

**PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ESTUDO DA CONVERSÃO
ENERGÉTICA UTILIZANDO O EFEITO TERMOELÉTRICO**

**PROPOSAL OF A TEACHING SEQUENCE FOR THE STUDY OF ENERGY
CONVERSION USING THE THERMOELECTRIC EFFECT**

Harley Lucas de Souza Batista¹
Lino Martins de Holanda Júnior²
José Wagner Cavalcanti Silva³
João Lucas Oliveira de Andrade⁴

RESUMO

O uso de energias renováveis tem sido pauta frequente no que diz respeito ao abastecimento e fornecimento energético. Apesar disso, alguns mecanismos de geração de energia renovável têm sido pouco explorados nas escolas e universidades, como é o caso do efeito Seebeck. Essa observação nos impulsionou a analisar a aplicabilidade de uma fonte energética baseada nesse efeito. Utilizando placas cerâmicas termoeletricas, aplicamos um gradiente de temperatura entre seus terminais de modo que a temperatura da placa fria fosse mantida constante (aproximadamente 0 graus Celsius) e a placa quente com temperatura variável. A diferença de potencial (DDP) observada manteve-se sempre proporcional à diferença de temperatura aplicada, de acordo com a literatura consultada, com pico de aproximadamente 1,6 volts para dois módulos termoeletricos associados em série e submetidos a um gradiente de 56 graus Celsius entre seus terminais. Observamos também que o número de placas na associação em série aumenta a DDP resultante de forma linear, ou seja, a cada novo módulo adicionado foi constatado um aumento correspondente na DDP observada. Este fato sugere, a priori, que podemos conseguir uma DDP desejada ajustando o número de placas associadas. Para o desenvolvimento deste trabalho, utilizamos módulos termoeletrico de 16 centímetros quadrados de área, o qual é bastante prático em pequenas instalações, como por exemplo sistemas que utilizam microcontroladores. Ademais, pode ser aplicado como ferramenta de ensino em diferentes níveis educacionais, contribuindo para a difusão do efeito termoeletrico e da metodologia de aprendizagem prática. Portanto, aplicações utilizando o efeito Seebeck podem ser úteis tanto no desenvolvimento de novas tecnologias que buscam eficiência energética como um instrumento educativo no âmbito das ciências tecnológicas. Como perspectivas futuras, há possibilidade de utilização da energia solar como fonte de aquecimento do módulo termoeletrico e, com isso, termos uma fonte de energia limpa, barata e praticamente inesgotável com potencial de conversão em eletricidade.

Palavras-chave: efeito Seebeck; efeito termoeletrico; energia renovável; conversão energética; ensino de física.

¹ Graduando no Curso Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia (UFERSA);

² Prof. Dr. no Departamento de Ciências Exatas e Naturais (UFERSA);

³ Prof. Dr. no Ensino de Ciências e Matemática (UFCG);

⁴ Graduando no Curso Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia (UFERSA).

ABSTRACT

The use of renewable energy has been a frequent topic in terms of energy supply and provision. Despite this, some mechanisms for generating renewable energy have been little explored in schools and universities, such as the Seebeck effect. This observation prompted us to analyze the applicability of an energy source based on this effect. Using thermoelectric ceramic plates, we applied a temperature gradient between their terminals so that the temperature of the cold plate was kept constant (approximately 0 degrees Celsius) and the hot plate had a variable temperature. The observed potential difference (DDP) was always proportional to the applied temperature difference, according to the literature consulted, with a peak of approximately 1.6 volts for two thermoelectric modules associated in series and subjected to a gradient of 56 degrees Celsius between their terminals. We also observed that the number of plates in the series association increases the resulting DDP in a linear manner, that is, with each new module added, a corresponding increase in the observed DDP was observed. This fact suggests, a priori, that we can achieve a desired DDP by adjusting the number of associated plates. To develop this work, we used thermoelectric modules with an area of 16 square centimeters, which is quite practical in small installations, such as systems that use microcontrollers. Furthermore, it can be applied as a teaching tool at different educational levels, contributing to the dissemination of the thermoelectric effect and the practical learning methodology. Therefore, applications using the Seebeck effect can be useful both in the development of new technologies that seek energy efficiency and as an educational tool in the field of technological sciences. As future perspectives, there is the possibility of using solar energy as a source of heating for the thermoelectric module and, with this, we have a clean, cheap and practically inexhaustible source of energy with the potential to be converted into electricity.

