

 10.46943/VII.CONAPESC.2022.01.001

## **ATIVIDADE EXPERIMENTAL INVESTIGATIVA UTILIZANDO UM CALORÍMETRO ELÉTRICO PARA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DO EQUIVALENTE MECÂNICO DO CALOR**

### **JACSON SANTOS AZEVEDO**

Mestre em Ensino de Física pela Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE,  
jacsonsantosazevedo@gmail.com;

### **FRANCISCO NAIRON MONTEIRO JÚNIOR**

Prof. Dr. da Pós-graduação Profissional da Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, naironjr67@gmail.com;

### **RESUMO**

O ensino de Física no Brasil vem passando por transformações com a implantação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), programa de iniciativa da Sociedade Brasileira de Física (SBF). No âmbito desse programa, neste artigo, apresentamos alguns resultados significativos de uma atividade experimental investigativa implementada em uma escola pública, vinculada a rede estadual de Pernambuco, situada no nordeste brasileiro. Buscando aporte na teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel (1918-2008) e no ensino por investigação, tomado como referencial metodológico, fornecemos um relato parcial de uma experiência didática mais ampla envolvendo o tópico equivalente mecânico do calor. Com relação a teoria cognitivista de Ausubel, esta estabelece duas condições relevantes no processo de ensino-aprendizagem, quais sejam: a pré-disposição do educando em querer ancorar, de modo significativo, suas concepções prévias com o novo conhecimento e a elaboração de materiais potencialmente significativos que estruturam esta ancoragem. Em relação ao ensino por investigação, trata-se de uma metodologia pautada em algumas modalidades tais como o uso de Textos Históricos, Demonstrações Investigativas ou mesmo a utilização de Problemas Abertos, em contraponto ao ensino

tradicional, transmissivo e bancário que comumente permeia as aulas de Física. Neste relato vamos destacar a modalidade Laboratório Aberto em uma sequência investigativa. Por fim, embora parcial, tal relato transporta ensinamentos valiosos aos professores e professoras de Física, a saber, o uso de metodologias ativas nas salas de aula.

**Palavras-chave:** Equivalente mecânico do calor, Aprendizagem significativa, Ensino por investigação.

## INTRODUÇÃO

O equivalente mecânico do calor atrai muitos pesquisadores conduzidos por diferentes motivações/abordagens para seu estudo que vai desde uma reconstrução da rivalidade histórica sobre a primazia da descoberta da relação entre trabalho mecânico e calor envolvendo Robert Mayer (1814-1878) e James Joule (1818-1889) (MARTINS, 1984; QUEIRÓS e NARDI, 2009; PASSOS, 2009), trilhando por recortes técnico-científicos da produção de Joule explicados a luz da ótica fleckiana (QUEIRÓS et al., 2014; 2019), passando pela análise das figuras do calorímetro de pás apresentadas pelos livros didáticos (CARMO et al., 2000; CARVALHO e GOMES, 2017) e até propostas didático-pedagógicas a serem implementadas em sala de aula pelas reconstruções de aparatos híbridos<sup>1</sup> (BOLZON et al., 2006; ALVES, 2008; AZEVEDO e MONTEIRO JÚNIOR, 2019; COSENTINO e RIOS, 2020).

Tal visibilidade e ênfase são capitaneadas pela sua imensa importância histórica para a ciência que, no século XIX, estava mergulhada em um grande debate em torno da natureza do calor, qual seja se o calor era um fluido conhecido como calórico que migrava de um corpo de maior temperatura para outro de menor temperatura ou se era energia associada ao movimento de partículas de um corpo (MEDEIROS, 2009; SOUZA, 2012; SILVA et al., 2013). Para cientistas como Michael Faraday (1791-1867), Joule e Mayer, o conceito de conversibilidade ou equivalência entre modalidades de “forças”<sup>2</sup> era a conexão teórica necessária para encontrar a relação entre a energia mecânica e calor (PASSOS, 2009; QUEIRÓS e NARDI, 2009).

Entretanto, mesmo reconhecendo o potencial associado à história do equivalente mecânico do calor e de seus vínculos epistemológicos e, sendo assim, de sua conexão com os debates a respeito natureza do calor, o nosso objetivo com este trabalho é mostrar os resultados da aplicação de uma atividade experimental pavimentada no ensino de física por investigação para a aprendizagem significativa de conceitos como calor, temperatura e o próprio equivalente mecânico do calor que perpassa pela compreensão do princípio

1 Segundo Medeiros e Monteiro Júnior (2001), aparato híbrido é um equipamento de baixo custo e de fácil montagem que preserva os princípios físicos dos aparatos originais. Os autores argumentam que tais reconstruções, mesmo sem todos os requintes e pormenores relacionados ao experimento original, ainda assim, propiciam grandes subsídios para execução de atividades experimentais. Isto é, simplificações que não implicam em distorções.

2 Devemos lembrar que o conceito de “força”, ainda no século XIX, segundo Queirós et al. (2014), era entendido como nossa atual concepção de energia e suas modalidades (QUEIRÓS e NARDI, 2009).

