiva contextual e humana para os conceitos e teorias que os estudantes estão aprendendo. Alguns pontos importantes dessa abordagem histórica ocorrem quando oportuniza a contextualização dos conceitos, a demonstração do método científico, as características de humanização científica, e desmistificação de erros e revoluções científicas, a relação entre Ciências e Sociedade e faz conexões interdisciplinares e transdisciplinares.

Figura 02: EVS – Equivalente Termomecânico



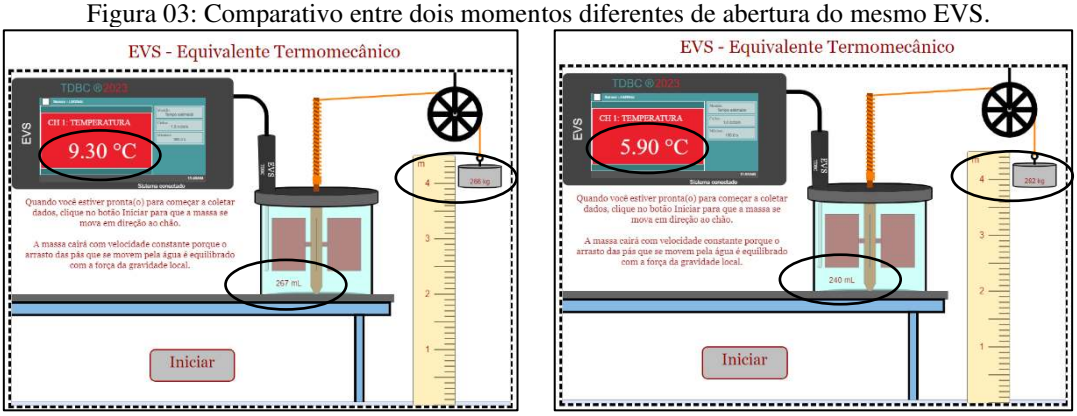
Fonte: Acervo do autor

Na imagem acima, nota-se as informações necessárias para a realização do experimento de forma assertiva, onde conhecer a aceleração gravitacional do local que se realiza o experimento é sumariamente importante.

Quando o estudante renderiza o EVS, o sistema disponibiliza alguns dados experimentais prefixados pelo professor-programador. São eles: massa do tracionador – para modifica-la basta o estudante clicar sobre ela; massa da água no calorímetro – para modificá-la basta o estudante clicar sobre o calorímetro; altura do tracionador em relação ao solo – para modificá-la basta o estudante clicar na roldana/polia. Todos os parâmetros iniciais (massa do tracionador, massa de água no calorímetro, altura do tracionador e temperatura inicial da água serão modificados todas as vezes (há cerca de 180 configurações diferentes) que o estudante renderizar o EVS em seu navegador, conforme se observa nos destaques dados na imagem abaixo. Este tipo de abordagem torna o aprendizado individualizado.

O aprendizado individualizado é uma abordagem educacional que reconhece e adapta o ensino às necessidades, interesses e habilidades únicas de cada estudante. Em vez de adotar uma abordagem única no EVS para toda a turma, o aprendizado individualizado desse experimento personaliza o processo de ensino para maximizar o progresso e o sucesso de cada estudante quando viabiliza uma variedade de estilos de aprendizagem, a autonomia, feedback personalizado, adaptação contínua, desenvolvimento de habilidades, motivação e engajamento.

Figura 03: Comparativo entre dois momentos diferentes de abertura do mesmo EVS.



Fonte: Acervo do autor.

Quando o estudante clica sobre o botão INICIAR, o tracionador começa seu movimento de descida, convertendo a energia potencial gravitacional em energia térmica. Antes de iniciar o sistema o estudante deve anotar a massa do tracionador, a altura dele em relação ao solo, o volume de água no calorímetro, a temperatura inicial da água e pesquisar o valor da aceleração gravitacional do local onde está realizando o experimento. A pesquisa do valor da aceleração gravitacional do local é de fundamental importância para o experimento, uma vez que há conversão de Energia Potencial Gravitacional (E_{pg}) em Energia Térmica (E_T). O EVS coleta, em tempo real, a latitude e a altitude do local onde o experimento está sendo realizado por meio do IP[3] (Protocolo de Internet) do computador do estudante – quando o computador do usuário está offline, o EVS se utiliza do valor médio do valor da aceleração gravitacional do planeta Terra: 9,82 m/s^2 ou 9,82 N/kg. Destaca-se, aqui, a importância do experimento se aproximar o máximo possível de um experimento real, oportunizando ao estudante experienciar atividades concretas, mesmo que seja de forma virtual.

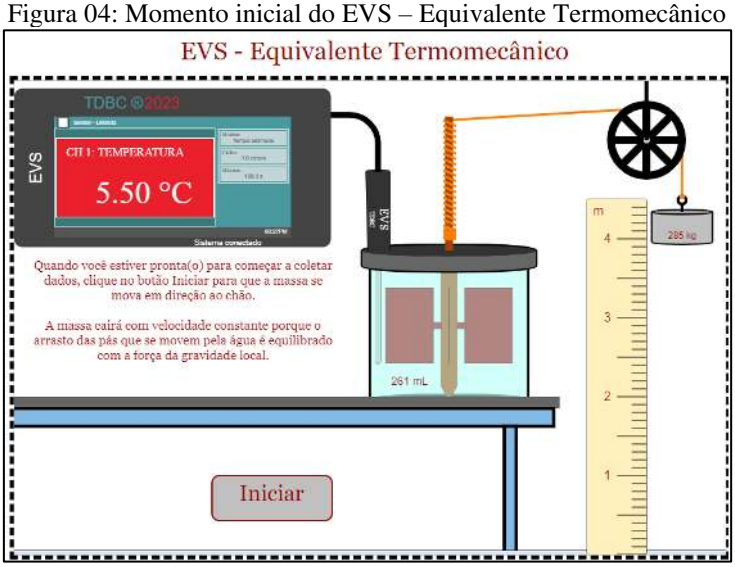
Logo abaixo vamos exemplificar uma atividade que o professor poderá realizar com seus estudantes.

Primeiramente o estudante deve renderizar o EVS em seu navegador. Após a leitura do diálogo inicial e conhecer um pouco mais sobre James Prescott Joule, ele deve abrir o aplicativo[4] de Calculadora de Peso, fornecida pelo professor. Esta calculadora deve ser aberta em seu Smartphone, de forma independente do EVS. Após obter o valor da aceleração gravitacional do local, o estudante deve anotar os dados fornecidos pelo EVS. Veja o modelo abaixo representado pela figura 04:

[3] O IP é um dos principais protocolos utilizados na comunicação de dados na Internet. É responsável pela identificação e endereçamento dos dispositivos conectados em uma rede, permitindo que eles se comuniquem entre si e compartilhem informações.

