

POSSÍVEL ANALOGIA ENTRE A TERMODINÂMICA E A ELETRICIDADE NO ENSINO MÉDIO

POSSIBLE ANALOGIE BETWEEN THERMODYNAMICS AND ELECTRICITY IN HIGH SCHOOL

Diego Nonato Bastos Dias¹

¹Uninter. E-mail: diegonbd.eso@gmail.com

No decorrer do tempo, os educadores de física sempre estão em busca de novas formas de aperfeiçoar o processo de ensino-aprendizagem. Uma dessas formas é por meio da utilização de analogias para tornar os conceitos ensinados mais “reais” para os estudantes. O uso dessa ferramenta didática no âmbito do eletromagnetismo quase sempre tenta relacionar a mecânica de líquidos (como a água) com o movimento de campos elétricos e magnéticos. Portanto, neste trabalho, foi desenvolvida uma nova analogia, que utiliza grandezas termodinâmicas para o ensino de grandezas ligadas à eletricidade. Para verificar uma possível validade do uso dessa analogia, usamos quatro argumentos que utilizam conceitos presentes nos livros didáticos de Gaspar (2016a), Gaspar (2016b), Luz, Alvarez & Guimarães (2016a), Luz, Alvarez & Guimarães (2016b), Biscuola, Bôas & Doca (2016a) e Biscuola, Bôas & Doca (2016b). Tais argumentos também podem ser usados para inspirar professores na sala de aula. Verificamos que a analogia desenvolvida possui alguns pontos interessantes, pois ela permite, por exemplo, que o estudante relacione ciclos termodinâmicos com circuitos elétricos. Porém, ao mesmo tempo, demonstra-se limitada, pois não podemos usá-la para entender grandezas magnéticas ou grandezas vetoriais, como força e campo elétrico.

Palavras-chaves: Analogia. Eletricidade. Termodinâmica, Ensino de Física.

Over time, physics teachers are always looking for new ways to improve the teaching-learning process. One of these ways is using analogies to make the concepts taught more “real” for the students. The use of this teaching tool in the field of electromagnetism usually tries to relate the mechanics of liquids (such as water) with the movement of electric and magnetic fields. Therefore, in this work, a new analogy was developed, which uses thermodynamic quantities to teach quantities related to electricity. To verify the possible validity of the use of this analogy, we use four arguments that use concepts present in the textbooks by Gaspar (2016a), Gaspar (2016b), Luz, Alvarez & Guimarães (2016a), Luz, Alvarez & Guimarães (2016b), Biscuola, Bôas & Doca (2016a) and Biscuola, Bôas & Doca (2016b). Such arguments can also be used to inspire teachers in the classroom. We verified that the developed analogy has some interesting points, as it allows, for example, the student to relate thermodynamic cycles with electrical circuits. However, at the same time, it is limited, because we cannot use it to understand magnetic quantities or vector quantities, such as force and electric field.

Keywords: Analogy. Electricity. Thermodynamics. Physics Teaching.

1 INTRODUÇÃO

Na sala de aula, o principal papel do professor de física é tornar o processo de construção do conhecimento do estudante mais intuitivo e fácil para o entendimento dos fenômenos naturais que nos cercam. No entanto, essa construção de conhecimento no âmbito da aprendizagem sobre eletricidade, de acordo com Dorneles, Araújo e Veit (2006), apresenta dificuldades de ser realizada.

Tsai (2005) argumenta que, para um melhor desenvolvimento da prática docente, o protagonista educacional deve valorizar o uso de conhecimentos prévios dos estudantes. Tais conhecimentos prévios podem ser outros tipos de conhecimentos físicos aprendidos nos demais níveis de ensino.

Normalmente, para facilitar o ensino de eletricidade no terceiro ano do ensino médio, segundo Borges (1999) e Gentner e Gentner (1983), os professores de física usam analogias para explicar campos elétricos e magnéticos usando o comportamento de fluidos.

Nersessian (1992) argumenta que a utilização de analogias não é exclusiva do ensino, pois os cientistas da comunidade acadêmica também as usam para tentar desenvolver novas descobertas na física, como no caso

de Albert Einstein e seus famosos Gedanken *experiment* que o levaram à concepção, por exemplo, do princípio da equivalência.

Em outras palavras, a utilização de analogias, além de tornar o aprendizado mais fácil para os alunos, também pode ser uma forma de eles experimentarem a natureza da ciência durante o ensino médio.

Portanto, neste trabalho, pretendemos utilizar grandezas pertencentes ao estudo de termodinâmica (que normalmente é estudada no segundo ano do ensino médio) para desenvolver uma analogia com grandezas elétricas (que são aprendidas durante o terceiro ano).

Ao longo do trabalho, usaremos alguns conceitos presentes nos livros didáticos de física dos autores Gaspar (2016a), Gaspar (2016b), Luz, Alvarez & Guimarães (2016a), Luz, Alvarez & Guimarães (2016b), Biscuola, Bôas & Doca (2016a) e Biscuola, Bôas & Doca (2016b). Tal utilização visa verificar a validade da analogia desenvolvida e inspirar futuras práticas docentes.

Na conclusão, pretendemos abordar as vantagens e desvantagens existentes nesse tipo de analogia para o ensino de física.