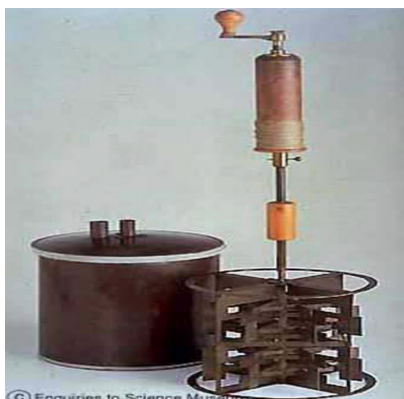
da conservação da energia. Para tanto, tomamos como marco teórico a teoria cognitivista de David P. Ausubel na qual, partindo dos conhecimentos prévios dos estudantes, também denominado subsunçores ou ideias-âncora, é viável a ancoragem destes com os novos conhecimentos que enriquecerão a estrutura cognitiva preexistente do aprendiz (MOREIRA, 1999; 2012).

Contudo, antes de expor detalhes dessa aplicação, iremos discorrer sobre o experimento executado por Joule e algumas tentativas de reproduzi-lo para fins educativos e de pesquisa. Na sequência vamos tratar da teoria da aprendizagem significativa de Ausubel e alguns de seus conceitos norteadores, da metodologia adotada, assim como das discussões envolvendo a aplicação de uma atividade investigativa e, para finalizar, um exame conclusivo dessa atividade.

## EQUIVALENTE MECÂNICO DO CALOR: SUBSÍDIOS PARA UMA ATIVIDADE INVESTIGATIVA

O dispositivo construído por Joule, passando por uma rápida descrição, basicamente consistia de um conjunto de pás, fixas e móveis, um recipiente (calorímetro), duas massas idênticas e polias. As massas eram ligadas a fios que passavam pelas polias e eram enroladas como uma bobina a manivela. Ao soltar essas massas, a manivela girava o eixo e, conseqüentemente, as pás do calorímetro, realizando trabalho mecânico, conforme Carmo et al. (2000) e Silva et al. (2014). O dispositivo de Joule se resumia a converter a energia mecânica da queda das massas em agitação térmica das moléculas da água no calorímetro pelo atrito das pás com a água. A **Figura 1** e a **Figura 2** exibem pormenores do aparato de Joule.

**Figura 1:** Calorímetro adotado por Joule.



Fonte: Carmo et al. (2000)

Na **Figura 1** é possível notar uma visão parcial da réplica do calorímetro de pás construído por Joule para a realização de seus experimentos na busca pela relação entre calor e trabalho. Nesta figura, extraída do interessante trabalho de Carmo et al. (2000), destacamos aspectos do interior do calorímetro, a saber, suas intrincadas pás (fixas e móveis) conectadas ao eixo da manivela. Também é possível notar na tampa superior do calorímetro dois furos: um para entrada do mencionado eixo e outro para o encaixe do termômetro para registrar as variações de temperatura da água quando atritada pelas pás.

**Figura 2:** Réplica do aparato de Joule.



**Fonte:** Carmo et al. (2000)

Também extraída da pesquisa de Carmo et al. (2000), na **Figura 2** o leitor tem uma visão externa do equipamento de Joule. De acordo com os autores, se trata de uma réplica do aparato de Joule localizada em Oldenburg, Alemanha. É possível perceber as duas polias, o calorímetro no centro e as duas massas idênticas (blocos pretos) em suspensão, ou seja, presas a fios que se enrolam ao eixo da manivela analogamente a uma bobina.

Existem alguns relatos da utilização da experiência de Joule como recurso didático-pedagógico no ensino-aprendizagem do equivalente mecânico do calor, mas com aparatos alternativos e baratos como o calorímetro elétrico, mas que preserva o mesmo princípio físico fulcral do trabalho de Joule, a saber: a conservação da energia. É claro, conforme já assinalamos anteriormente, que o conceito de energia e seu princípio conservativo, considerado a partir de uma

perspectiva histórica, estavam em construção, em desenvolvimento (BUCUSSI, 2005; QUEIRÓS e NARDI, 2009) e, sendo assim, distantes da precisão conceitual. Com isso, não queremos induzir o leitor a anacronismos, muito embora este artigo não mergulhe na “trama” histórica do equivalente mecânico do calor.

Por conseguinte, no âmbito das transposições didáticas do equivalente mecânico do calor com enfoque na implementação do calorímetro elétrico, é possível encontrar alguns relatos interessantes presentes na literatura científica. A título de exemplo, Alves (2008) elabora um trabalho de pesquisa com várias atividades experimentais englobando transformações de formas de energia tomando como princípio fundamental a conservação da energia total do sistema. Um dos experimentos elaborados pela autora inclui o uso de um calorímetro elétrico acoplado a uma plataforma elevatória que, essencialmente, transforma energia mecânica em energia interna ao elevar a temperatura da água, exibida em detalhes pela **Figura 3**. Na figura tem-se o aparato híbrido elaborado por Alves (2008, p. 58). Observa-se no topo do equipamento um calorímetro elétrico branco (munido de eletrodos de cores preta e vermelha) acoplado ao sensor de temperatura (em amarelo). Em síntese, o aparato transforma energia potencial de gravidade, a partir da força peso do experimentador ao impulsiona a plataforma para baixo, em energia interna ou térmica da água.

**Figura 3:** Plataforma elevatória acoplada a um calorímetro.



**Fonte:** Alves (2008)

Neste sentido, Silva et al. (2014) descreve uma tentativa de reconstrução da experiência de Joule com alterações significativas em relação ao calorímetro de pás. Dentre essas mudanças, os autores mencionam o uso de um motor elétrico com um eixo de pás que agitava a água a fim de aquecê-la. Neste caso, os pesquisadores centralizaram seus objetivos nas dificuldades enfrentadas por Joule em suas atividades no laboratório em detrimento da validação do resultado encontrado pelo cientista inglês. Por último, Bolzon et al. (2006) trazem uma proposta para o equivalente mecânico do calor, pelo seu análogo elétrico, conseguindo um resultado muito interessante exposto em um gráfico do trabalho da força elétrica em função da energia dissipada por uma resistência.