[4] https://drive.google.com/file/d/1jXoITsluoqlnnUh1Rv-b8F0w9cPpj5GT/view?usp=sharing

Figura 04: Momento inicial do EVS – Equivalente Termomecânico



Fonte: Acervo do autor

Dados coletados pelo estudante:

Aceleração gravitacional local: vamos supor que o experimento seja realizado a uma latitude de -18º e a uma altitude 990m acima do nível do mar resultando em g= 9,78 m/s^2

Massa do tracionador: 285 kg

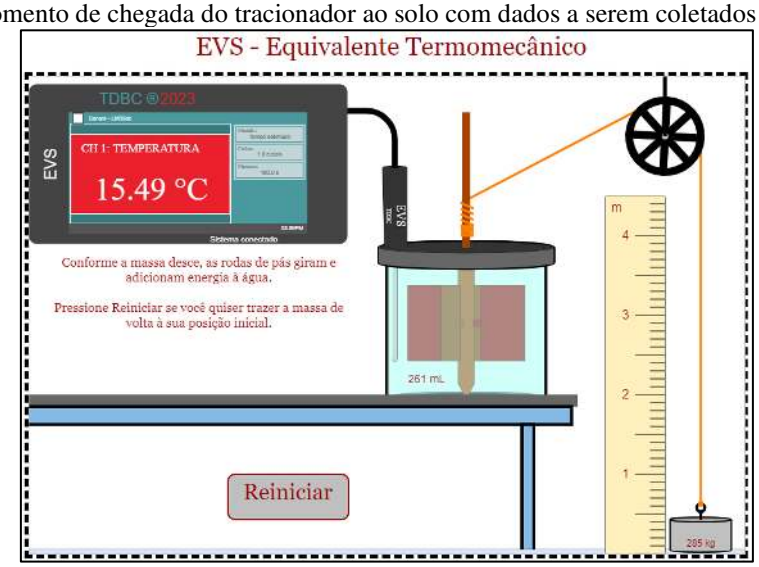
Volume de água no calorímetro: 261 mL (aqui o estudante deve lembrar que a densidade da água está em torno de 1g/mL e por isso a massa de água no calorímetro é de 261 g.)

Temperatura inicial da água: 5,50 ºC

Neste momento o professor pode solicitar ao estudante que encontre o valor do calor específico da água doce no sistema internacional de unidades. Conforme Halliday, Resnick e Walker (2016, p. 432) o calor específico da água doce vale 4.187 J/kg K ou 1,0 cal/g ºC. Este valor equivale a dizer que para elevarmos em 1K ou em 1ºC um quilograma de água doce, é necessário fornecer a ela 4.187 Joules de energia.

Após abandonar o tracionador e aguardar sua chegada ao solo, o estudante terá a seguinte tela:

Figura 05: Momento de chegada do tracionador ao solo com dados a serem coletados pelo estudante.



Fonte: Acervo do autor

Assim, o procedimento do estudante para o cálculo do calor específico da água doce será:

$$E_{pg} = E_T \quad (1)$$

$$m_{tracionador}.g.h = m_{água}.c.\Delta T \quad (2)$$

$$285.9{,}75.3{,}9 = 0{,}261.c.(15{,}49 - 5{,}50) \quad (3)$$

$$10.837{,}13 = c.2{,}61$$

$$c = \frac{10.837{,}13}{2{,}61} = 4.152{,}16\ J/kg\ K$$

O erro percentual entre o valor calculado e o valor encontrado na literatura é menor que 1%, como descrito abaixo:

$$e_{\%} = \frac{|V_{lit.} - V_{cal.}|}{V_{lit.}}.100 \quad (4)$$

$$e_{\%} = \frac{|4.187 - 4.152{,}16|}{4.187}.100 = 0{,}83\%$$

O erro percentual calculado acima, também conhecido como erro relativo, é uma medida que quantifica a diferença entre um valor experimental e um valor teórico ou esperado, expressa como uma porcentagem desse valor teórico. Ele é uma ferramenta crucial na análise de experimentos e medições, uma vez que ajuda a avaliar a precisão e a exatidão dos resultados obtidos em relação aos valores teóricos ou esperados. Com um erro menor que 1%, o EVS Equivalente Termomecânico apresenta uma boa precisão nos dados fornecidos, verifica a teoria da conservação da energia, indica que mesmo se tratando de uma SC, os resultados possuem variação, oportunizando ao estudante e ao professor identificar problemas como a precisão dos equipamentos envolvidos, calibração dos instrumentos de medidas e, principalmente, variação nas condições experimentais e ambientais. O erro percentual ainda inscreve que o EVS possui pontos que devem ser melhorados, permitindo investigar quais foram as

razões para ocorrer, como dissipação de calor para o ambiente nas proximidades do calorímetro, comportando-se como um equipamento real.

Caso o professor prefira, ele pode solicitar ao estudante que encontre a potência mecânica do Equivalente Termomecânico. Pra isso, o estudante deve preparar seu smartphone para cronometrar o tempo de queda do tracionador e assim obter a potência mecânica do sistema.

Ao clicar no botão INICIAR no EVS o estudante, concomitantemente, aciona o botão cronometrar em seu smartphone e coleta o tempo de queda do tracionador. Supondo, para este experimento que o estudante encontre 27,85 segundos para o tracionador tocar o solo, assim ele poderá calcular o valor da potência mecânica para seu experimento:

$$P = \frac{\tau}{\Delta t} \quad (5)$$

Onde:

P = potência mecânica [W ou J/s];

τ = trabalho mecânico [J];

Δt = variação do tempo [s].

Para este cálculo o estudante pode se utilizar da E_{pg} ou da E_T.

Tomemos, neste exemplo, a E_T:

$$Q = \tau = m.c.\Delta T \ (6)$$
$$Q = \tau = 0{,}261.4152{,}16.9{,}99 = 10.728{,}77\ J$$

Utilizando-se (5), temos:

$$P = \frac{10.728{,}77}{27{,}85} = 385{,}23\ W\ ou\ J/s$$

Este resultado significa que o aparato experimental se utiliza de cerca de 1/2 cavalo-vapor para converter a energia potencial gravitacional do tracionador em aquecimento da água doce no calorímetro.

