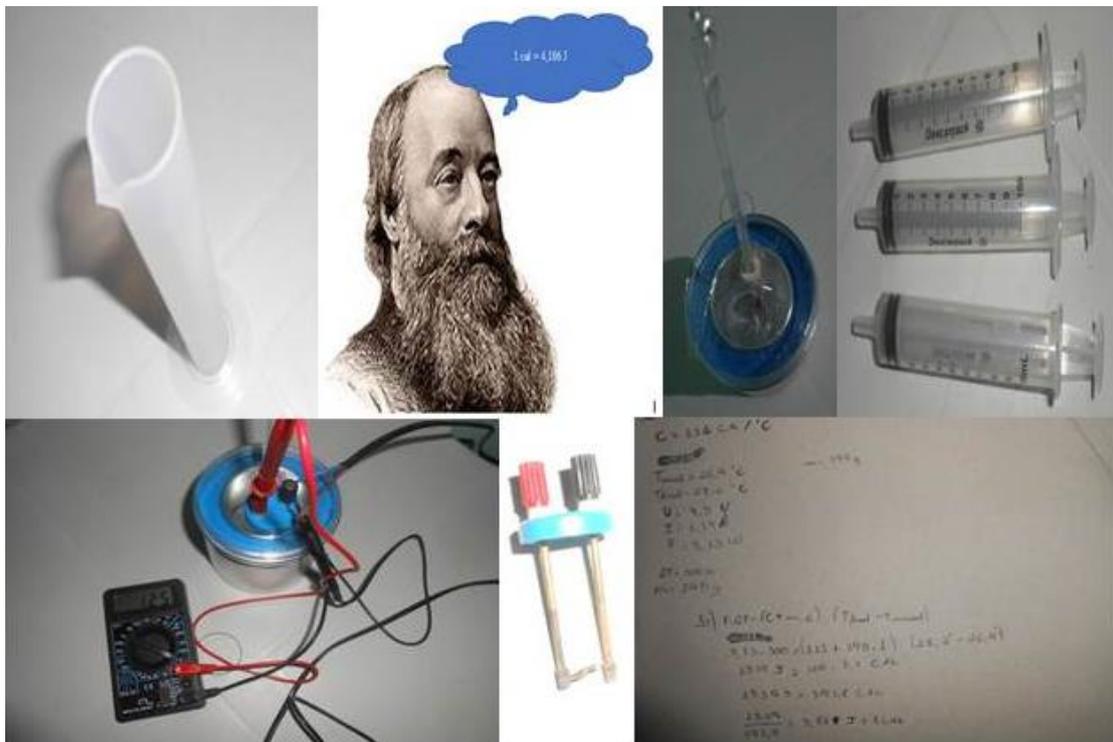


# EQUIVALENTE MECÂNICO DO CALOR: ATIVIDADE EXPERIMENTAL INVESTIGATIVA PARA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DA RELAÇÃO ENTRE CALOR E TRABALHO



**MNPEF**  
Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física



EQUIVALENTE MECÂNICO DO CALOR: ATIVIDADE EXPERIMENTAL  
INVESTIGATIVA PARA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DA RELAÇÃO  
ENTRE CALOR E TRABALHO

JACSON SANTOS AZEVEDO

Orientador:  
Prof. Dr. Francisco Nairon Monteiro Júnior

Recife  
Agosto de 2019

## **O Produto Educacional - Equivalente mecânico do calor: Atividade experimental investigativa para aprendizagem significativa da relação entre calor e trabalho**

O principal objetivo deste produto educacional é, antes de tudo, municiar os educadores na área de física a explorarem atividades experimentais no ensino de calorimetria e termodinâmica, a nível médio, com fins na aprendizagem significativa dos educandos a partir do equivalente mecânico do calor por meio do seu análogo elétrico. Essa sequência didática investigativa tem sua aplicação sugerida como pré-requisito à introdução de conceitos de calorimetria, como calor sensível ou latente, e também, pelo seu grau de generalização, ao estudo das leis da termodinâmica.

Trata-se de um produto com custo relativamente baixo e, como a maioria das escolas públicas brasileiras carece de laboratórios de física, essa simples proposta didática se coloca à disposição dos professores, nessa árdua tarefa de desenvolver o ensino e aprendizagem dos estudantes em termologia, em meio a tantos descasos com nossa educação, que é pública, laica, gratuita, crítica e transformadora. Uma avaliação diagnóstica antecedente com os estudantes à procura de conhecimentos prévios relevantes se faz necessário como pré-requisito para a aplicação desse produto em casos nos quais o professor desconheça por completo e em linhas gerais as concepções prévias dos estudantes a respeito dos subsunçores escolhidos para essa sequência didática.

A montagem do aparato é muito simples e se resume a poucas etapas. Por outro lado, há sugestões de questionários vinculados à maioria das atividades experimentais ou, na visão de Ausubel, organizadores prévios. Esses organizadores foram definidos como: OP1 – CAPACIDADE TÉRMICA DO CALORÍMETRO, OP2 – TRABALHO DE UM GÁS e OP3 – EQUIVALENTE MECÂNICO DO CALOR. Além disso, outros pormenores são esmiuçados nesta cartilha que incluem materiais utilizados nos roteiros, sugestões de abordagem de conceitos como calor, temperatura, trabalho e energia. Assim sendo, sem mais delongas, esperamos que este produto educacional contribua e, simultaneamente, se complete, nas mãos hábeis dos nossos professores de física do Brasil. Divirtam-se.

## SUMÁRIO

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| Montagem do Aparato .....        | 5  |
| Metodologia de Utilização .....  | 10 |
| Sequência Didática .....         | 13 |
| Referências Bibliográficas ..... | 31 |

## Montagem do Aparato

O produto educacional proposto é uma sequência didática, pavimentada no ensino por investigação e na teoria da aprendizagem de Ausubel, a ser construída ao longo de três aulas, aproximadamente, e que inclui três atividades experimentais para aplicação com estudantes do 2º ano do ensino médio com a temática calorimetria e termodinâmica.

A primeira atividade experimental (OP1 – CAPACIDADE TÉRMICA DO CALORÍMETRO) se refere a encontrar o valor da capacidade térmica do calorímetro. Nesta atividade, de acordo com a **Figura 1**, o calorímetro tem sua resistência removida para evitar trocas de energia térmica com as massas de água. Porém, ainda de acordo com a **Figura 1**, para garantir que o calorímetro não participe de trocas de energia com o meio externo, foi colocada uma fita adesiva transparente para vedar o encaixe da resistência removida. Uma sugestão mais apropriada é colocar uma rolha ou um pedaço de isopor no encaixe da resistência ajudando a minimizar mais ainda as perdas de energia do sistema água-calorímetro com sua vizinhança.