Keywords: Seebeck effect; thermoelectric effect; renewable energy; energy conversion; physics teaching.

Disponibilidade: <https://ojs.revistacontemporanea.com/ojs/index.php/home/issue/view/40>;
DOI: <https://doi.org/10.56083/RCV5N5-107>

1 INTRODUÇÃO

A evolução da ciência ao longo dos anos revolucionou o modo como a humanidade se relaciona com o meio. A disseminação do conhecimento científico, porém, é frequentemente limitada pela ausência de incentivo à pesquisa e de políticas voltadas ao ensino, desde os níveis básicos até os mais avançados. Dentre as diversas áreas do conhecimento, o desenvolvimento de tecnologias para armazenamento, distribuição e geração de energia, em especial as renováveis, mostra significativo crescimento no estudo de novas alternativas. O uso de energia renovável está se tornando cada vez mais importante devido ao reconhecimento do impacto ambiental negativo da dependência de combustíveis fósseis. Nesse contexto, o efeito Seebeck tem atraído grande atenção como um fenômeno termoelétrico capaz de converter diferenças de temperatura em energia elétrica. O efeito Seebeck, também conhecido como efeito termoelétrico, foi descoberto em 1821 pelo físico alemão Thomas Johann Seebeck. Esse fenômeno ocorre em materiais condutores e semicondutores, em que uma diferença de temperatura em junções de diferentes materiais gera uma diferença de potencial elétrico, criando assim uma corrente elétrica. Essa propriedade intrínseca permite que alguns materiais convertam calor em eletricidade, tornando-os promissores para uso em dispositivos termoelétricos.

Usar o efeito Seebeck tem várias vantagens, sendo uma delas a capacidade de utilizar fontes de calor residual, que são subprodutos de muitos processos industriais e sistemas de

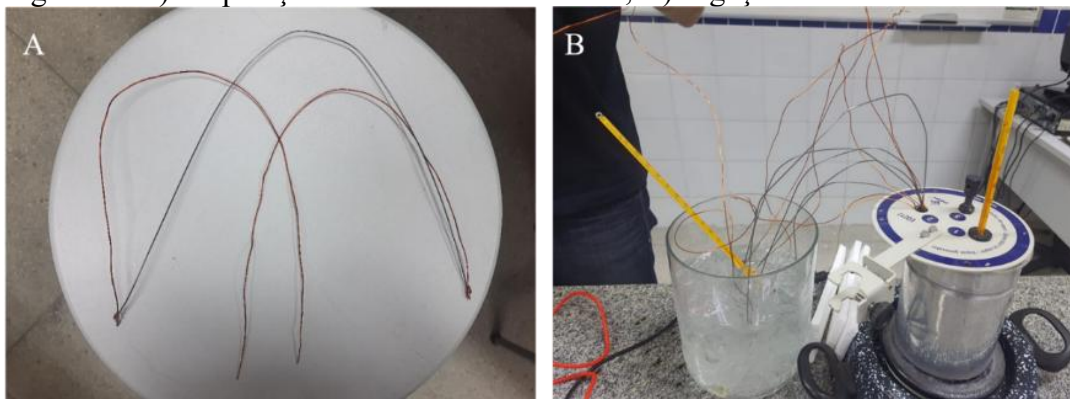
geração de energia. Além disso, ao contrário de outras formas de produção de energia, como a queima de combustíveis fósseis, o efeito Seebeck é limpo e não emite poluentes atmosféricos nocivos. No sistema baseado no efeito Seebeck, como nos módulos Peltier, não há necessidade de partes móveis, resultando em menor desgaste mecânico e ausência de vibrações. Além disso, esses sistemas são conhecidos por sua extrema leveza. Outras vantagens notáveis incluem o controle preciso de temperatura, menor necessidade de manutenção e redução do espaço físico necessário em comparação com outros tipos de equipamentos de geração energética. Apesar do grande potencial do efeito Seebeck, ainda existem alguns desafios a serem considerados. As eficiências relativamente baixas dos materiais termoelétricos atualmente disponíveis limitam seu uso em escala comercial. Além disso, a maioria dos materiais termoelétricos convencionais são caros e suas propriedades limitam seu uso em certas faixas de temperatura. A compreensão e domínio da conversão termoelétrica são essenciais não apenas para avanços na geração de energia, mas também para a educação científica e tecnológica. Proporcionar aos estudantes uma sequência lógica de ensino que explore o Efeito Seebeck pode ser uma abordagem poderosa para desenvolver seu entendimento sobre princípios de física, eletricidade e termodinâmica, ao mesmo tempo em que desperta seu interesse pelas questões energéticas do mundo real.

