

## BCJ0205-15 - Fenômenos Térmicos - U - 2023.2

[Painel](#) / [Meus cursos](#) / [FETERM 2023.2](#) / [Experimento 4 \(27/07 e 03/08\)](#) / [Roteiro 4 - Máquina térmica de efeito Seebeck](#)

### Roteiro 4 - Máquina térmica de efeito Seebeck

#### Objetivos

Utilizar a eficiência de uma máquina de Carnot para estimar o máximo de potência retirada da fonte quente de um gerador termoelétrico submetido a uma diferença de temperatura conhecida.

#### Introdução

Um gerador termoelétrico é um dispositivo elétrico que transforma energia térmica em energia elétrica [1].

Ele constitui de dois condutores diferentes unidos por duas junções. Ao submeter as junções em diferentes fontes térmicas com diferentes temperaturas, observa-se o surgimento de uma força eletromotriz que faz movimentar as cargas livres nas ligas em uma corrente elétrica contínua.

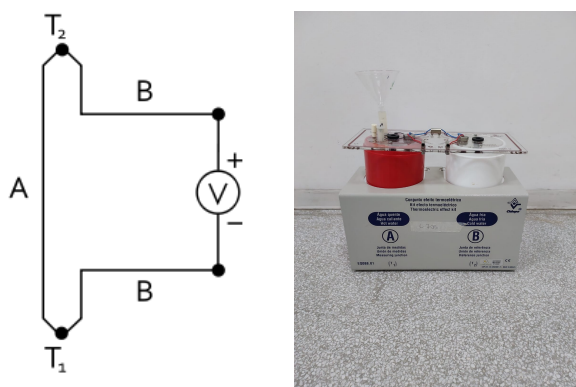
Esse efeito é conhecido como efeito Seebeck e pode ser caracterizado pela medida da força eletromotriz,  $V$ , gerada pela diferença de temperatura entre a fonte quente e a fonte fria.

A explicação microscópica conduz a um mecanismo de balanço de energia nos elétrons livres dos condutores. O aquecimento na junção impele os elétrons do material com nível de energia mais baixo para o material com nível de energia mais alto gerando uma força eletromotriz (diferença de potencial) entre eles.

A figura 1 esquematiza um circuito termoelétrico construído com materiais semicondutores possuindo portadores de carga diferentes (tipo-p que excede em carga positiva e tipo-n que excede em carga negativa) com a finalidade de obter um maior nível energético dos elétrons nas junções. A disposição dos materiais é configurada para funcionar como um gerador termoelétrico. A tensão elétrica  $V$  (diferença de potencial elétrico) produzida pelo efeito Seebeck num circuito semelhante ao mostrado na figura 1 pode ser descrita por

$$V \cong \alpha(T_V - T_R), \quad (1)$$

onde  $T_V$  e  $T_R$  são as temperaturas com as quais a junção está em contato e  $\alpha$  é o coeficiente de Seebeck ou potência termoelétrica.



**Figura 1:** Esquerda: Esquema de um gerador termoelétrico por efeito Seebeck [2]. Direita: Kit experimental de efeito Seebeck [3].

Na primeira parte do experimento, determina-se o coeficiente de Seebeck,  $\alpha$ , do kit experimental. Para tanto, toma-se as medidas da força eletromotriz,  $V$ , gerada para diversas temperatura  $T_V$ .

Na segunda parte, estima-se a potência consumida na fonte quente para a geração da corrente elétrica. Para isso, deve-se conhecer a resistência  $R$  do circuito. Parte do calor absorvido pela fonte quente será consumida para gerar a corrente elétrica que passa no circuito e o restante do calor será rejeitado para a fonte fria. Pela primeira lei da termodinâmica,

$$P_Q = P + P_F, \quad (2)$$

onde  $P_Q$  é a taxa de calor que sai da fonte quente,  $P$  é a potência elétrica para gerar a corrente contínua no circuito e  $P_F$  é a taxa de calor rejeitada para a fonte fria.

A potência dissipada pelo circuito devido a corrente é dado por:

$$P = V \cdot i = \frac{V^2}{R}, \quad (3)$$

onde  $R$  é a resistência do circuito,  $i$  é a corrente elétrica e  $V$  é a força eletromotriz gerada pelo gerador. Desse modo, define-se a potência dissipada,  $P$  no circuito como a potência útil (trabalho por unidade de tempo) fornecida pela máquina.