**Figura 1:** Calorímetro com termômetro analógico.

Além de um calorímetro sem a resistência, uma proveta de capacidade máxima de 100 mL é usada para obter as massas de água, indiretamente, ao longo dessa sequência didática. Na **Figura 2** é mostrada a proveta que foi utilizada pelos estudantes.



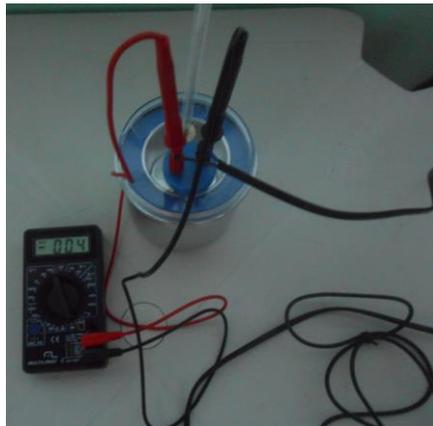
**Figura 2:** Proveta de 100 mL.

Quanto à segunda atividade experimental (OP2 – TRABALHO DE UM GÁS) dessa sequência didática, que tem o objetivo de fortalecer a compreensão dos estudantes no que diz respeito ao trabalho de um gás ideal e a sua variação de energia, são utilizadas seringas, sem suas agulhas, como é mostrado na **Figura 3**. Nesse experimento, as seringas tinham capacidade máxima de 10 mL.



**Figura 3:** Seringas de 10 mL.

Enfim, para o último experimento (OP3 – EQUIVALENTE MECÂNICO DO CALOR), é necessária uma montagem um pouco mais cuidadosa, uma vez que envolve um circuito elétrico e, associado em paralelo a ele, um multímetro funcionando como voltímetro, como é mostrado na **Figura 4**. De acordo com essa figura, nota-se uma diferença de potencial de 4 V, que foi a registrada em dado instante durante a realização dessa atividade.



**Figura 4:** Calorímetro associado em paralelo com o multímetro.

O roteiro dessa terceira e última atividade experimental (OP3 – EQUIVALENTE MECÂNICO DO CALOR), que tem o objetivo de determinar o equivalente mecânico do calor por meio de seu análogo elétrico, inclui uma montagem que, primeiramente, de acordo com a **Figura 5**, um borne de alimentação é ligado a um fio de 1,20 m de comprimento, que tem em sua extremidade uma bifurcação. Essa bifurcação é para ser colocada diretamente nos terminais do calorímetro. É recomendado, por segurança, o uso de dois conectores de 6 mm, que seriam utilizados nas pontas dos fios da bifurcação. Tomados os devidos cuidados, não existe fortes riscos de choques elétricos, se não houver esses conectores de 6 mm.



**Figura 5:** Borne ligado a um fio de 1,20 m com bifurcação.

Continuando a montagem desse terceiro aparato, o borne que foi conectado ao fio de comprimento igual a 1,20 m, é ligado à fonte de alimentação chaveada por meio de um plug. A **Figura 6** mostra o plug da fonte

AC/DC conectado ao borne enquanto a **Figura 7** exibe uma visão mais ampliada dessa junção.

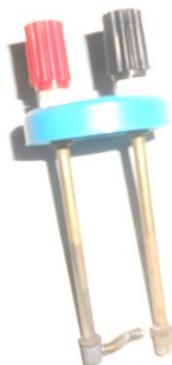


**Figura 6:** Plug da fonte AC/DC conectado ao borne.



**Figura 7:** Fonte AC/DC ligada ao fio de 1,20 m bifurcado.

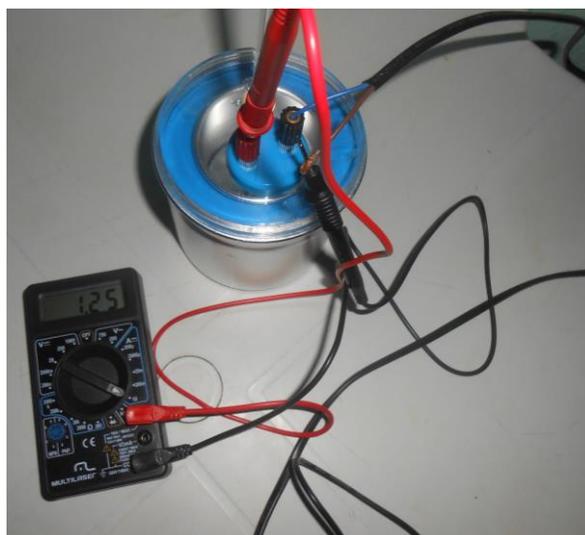
Assim sendo, para concluir a montagem e chegar à situação exibida na **Figura 4**, basta conectar cada ponta da bifurcação aos terminais da resistência, resistência mostrada na **Figura 8** com seus respectivos terminais de cores preta e vermelha, que o aparato estará preparado para utilização.



**Figura 8:** Resistência do calorímetro com seus terminais.

Uma importante recomendação para realização desse experimento é a determinação da intensidade da corrente que atravessa a resistência do calorímetro. O multímetro é colocado no modo amperímetro e ligado em série com a resistência do calorímetro de acordo com a **Figura 9**, que exibe um

instantâneo no valor de 1,25 A correspondente a fonte AC/DC antiga. Na realização da atividade, já com a utilização da fonte AC/DC nova, verificamos uma corrente que oscilou entre 1,10 A e 1,18 A. Para fins do cálculo da potência elétrica, adotamos o valor correspondente à média aritmética das correntes ditas acima, ou seja, de 1,14 A.



**Figura 9:** Multímetro associado em série com o calorímetro.

A montagem dos aparatos para a realização das atividades experimentais, dentro do ensino por investigação enquanto metodologia perpassa pela participação ativa e colaborativa dos estudantes como recomenda Carvalho (2013). Nesse produto, tendo os organizadores prévios um perfil experimental e sendo de fácil manipulação, é disposto para facilitar o trabalho do estudante contando com a pronta orientação do professor ou da professora.

## **Metodologia de Utilização**

O referencial teórico que embasou nossa sequência didática foi a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel na qual, partindo das ideias e conceitos preexistentes do aprendiz, podemos criar uma ancoragem, no caso de uma aprendizagem por subordinação, entre seus conhecimentos prévios e o novo conhecimento, munido de materiais potencialmente significativos, diferenciando e reconciliando conceitos e proposições, que podem gerar mudanças significativas, não literais e não arbitrárias, em sua estrutura cognitiva prévia (MOREIRA, 1999).