Neste trabalho, apresentaremos uma abordagem didática que visa guiar educadores e estudantes na jornada de compreender e aplicar o Efeito Seebeck na conversão de energia. Através desta sequência lógica de ensino, exploraremos os conceitos fundamentais, experimentos práticos e aplicações do Efeito Seebeck, oferecendo uma base sólida para a formação de futuros cientistas e/ou engenheiros na área de energia. Dessa forma, direcionaremos nossos esforços para explorar o Efeito Seebeck, utilizando a transposição didática de Chevallard como uma ferramenta que facilita a adaptação do conhecimento científico de modo a torná-lo mais acessível e absorvível.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

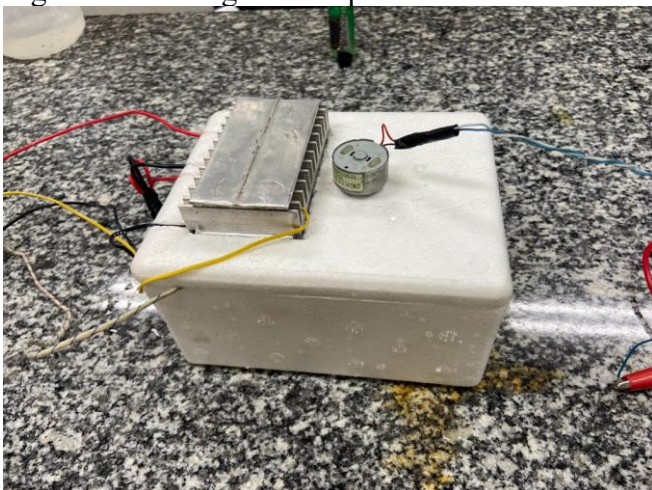
Tomando o efeito Seebeck como base, esse artigo parte de uma pesquisa com experimentos em que buscamos analisar inicialmente o comportamento do efeito em junções com fios de ferro e cobre (Figura 1). Embora os resultados e eficiências mudem com junções de materiais diferentes, aplicar o princípio através de componentes mais palpáveis ajuda a entender e projetar os comportamentos que possibilitem a aplicação desse tipo de geração energética. Posteriormente foram introduzidos módulos, conhecidas como pastilhas termoelétricas ou placas Peltier (efeito inverso ao Seebeck que é associado aos efeitos termoelétricos). Estes são dispositivos que utilizam o efeito Seebeck para proporcionar uma corrente elétrica com base na diferença de temperatura aplicada em cada uma de suas extremidades. Tais pastilhas são compostas por materiais semicondutores do tipo P e tipo N, os quais são cuidadosamente dispostos e soldados entre duas placas cerâmicas, proporcionando um desempenho muito superior aos fios (Figura 2).