5.2 O EVS TERMOELÉTRICO

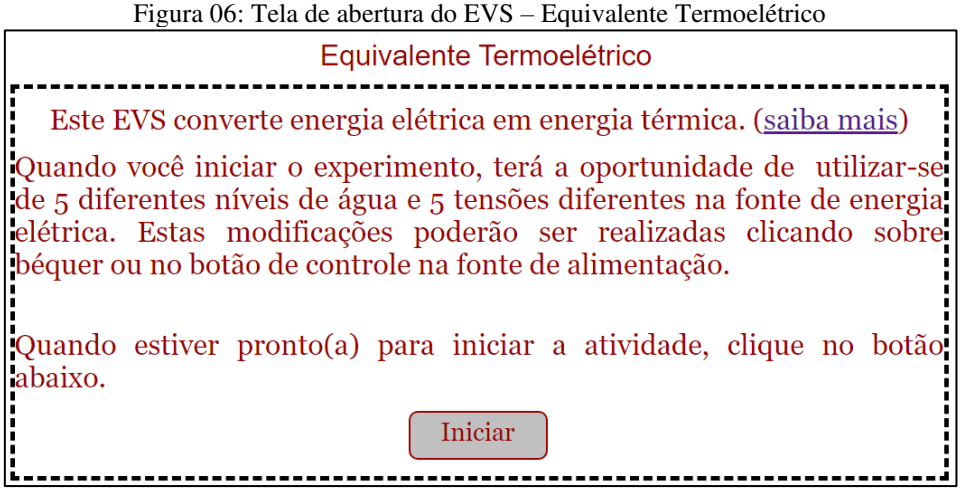
Para o segundo EVS tratado neste artigo, o Equivalente Termelétrico, vamos explorar o calorímetro utilizado para a demonstração da conservação da energia neste experimento.

No intuito de conhecer o calorímetro real utilizado neste EVS, é necessário conceituar a sua capacidade térmica. A capacidade térmica de um calorímetro real é a quantidade de calor necessária para aumentar a temperatura do calorímetro em 1 grau Celsius. Ela é geralmente expressa em unidades de calorias por grau Celsius (cal/°C) ou Joules por grau Celsius (J/°C).

A capacidade térmica de um calorímetro real pode ser calculada realizando-se um experimento simples. A ideia é aquecer ou resfriar o calorímetro com uma quantidade conhecida de calor e medir a variação de temperatura que ocorre no seu interior.

A imagem abaixo retrata o diálogo aberto com o estudante ao iniciar o EVS.

Figura 06: Tela de abertura do EVS – Equivalente Termoelétrico



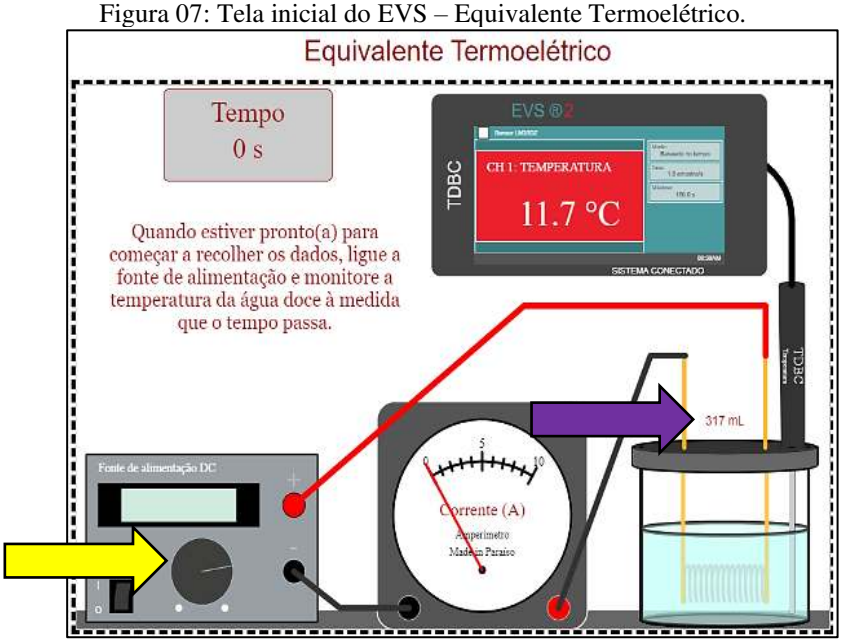
Fonte Acervo do autor.

Na imagem acima, o link (saiba mais) oportuniza ao estudante conhecer um pouco mais sobre as descobertas da Termodinâmica ao longo da história, suscitando pontos importantes da Ciência como evolução e descobertas; compreensão da natureza da Ciência; origens culturais e étnicas; abordagem interdisciplinar; dentre outros, evitando equívocos comuns sobre o desenvolvimento científico.

Após clicar no botão INICIAR, o estudante é redirecionado à tela do EVS Equivalente Termoelétrico, figura 07.

No EVS, antes de fornecer energia elétrica ao resistor que se encontra no interior do calorímetro real, ele tem a oportunidade de modificar, conforme alguns parâmetros preestabelecidos – em destaque, o valor da tensão elétrica fornecida pela fonte de alimentação – clicando sobre o botão - e a quantidade de água doce – clicando no calorímetro - que se encontra no recipiente.

Figura 07: Tela inicial do EVS – Equivalente Termoelétrico.



Fonte: Acervo do autor.

Vale salientar que ao renderizar o EVS, o estudante se depara com valores randômicos do volume e da temperatura inicial da água doce no calorímetro, alavancando a aprendizagem individualizada, viés metodológico adotado em todos os EVS desenvolvidos pelo grupo de pesquisa da UFVJM.

Outra observação importante nesse EVS é a oscilação do valor da temperatura da água doce que se encontra no calorímetro fornecida pelo Termômetro Digital de Baixo Custo (TDBC). Essa oscilação qualifica o experimento com dados obtidos em um laboratório real, pois a temperatura ambiente provoca a oscilação da temperatura no interior do calorímetro, pois ele é um calorímetro real e possui capacidade térmica que varia conforme a temperatura inicial e volume ocupado pela água doce que se encontra em seu interior. O artigo apresentado por Cosentino e Rios (2019), na página 8 traz essa importante observação ao se trabalhar com experimentos de calorimetria no Ensino Superior:

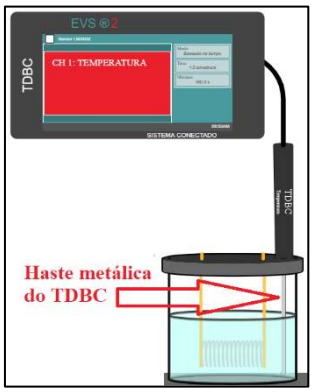
> Esse procedimento, aparentemente seguro, implica numa série de riscos de erros sistemáticos que podem comprometer a qualidade do experimento, resultando em valores muito distantes do esperado para o calor específico do material de teste, por vezes obtendo-se inclusive valores negativos para essa grandeza, o que resulta em absurdo significado físico.