Unimos este referencial teórico ao ensino por investigação, o qual, segundo Carvalho (2013), aponta sequências de ensino por investigação como ferramentas metodológicas que conduzem o ensino/aprendizagem de ciências para uma abordagem mais próxima do aprender e fazer ciência. Ainda segundo Carvalho (2013) e Carvalho e Sasseron (2015), em defesa de sequências investigativas para o ensino/aprendizagem de física, o tradicional ensino por transmissão que ignora a liberdade científica dos estudantes e tão presente na prática pedagógica reducionista de muitos docentes não resulta em aprendizagens ativas. Por outro lado, defendem ainda a consolidação nos estudantes de uma cultura científica, dita “enculturação”, que contemple a explicação de fenômenos físicos, num raciocínio mais próximo do hipotético-dedutivo na comunicação oral e escrita, bem como um ensino para aprender a falar de ciências, tomando o aprendiz como um ser ativo e que sistematiza conclusões sob a orientação do professor ou da professora.

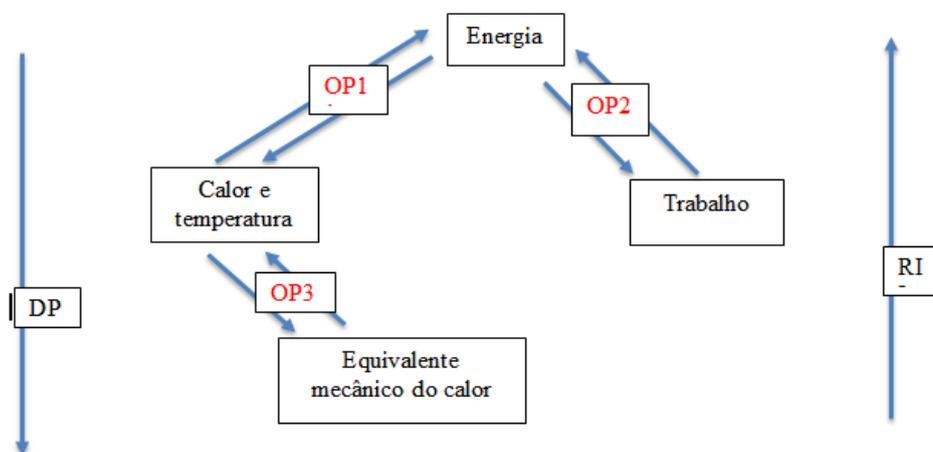
Esta é a base que guiou nossa sequência didática. Nosso produto educacional elegeu como subsunçores, ou conhecimentos prévios especificamente relevantes (MOREIRA, 2012, 2013), energia, calor, temperatura, trabalho e equivalente mecânico do calor.

Inicialmente, o educador deve separar a turma em grupos pequenos, por exemplo, cinco integrantes, com a definição de horários específicos para cada grupo, para garantir que toda a turma participe efetivamente das atividades experimentais, manuseando instrumentos de medição, colaborando na montagem dos aparatos, dentre outras atividades, num autêntico trabalho coletivo que abre espaço para o desenvolvimento de um processo de ensino e

aprendizagem ativo e investigativo. Isto é, em uma abordagem do tipo laboratório aberto (MOURÃO; SALES, 2018), inserida no ensino de ciências por investigação, a montagem, a realização da atividade, bem como a coleta de informações por parte dos estudantes consistem em atividades cruciais na construção de suas respostas que podem ser guiadas por questionários propostos.

Utilizamos aqui o laboratório aberto, nível 1, no qual o professor fornece os problemas e os procedimentos, acompanhados de problematizações, antes e durante a aplicação. Os problemas são questionários dissertativos, nos organizadores prévios OP1 e OP3, permitindo conclusões abertas que exigem um maior teor de inclusão de princípios e conceitos físicos (MOURA, 2018).

O mapa conceitual, mostrado na **Figura 10**, relaciona esses subsunçores elencados anteriormente com os respectivos organizadores prévios associados. Tais organizadores prévios são atividades experimentais acima descritas, quais sejam as atividades experimentais OP1, OP2 e OP3. A seta vertical descendente corresponde à diferenciação progressiva (DP), enquanto que a seta vertical ascendente diz respeito à reconciliação integradora ou integrativa (RI). Os organizadores prévios evocados, com o intuito de intensificar os subsunçores supracitados, são as atividades experimentais. Elas estão classificadas como: primeira atividade experimental (OP1 – CAPACIDADE TÉRMICA DO CALORÍMETRO), segunda atividade experimental (OP2 – TRABALHO DE UM GÁS) e terceira atividade experimental (OP3 – EQUIVALENTE MECÂNICO DO CALOR).



**Figura 10:** Mapa relacionando e discriminando os subsunçores eleitos.

Segundo Moreira (2005, 2012, 2013), esses conceitos se conectam, mas também se diferenciam de tal maneira que, distante de uma aprendizagem mecânica fugaz e em um ensino engessado, a aprendizagem significativa admite esse sobe e desce interdependente e simultâneo, tanto na estrutura cognitiva do aprendiz como no ensino. A organização sequencial e a consolidação, de acordo com Moreira (2011), são princípios programáticos que compõe o mapa conceitual acima que é a espinha dorsal desse produto. O primeiro princípio pretende sequenciar os tópicos de ensino (subsunçores) de modo a manter uma lógica e coerência ao relaciona-los para facilitar a compreensão do aprendiz e organizar o conteúdo em sua estrutura cognitiva. Portanto, o aproveitamento de um plano de ensino, por exemplo, é ampliado quando as conexões entre os subsunçores, em nosso caso, exibem padrões de dependência e relação. A consolidação (mestria) dos conhecimentos, por sua vez, é auxiliada pela diferenciação progressiva, reconciliação integradora e pela organização sequencial, sendo ainda progressiva, não linear e não imediata (MOREIRA, 2012).

Os organizadores prévios não contém uma grande abertura para os estudantes levantarem hipóteses acerca do subsunçor a ser explorado, como propõe Carvalho (2013) em se tratando de um ensino de ciências por investigação. Por outro lado, as etapas desses organizadores incluem recolhimento de dados como, por exemplo, volume de água no calorímetro, temperatura da água e do ambiente, dentre outros, além de questionários responsáveis por fazer a transição desses procedimentos para ações intelectuais elaboradas na análise dos fenômenos observados com o auxílio do professor. A seguir, apresentamos a sequência didática a ser trabalhada com os estudantes.

## **Sequência Didática**

### **OBJETIVOS:**

- Analisar o conceito de energia e suas transformações.
- Aplicar o princípio da conservação da energia na obtenção do equivalente mecânico do calor e da capacidade térmica do calorímetro.
- Calcular o equivalente mecânico do calor por meio do seu análogo elétrico.
- Compreender as diferenças e as reconciliações entre calor e temperatura.
- Compreender o trabalho de uma força, em um sistema físico, como variação de sua energia.

### **CONTEÚDOS:**

- Calorimetria e termodinâmica.