Figura 1 - A) Disposição de fios de ferro e cobre; B) Ligações de fios em série



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

Figura 2 - Montagem com pastilhas termoeletricas



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

2.1 Sequência Didática

A unidade elementar que é necessária para compreender o aspecto processual de qualquer mediação pedagógica, de acordo com Zabala (1998, p.14), é definida como sequência didática. Essa unidade de análise é estabelecida como uma sequência de atividades, articuladas entre si, com vistas a atingir certos objetivos educacionais. Neste sentido, a sequência de atividades delineadas para abordar o tema da termoeletricidade foi planejada sob a perspectiva da transposição didática de Chevallard (1991). Sabemos que a transposição didática estabelece um processo pelo qual o conhecimento científico pode ser transformado em conhecimento ensinável, em que o conteúdo de estudo deve ser adequado às realidades dos alunos para que o assunto seja compreensível. Nesse processo, algumas etapas podem ser desenvolvidas para que o Saber Científico passe a Saber Ensinado e, por fim, seja absorvido pelos estudantes. De forma objetiva, parte-se de uma modelagem da teoria abstrata, passando posteriormente a uma modelagem didática na qual os conhecimentos são ajustados ao nível de compreensão, definindo os recursos facilitadores. O próximo passo é definir quais partes do conhecimento são de fato relevantes para serem transmitidas e, dessa forma, passar ao processo de didatização. Após definidos os planos de aulas, as estratégias educacionais e avaliativas, parte se para implementação, passível de adaptação durante o processo. Por fim, cabe ao educador avaliar através dos resultados o que de fato funcionou na metodologia de ensino abordada e melhorar as próximas transposições de ensino.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A abordagem do tema da termoeletricidade foi planejada para ser trabalhada em uma aula constituída por três momentos. A organização desses momentos em uma sequência didática apoiou-se no instrumento da transposição didática de Chevallard. Momento 1: Partindo de uma abordagem dialógica e problematizadora, fundamentada na observação do fenômeno, o tema sobre termoeletricidade pode ser introduzido explorando as ideias prévias dos estudantes (seus subsunçores). O arranjo experimental que propiciará a exploração prática do fenômeno consiste em um arranjo de dois fios de materiais condutores diferentes (como os utilizados nos experimentos, de ferro e cobre), além de um recipiente com gelo e outro com água quente. Para que seja possível medir os valores da diferença de potencial (ddp) (e corrente, se assim desejar) é necessário um multímetro. É importante também usar termômetros para que registrem a variação da temperatura entre os recipientes, mas o não uso não prejudica a demonstração do efeito.

Nesse momento os alunos são instigados a expressarem suas ideias sobre o que entendem por termoeletricidade e encorajados a discutir entre as eles e relacionar às suas experiências cotidianas acerca de eletricidade e calor. A partir daí o educador deve identificar conexões entre as ideias prévias e os conceitos teóricos, introduzindo os conceitos-chave relacionados à termoeletricidade para que seja construída uma base que ampare as próximas etapas do entendimento. Momento 2: Estabelecido os conceitos básicos sobre termoeletricidade, a discussão pode ser direcionada para as fontes renováveis de energia que possibilitem a obtenção da termoeletricidade. Dessa forma, o segundo momento deve ser conectado ao primeiro destacando como pode ser obtida a termoeletricidade e explanando alguns exemplos das fontes de calor renováveis disponíveis. Nesse ponto, é possível fazer uma correlação com as energias solar, geotérmica e a biomassa, por exemplo, explicando suas obtenções e os princípios dos processos, permitindo que os alunos reflitam sobre quais as possibilidades e os desafios associados às gerações energéticas. É fundamental também que nessa etapa sejam mencionadas as questões de eficiência, disponibilidade e impactos que podem ser causados decorrentes das abordagens tomadas. Momento 3: Com a base teórica estabelecida, os alunos terão a oportunidade de aplicar o que aprenderam nos momentos anteriores e vislumbrar na prática o fenômeno através da experimentação. O experimento a ser realizado deu origem ao presente artigo baseado na investigação do efeito Seebeck. Para realizar os procedimentos desenvolvidos em laboratório deve-se adotar os materiais indicados no momento um, fios condutores de dois materiais diferentes, dois recipientes (um com gelo e outro com água que possibilite ser aquecido), termômetros, multímetro e pequeno fogão ou aquecedor para o segundo recipiente. Com os materiais disponíveis, o primeiro passo é organizar as junções dos fios escolhidos. Os fios devem ter duas ligações de maneira que um dos materiais condutores fique no centro e nas pontas o outro fio escolhido, assim como indicado na Figura 1A. A partir dessa disposição dos fios, coloca-se uma das junções no recipiente frio (com gelo) e a outra junção no recipiente quente (água aquecida). Os termômetros são mantidos dentro de cada recipiente de maneira que possam averiguar a temperatura das junções. Os fios externos ficam com as pontas que estão soltas para fora dos recipientes. É nelas que o multímetro deve ser conectado para medir a ddp gerada pelo arranjo.