### **APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA: SUBSUNÇORES, DIFERENCIAÇÃO PROGRESSIVA, RECONCILIAÇÃO INTEGRADORA E ORGANIZADORES PRÉVIOS**

A teoria da aprendizagem significativa de Ausubel apresenta alguns conceitos importantes tais como subsunçor, diferenciação progressiva, reconciliação integradora/integrativa e organizadores prévios. De acordo com Moreira (2012), subsunçor é o conhecimento prévio relevante presente na estrutura cognitiva do aprendiz de tal modo que, isolado, é a variável mais hegemônica para desenvolver novas aprendizagens. Em nossa atividade investigativa elegemos, no presente artigo, os subsunçores calor, temperatura e o equivalente mecânico do calor que serão mais detalhados na seção seguinte.

Alicerçados nos relatos supracitados concernentes as experiências didáticas em torno do equivalente mecânico do calor, elaboramos uma atividade experimental centrada no uso de um calorímetro elétrico e edificada, principalmente, em dois processos cognitivos/programáticos ausubelianos, quais sejam: a diferenciação progressiva (DP) e a reconciliação integradora/integrativa (RI) dos conceitos termodinâmicos calor, temperatura e equivalente mecânico do calor. Isto é, são processos norteadores da teoria da aprendizagem significativa de Ausubel nos quais a DP é entendida como um processo cognitivo responsável por construir distinções ou diferenças entre conceitos gerais, intermediários e específicos de determinado tópico a ser explorado em sala de aula. No entanto, segundo aponta Moreira (2012), não basta somente diferenciar conceitos, pois os mesmos estão sempre integrados ou relacionados, bem como compoem uma rede mais ampla e complexa de conhecimentos da qual esses conceitos se aportam, em nosso caso, a intrincada ciência Termodinâmica. Quer dizer,



simultaneamente a DP, devemos incorporar a RI dos conceitos trabalhados, conectando o específico ao mais geral e inclusivo em um processo de idas e vindas, descendente e ascendente desses subsunçores.

Ainda na esteira da teoria da aprendizagem de Ausubel, articulamos esses dois processos com outro conceito chave desta teoria que são os organizadores prévios (OP). Conforme Moreira (2008), um organizador prévio é um recurso instrucional que pretende facilitar a ancoragem entre o que o aluno já sabe de relevante sobre determinado conceito ou proposição com o novo conhecimento/informação a ser debatido. Outra utilidade dos organizadores prévios é fornecer mais subsídios à base subsunçora do aprendiz quando o mesmo não detém conhecimentos relevantes sobre o subsunçor que se quer evocar para enriquecê-lo e, por consequência modificar sua estrutura cognitiva preexistente, muito embora tal finalidade, em alguns casos práticos, não seja alcançada. Ademais, os organizadores avançados podem ser de dois tipos: expositivos e comparativos. Os expositivos são aqueles caracterizados pela não familiaridade do aprendiz com o recurso instrucional adotado ou mesmo pela fraca base subsunçora dos conteúdos a serem abordados. Em relação aos organizadores prévios comparativos são aqueles em que o aprendiz guarda familiaridade com o material de aprendizagem escolhido (MOREIRA, 2012; 2013).

A nossa atividade experimental investigativa assumiu o papel didático de um organizador prévio comparativo para a facilitação da ancoragem dos seguintes conhecimentos prévios (subsunçores) hierarquizados: calor, temperatura e, por último, o equivalente mecânico do calor, tomado como mais específico. Na sequência vamos abordar a metodologia ativa que orientou e uniu nosso organizador prévio com um referencial teórico repousado nos trabalhos de Moreira sobre aprendizagem significativa (MOREIRA, 1999; 2008; 2012; 2013).

## **ENSINO POR INVESTIGAÇÃO: UMA METODOLOGIA ATIVA A SERVIÇO DO ENSINO DE FÍSICA**

O ensino de ciências/física por investigação é uma metodologia ativa que aponta para a formação da cultura científica no estudante ao primar pela inclusão de problemas relacionados ao desenvolvimento de uma argumentação embasada na leitura e construção de gráficos e tabelas, no domínio de ferramentas matemáticas, em explicações fundamentadas em conceitos e proposições científicas, com a inserção das relações Ciência-Tecnologia-Sociedade-Ambiente (CTSA) e que se aproximam da pesquisa científica (CARVALHO, 2013; CARVALHO e SASSERON, 2015).



Azevedo (2016), ao tratar do ensino de física por investigação, defende o uso de atividades investigativas, sendo ou não experimentais, com um alto teor de problematizações em forma de diálogo e argumentações justificadas em conceitos científicos. A autora tipifica quatro categorias de atividades investigativas, a saber, demonstrações investigativas, laboratório aberto, questões abertas e problemas abertos. Outra categoria investigativa adotada é história da ciência, caracterizada pela utilização de textos históricos em sala de aula, previamente selecionados, e passíveis de incorporação no ensino de física objetivando fornecer um quadro mais crítico, menos mítico e mais humanizado da construção da ciência (CARVALHO et al., 1999).