### **ANOS:**

- 2º ano do ensino médio.

### **TEMPO ESTIMADO:**

- Três aulas de 50 minutos.

### **MATERIAL NECESSÁRIO:**

- Um calorímetro com capacidade de 195 mL dotado de uma resistência elétrica e um termômetro analógico;
- um celular que vai atuar como cronômetro e termômetro digital;
- um multímetro;
- uma fonte chaveada AC/DC;
- uma calculadora;
- seringas sem as agulhas;
- uma proveta com capacidade máxima de 100 mL.

### **DESENVOLVIMENTO:**

#### **1ª ETAPA**

Nessa etapa, o educador assume uma posição de mediador em torno do subsunçor energia, partindo da estrutura cognitiva prévia dos estudantes sobre esse conceito subsunçor (MOREIRA, 1999). Portanto, sendo esse subsunçor mais geral, deve ser conduzido a partir das vivências e acúmulos que os estudantes já trazem consigo a respeito da ideia energia. Isto é, nesse primeiro momento, mais focado no educando, o professor vai fomentar nos estudantes o que eles entendem por energia. Os estudantes devem ser provocados por perguntas como “o que é energia?” ou “o que vocês entendem por energia?” ou mesmo “correr atrás de uma bola, subir e descer uma escada e pular de uma árvore tem algo a ver com energia?” (PIETROCOLA; POGIBIN; ANDRADE; ROMERO, 2010).

Uma concepção espontânea ou alternativa que poderia ser discutida com os estudantes durante a execução da 1ª ETAPA desse produto é a ideia de energia como substância que passa de um corpo para outro, análoga à teoria do calórico. Nesse caso é interessante explicar que, segundo Doménech et al. (2005), o sistema muda sua configuração. A título de exemplo, quando uma massa cai a certa altura do chão, o nível de referência escolhido, sua energia potencial de gravidade diminui, não é uma substância que sai do corpo, mas sua energia cinética cresce à medida que se aproxima do solo.

Em seguida, discorrer sobre situações cotidianas que estão associadas ao uso de energia: correr, pedalar, nadar, pular, ouvir uma música, assistir um filme e etc. Enunciar o princípio da conservação da energia e suas implicações. Em todas as situações, devemos, como forma de problematizar a relação trabalho-energia, evidenciar que, em todos os exemplos acima citados, e em outros que possam vir a ser encenada pelo professor ou pelos alunos, a variação da energia está relacionada à realização de trabalho e, ainda, que o trabalho consiste numa medida da transferência ou absorção de energia em um sistema. Doménech et al. (2005) enfatiza a necessidade de colocar trabalho de uma força como variação de energia de um sistema, pois associado somente a noção de transferência de energia, cria uma concepção incompleta de trabalho uma vez que ele pode aumentar a energia de um sistema.

Devemos ainda estar atentos que em tais sistemas, termodinâmicos por excelência, há a produção de calor que, por sua vez, está relacionado à diferença de temperatura entre os corpos envolvidos na situação estudada.

Quando atritamos uma mão à outra, por exemplo, sentimos o aquecimento das 'palmas', característico do atrito produzido por trabalho, ou seja, com o aumento da energia interna da mão, temos uma situação em que existe uma diferença de temperatura entre a mão e o ar em suas proximidades e, em consequência, calor. Podemos ainda lançar mão de alguns organizadores prévios (OP) para fazer a ponte entre este momento de problematização e as atividades experimentais seguintes como descrito a seguir.

## **2ª ETAPA**

Essa etapa é aplicação da primeira atividade experimental que consiste na obtenção da capacidade térmica do calorímetro (OP1 – CAPACIDADE TÉRMICA DO CALORÍMETRO). É muito importante deixar os estudantes manipularem os materiais utilizados nesse roteiro, em se tratando de uma sequência de ensino por investigação e, assim, de acordo com Carvalho (2013), incluir ações manipulativas para construção dos conceitos calor e temperatura. Portanto, a determinação da capacidade térmica do calorímetro, em uma perspectiva ausubeliana, deve incluir a manipulação do calorímetro e do termômetro, a leitura do termômetro e da proveta.

Além do mais, caso a sala de aula ou laboratório não tenha um termômetro, usar o aplicativo sugerido pelo roteiro para obter a temperatura ambiente. O educador deve apenas supervisionar os grupos no sentido de tomarem alguns cuidados ao manusearem fontes térmicas, pois a água deve ser fervida a 100 °C. Se ainda desejar, o educador pode fabricar junto aos estudantes um calorímetro caseiro e de baixo custo com ou sem uma resistência elétrica acoplada (ALVES, 2008; HOFMANN; GRANDI, 1988). Entretanto, sem a resistência não é possível encontrar a relação entre a caloria e o joule proposta mais adiante.

A diferenciação e a reconciliação entre calor e temperatura devem ser fomentadas pelo docente durante a execução desse experimento, além de subsidiar os estudantes a resolverem o questionário correspondente a essa atividade. A compreensão que, corpos com temperaturas diferentes, transferem energia e que essa energia é conhecida como calor deve ser discutida com os estudantes. Ao término, os estudantes devem também ter assimilado que, temperatura é diferente de calor, ou seja, a primeira é uma medida

macroscópica relacionada ao nível de agitação das partículas de um corpo ou sistema (MARTINI; SPINELLI; REIS; SANT'ANNA, 2016), a água de nosso calorímetro, por exemplo, enquanto que calor é uma energia em trânsito que se dá, exclusivamente, pela diferença de temperatura entre dois corpos (MOREIRA, 1998), como a que ocorre entre a água em ebulição e a água a temperatura ambiente dessa atividade.

É muito importante prolongar o debate em torno da ideia de calor com os estudantes nessa etapa para contribuir na sistematização desse conceito (CARVALHO, 2013). Existem estudos que comprovam que professores e estudantes nos cursos de Física e Química apresentaram sérias dificuldades em explicar a diferença entre calor e temperatura (SILVA; LABURÚ; NARDI, 2008). Portanto, nessa reflexão em torno da noção de calor, explicar aos estudantes que calor é energia térmica em trânsito cujo fluxo, espontaneamente, ocorre do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura (BÔAS; DOCA; BISCUOLA, 2010) é distinto, porém se reconcilia ao do conceito de temperatura.

Por outro lado, alguns livros textos adotam uma definição de calor, colocando-o somente como transferência de energia em função da diferença de temperaturas entre corpos (SEARS; ZEMANSKY; YOUNG; FREEDMAN, 2008), o que pode abrir espaço para a ideia de calor, não como energia, mas como um processo de transferência dela. Essa última definição quando explorada pelo professor, em nossa concepção, deve denotar claramente a diferença de temperatura entre os sistemas envolvidos. Entretanto, a energia que está sendo transferida, em nossa conceituação, é a energia térmica ou a energia interna, fluindo espontaneamente do corpo de maior temperatura para outro corpo de menor temperatura. Portanto, afirmar que calor é transferência de energia não implica dizer que calor está migrando de um corpo de maior temperatura para outro de menor temperatura porque calor não pode ser armazenado na matéria (SILVA; LABURÚ; NARDI, 2008). Isso demonstra, em meio a esse debate sobre a natureza e a conceituação de calor, exemplos de não unanimidade na ciência.