A ddp gerada por um conjunto pode ser muito pequena, como é o caso da ligação ferro cobre. Assim, se for do interesse do educador uma leitura com qualidade, é necessário um multímetro de alta precisão. Mas tendo como princípio a demonstração do efeito Seebeck, existe a possibilidade de fazer várias ligações em série do esquema da Figura 1A e obter valores mais altos de ddp. Os experimentos realizados mostraram um aumento linear da diferença de potencial obtida em função do número de ligações. No esquema da Figura 1B fizemos seis ligações em série, de forma que o valor alcançado para a ddp em função do gradiente de

temperatura também é linear. É importante ressaltar que o sentido da corrente é definido pela disposição das junções fria e quente. Então, ao fazer ligações em série deve se atentar para que as ligações não estejam invertidas uma em relação às outras. Com a montagem preparada, variamos a temperatura quente para perceber a relação entre o gradiente de temperatura e a ddp. Outra possibilidade da realização do experimento é com a substituição dos fios por pastilhas termoeletricas (módulos Peltier) nas quais os materiais apresentam um melhor coeficiente Seebeck e, portanto, melhor desempenho na geração de tensão. A montagem deve ser adaptada para que as faces dos módulos recebam a temperatura fria e quente. A Figura 2 mostra uma montagem onde a parte fria fica em contato com a parte interna de uma pequena caixa térmica enquanto a parte externa deve ser aquecida. No esquema também é possível perceber a existência de dissipadores que foram colocados para melhorar ainda mais o desempenho. O educador pode instigar também que os estudantes desenvolvam protótipos com o objetivo de ter melhores resultados e propor a reflexão de como os problemas e desafios desse tipo de tecnologia pode ser contornado e aplicado em grande escala.

4 CONCLUSÃO

A termoeletricidade é uma das alternativas da sociedade moderna para geração de energia e seu uso precisa ser estudado e ensinado como parte fundamental do processo de disseminação do método. Por isso, deve ser encorajado o desenvolvimento de sistemas educativos, como a sequência didática baseada no efeito Seebeck, aqui apresentada. Porém, é importante reconhecer que esta sequência ainda não foi testada e representa apenas um ponto de partida e convite para reflexão e um possível aprofundamento do tema. É contundente que a sequência seja executada e avaliada para determinar a sua eficácia na compreensão da termoeletricidade e as suas aplicações por parte dos alunos. Alinhado a isso, estimular neles o interesse pela busca de novas possibilidades de geração energética, principalmente as ainda subexploradas.

REFERÊNCIAS

BEEBY, S.P. et al. 11 - Kinetic, **Thermoelectric and solar energy harvesting technologies for smart textiles**, in {Multidisciplinary Know-How for Smart Textiles Developers, ed. Tünde Kirstein, Woodhead Publishing, 2013, pp. 306-328, Woodhead Publishing Series in Textiles.

CHEVALLARD, Yves. **La transposition didactique: du savoir savant au savoir enseigné**. Grenoble: La Pensée Sauvage, 1991.

FERNANDES, Jaine Daniele FS et al. Refrigeração utilizando pastilhas de efeito peltier. Vol. 2, p. 25-31. **HOLOS**, 2010.

FONSECA, D. Santos et al. Pressão atmosférica e natureza da ciência: uma sequência didática englobando fontes primárias. Vol. 34, n. 1, p. 64 108. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, abr. 2017.

GOLDSMID, H. Julian et al. **Introduction to thermoelectricity**. Berlin: Springer, 2010. Vol.121.

ZABALA, Antoni. **A prática educativa: como ensinar**. Porto Alegre: Penso Editora, 1998.