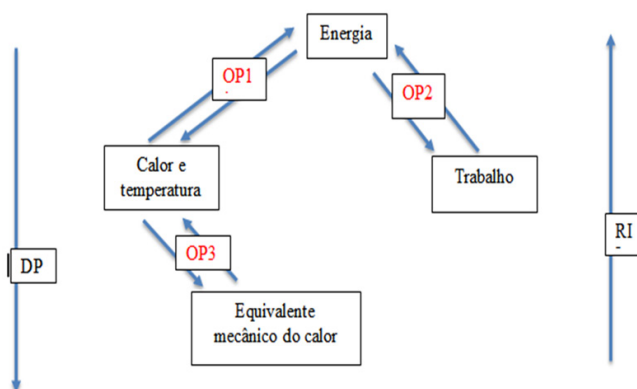
Adotamos a modalidade investigativa laboratório aberto, nível de investigação 1, como bússola para nosso organizador prévio. Essa categoria/modalidade caracteriza-se por um menor grau de abertura, mas por outro lado, as conclusões para os problemas propostos pelo questionário são abertas, incentivadoras da argumentação escrita e oral sustentadas em princípios físicos e que direciona o uso da linguagem matemática, embora o experimento disponibilize para os estudantes uma sequência de passos algorítmica (BORGES, 2002; MOURA, 2018). Além disso, o mote nesse experimento, longe da validação do fator de conversão 4,186 J/cal com a utilização do calorímetro elétrico, era permitir a compreensão mais significativa do princípio conservativo da energia, suas modalidades e possíveis dissipações ou incrementos de energia durante o processo de aplicação da atividade investigativa, fio condutor para arguições explicativas correspondentes a diferença entre o valor tabelado e o encontrado pelos educandos.

Conforme antecipamos na seção III deste artigo, essa atividade cruzou com a diferenciação progressiva (DP) e a reconciliação integradora (RI), conceitos programáticos da aprendizagem significativa de Ausubel (MOREIRA, 2013), e que estão representados no mapa conceitual da **Figura 4** indicadas, respectivamente, pelas setas descendentes e ascendentes entre os subsunçores elencados. De acordo com a **Figura 4**, nota-se um diagrama ou mapa conceitual com todos os subsunçores ordenados e eleitos por nós, quais sejam: energia, trabalho, calor, temperatura e o equivalente mecânico do calor. O subsunçor energia é mais geral e inclusivo uma vez que engloba diferentes modalidades de energia, como, por exemplo, energia cinética, potencial, luminosa, sonora, dentre outras. Os subsunçores calor, temperatura e trabalho são mais intermediários na hierarquia eleita. Estes subsunçores permitem fazer uma aproximação progressiva do subsunçor mais específico, ou seja, o equivalente mecânico do calor

que é menos abrangente que o conceito de energia, pois vai tratar de modalidades específicas de energia com o uso do calorímetro elétrico como energia elétrica, calor e energia interna.

Entretanto, neste artigo, concentramos nossos esforços explicativos somente nos subsunçores calor, temperatura e equivalente mecânico do calor sem implicar em um relato distorcido de nossa experiência didática. Além do mais, nosso organizador comparativo (OP3) foi responsável por fazer a mediação, por meio da DP e da RI, entre os conceitos calor e temperatura (trabalhados em um único bloco) e o equivalente mecânico do calor. De fato, segundo o mapa conceitual abaixo, queremos explicar a relação e a diferenciação entre os subsunçores intermediários (calor e temperatura), com o subsunçor mais específico (equivalente mecânico do calor). Em outras palavras, o mapa demonstra aos docentes como ocorrem (ou pelo menos devem ocorrer) em simultâneo os dois processos programáticos na estrutura cognitiva do aprendiz, diferenciando calor e temperatura, porém integrando-os como conceitos basilares na determinação do equivalente mecânico do calor na nossa atividade investigativa (OP3). Portanto, os estudantes são instigados a confrontar suas concepções alternativas de calor e temperatura, como, por exemplo, afirmam que “sentem calor” em um dia quente, seguidamente se ancoram nesses mesmos conceitos, já diferenciados e bem elaborados em sua estrutura cognitiva modificada, para identificar calor como uma das formas de energia presente na cadeia energética do experimento (OP3) e também fazendo medições da elevação da temperatura da água, isto é, dados teóricos e empíricos necessários para a apreensão do equivalente mecânico da caloría.

Figura 4: Mapa conceitual.



Fonte: Os autores

Neste trabalho compactamos nosso relato sobre a implementação do organizador prévio comparativo OP3 - EQUIVALENTE MECÂNICO DO CALOR, sendo as demais atividades (OP1 e OP2) elementos de uma sequência didática mais abrangente (AZEVEDO e MONTEIRO JÚNIOR, 2020) que não entraram neste artigo, muito embora, reiteramos, isso não signifique uma descrição distorcida ou mesmo pouco enriquecedora da experiência narrada. Muito pelo contrário, com este relato esperamos fornecer subsídios teórico-metodológicos para os docentes em intervenções experimentais nas aulas de Termodinâmica, para aprendizagem significativa do equivalente mecânico da caloria por meio do ensino por investigação.