Sendo energia em trânsito ou transferência de energia, a definição moderna de calor deve sempre passar pelo fortalecimento da condição de existir diferença de temperatura entre pelo menos dois sistemas (AXT;

BRÜCKMANN, 1989). Além do mais, não podemos deixar de mencionar aos estudantes que, considerando calor como transferência de energia, é diferente de trabalho de uma força, pois esse último não precisa de uma diferença de temperatura para variar a energia de um sistema (MOREIRA, 1998).

Recomenda-se que o docente inclua em suas explicações as concepções equivocadas que os cientistas tinham do calor como na teoria do calórico e do flogístico (PIETROCOLA; POGIBIN; ANDRADE; ROMERO, 2010), fortalecendo o diálogo com a história e filosofia da ciência. Esse diálogo é muito importante ao desconstruir nos estudantes uma concepção de ciência pronta, imutável e que nunca comete erros. Segundo Matthews (1995) o ensino de ciências se desenvolve independente da história e da filosofia da ciência, criando um abismo colossal que dificulta a aprendizagem dos estudantes além de colaborar em uma formação deficiente dos docentes na área de ciências, distanciando o educador da maneira histórica e filosófica em que o conhecimento científico foi construído. Medeiros e Monteiro Jr (2001) contribui com esse debate por meio do estudo de experimentos históricos em acústica na exploração dos princípios físicos embutidos em tais e as consequentes problematizações, em situações de ensino/aprendizagem, que esses aparatos provocam. Segundo os autores, mesmo se tratando se uma reconstrução híbrida em relação ao original, os princípios físicos são conservados nesses aparatos.

Duarte (2004) elenca uma série de vantagens que a utilização da história da ciência pode trazer para o ensino das ciências como, por exemplo, um contato mais íntimo com o lado humano da construção de conceitos científicos por parte dos cientistas, uma maior aproximação do trabalho científico na elaboração de teorias da noção prévia que os educandos carregam sobre o método científico, a ideia fulcral que a ciência é uma construção histórica, social, política e econômica e, assim, obra de pessoas com os mais variados interesses, além de municiar a prática docente como uma forma de renovação didática no ensino das ciências. Dito isto, abaixo segue o roteiro completo desse experimento com seu respectivo questionário:

|   |        |
|---|--------|
| Escola:   |        |
| Data:   | Turma: |
| Estudantes:<br><br>_____<br><br>_____<br><br>_____<br><br>_____<br><br>_____<br><br>_____ |        |

Atividade Experimental: **CAPACIDADE TÉRMICA DO CALORÍMETRO**

### **OBJETIVOS**

- Aplicar o princípio da conservação da energia por meio do princípio das trocas de calor.
- Calcular a capacidade térmica do calorímetro.
- Compreender a diferença entre calor e temperatura, por meio de medições diretas da água e do calorímetro, e suas possíveis reconciliações.

### **MATERIAL UTILIZADO**

- Um calorímetro com capacidade de 195 mL dotado de um termômetro analógico.
- Uma calculadora.
- Um celular com o aplicativo **Smart Thermometer** instalado para aferir a temperatura ambiente.
- Uma proveta de 100 mL.

### **PROCEDIMENTO**

- Faça a medição da temperatura ambiente da sala de aula por meio do uso do celular. Represente essa temperatura por  $T_{amb}$ .

- Coloque 70 mL de água no calorímetro vazio e aguarde o equilíbrio térmico entre eles. Represente essa medida por  $T_c$ .
- Adotando a densidade da água 1 g/mL, a massa inicial de água dentro do calorímetro corresponde a 70 g. Represente essa massa por  $m_1$ .
- Em seguida, aqueça 100 mL de água até seu ponto de ebulição, ou seja, 100 °C, supondo a pressão atmosférica local igual a 1 atm. Represente essa temperatura inicial da água por  $T_0$  e a massa aquecida de água por  $m_2$ .
- Aquecida a água a 100 °C, coloque rapidamente essa água no calorímetro e aguarde o equilíbrio térmico entre o calorímetro, a massa  $m_1$  e a massa  $m_2$ . Represente essa temperatura final de equilíbrio por  $T$ .
- Apliquem o princípio das trocas de calor para encontrar a capacidade térmica do calorímetro representado por  $C$ :

$$Q_{\text{calorímetro}} + Q_{\text{água 1}} + Q_{\text{água 2}} = 0$$

$$C \cdot (T - T_c) + m_1 \cdot c \cdot (T - T_c) + m_2 \cdot c \cdot (T - T_0) = 0$$

$$C = \frac{m_1 \cdot c \cdot (T_c - T) + m_2 \cdot c \cdot (T_0 - T)}{T - T_c},$$

tal que a dimensão da capacidade térmica é dada em calorias por grau Celsius ou calorias por kelvin. Note que o calor específico da água adotado é de 1,0 cal/g.°C.

- Finalmente, responda ao questionário abaixo:

### QUESTIONÁRIO

- 1) Indique o valor que seu grupo encontrou para a capacidade térmica do calorímetro. Justifique sua resposta.
- 2) Com base nesse experimento, qual a diferença entre calor e temperatura? Como a diferença de temperatura entre o ar da sala e a temperatura da água pode interferir no resultado desse experimento? Justifiquem suas respostas.

### 3ª ETAPA

Execução da segunda atividade experimental que consiste na compreensão da expansão do ar e a consequente realização de trabalho num subsistema mecânico hipotético por meio do manuseio de seringas (OP2 – TRABALHO DE UM GÁS). O docente deve perguntar aos estudantes sobre esse “subsistema mecânico hipotético” que se refere o roteiro. Explica-los que o êmbolo da seringa está acoplado ou compõe esse subsistema idealizado que troca energia com o sistema (ar na seringa) via trabalho. Caso o termo seja demasiado abstrato para os estudantes, o professor poderá adotar como “subsistema mecânico hipotético” o próprio êmbolo da seringa formado pelo conjunto pistão-biela.