Caso fosse uma máquina de Carnot, o gerador termoelétrico operando entre uma temperatura quente  $T_Q$  e uma temperatura fria  $T_F$  teria sua eficiência dada por:

$$\varepsilon_C = 1 - \frac{T_F}{T_Q} = \frac{W}{Q_Q}, \quad (4)$$

onde  $W$  é o trabalho fornecido e  $Q_Q$  é o calor retirado da fonte quente pela máquina.

Manipulando o último termo da equação (4) com um intervalo de tempo arbitrário  $\Delta t$ , obtemos a potência  $P_Q$  consumida pela máquina de Carnot equivalente:

$$\varepsilon_C = \frac{W}{Q_Q} \cdot \frac{\Delta t}{\Delta t} = \frac{P}{P_Q} \Rightarrow P_Q = \frac{P}{\varepsilon_C}. \quad (5)$$

E, desse modo, pode-se estimar a potência máxima retirada da fonte quente.

## Procedimento experimental

### Materiais

- Água e gelo;
- Chapa de aquecimento;
- Termopar;
- Dois multímetros para medidas de temperatura, resistência e tensão elétricas;
- Um resistor de 100 Ohms;
- Par de cabos banana-banana (ou jacaré-banana);
- Béquer graduado para transporte e dispensa de água quente;
- Kit CIDEPE EQ088A, cujas peças a serem utilizadas são:

- placa com circuito de junta Fe-Constantan;
- funil de vidro para permitir a adição de água quente sem necessidade de remover a placa;
- copo branco para acondicionar a água na temperatura ambiente (referência);
- copo vermelho para acondicionar a mistura de água de temperatura variável;
- suporte metálico para acondicionar os copos e a placa com circuito sobre eles.

### Métodos

1. Insira o termopar na água do copo branco para medir a temperatura de referência  $T_R$  inicial e anote o valor na Tabela 1 da Folha de Dados.
2. Antes de colocar água no copo vermelho, conecte usando um dos cabos banana-banana (ou jacaré-banana) uma saída do multímetro com um terminal do circuito. Conecte, em série, a saída do multímetro a um terminal do resistor. O outro terminal do resistor deve ser conectado com outro cabo ao outro terminal do circuito. Primeiramente, meça a resistência elétrica ( $R$ ) e anote na Tabela 1 da Folha de Dados. Em seguida, meça e anote na mesma tabela a temperatura ambiente ( $T_{amb}$ ).
3. Retire o multímetro do circuito e conecte o resistor diretamente ao terminal do circuito. Conecte o multímetro nos terminais do resistor na posição de leitura de tensão contínua (DC).
4. Coloque água gelada no copo vermelho em quantidade suficiente para cobrir a sonda do circuito em até  $\approx 5$  cm ( $\approx 350$ ml).  
**Não deixe entrar pedras de gelo no recipiente!**
5. Posicione o copo vermelho no suporte e sobre ambos os copos a placa do circuito, cobrindo-os. Insira o termopar pelo orifício central da tampa do copo vermelho, de forma que este chegue até o fundo e registre a temperatura da água. Certifique-se de que o funil está seguramente acoplado à tampa do copo vermelho. Anote o valor da temperatura da água no copo vermelho

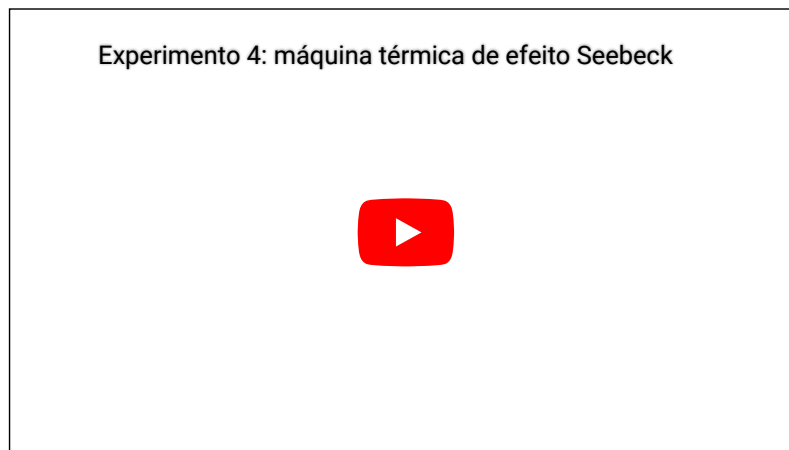
$T_V$  e da tensão  $V$  na Tabela 2 da Folha de Dados.