Na próxima seção vamos apresentar a realização da atividade investigativa na Escola São Miguel, vinculada à rede estadual de Pernambuco, situada no nordeste brasileiro.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO DE UMA EXPERIÊNCIA DIDÁTICA

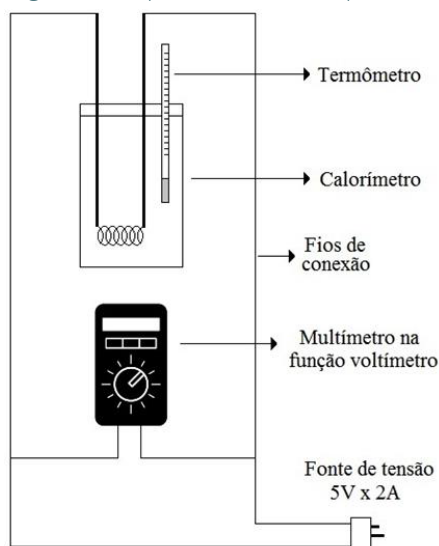
A aplicação da atividade experimental investigativa foi precedida de três etapas de uma sequência didática centrada na compreensão significativa da relação entre calor e trabalho de um grupo de estudantes do 2º ano da Escola São Miguel (AZEVEDO e MONTEIRO JÚNIOR, 2020). Sendo assim, focando na descrição dos detalhes da execução do organizador prévio OP3, denominado EQUIVALENTE MECÂNICO DO CALOR, lembramos ao grupo de estudantes de aspectos teóricos importantes em torno do experimento que imortalizou Joule. Uma explicação mais conceitual do princípio da conservação da energia foi feita na qual, ao longo do ano letivo, já tínhamos trabalhado com este princípio por meio de uma pesquisa em torno do aparato de Joule. Também ressuscitamos situações usuais do 1º ano do ensino médio envolvendo a conservação da energia mecânica seguidas das interrogações que acompanham tal princípio conservativo como sua regularidade em várias situações experimentais que mantém este princípio inexpugnável (MOREIRA, 1998; FEYNMAN, 1999).

Em se tratando de uma atividade investigativa, é de suma importância à participação ativa do educando. Em vista disso, solicitamos que a leitura do roteiro do experimento fosse realizada por um estudante que seguiu com a montagem do aparato pelo grupo. Dúvidas apareceram e aproveitávamos para enriquecer a atividade investigativa, como, por exemplo, sobre a preparação e a montagem do multímetro no modo voltímetro para a determinação da voltagem, bem

como da potência dissipada pela resistência elétrica acoplada ao calorímetro. Como recomenda Carvalho (2013) no que tange situações de risco para o educando, conduzimos essa passagem com as devidas explicações a respeito da montagem do circuito.

No entanto, as demais etapas da montagem do aparato foram exclusivamente tocadas pelos estudantes em um autêntico trabalho colaborativo, demonstrando a intencionalidade necessária para uma aprendizagem significativa em uma perspectiva ausubeliana, segundo Pelizzari et al. (2002) e Moreira (2012). A **Figura 5** fornece um esquema do circuito elétrico da atividade investigativa.

**Figura 5:** Esquema elétrico simplificado.

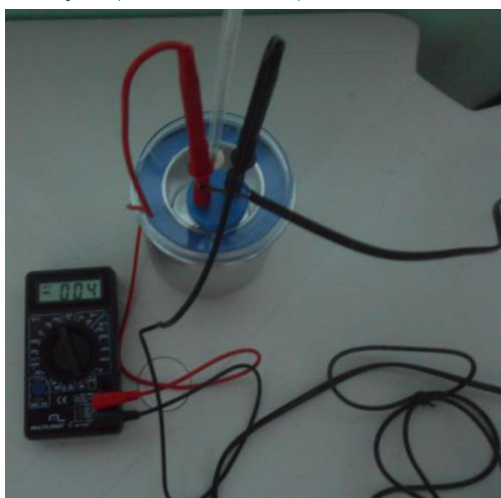


**Fonte:** Os autores

Na **Figura 5** temos o esquema elétrico simplificado de nosso aparato. Um voltímetro associado em paralelo com a resistência do calorímetro elétrico, adotado como “semi-ideal” pelas trocas de energia entre a água aquecida e o vaso calorimétrico. Por outro lado, negligenciamos as trocas de energia entre o ar atmosférico (meio ambiente externo) e a amostra de água aquecida. Sugerimos a leitura do trabalho de Azevedo e Monteiro Júnior (2019) concernente ao aperfeiçoamento do aparato aplicado nessa atividade investigativa. Os autores efetuaram diversas modificações visando, principalmente, em sofisticar/aprimorar as intervenções do docente durante a execução do organizador prévio.

Na sequência, com a realização das medições do intervalo de tempo de 5 min em que o circuito esteve fechado, do volume de água colocado no vaso calorimétrico e da temperatura da água, o grupo passou pela resolução dos problemas presentes no questionário. Tais problemas zelavam por uma relação estreita com argumentações científicas balizadas no princípio da conservação da energia, da operacionalização das variáveis encontradas e das modalidades de energia imbricadas na atividade experimental, dialogando com uma proposta de ensino de física por investigação com foco na aprendizagem significativa, pelos estudantes, do equivalente mecânico do calor em situações novas e não típicas (MOREIRA, 1999; 2012; CARVALHO e SASSERON, 2015; AZEVEDO, 2016). A primeira pergunta, que fortaleceria o uso da linguagem matemática, **solicitava para o grupo encontrar o equivalente mecânico do calor, pelo seu similar elétrico, a luz do princípio da conservação da energia**. Para tal, o grupo precisaria da capacidade térmica do calorímetro, uma vez que, explicamos aos estudantes que sempre existem trocas de energia, via calor, entre o sistema água-calorímetro, pois é impossível construir um calorímetro ideal (capacidade térmica nula). Por simplificação, adotamos um calorímetro “semi-ideal”, nas palavras de Cosentino e Rios (2020), por desprezar as trocas externas de energia (meio ambiente e paredes externas do calorímetro), embora consideramos as trocas internas de energia (água aquecida com o vaso calorimétrico interno). O grupo encontrou, para a relação entre a caloria e o joule, um valor aproximadamente igual a 3,860 J/cal. A **Figura 6** ilustra o calorímetro elétrico usado na atividade.