As seringas, sem as agulhas, devem ser distribuídas aos estudantes do grupo de tal modo que cada um deve ter sua seringa. O estudante deve ser personagem principal e, portanto, tomar a iniciativa nessa atividade que é muito simples de ser realizada e que tem o objetivo de robustecer significativamente o subsunçor trabalho (MOURÃO; SALES, 2018). Em meio ao experimento, perguntar aos estudantes como a força do ar realiza trabalho ou ainda, fazendo as devidas aproximações, colocar essa transformação termodinâmica como adiabática, já que ocorre com certa rapidez, sem permitir trocas de calor significativas com o meio externo (PIETROCOLA et al., 2010, p.181; ARRIBAS, 1988, p.30).

É sabido que Joule explorou o trabalho mecânico, com a queda das massas, para aquecer a água contida no calorímetro porque esse experimento, o equivalente mecânico do calor, imortalizou a figura desse cientista inglês por meio da igualdade  $1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}$ . Por conseguinte, a escolha desse roteiro tinha que incluir uma atividade, por mais simples que seja no tocante à realização de trabalho mecânico e sua relação com o subsunçor, já debatido na 1ª ETAPA, energia. Procure evocar o teorema do trabalho-energia, com um caráter puramente qualitativo, associando trabalho de uma força resultante, no caso do experimento essa força poderia ser à força do ar pressurizado sobre o êmbolo da seringa, e sua consequente variação de energia no sistema. Incluir nas explicações que trabalho de uma força pode diminuir a energia de um sistema, quando transfere energia, mas também pode aumentar a energia, por

exemplo, de um subsistema em sua vizinhança do qual foi transferida essa energia.

Outra recomendação para a aplicação desse organizador prévio é abrir mão de conceitos mais pormenorizados como forças internas e forças externas. Esses conceitos podem ser abordados em casos mais elaborados e que exijam dos estudantes uma maior base subsunçora, mais estável. Um exemplo trivial que pode ser utilizado, com fins em mostrar que só existe trabalho, fisicamente falando, quando o deslocamento é paralelo a aplicação da força ou de sua componente, é o da força gravitacional. Neste caso, mesmo movendo um corpo, sem gerar desnível algum, a força peso não executa trabalho, adotando o solo como nível de referência. Citar ainda, a título de exemplo, que carregar uma mala “pesada”, segundo o senso comum, em uma passarela horizontal não implica em trabalho porque a força aplicada pela pessoa na mala é perpendicular ao deslocamento da mala.

Diferentemente dos outros organizadores prévios, essa segunda atividade não é acompanhada de um questionário, visto que ela deve ser calcada na discussão (problematização) sobre a ideia de trabalho como uma forma, escolhida pela natureza, para variar energia. Contudo, o docente deve se ater a comunicação oral dos estudantes diante das problematizações levantadas e, segundo Carvalho (2013), solicitar que escrevam um texto envolvendo o subsunçor trabalho com exemplificações em uma linguagem mais formal, que se aproxima do conceito físico de trabalho, que pode ser lido pelo estudante diante da turma e debatido logo em seguida. Esse texto, dentro de uma perspectiva de um ensino por investigação, pode ser mais uma maneira do professor tentar encontrar indícios de uma aprendizagem significativa nos estudantes podendo exibir um desenvolvimento da linguagem científica escrita.

Diante do exposto, tomar cuidado com a definição de trabalho de uma força como somente transferência de energia já que pode alimentar a única ideia de diminuição de energia, como, a título de exemplo, a apresentada por Calçada e Sampaio (1985) que também inclui trabalho de uma força como transformação de energia (HEWITT, 2002). Porém, como já dito anteriormente, trabalho de uma força também produz aumento de energia e, portanto, o recomendado é relacionar trabalho de uma força a variação de energia, pois

inclui crescimento ou decréscimo energético (DOMÉNECH et al., 2005).  
Segue abaixo o roteiro dessa atividade:

|   |        |
|---|--------|
| Escola:   |        |
| Data:   | Turma: |
| Estudantes:<br><br>_____<br><br>_____<br><br>_____<br><br>_____<br><br>_____<br><br>_____ |        |

Atividade Experimental: **TRABALHO DE UM GÁS**

**OBJETIVO**

- Compreender a concepção de trabalho como variação de energia de um gás para um subsistema mecânico hipotético na sua vizinhança.

**MATERIAL UTILIZADO**

- Seringas sem as agulhas.

**PROCEDIMENTO**

- Distribua para cada estudante uma seringa;
- adotando o ar atmosférico como um gás ideal, coloque a extremidade, sem agulha, da seringa na palma da mão esquerda, vedando essa extremidade;
- pressione o êmbolo com a mão direita. O ar dentro da seringa é comprimido, ou seja, há um aumento da pressão com diminuição do volume;
- enfim, libere o êmbolo da seringa. O ar da seringa desloca-se, expandido seu volume e realizando um trabalho sobre a sua vizinhança.

#### 4ª ETAPA

Aplicação da terceira atividade experimental (OP3 – EQUIVALENTE MECÂNICO DO CALOR). Temos o subsunçor mais específico a ser explorado: o equivalente mecânico do calor pelo seu similar elétrico. Trata-se de uma reconstrução de um experimento histórico, mesmo utilizando um calorímetro elétrico, que preserva o mesmo princípio físico do calorímetro de pás construído por Joule: a energia sempre se conserva (MEDEIROS; MONTEIRO Jr, 2001; ALVES, 2008).

Para calcular a relação entre a caloria e o joule, apelamos para o equivalente elétrico do calor, ou seja, relacionamos a equivalência entre calor e energia elétrica, dado que a reprodução desse aparato é cara e, para alguns autores, esse experimento é irreproduzível (SOUZA; SILVA; ARAUJO, 2014). Note que, originalmente, Joule usou trabalho mecânico, mas em nosso aparato foi explorado o trabalho da força elétrica. Novamente fortalecer o protagonismo dos estudantes e, o educador, deve orientar e supervisionar toda a etapa permitindo que eles realizem a leitura e a montagem do aparato (CARVALHO, 2013). Lembrar aos estudantes que o valor da capacidade térmica do calorímetro já foi obtido por eles na 2ª ETAPA. Explicar o cuidado ao utilizar o multímetro e como colocá-lo no modo voltagem. Estimular os estudantes a explicarem as modalidades de energia envolvidas direta e indiretamente nesse experimento ou ainda, as possíveis perdas e incrementos de energia. Colocar em cheque a calibração dos equipamentos envolvidos nessa atividade.

Nessa fase da sequência didática, a parte elétrica oscila muito, já que a corrente varia entre 1,10 A e 1,18 A e a diferença de potencial pode ficar a cargo dos estudantes, como recomendado no roteiro. Resolvemos adotar para corrente elétrica um valor igual a 1,14 A enquanto que para tensão de saída ficava a cargo dos estudantes, pois o multímetro deve ser associado em paralelo à resistência do calorímetro. O intervalo de tempo de execução do experimento é muito importante e resolvemos adotar 5 min ou 300 s. Em realizações anteriores, foi utilizado um intervalo de tempo maior, como, por exemplo, 10 min ou até 20 min, acarretando em grandes perdas ôhmicas ou forte dissipação de energia. Outra sugestão, considerando o alto valor do calor específico da água, é inserir no vaso calorimétrico um volume mínimo de água, o possível para deixar submersa a resistência, para encontrar valores

expressivos de temperatura caso o termômetro seja pouco sensível e visando um valor mais preciso para o equivalente elétrico do calor.