Outro aspecto apontado pelos autores é a utilização de água quente ao se iniciar o experimento. Segundo dados obtidos por eles, há evaporação de parte da água adicionada e a perda de energia se dá também por convecção, implicando na máxima perda de calor possível, impactando significativamente nos resultados obtidos. Na tentativa de minimizar essa dissipação de energia pelo calorímetro, que é real, optou-se em baixar a temperatura inicial da água em relação à temperatura ambiente do local onde se realiza o experimento. Para coletar o valor da temperatura ambiente onde o estudante realiza o experimento, o EVS busca na Internet dados da estação meteorológica mais próxima – conforme o IP

do computador - e, com esse valor, reduz a temperatura inicial da água no calorímetro. Quando o computador está offline, adota-se a temperatura ambiente em torno de 20 ºC.

Ainda há mais um aspecto a se observar quando se utiliza esse EVS ou mesmo realiza este experimento em um laboratório: a termalização do sistema no método do Efeito Joule. Este método consiste em uma possível fonte de erro sistemático pelo fato de a água receber o calor dissipado pela resistência no local onde ela se encontra, tornando a mistura heterogênea em sua distribuição de temperaturas. Esse fato pode corresponder a leituras equivocadas de temperatura pelo TDBC. Um indício deste problema - quando se usa uma resistência elétrica na parte inferior do calorímetro - é a ocorrência de saltos na leitura de temperatura, indicando momentos de descontinuidade na tendência de aumento da mesma em função do tempo. Para minimizar esse efeito, o EVS adotou o TDBC com uma haste metálica, conforme a figura 08, capaz de normalizar a indicação da temperatura no interior do calorímetro, desobrigando algum tipo de agitação da água e evitando molhar uma superfície do calorímetro muito maior do que aquela que seria tocada pelo volume de água em repouso, evitando assim uma maior dissipação de energia para o ambiente.

Figura 08: Recorte do EVS destacando a haste metálica do TDBC.



Fonte: Acervo do autor.

Com a finalidade de encontrar o valor da capacidade térmica do calorímetro adotado neste experimento, caso o professor opte por essa abordagem, os seguintes passos podem ser adotados.

Sabe-se que a fonte de energia elétrica do experimento pode dada por:

$$\Delta E = P.\Delta t \quad (7)$$

Onde:

ΔE = energia fornecida [J];

P = potencial elétrico do equipamento [W];

Δt = tempo de duração em que o calorímetro ficou ligado à fonte de energia elétrica [s].

É possível obter o valor do potencial elétrico do equipamento utilizando-se de

$$P = u.i \quad (8)$$

Onde:

u = tensão elétrica fornecida pela fonte de alimentação do experimento [V];

i = corrente elétrica fornecida pela fonte de alimentação [A].

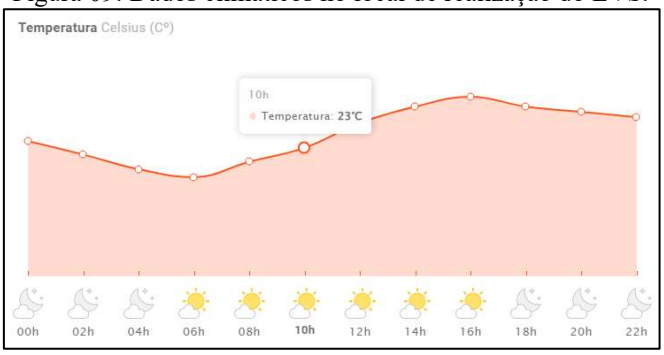
Assim, reorganizando (7) e (8) tem-se:

$$\Delta E = u.i.\Delta t \quad (9)$$

Para este experimento adota-se as seguintes características do EVS (de forma randômica):

Temperatura ambiente do local de realização do experimento coletada pelo sistema (os dados apresentados aqui foram extraídos do Clima Tempo na data de 23 de ago. de 2024 às 10:08h.

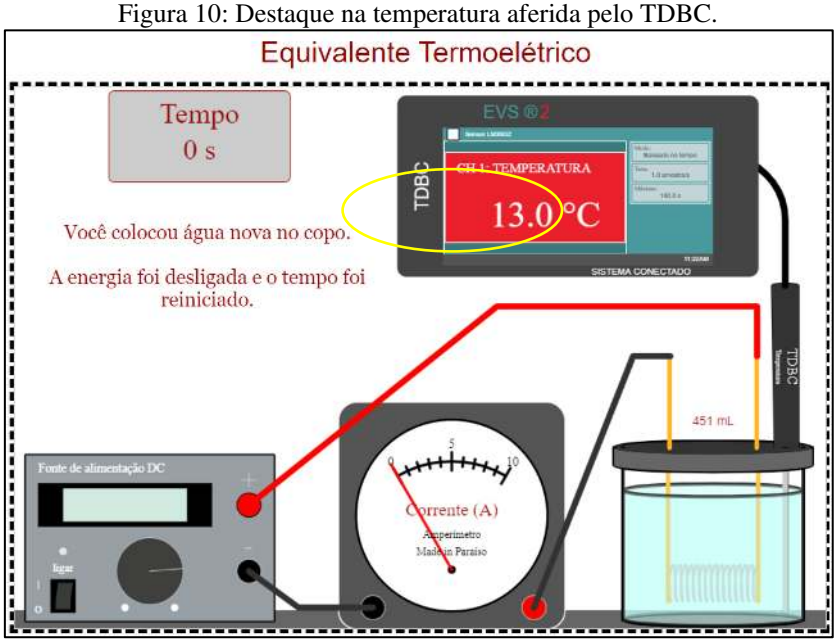
Figura 09: Dados climáticos no local de realização do EVS.



Fonte: Clima Tempo: Clima para hoje em São Sebastião do Paraíso - MG: Fique por dentro da previsão do tempo (climatempo.com.br) Acesso em 23 de ago. de 2024.

Observa-se, na figura 10, que o valor da temperatura inicial da água doce (13,0 ºC) no interior do calorímetro é menor que a temperatura ambiente do local onde se realiza o experimento.

Figura 10: Destaque na temperatura aferida pelo TDBC.