**Figura 6:** Arranjo experimental do equivalente mecânico do calor.



**Fonte:** Os autores

Já a **Figura 6** exibe uma associação em paralelo entre o voltímetro, que registra neste instantâneo 4,0 V, e a resistência elétrica do calorímetro com eletrodos de cor vermelha e preta. A foto também mostra o vaso calorimétrico em alumínio polido e o termômetro analógico utilizado pelos estudantes na realização do organizador prévio OP3 – EQUIVALENTE MECÂNICO DO CALOR.

Para as limitações que nosso aparato apresentava, como as oscilações na parte elétrica do circuito, e uma medida para a capacidade térmica do calorímetro adulterada pela inexistência de um laboratório de ciências na escola<sup>3</sup>, resolvemos manter o resultado encontrado pelo grupo porque, longe de validar a igualdade  $1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}$ , nosso objetivo era, a partir da discrepância entre o valor encontrado pelos estudantes e o tabelado, ampliar o entendimento da conservação da energia e suas modalidades em uma situação não usual (MOREIRA, 1999; 2012) fazendo uso da comunicação oral e escrita, da análise dos dados e suas conclusões (CARVALHO, 2013; AZEVEDO, 2016). Assim, desenvolvida as contas sem maiores dificuldades pelos estudantes e obtido o fator de conversão mencionado anteriormente, o grupo foi submetido à outra situação desafiadora, qual seja: **explicar, a luz da conservação da energia, quais fatores que influenciaram na diferença entre os valores da relação calor e trabalho obtidos por eles (3,860 J/cal) e o tabelado (4,186 J/cal).**

O grupo mencionou sobre possíveis perdas de energia para o ambiente, questionou as oscilações elétricas da diferença de potencial quando o circuito estava fechado e também a qualidade dos materiais utilizados nesse aparato (flutuações da fonte AC/DC, calibração do termômetro, etc.). Explicamos ao grupo, a luz do princípio da conservação da energia, que perdas ôhmicas por Efeito Joule ocorriam no circuito elétrico (MAIZTEGUI e SABATO, 1973; TIPLER, 1990), além da radiação da vizinhança contribuir com incrementos desprezíveis de energia, mas principalmente pelas trocas de energia entre a água aquecida e o calorímetro decorrente da aplicação da primeira atividade experimental investigativa (OP1). Corroborando com as colocações dos estudantes, admitimos que as variações do potencial elétrico nos terminais da resistência acabaram por diminuir a credibilidade das medições.

3 Na aplicação desse organizador prévio (OP1 – CAPACIDADE TÉRMICA DO CALORÍMETRO), tivemos que utilizar o fogão da escola para aquecer a água a ser adicionada no vaso calorimétrico. No transporte da água aquecida, ocorreu trocas de energia com o meio externo, adulterando, nos passos seguintes, o valor para o equivalente mecânico da caloria. Porém, enfatizamos inicialmente que a centralidade da atividade (OP3) era problematizar o equivalente mecânico do calor e não validá-lo.

O segundo problema proposto por nós **solicitava que o grupo descrevesse as formas de energia que eles conseguiram identificar durante a realização do experimento, justificando suas respostas**. Prontamente o grupo nomeou a energia elétrica, pois o aparato incluía um circuito elétrico simples (**Figura 5**), e energia térmica ou interna da água decorrente de sua elevação de temperatura. Concordamos com essas modalidades de energia e perguntamos o que acontecia a nível molecular que fazia a temperatura da resistência do calorímetro crescer, aumentando a energia térmica da qual eles tinham identificado. Eles argumentaram corretamente que os átomos que constituem a resistência estavam mais “agitados”. Complementamos que os íons do metal da resistência colidiam com os elétrons, os portadores de cargas, quando o circuito estava fechado, fazendo-os oscilar cada vez mais e aumentar a temperatura da resistência (TIPLER, 1990).

Analisando os resultados encontrados e segundo Moreira (2013), os estudantes mostraram indícios de uma aprendizagem significativa, progressiva e não linear dos subsunçores eleitos nessa atividade investigativa experimental (OP3). Com isso queremos afirmar que um enriquecimento da base subsunçora do grupo, dentro de uma zona cinza, em um contínuo entre a aprendizagem mecânica e a aprendizagem significativa, se fez presente (MOREIRA, 2012). Mesmo apresentando os tipos de energia de maneira literal e sem as argumentações escritas que justificariam suas soluções e escolhas, o grupo exibiu uma comunicação oral que trilhava por uma apropriação significativa dos conceitos de temperatura e energia interna, como, a título de exemplo, ao explicar, a nível molecular, o aquecimento da resistência do calorímetro elétrico. Essa aparente contradição pode ser explicada considerando que os estudantes não estavam familiarizados com a escrita em atividades laboratoriais, sendo essa tão pouco estimulada nos espaços escolares.

Ademais, mesmo o grupo esquecendo-se de mencionar calor como mais um tipo de energia relacionada ao experimento com o calorímetro elétrico, com base nas contas desenvolvidas por eles na obtenção do fator de conversão 3,860 J/cal, notamos um amadurecimento do uso da linguagem matemática (CARVALHO e SASSERON, 2015). Por fim, os aspectos atitudinais caracterizados pela pontualidade dos estudantes, do trabalho coletivo e da participação ativa deles, demonstraram uma predisposição em aprender que permitiram a ancoragem por subordinação tomando como ponto de partida seus conhecimentos prévios (MOREIRA, 1999).