6. Coloque água quente no béquer, e despeje no funil em pequenas quantidades, da ordem de 10 ml por vez. Use o misturador para agitar a mistura de água quente e fria para que seja atingido o equilíbrio rapidamente. Ele deve ser atingido, com a agitação do misturador, em alguns segundos. Monitore o valor da temperatura. Enquanto esta não tiver subido pelo menos  $\approx 8^\circ\text{C}$ , continue o processo de adição gradual (passos de 10 ml) de água quente. Quando atingida a nova temperatura, com esse mínimo intervalo, anote os novos valores de  $T_V$  e  $V$  na Tabela 2 da Folha de Dados.

7. Repita o passo anterior até completar a Tabela 2 da Folha de Dados. Se o copo encher antes, esvazie-o e coloque água quente sem mistura (até quase a metade do copo), para conseguir mais medidas.

8. Antes de encerrar as medidas, retire a sonda do copo vermelho, faça mais uma medida da temperatura de referência do copo branco ( $T_R$ ), da resistência elétrica do circuito ( $R$ ) usando a disposição do circuito descrita na etapa 1 e da temperatura ambiente ( $T_{amb}$ ). Anote os valores na Tabela 1 da Folha de Dados.

## Vídeo sobre o experimento



## Precisão de instrumentos digitais

Se o termômetro possui uma escala graduada, o valor da incerteza instrumental é metade da menor divisão da escala. Para equipamentos eletrônicos, como o caso do multímetro, a definição da incerteza não é tão direta. Muitos acreditam que devido a natureza da tela digital apresentar números exatos, em comparação com uma leitura analógica (onde o valor é estimado), que um medidor digital não tem um erro associado. Em um equipamento eletrônico, além do erro associado a leitura do valor, temos um erro associado ao circuito, em específico o conversor analógico-digital. Para ajudar a entender o valor de uma medida em um equipamento eletrônico, os fabricantes apresentam a precisão no seguinte formato:

**Precisão da medida:  $\pm$  (% do valor apresentado + um número vezes o menor dígito)**

Como exemplo, na Tabela 1 temos as precisões do multímetro Minipa (ET-2075B) quando for utilizado para medir resistência, tensão DC ou temperatura. Imagine que medimos uma resistência, resultando  $R = 46,8\Omega$  na tela. Nesta faixa, temos a precisão de  $\pm (0,8\% + 5D)$ . Portanto o erro desta medida é de  $\sigma_R = 46,8 \times \frac{0,8}{100} + 5 \times 0,1 \approx 0,9\Omega$ . A precisão da medida registrada depende muito do instrumento digital utilizado. Por exemplo, a Tabela 2 fornece as precisões para o multímetro Minipa (ET-1953). Nem sempre o modelo do multímetro disponível no laboratório é aquele citado no texto do roteiro. Portanto, na aula, verifique qual o modelo e confirme com seu professor e/ou técnico qual a incerteza adequada a ser calculada para o multímetro que o seu grupo estiver usando.

| Faixa          | Precisão           | Resolução     |
|----------------|--------------------|---------------|
| 400 $\Omega$   | $\pm (0,8\% + 5D)$ | 0,1 $\Omega$  |
| 4 k $\Omega$   | $\pm (0,8\% + 4D)$ | 1 $\Omega$    |
| 40 k $\Omega$  |                    | 10 $\Omega$   |
| 400 k $\Omega$ |                    | 100 $\Omega$  |
| 4 M $\Omega$   |                    | 1 k $\Omega$  |
| 40 M $\Omega$  | $\pm (1,2\% + 5D)$ | 10 k $\Omega$ |