Durante a realização dessa etapa é crucial que o educador levante perguntas aos estudantes a respeito das modalidades de energia em jogo nesse experimento, considerando que esta sequência didática tem um caráter investigativo. Por exemplo, “porque a resistência aumenta sua temperatura?”, “o que acontece a nível microscópico na resistência que a faz aquecer?”, “porque a água dentro do calorímetro aquece?”, “existe diferença de temperatura entre a resistência do calorímetro e a água?”, dentre outras que sejam pertinentes e surjam durante a experimentação. Esses questionamentos aguçam a capacidade dos educandos no que diz respeito às modalidades de energia envolvidas nesse organizador prévio, uma vez que, nesses estímulos, encontram-se conceitos como energia elétrica, calor, quantidade de calor, equilíbrio térmico, temperatura e energia interna.

A aplicação desse organizador prévio, em função das limitações do aparato adotado, não é confirmar a igualdade  $1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}$ . Contudo, longe de validar o resultado tabelado internacional para o equivalente mecânico do calor por meio de um calorímetro elétrico, o mais importante é explorar didaticamente as discrepâncias entre os valores encontrados pelos estudantes e o valor tabelado. Fomente uma discussão com os estudantes sobre as motivações desses resultados divergentes e lembrem aos estudantes do princípio da conservação da energia, como, por exemplo, as perdas de energia por efeito Joule nos fios do circuito elétrico e a radiação que bombardeia a área externa do calorímetro, por mais que o efeito seja pequeno. Essas discrepâncias também revelam aos aprendizes que elaborar e construir ciência são atividades humanas carregada de dificuldades, aperfeiçoamentos, avanços e retrocessos, uma noção de ciência que se aproxima das atividades científicas reais (MEDEIROS; MONTEIRO Jr, 2001; MATTHEWS, 1995; DUARTE, 2004). Finalmente, a avaliação dessa atividade é um pequeno questionário que deve ser respondido pelos estudantes logo após a realização desse experimento. O roteiro e o questionário desse organizador prévio seguem abaixo:

|   |        |
|---|--------|
| Escola:   |        |
| Data:   | Turma: |
| Estudantes:<br><br>_____<br><br>_____<br><br>_____<br><br>_____<br><br>_____<br><br>_____ |        |

Atividade Experimental: **EQUIVALENTE MECÂNICO DO CALOR**

**OBJETIVOS**

- Aplicar o princípio da conservação da energia.
- Calcular o equivalente mecânico do calor pelo seu análogo elétrico.

**MATERIAL UTILIZADO**

- Um calorímetro com capacidade para 195 mL dotado de uma resistência elétrica e um termômetro analógico.
- Um celular com o aplicativo **Hybrid Stopwatch & Timer** para ser usado como cronômetro.
- Uma calculadora.
- Uma fonte chaveada AC/DC.
- Dois conectores machos de 6 mm com cores distintas.
- Um conector fêmea p4 com borne de alimentação.
- Um multímetro que será usado como voltímetro.

**MONTAGEM EXPERIMENTAL**

- Com uma chave de fenda apropriada, aperte os parafusos do conector fêmea p4 nos conectores de 6 mm. Para cada terminal do conector p4 coloque um conector de 6 mm.
- Unir o plug da fonte chaveada ao conector fêmea p4.

- Encaixe cada conector de 6 mm nos respectivos terminais do calorímetro.
- Associe em paralelo o multímetro com os terminais do calorímetro.

### PROCEDIMENTO

- Coloque água no calorímetro até seu volume máximo 195 mL. Aproximando a densidade da água para 1 g/mL, temos cerca de 195 g de água. Represente essa medida por  $m$ .
- Considerando a capacidade térmica do calorímetro, faça a medição da temperatura da água dentro do calorímetro com o termômetro analógico. Para isso, espere a água entrar em equilíbrio térmico com o calorímetro. Represente essa temperatura por  $T_{inicial}$ .
- Ligue a resistência do calorímetro por 5 min, ou seja, 300 s. Use o cronômetro do celular para medir esse tempo. Represente esse intervalo de tempo por  $\Delta t$ .
- Em seguida, faça a leitura da temperatura final da água através do termômetro analógico do próprio calorímetro. Aguarde a existência de equilíbrio térmico entre a água e o calorímetro. Represente essa temperatura por  $T_{final}$ .
- Obtenha a potência dissipada do calorímetro através da expressão  $P = U \cdot i$ , com  $i = 1,14 \text{ A}$ . A diferença de potencial  $U$  é dada pelo multímetro. Considere a unidade de medida da potência em watts.
- Aplique o princípio da conservação da energia para calcular, com o uso de uma calculadora, o equivalente mecânico do calor e substitua os valores encontrados na expressão abaixo:

$$E_{elétrica} = Q_{calorímetro} + Q_{água}$$

$$P \cdot \Delta t = C \cdot \Delta T + m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$P \cdot \Delta t = (C + m \cdot c) \cdot (T_{final} - T_{inicial})$$

A dimensão da energia elétrica é em joules e a dimensão da quantidade de calor transferida para a massa de água é em calorias. Adote o calor específico da água  $c = 1,0 \text{ cal}/(g \cdot ^\circ\text{C})$ . A capacidade térmica do calorímetro já foi obtida em um experimento (OP1 – CAPACIDADE TÉRMICA DO CALORÍMETRO) anterior a esse.

- Finalmente, responda o questionário que se encontra abaixo.

## QUESTIONÁRIO

- 1) Indique o valor encontrado pelo seu grupo para o equivalente mecânico do calor. Porque o valor encontrado para o equivalente mecânico do calor foi diferente do valor usualmente encontrado na literatura  $1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}$ ? Tente argumentar a luz do princípio da conservação da energia.
- 2) De acordo com a atividade experimental, expliquem todas as modalidades de energia que seu grupo conseguiu identificar. Justifique sua resposta com argumentos físicos.

## **AValiação:**

Com foco em evidências de aprendizagem significativa nos estudantes, o educador deve encontrar essas pistas nos questionários, elaborados dentro de uma abordagem de ensino de física por investigação na qual as perguntas são abertas e dissertativas, propiciando argumentações e explicações que prima por termos científicos, princípios físicos inclusos nas experimentações e por expressões matemáticas relacionadas com tais princípios ou leis físicas (CARVALHO; SASSERON, 2015).