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresentou uma experiência didática bem sucedida no ensino de Termodinâmica que demonstrou a eficácia da implementação de atividades investigativas como uma alternativa promissora na educação básica, quando pensamos em um ensino de física mais centrado na aprendizagem ativa do educando. Explorando um calorímetro elétrico como aparato híbrido de baixo custo, foi possível, mesmo em um grau baixo de investigação (BORGES, 2002; MOURA, 2018; CARVALHO, 2018), desenvolver resultados e discussões pertinentes a respeito do equivalente mecânico do calor pelo seu similar elétrico. Nesse sentido, podemos destacar o perfil aberto das questões evocadas pela atividade investigativa OP3. As perguntas exigiam respostas bem fundamentadas no princípio da conservação da energia, recorria ao formalismo matemático e alimentavam uma apropriação mais conceitual da física térmica em voga no organizador prévio.

Contudo, salientamos que algumas soluções foram explicitadas literalmente e sem uma adequada pavimentação teórica. Acreditamos que tal fato se deu pela pouca familiaridade dos estudantes com a comunicação escrita, por mais que oralmente exibissem sinais de uma progressiva formação científica. Tal fato recomenda a inserção cada vez mais frequente de atividades formativas balizadas na escrita da argumentação científica dos fenômenos físicos avaliados, o que vai exigir uma mudança de postura do docente já que, em geral, as aulas de física são marcadas pela memorização de fórmulas e concentrada somente na fala do docente (ensino narrativo) (MOREIRA, 2018).

Outro ponto que gostaríamos de assinalar é a importância da adição de atividades experimentais no ensino de física. Os resultados com a modalidade/categoria laboratório aberto pode ser promissor à medida que se amplia o grau/nível de investigação do experimento. Com o aumento da familiaridade dos estudantes com experimentos mais abertos, que solicitem deles mais iniciativa e participação ativa na resolução do problema proposto, recomendamos que o docente expanda o nível/grau de investigação de suas atividades, muito embora essa transição seja incorporada paulatinamente na rotina escolar dos estudantes, assim como os problemas sugeridos sejam exequíveis a turma. Isto explicaria a nossa predileção em lançar mão de um nível/grau de investigação reduzido, considerando que a amostra trabalhada na nossa atividade não tinha nenhuma experiência com atividades experimentais. Entretanto, demonstramos que níveis/graus modestos de investigação não implicam em laboratórios

tradicionais ou experimentos verificacionistas, mas em questões desafiadoras e problematizadas, fundamentadas conceitualmente em princípios físicos e calcadas no formalismo matemático, sem perder de vista a viabilidade em tempo hábil de concretização das atividades pelos estudantes.

Para finalizar este balanço, Moreira (2012, 2013) assinala que a aprendizagem significativa não se dá abruptamente ou de modo instantâneo como um salto discreto, tomado a partir de uma usual aprendizagem mecânica e memorística, para um patamar mais significativo de aprendizagem. Pelo contrário, como indicado pela maioria dos casos, tal aprendizagem ocorre dentro de uma zona cinza, um contínuo entre a aprendizagem mecânica e a significativa, está última caracterizada pela apropriação de conteúdos com significado, não-arbitrária e não-literal. Assim sendo, concluímos que os estudantes submetidos a esse organizador prévio (OP3) fundamentado no ensino de física por investigação, modalidade laboratório aberto, mostraram sinais de uma aprendizagem significativa progressiva do equivalente mecânico do calor e dentro da mencionada zona cinza ausubeliana.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos estudantes da Escola São Miguel pela participação ativa e colaborativa na implementação da atividade investigativa.

## REFERÊNCIAS

ALVES, P. P. **A experiência de Joule revisitada**. 95 f. Dissertação (Mestrado em Física Laboratorial, Ensino e História da Física) – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2008.

AZEVEDO, M. C. P. S. Ensino por investigação: problematizando as atividades em sala de aula. In: CARVALHO, A. M. P. (Org.). Ensino de Ciências: Unindo a pesquisa e a prática. 1<sup>a</sup> ed. São Paulo: **Cengage Learning**, 2016, P. 19-33.

AZEVEDO, J. S.; MONTEIRO JÚNIOR, F. N. Equivalente mecânico do calor: Aprimorando um calorímetro elétrico para obtenção da relação da relação entre calor e trabalho. **A Física na Escola**, V. 17, N. 2, P. 75 – 78, 2019.

AZEVEDO, J. S.; MONTEIRO JÚNIOR, F. N. Equivalente mecânico do calor: análise de uma experiência didática para a aprendizagem significativa da relação entre calor e trabalho. **Aprendizagem Significativa em Revista**, V. 10, N. 2, P. 25 – 43, 2020.

BOLZON, L. B.; GOMES, T. T. P. e PRADO, A. G. S. Determinação do equivalente elétrico do calor: uma proposta experimental para o ensino de físico-química. In: **XXIX Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química**, Águas de Lindóia – SP, 2006.

BORGES, A. T. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, V. 19, N. 3, P. 291-313, 2002.

BUCUSSI, A. A. Introdução ao conceito de energia. **Textos de Apoio ao Professor de Física**, V. 17, N. 3, P. 1-32, 2006.