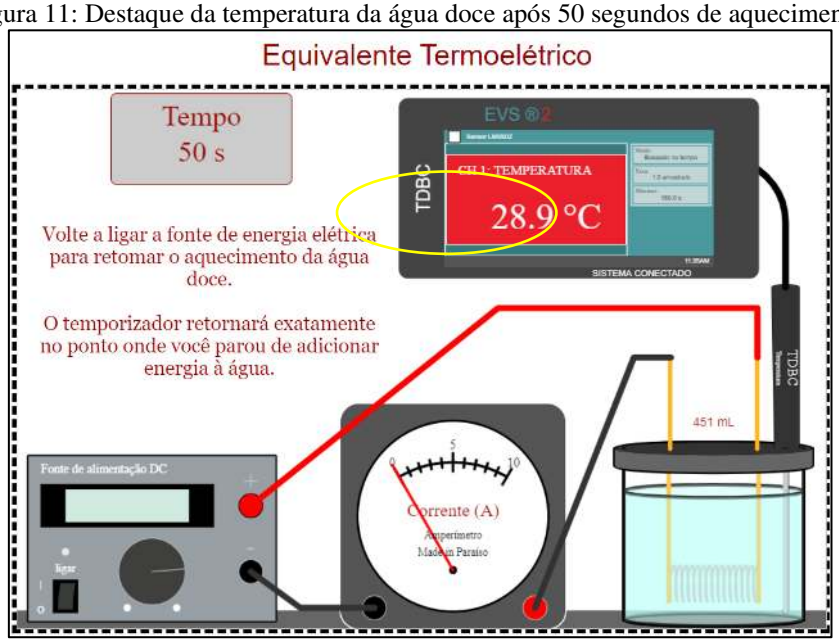
Fonte: Acervo do autor.

Os dados iniciais do experimento, segundo o EVS, são:

a) volume de água doce no calorímetro: 461 mL;
b) temperatura inicial da água doce no interior do calorímetro: 13,0 ºC.

Após a coleta dos dados o estudante clica no botão de seleção da tensão elétrica fornecida pela fonte, conforme sua escolha. Logo após a seleção da tensão, ele deve clicar no botão 'ligar' – na parte inferior da fonte de tensão - para iniciar o fornecimento de energia elétrica à resistência que se encontra no interior do calorímetro. Imediatamente ao clicar no botão 'ligar' o cronômetro é acionado no EVS, registrando o tempo em que a resistência elétrica fornece energia térmica à água doce. Destaca-se, aqui, que se deve desprezar o regime transiente de potência da resistência elétrica. O estudante deve anotar o valor da tensão e da corrente elétricas fornecidas pela fonte à resistência elétrica. Observe que o amperímetro que indica o valor da corrente elétrica é analógico, possibilitando ao estudante empregar suas habilidades na leitura de um instrumento desse tipo. É importante destacar que a escala do amperímetro analógico se modifica quando o estudante renderiza o EVS.

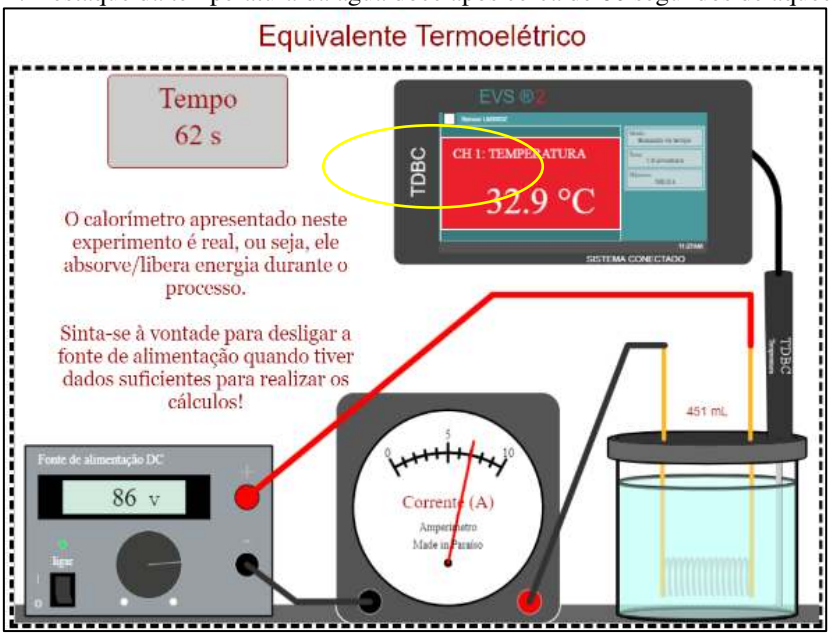
Figura 11: Destaque da temperatura da água doce após 50 segundos de aquecimento.



Fonte: Acervo do autor.

Suponha que o estudante deixe a fonte de alimentação fornecer energia por cerca de 60 segundos à água doce e anote o novo valor da temperatura da água no interior do calorímetro, conforme a figura 12.

Figura 12: Destaque da temperatura da água doce após cerca de 60 segundos de aquecimento.



Fonte: Acervo do autor.

Alguns cuidados devem tomados antes de se iniciar a tomada de dados, mesmo tratando-se de um experimento virtual. O primeiro deles é que não se tem certeza de que o calorímetro e a água doce estão em equilíbrio térmico. Para isso, como não é possível e não se deve agitar a água no interior do calorímetro, adota-se a T_i do calorímetro como sendo a temperatura ambiente (conforme a figura 09

obtida com o site Clima Tempo). Após essa verificação, o estudante pode coletar os dados fornecidos pelo EVS.

Para este exemplo tem-se:

u = 86,0 V (incerteza: 1 V)

i = 7,2 A (incerteza: 0,5 A)

$m_{\text{água doce}}$ = 451 g (incerteza: 1 g)

T_{inicial} da água doce: 13,0 ºC (incerteza: 0,1 ºC)

T_{inicial} do calorímetro: 23 ºC (incerteza: 1 ºC)

T_{final} da água doce: 51,5 ºC (incerteza: 0,1 ºC)

t = 120 s (incerteza: 1 s) – optou-se em deixar a fonte fornecer energia à água doce por 2 minutos.

Por se tratar de um ambiente isolado, toda energia consumida deverá ser absorvida pelo conteúdo dentro do calorímetro na forma de calor.

Assim,

$$\Delta E = Q_{Total} \text{ ou melhor } u.i.\Delta t = Q_T \quad (10)$$

Para este EVS, deve-se lembrar que o calorímetro não é ideal, então:

$$Q_T = Q_{água\ doce} + Q_{calorímetro}$$

Assim,

$$Q_T = m_{água}.c.\Delta T + C_{calorímetro}.\Delta T \quad (11)$$

Onde c é o calor específico da água doce e C é a capacidade térmica do calorímetro.

Reorganizando (10) e (11) tem-se:

$$u.i.\Delta t = m_{água}.c.\Delta T + C_{calorímetro}.\Delta T \quad (12)$$

Nesse instante é possível encontrar o valor da capacidade térmica do calorímetro com os dados coletados. Entretanto é necessário aferir diversas vezes a tensão, corrente, massa de água doce e temperatura inicial e final do sistema e utilizar-se da estatística descritiva para se obter um resultado significativo da capacidade térmica do calorímetro, conforme apontam Cosentino e Rios (2019).