| Faixa  | Precisão           | Resolução |
|--------|--------------------|-----------|
| 40 mV  | $\pm (0,5\% + 6D)$ | 0,01 mV   |
| 400 mV | $\pm (0,5\% + 5D)$ | 0,1 mV    |
| 4 V    |                    | 1 mV      |
| 40 V   |                    | 10 mV     |
| 400 V  |                    | 100 V     |
| 1000 V | $\pm (1,0\% + 5D)$ | 1 V       |

| Faixa          | Precisão                                   | Resolução |
|----------------|--|-----------|
| -20°C ~ 1000°C | $\pm (1,0\% + 5D)$                         | 1°C       |
|                | $\pm (1,5\% + 15D) \geq 301^\circ\text{C}$ |           |
| -4°F ~ 1832°F  | $\pm (1,0\% + 5D)$                         | 1°F       |
|                | $\pm (1,5\% + 15D) \geq 573^\circ\text{F}$ |           |

**Tabela 1:** Tabela de precisão do multímetro **Minipa ET-2075B** na modalidade de resistência, tensão DC e temperatura.

| Faixa          | Precisão           | Resolução     |
|----------------|--------------------|---------------|
| 400 $\Omega$   | $\pm (1,2\% + 4D)$ | 0,1 $\Omega$  |
| 4 k $\Omega$   |                    | 1 $\Omega$    |
| 40 k $\Omega$  |                    | 10 $\Omega$   |
| 400 k $\Omega$ |                    | 100 $\Omega$  |
| 4 M $\Omega$   |                    | 1 k $\Omega$  |
| 20 M $\Omega$  | $\pm (3\% + 5D)$   | 10 k $\Omega$ |

| Faixa  | Precisão           | Resolução   |
|--------|--------------------|-------------|
| 400 mV | $\pm (0,5\% + 4D)$ | 100 $\mu$ V |
| 4 V    | $\pm (0,8\% + 4D)$ | 1 mV        |
| 40 V   |                    | 10 mV       |
| 400 V  |                    | 100 mV      |
| 600 V  |                    | 1 V         |

| Faixa        | Precisão                                | Resolução |
|--------------|---|-----------|
| -20°C ~750°C | $\pm(1,0\%+4D)$                         | 1°C       |
|              | $\pm(3\% + 10D) \geq 401^\circ\text{C}$ |           |
| -4°F ~1400°F | $\pm(1,0\%+4D)$                         | 1°F       |
|              | $\pm(3\% + 10D) \geq 573^\circ\text{F}$ |           |

**Tabela 2:** Tabela de precisão do multímetro **Minipa ET-1953** na modalidade de resistência, tensão DC e temperatura.

## Referências

- [1] F.J. Disalvo, Thermoelectric Cooling and Power Generation, Science **285** (5428): 703–6 (1999).
- [2] Ken Brazier, [File:Seebeck effect circuit 2.svg - Wikimedia Commons](#), última visita em 25/07/2023.
- [3] Manual CIDEPE, kit EQ088A.
- [4] H. Moysés Nussenzveig, Curso de Física Básica - 2, Editora Edgard Blücher (1996).
- [5] R.A Serway, J.W. Jewett Jr., Princípios de Física - vol. 2, Cengage Learning (2004).
- [6] A. A. Campos, E. S. Alves, N. L. Speziali, Física experimental básica na Universidade, Ed. UFMG (2008).
- [7] Otaviano A. M. Helene e Vito R. Vanin, Tratamento Estatístico de Dados em Física Experimental - Editora Edgard Blücher, 2ª edição (1991).

Última atualização: quarta, 26 Jul 2023, 12:55

◀ Relatório 3 - Parte 2

Seguir para...

Roteiro 4.pdf ▶



Este é o Ambiente Virtual de Aprendizagem da UFABC para apoio ao ensino presencial e semipresencial. Esta plataforma permite que os usuários (educadores/alunos) possam criar cursos, gerenciá-los e participar de maneira colaborativa.

## Informação

Conheça a UFABC

Conheça o NTI

Conheça o Netel

## Contato

Av. dos Estados, 5001. Bairro Bangu - Santo André /SP – Brasil. CEP 09210-580.

Siga-nos



Universidade Federal do ABC - Moodle (2023)

[Português - Brasil \(pt\\_br\).](#)

[English \(en\).](#)

[Português - Brasil \(pt\\_br\).](#)

[Obter o aplicativo para dispositivos móveis](#)