CARVALHO, A. M. P.; SANTOS, E. Z.; AZEVEDO, M. P. C. S.; DATE, M. P. S.; FUJII, S. R. S. e NASCIMENTO, V. B. (1999). Termodinâmica: um ensino por investigação. São Paulo: **FEUSP**, 1999, P. 15-26.

CARVALHO, A. M. P. O ensino de ciências e a proposição de sequências investigativas. In: CARVALHO, A. M. P. (Org.). Ensino de ciências por investigação: Condições para implementação em sala de aula. São Paulo: **Cengage Learning**, 2013, P. 1-20.

CARVALHO, A. M. P. e SASSERON, L. H. Ensino de física por investigação: referencial teórico e as pesquisas sobre as sequências de ensino investigativas. **Ensino Em Re-Vista**, V. 22, N. 2, P. 249-266, 2015.

CARVALHO, A. M. P. Fundamentos teóricos e metodológicos do ensino por investigação. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, V. 18, N. 3, P. 765-794, 2018.

CARVALHO, B. C. e GOMES, L. C. A transposição didática do equivalente mecânico do calor nos livros didáticos de física. **Acta Scientiae**, V. 19, N. 2, P. 373-393, 2017.

CARMO, L. A.; MEDEIROS, A. e MEDEIROS, C. F. Distorções conceituais em imagens de livros textos: o caso do experimento de Joule com o calorímetro das pás. In: **VII Encontro de Pesquisadores em Ensino de Física**, Florianópolis – SC, 2000.

COSENTINO, M. R. e RIOS, L. Experimentos de calorimetria em cursos universitários. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, V. 42, P. 1-11, 2020.

FEYNMAN, R. P. Física em seis lições. 1ª ed. Rio de Janeiro: **Editora Ediouro**, 1999, P. 115-137.

MAIZTEGUI, A. P. e SABATO, J. A. Física 2. 1ª ed. Porto Alegre: **Editora Globo**, 1973, P. 279-289.

MARTINS, R. A. Mayer e a conservação da energia. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, N. 6, P. 63-95, 1984.

MEDEIROS, A. Entrevista com o conde Rumford: da teoria do calórico ao calor como uma forma de movimento. **A Física na Escola**, V. 10, N. 1, P. 4-16, 2009.

MEDEIROS, A.; MONTEIRO JÚNIOR, F. N. A reconstrução de experimentos históricos como uma ferramenta heurística no ensino da física. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO E CIÊNCIAS, 3., 2001. **Atas [...]**. Atibaia: ENPEC, 2001.

MOREIRA, M. A. Energia, entropia e irreversibilidade. **Textos de Apoio ao Professor de Física**, N. 9, P. 1-28, 1998.

MOREIRA, M. A. Teorias de aprendizagem. 1ª ed. São Paulo: **EPU**, 1999, P. 151-180.

MOREIRA, M. A. Organizadores prévios e aprendizagem significativa. **Revista Chilena de Educación Científica**, V. 7, N. 2, P. 23-30, 2008.

MOREIRA, M. A. Al final, que és aprendizagem significativa? **Revista Currículum**, N. 25, P. 29-56, 2012.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa em mapas conceituais. **Textos de Apoio ao Professor de Física**, V. 24, N. 6, P. 1-49, 2012.

MOREIRA, M. A. Ensino de física no século XXI: desafios e equívocos. **Revista do Professor de Física**, V. 2, N. 3, P. 80-94, 2018.

MOURA, F. A. Sequência de ensino investigativa – SEI. In: MOURA, F. A. Ensino de física por investigação: Uma proposta para o ensino de empuxo para alunos do ensino médio. Belém: **UFPA**, 2018, p. 29-43.

PASSOS, J. C. Os experimentos de Joule e a primeira lei da termodinâmica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, V. 31, N. 3, 3603 (P. 1-8), 2009.

PELIZZARI, A.; KRIEGL, M. L.; BARON, M. P.; FINCK, N. T. L. e DOROCINSKI, S. I. Teoria da aprendizagem significativa segundo Ausubel. **Revista Psicologia, Educação e Cultura**, V. 2, N. 1, P. 37-42, 2002.

QUEIRÓS, W. P. e NARDI, R. História do princípio da conservação da energia: alguns apontamentos para a formação de professores. In: **XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física**, Vitória – ES, 2009.

QUEIRÓS, W. P.; NARDI, R. e DELIZOICOV, D. A produção técnico-científica de James Prescott Joule: uma leitura a partir da epistemologia de Ludwik Fleck. **Investigações em Ensino de Ciências**, V. 19, N. 1, P. 99-116, 2014.

QUEIRÓS, W. P.; NARDI, R. e NETO, D. D. As influências teóricas e do contexto socio-cultural no trabalho técnico-científico de James Prescott Joule: contribuições para a formação de professores de física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, V. 36, N. 3, P. 675-703, 2019.

SILVA, A. P. B.; FORATO, T. C. M. e GOMES, J. L. A. M. Concepções sobre a natureza do calor em diferentes contextos históricos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, V. 30, N. 3, P. 492-537, 2013.

SILVA, A. P. B.; SOUZA, R. S. e ARAUJO, T. S. James Prescott Joule e o equivalente mecânico do calor: reproduzindo as dificuldades do laboratório. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, V. 36, N. 3, 3309 (P. 1-9), 2014.

SOUZA, R. S. O experimento de Joule e o ensino de termodinâmica baseado na história da ciência: uma proposta didática. Campina Grande: **UEPB**, 2012.

TIPLER, P. A. Física volume 2. 2ª ed. Rio de Janeiro: **Editores Guanabara Koogan S. A.**, 1990, P. 689-692.