Para este trabalho apresenta-se uma variante a estes cálculos estatísticos, mantendo o mesmo rigor metodológico.

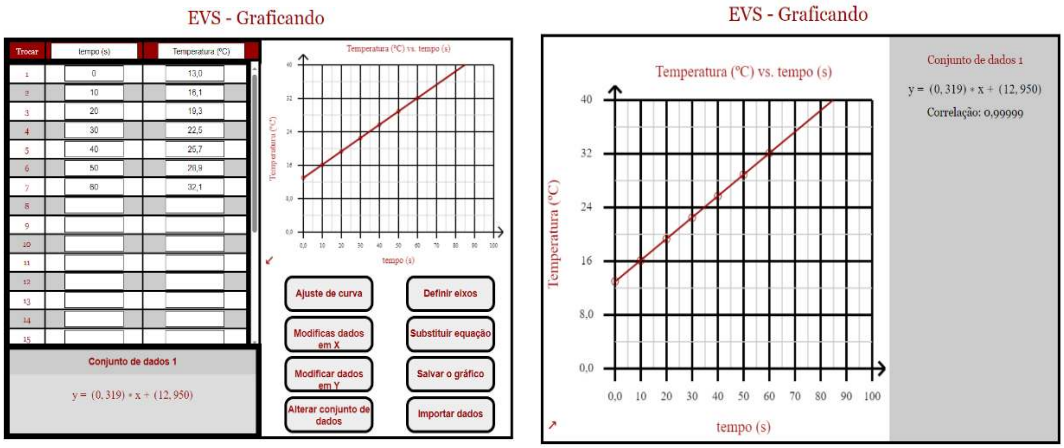
Após o estudante escolher o valor da tensão que a fonte fornecerá ao sistema e clicar em 'Iniciar' ele aguarda o início do aquecimento da água doce no interior do calorímetro e monitora o tempo desse aquecimento. Supõe-se que o estudante escolha monitorar o tempo de aquecimento de 10s em 10s e anote o valor da temperatura da água doce em cada intervalo de tempo, construindo uma tabela com os dados coletados. Após a composição da tabela ele transfere estes dados para o Graficando (figura 13) (criado pelo grupo de pesquisas que apresenta este trabalho para uso em conjunto com os EVS) para edificar um gráfico com esses dados coletados.

O Graficando trata-se de um plotador de gráficos que oportuniza ao usuário coletar os dados de um experimento, lançá-los nas colunas que podem ser nomeadas, escolher o melhor ajuste à curva apresentada e solicitar ao Graficando que plote a curva descrevendo a equação que se ajusta a essa curva e ainda apresentar a correção dos dados.

Algumas das características do Graficando são elencadas abaixo e estão na figura 13.

O Graficando oferece uma interface intuitiva, amigável e de fácil navegação, permitindo que estudantes e professores explorem e criem gráficos com facilidade, promovendo assim uma personalização avançada onde os usuários podem customizar detalhes dos gráficos, como títulos, rótulos dos eixos, legendas e cores, para tornar a apresentação visual mais precisa e envolvente. O Graficando concede a importação de dados permitindo migrar seus conjuntos de dados a partir de planilhas em Excel – por exemplo, além de dispor de um ajuste de curvas incluindo ferramentas para afinar as curvas aos dados, permitindo que os estudantes explorem conceitos como regressão linear e não linear, além de analisar a qualidade dos ajustes. Para além, o Graficando oferece recursos de simulação embutidos, permitindo que os estudantes visualizem como diferentes parâmetros afetam os gráficos e compreendam melhor as relações científicas subjacentes. É possível, ainda, a análise de pontos específicos nos gráficos por parte dos usuários, obtendo informações detalhadas sobre as coordenadas e relacionando esses pontos com conceitos físicos. Um destaque do Graficando é a possibilidade de exportação e compartilhamento, permitindo exportar gráficos em vários formatos, como imagens ou documentos, facilitando o compartilhamento com colegas ou a inclusão em apresentações, tornando-se multiplataforma ao ser usado em diversos dispositivos e sistemas operacionais, proporcionando flexibilidade aos usuários para acessar e trabalhar em gráficos em qualquer lugar. Salienta-se que o Graficando é constantemente atualizado com base em *feedback* dos estudantes.

Figura 13: Em (a) tela do Graficando com dados coletados pelo estudante. Em (b) tela da ampliação do gráfico gerado pelos dados.



(a) (b)

Fonte: Acervo do autor.

Retomando a análise dos dados coletados pelo estudante, nota-se que a situação real é descrita pela expressão

$$Q_{\text{água doce}} + Q_{\text{calorímetro}} + Q^{*}_{\text{ambiente}} = 0$$

* Conforme Cosentino e Rios (2019, p. 3), a quantidade de calor fornecida pelo ambiente pode ser desprezada.

Considerando-se a situação apresentada até este momento, pode-se encontrar a seguinte expressão para a temperatura em função do tempo transcorrido, conforme Cosentino e Rios (2019, p. 2):

$$T(t) = T_i + \left(\frac{u.i}{C_s}\right).t \quad (13)$$

Onde o produto u.i é a potência dissipada pelo resistor imerso na água doce via efeito Joule; C_s é a capacidade térmica total do conjunto; t é o tempo transcorrido (considerando o instante inicial em zero) e T_i a temperatura inicial da água doce.

Com os dados coletados pelo estudante e pelo gráfico gerado no Graficando, pode-se calcular a capacidade térmica do sistema ($C_{sistema}$), entendido aqui como sendo o resultado da soma de: (água + resistor + haste do TDBC + calorímetro).

Desprezando a capacidade térmica do resistor e da haste do TDBC, podemos encontrar a capacidade térmica do calorímetro, pois conhecemos a massa e o calor específico da água doce que foi inserida no interior do calorímetro.