Zelar por outras formas de avaliação como, por exemplo, na oralidade dos estudantes em explicar os fenômenos físicos implicados nas atividades experimentais, ou ainda, estimular os estudantes a encontrarem paralelos entre situações do cotidiano com os subsunçores eleitos nessa sequência didática. Moreira (1999) sugere que, em busca de traços de uma compreensão significativa de conceitos ou proposições, os estudantes sejam submetidos a situações não usuais, muito diferente das situações mecânicas, em contextos distintos nos quais devam apresentar respostas com sinais de transformação do conhecimento aprendido.

A avaliação, formativa e centrada na aprendizagem significativa, não é trivial e, sempre que possível, os experimentos devem ser refeitos pelos estudantes, já que eles estão sendo submetidos a uma situação nova e com pouca familiaridade (MOREIRA, 2012; CARVALHO, 2013). Os questionários que seguem esses organizadores prévios servem para auxiliar o educador a procurar indícios de aprendizagem significativa nos estudantes. Esses questionários também podem ser alterados de acordo com as necessidades dos docentes, mostrando o alto grau de flexibilidade dessa sequência didática. Note que os questionários não tem um limite de linhas para as respostas dos estudantes. Essa manobra foi proposital e com a finalidade de permitir que as suas soluções sejam sem limitações, permitindo uma argumentação livre e sem os freios que certa quantidade de linhas forçosamente traz.

Outro recurso avaliativo que o educador pode explorar é o uso de mapas conceituais desde que os estudantes tenham familiaridade com essa ferramenta que deve ser apresentada e trabalhada com eles previamente (MOREIRA, 2005, 2013). O professor pode solicitar que cada estudante faça

um mapa conceitual usando os subsunçores escolhidos nessa sequência de ensino investigativa ou um mapa conceitual por grupo, em casos em que a turma é numerosa, acompanhado de uma explicação escrita e uma comunicação oral, com a participação da turma, do arranjo dos conceitos subsunçores, setas e conectivos que compõe o diagrama, baseado em uma linguagem mais científica e formal como recomenda Carvalho (2013).

Além disso, devemos levar em consideração que uma aprendizagem significativa, na perspectiva cognitivista de Ausubel, não ocorre de maneira imediata ou abrupta, segundo Moreira (2013), mas progressivamente, de modo não linear, com possíveis obliterações, em um contínuo entre a aprendizagem mecânica e aprendizagem significativa definida como zona cinza (MOREIRA, 2012). Assim sendo, o mais importante é submeter os estudantes a situações desafiadoras, não típica e diferente das elaboradas pelos livros textos, permitindo-os uma aprendizagem significativa ou, se não, gradualmente significativa dentro de uma zona cinza, do que uma mera aplicação mecânica de situações usuais.

## Referências Bibliográficas

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

ARRIBAS, S. D. *Experiências de física ao alcance de todas as escolas*. 1ª ed. Rio de Janeiro: Editora FAE, 1988.

AXT, R.; BRÜCKMANN, M. E. O conceito de calor nos livros de ciências. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 6, n. 2, p.128-142, 1989.

BÔAS, N. V.; DOCA, R. H.; BISCUOLA, G. J. *Física 2*. 1ª ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2010, p.25-26.

CALÇADA, C. S.; SAMPAIO, J. L. *Física clássica: dinâmica, estática e hidrostática*. 1ª ed. São Paulo: Editora Atual, 1985, p.191-215.

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

CARVALHO, A. M. P.; 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.

DOMÉNECH, J. L.; GIL-PEREZ, D.; TORREGROSA, J. M.; VALDÉS, P. A introdução dos conceitos de trabalho e energia: exemplo de programa de atividades para orientar o trabalho dos estudantes. In: CACHAPUZ, A.; GIL-PEREZ, D.; CARVALHO, A. M. P.; PRAIA, J.; VILCHES, A (Org.). *A necessária renovação no ensino das ciências*. 1ª ed. São Paulo: Cortez Editora, 2005, p.127-151.

DUARTE, M. C. A história da ciência na prática de professores portugueses: implicações para a formação de professores de ciências. *Ciência e Educação*, v. 10, n. 3, p.317-331, 2004.

HEWITT, P. *Física conceitual*. 9ª ed. Porto Alegre: Editora Bookman, 2002, p.114-119.

HOFMANN, M. P.; GRANDI, B. C. S. Laboratório caseiro: um calorímetro alternativo. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 5, n. 1, p.47-49, 1988.

MARTINI, G.; SPINELLI, W.; REIS, H. C.; SANT'ANNA, B. *Conexões com a física 2: estudos do calor, óptica geométrica e fenômenos ondulatórios*. 3ª ed. São Paulo: Editora Moderna, 2016, p.14-18.

MATTHEWS, M. R. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 12, n. 3, p.164-214, 1995.

MEDEIROS, A.; MONTEIRO Jr, F. N. A reconstrução de experimentos históricos como uma ferramenta heurística no ensino da física. *III Encontro Nacional de Pesquisa em Educação e Ciências*, Atibaia: ENPEC, 2001. Disponível em: <<http://abrapecnet.org.br/enpec/iii-enpec/o12.htm>>. Acesso em: 25 dez. 2018.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa: um conceito subjacente. *Aprendizagem Significativa em Revista*, v. 1, n. 3, p.25-46, 2011.

MOREIRA, M. A. Al final, que és aprendizaje significativo? *Revista Currículum*, n.25, p.29-56, 2012.

MOREIRA, M. A. Mapas conceituais e aprendizagem significativa. *Revista Chilena de Educación Científica*, v. 4, n. 2, p.38-44, 2005. Revisado em 2012.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa em mapas conceituais. *Textos de Apoio ao Professor de Física*, v. 24, n. 6, p.1-49, 2013.

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. 151-165.

MOURÃO, M. F.; SALES, G. L. O uso do ensino por investigação como ferramenta didático-pedagógica no ensino de física. *Experiências em Ensino de Ciências*, v. 13, n. 5, p.428-440, 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.

PIETROCOLA, M.; POGIBIN, A.; ANDRADE, R.; ROMERO, T. R. *Física em contextos: pessoal, social e histórico: energia, calor, imagem e som*. 1ª ed. São Paulo: Editora FTD, 2010, p.96-117, p.162-165.

SEARS, F. W.; ZEMANSKY, M. W.; YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. *Física II: termodinâmica e ondas*. 12ª ed. São Paulo: Editora Addison Wesley, 2008, p.190-191.

SILVA, O. H. M.; LABURÚ, C. E.; NARDI, R. Reflexões para subsidiar discussões sobre o conceito de calor na sala de aula. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 25, n. 3, p.383-396, 2008.

SOUZA, R. S.; SILVA, A. P. B.; 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, 2014.