Assim, tem-se:

$$C_{sistema} = C_{água\ doce} + C_{calorímetro}$$

$$C_{sistema} = c.m_{água\ doce} + C_{calorímetro} \quad (14)$$

Utilizando-se da equação apresentada pelo Graficando na figura 13-b e relacionando-a com (13), encontra-se:

$$T(t) = T_i + \left(\frac{u.i}{C_s}\right).t$$

$$y = 0{,}319x + 12{,}95 \text{ ou } T(t) = 12{,}95 + 0{,}319.t$$

Onde y corresponde à temperatura ao final do processo em função do tempo e x corresponde ao tempo de coleta dos dados, chegando-se à seguinte representação:

$$\frac{u.i}{C_{sistema}} = 0{,}319$$

Conhecendo os valores da tensão elétrica u = 86 V e da corrente elétrica i = 7,2 A fornecidos pela fonte, obtém-se a $C_{sistema}$.

$$\frac{86{,}0.7{,}2}{C_{sistema}} = 0{,}319$$

$$C_{sistema} = 1941{,}1 \text{ J/ºC}$$

Agora, utilizando-se de (14) é possível verificar o valor da capacidade térmica do calorímetro do EVS, constatando o que foi afirmado ao longo deste trabalho “o calorímetro do EVS não é ideal”:

$$1941{,}1 = 0{,}451*4187 + C_{calorímetro}$$
$$C_{calorímetro} = 1941{,}1-1888{,}4 = 52{,}7 \text{ J/ºC}$$

O valor encontrado acima expressa a facilidade ao aumento de temperatura para uma dada quantidade de calor fornecida ao sistema. No caso especial tratado neste artigo, o resultado significa que, para aumentar a temperatura do calorímetro em 1 ºC ou 1 K, é necessário fornecer ou retirar uma quantidade de energia térmica de 52,7 J.

Este valor retrata uma característica importante do calorímetro, pois afeta sua sensibilidade e precisão na determinação das mudanças de temperatura que ocorrem durante reações químicas ou processos físicos. Quanto maior a capacidade térmica do calorímetro, mais energia térmica é necessária para causar uma mudança perceptível na temperatura registrada pelo termômetro que se encontra no sistema.

Outro conceito que se pode empregar com o uso do EVS Termoelétrico é encontrar a quantidade de calor que o calorímetro absorve ou fornece ao sistema. Caso o professor deseje que seus estudantes encontrem a quantidade de calor (absorvido/cedido) pelo calorímetro à água doce no momento inicial do experimento realizado com o auxílio desse EVS, utiliza-se de:

$$Q_{calorímetro} = C_{calorímetro}.\Delta T \quad (15)$$

$$Q_{calorímetro} = 52{,}7.(23{,}0 - 13{,}0) = 527{,}0\ \text{J}$$

o que corresponde a 126,1 calorias transferidas do calorímetro para a água doce pois a temperatura do ambiente é maior que a temperatura inicial da água no interior do calorímetro real, corroborando com Cosentino e Rios (2019, p. 10) ao afirmarem que

> "Uma das razões aventadas para esse fato é a questão de que da troca de calor com o ambiente pode ser significativa ..."

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo explorou a aplicação de simulações computacionais, especificamente os Experimentos Virtuais Simulados (EVS) de Equivalente Termomecânico e Equivalente Termoelétrico, no ensino da Física.

Por enfrentar muitos desafios epistemológicos, especialmente quando se trata de conceitos abstratos e complexos, como o Equivalente Termomecânico esse artigo trouxe à luz o experimento de James Prescott Joule. Ao descrever o experimento e caracterizar seu desempenho fundamental na construção da teoria da conservação de energia, sua compreensão torna-se desafiadora para os estudantes devido às sutis interações entre diferentes formas de energia.

Essas interações podem ser potencializadas pelas simulações computacionais pois elas emergem como ferramentas educacionais adequadas para tornar esses conceitos mais acessíveis e tangíveis para os estudantes. Elas oferecem a oportunidade de explorar virtualmente um experimento clássico, ajustar parâmetros e observar resultados imediatos. No entanto, é essencial reconhecer que as simulações têm suas limitações e desafios.

Além disso, o artigo destaca a importância dos modelos e da modelagem no ensino de Física, reconhecendo que as ciências exatas são aproximadas e dependem de modelos científicos. Com essa vertente é que os EVS foram desenvolvidos, baseando-se em dados reais de experimentos e oferecendo uma abordagem de aprendizado individualizado, permitindo aos estudantes explorar uma variedade de situações.

O presente artigo explorou minuciosamente as potencialidades de dois Experimentos Virtuais Simulados (EVS) no ensino de Física, com ênfase na calorimetria e na conservação de energia,

apresentando uma abordagem inovadora que pode revolucionar a forma como os estudantes aprendem conceitos complexos de Física pois aprimora a personalização da aprendizagem quando oferecem um ambiente de aprendizagem altamente personalizado.

Ao apresentar dados randômicos e permitir que os estudantes experimentem diferentes cenários, eles os capacitam a explorar as nuances dos conceitos físicos. Isso é particularmente valioso, pois reconhece que cada estudante possui estilos de aprendizado únicos.

Ao possibilitar o realismo e a coerência com o mundo real, os EVS tratados neste artigo, incrementam elementos como oscilações de temperatura devido ao ambiente, erros sistemáticos e até mesmo a influência da evaporação da água, proporcionando aos estudantes uma experiência autêntica, permitindo que eles compreendam melhor como esses fatores afetam os experimentos reais.

Ao manusear os EVS e terem acesso a dados em tempo real como informações sobre a temperatura ambiente, os estudantes percebem que este é um aspecto poderoso pois não só amplia a precisão dos resultados, mas também demonstra como a Física está intrinsecamente ligada ao ambiente ao nosso redor.

Ao explorarem os dados e realizaram análise dos resultados encontrados ao longo dos experimentos, os EVS aqui apresentados permitem o estímulo à exploração ativa e a coleta de evidências, possibilitando aos estudantes monitorar a temperatura da água em intervalos definidos, criar gráficos e analisar tendências. Isso promove uma compreensão mais profunda dos conceitos físicos e das habilidades de análise de dados.

A inclusão de ferramentas como o "Graficando" amplia ainda mais as capacidades dos EVS. Os estudantes podem ajustar curvas aos dados coletados, explorar conceitos de regressão linear e não linear e analisar a qualidade desses ajustes. Essas habilidades são transferíveis e úteis em muitos campos além da Física.

Os EVS permitem que os estudantes exportem os resultados e compartilhem-nos facilmente com colegas e professores. Essa funcionalidade promove a colaboração e a comunicação de descobertas científicas, incentivando uma abordagem mais interativa para o aprendizado, possibilitando que se aprofundem em conceitos complexos de física de uma maneira mais acessível, explorando tópicos avançados e desafiadores com a orientação de professores, proporcionando uma compreensão mais sólida dos fundamentos da física.

Facilmente os EVS podem ser usados como plataformas para projetos de pesquisa em Física. Os pesquisadores, estudantes e professores podem realizar experimentos virtuais para coletar dados, analisar resultados e desenvolver novos insights em áreas específicas da Física, pois permitem que os professores e pesquisadores da área criem simulações de fenômenos físicos complexos que seriam difíceis de realizar em laboratórios reais, ampliando ainda mais o escopo das experiências que podem realizar.

Outro ponto a ser destacado é a possibilidade de customização de experimentos onde os professores podem adaptar os EVS para atender às necessidades específicas de sua turma, personalizando os experimentos de acordo com o nível de habilidade dos estudantes, tornando o aprendizado mais significativo.

Nota-se, por se tratar de uma ferramenta de TDIC, que os EVS são ideais para o ensino híbrido e remoto pois podem ser acessados de qualquer lugar (*on-line* ou *off-line*), permitindo que estudantes e professores continuem a aprendizagem, mesmo quando não estão fisicamente presentes na escola, além de enriquecer a colaboração interdisciplinar onde conceitos de Física são aplicados a outras unidades curriculares, como Química, Biologia, Engenharia e muito mais, promovendo uma compreensão mais holística da ciência.

A capacidade de atualização dos EVS com base no *feedback* dos estudantes é um indicativo do compromisso do grupo de pesquisa da UFVJM com a melhoria contínua dos seus Experimentos Virtuais Simulados, garantindo que essas ferramentas estejam sempre alinhadas com as necessidades educacionais em constante evolução.

Neste sentido e conforme se observa neste artigo, os Experimentos Virtuais Simulados oferecem um novo paradigma no ensino de Física ao tornarem os princípios físicos complexos mais acessíveis e envolventes, promovendo uma compreensão aprofundada e habilidades de análise crítica. Como tal, os EVS têm o potencial de revolucionar a forma como a Física é ensinada e aprendida, capacitando os professores, pesquisadores da área e principalmente os estudantes a explorarem o mundo científico de maneira interativa e significativa.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de; ABIB, Maria Lúcia Vital dos Santos. Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. Revista Brasileira de ensino de física, v. 25, p. 176-194, 2003.

BRAGA, Juliana e MENEZES, Lilian. Introdução aos Objetos de Aprendizagem. In: BRAGA, Juliana Cristina (Org). Objetos de Aprendizagem – Volume 1: Introdução e Fundamentos. Santo André: Editora da UFABC, 2014.

BRANDÃO, Rafael Vasques; ARAUJO, Ives Solano; VEIT, Eliane Angela. A modelagem científica vista como um campo conceitual. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 28, n. 3, p. 507-545, 2011.

BRASIL. BNCC, Base Nacional Comum Curricular. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_v - Acesso em: 12 ago. 2024.

CARMO, Luiz Augusto; MEDEIROS, Alexandre; MEDEIROS, CF de. Distorções conceituais em imagens de livros textos: o caso do experimento de Joule com o calorímetro de pás. Atas do VII Encontro de Pesquisadores em Ensino de Física. Florianópolis, SC, Brasil. Recuperado de https://www. if. ufrgs. br/~ lang/Textos/AlexMed/Exp_Joule.pdf, 2000.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de e SASSERON, Lúcia Helena. Ensino de física por investigação: referencial teórico e as pesquisas sobre as sequências de ensino sobre calor e temperatura. Ensino em Re-Vista, v. 22, n. 2, p. 249-266, 2015Tradução. Disponível em: https://doi.org/10.14393/ER-v22n2a2015-1. Acesso em: 16 ago. 2024.

COSENTINO, Mauro Rogerio; RIOS, Lucas. Experimentos de Calorimetria em Cursos Universitários. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 42, 2019.
ersao=inal_site.pdf. Acesso em: 18 de ago. de 2024.

ESTEVES, W. A.; SILVA, M. C. O uso das tecnologias da informação e comunicação no ensino de física. South American Journal of Basic Education, Technical and Technological , v. 6, n. 2, p. 699–711, 2019. Disponível em: https://periodicos.ufac.br/index.php/SAJEBTT/article/view/2375. Acesso em: 22 ago. 2024.

HADAD, I. H. R. de O.; SILVA, M. C. da. ANIMATION OF PLANE ELECTROMAGNETIC WAVES IN VACUUM USING WINPLOT SOFTWARE. Multidisciplinary Sciences Reports, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 1–17, 2021. Disponível em: https://multidisciplinarysciences.org/multidisciplinaysciences/article/view/4. Acesso em: 02 set. 2024.

HADAD, I. H. R. O.; MELO JUNIOR, E. B.; SILVA, M. C. Simulação computacional no ensino de capacitância para cursos de graduação. Caderno de Física da UEFS, v. 16, p. 1202.1-1202.16, 2018. Disponível
em: http://dfisweb.uefs.br/caderno/vol16n1/S2Artigo02_SimulacaoCapacitanciaGraduacao.pdf. Acesso em: 24 ago. 2024.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos de Física, volume 2-gravitação, ondas e termodinâmica, 10ª Edição. LTC-Livros Técnicos e Científicos Editora Lda, Rio de Janeiro, 2016.

HEWITT, Paul G. Física conceitual. Bookman Editora, 2023.

MEDEIROS, A; MEDEIROS, C. Possibilidades e limitações das simulações computacionais no ensino de física. Revista brasileira de ensino de física, v. 24, n. 2, junho, 2002.

MOREIRA, Marco Antonio. Desafios no ensino da física. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 43, p. e20200451, 2021.

MOURA, P. S.; RAMOS, M. S. F.; LAVOR, O. P. Investigando o ensino de Trigonometria através da interdisciplinaridade com um simulador da plataforma PhET. REAMEC – Rede Amazônica de Educação em Ciências e Matemática, v. 8, n. 3, p. 573-591, 2020. http://dx.doi.org/10.26571/reamec.v8i3.10784.

NASCIMENTO, Adriano Mamedes Silva *et al*. Utilização de experimentos de baixo custo e de simulações computacionais no ensino de física em escolas públicas. 2014.
PEDROSO, Luciano Soares; DA COSTA, Giovanni Armando. O ensino de física através de experimentos virtuais simulados na educação do campo. Seven Editora, p. 1420-1430, 2023.

REGO, W. R. S.; SILVA, M. C.; PERALTA, M. J. A. Processos de Ensino e Aprendizagem aliados a Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC): uma proposta para o ensino dos conteúdos iniciais da Eletrostática. South American Journal of Basic Education, Technical and Technological, v. 5, p. 167-183, 2018. Disponível em: https://periodicos.ufac.br/index.php/SAJEBTT/article/view/1628. Acesso em: 21 ago. 2024.

SAMPAIO, P. A. Desenvolvimento profissional dos professores de Matemática: Uma experiência de formação em TIC. Revista Portuguesa de Educação, v. 29, n. 2, p. 209-232, dez./2016. Disponível em: https://revistas.rcaap.pt/rpe/article/view/2987. Acesso em: 24 ago. 2024.

SOUZA, Rafaelle da Silva; SILVA, Ana Paula Bispo da; ARAUJO, Thiago Silva. James Prescott Joule e o equivalente mecânico do calor: reproduzindo as dificuldades do laboratório. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 36, p. 3309, 2014.