2 PRINCIPAL FUNDAMENTO DA ANALOGIA ENTRE ELETRICIDADE E TERMODINÂMICA

De acordo com Gaspar (2016a), Gaspar (2016b), Luz, Alvarez & Guimarães (2016a), Luz, Alvarez & Guimarães (2016b), Biscuola, Bôas & Doca (2016a) e Biscuola, Bôas & Doca (2016b), a capacidade térmica pode ser calculada pela equação 1:

$$C_{\theta} = \frac{Q}{\Delta\theta} C_{\theta} = Q/(\Delta\theta) \quad (1)$$

Onde:

C_{θ} = capacidade térmica (Joule/Kelvin)

Q = calor (Joule)

θ = temperatura (Kelvin)

Δ = variação

Com base nas obras desses autores, podemos perceber que a capacidade térmica é calculada de forma bastante similar à capacidade elétrica.

$$C_e = q/(\Delta V)$$

$C_e = \frac{q}{\Delta V}$ Onde:

C_e = capacidade elétrica (Coulomb/Volt)

q = carga elétrica (Coulomb)

V = potencial elétrico (Volt)

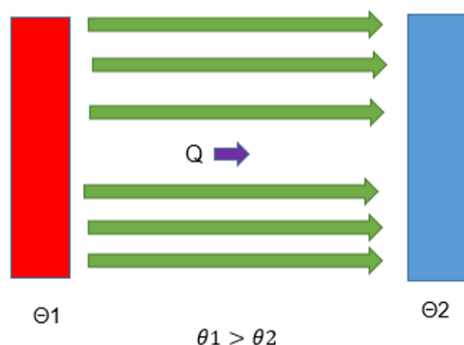
Desse modo, para realizar a analogia entre termodinâmica e eletricidade, precisamos fundamentar que o calor tem um comportamento análogo à carga elétrica, assim como a temperatura é análoga ao potencial elétrico.

Nas subseções a seguir, veremos sobre a validade deste fundamento da analogia em questão.

2.1 Relação entre irradiação e tomadas

Durante o segundo ano do ensino médio, aprendemos que a irradiação térmica é a transferência de energia na forma de calor de um corpo de maior temperatura para um corpo de menor temperatura separados por uma certa distância, como podemos ver na figura 1:

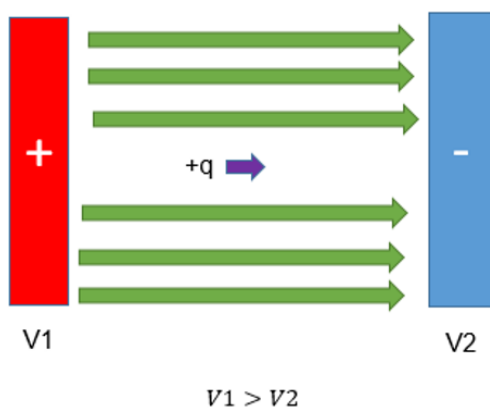
Figura 1: Esquema do funcionamento da irradiação térmica



Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Tomando a analogia como verdadeira, então podemos concluir que as cargas elétricas se movem de uma região de maior potencial elétrico para uma região de menor potencial elétrico.

Figura 2: Esquema do funcionamento de uma tomada



Fonte: Elaborada pelo autor, 2022

Isso significa que, usando a analogia, podemos ensinar como ocorre o funcionamento de uma tomada (ou de um campo elétrico uniforme entre barras infinitas) usando o processo de irradiação térmica.

2.2 Relação entre os ciclos termodinâmicos e as leis de Kirchhoff

Os ciclos termodinâmicos, de acordo com os autores mencionados, são fundamentais para a compreensão do funcionamento de máquinas térmicas.

entre...

Para que um ciclo termodinâmico funcione, é ideal que ele seja um sistema reversível. Se ele é um sistema reversível, de acordo com a segunda lei da termodinâmica, a variação de entropia desse sistema deve ser nula.

$$\Delta S = 0 \Delta S = 0 \quad (2)$$

Os livros didáticos de Gaspar (2016a), Gaspar (2016b), Luz, Alvarez & Guimarães (2016a), Luz, Alvarez & Guimarães (2016b), Biscuola, Bôas & Doca (2016a) e Biscuola, Bôas & Doca (2016b) apresentam que a variação de entropia pode ser calculada da seguinte forma:

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{\theta} \Delta S = (\Delta Q) / \theta$$

Usando a equação 2, podemos chegar à seguinte conclusão:

$$\Delta Q = 0 \Delta Q = 0$$

Logo, em um ciclo termodinâmico, a equação 3 é verdadeira:

$$\Delta Q_{total} = \Delta Q_1 + \Delta Q_2 + \Delta Q_3 + \dots + \Delta Q_n = 0 \Delta Q_{(total)} = \Delta Q_1 + \Delta Q_2 + \Delta Q_3 + \dots + \Delta Q_n = 0 \quad (3)$$

Usando a analogia, temos a equação 4:

$$\Delta q_{total} = \Delta q_1 + \Delta q_2 + \Delta q_3 + \dots + \Delta q_n = 0 \Delta q_{(total)} = \Delta q_1 + \Delta q_2 + \Delta q_3 + \dots + \Delta q_n = 0 \quad (4)$$

Coincidentemente, esta equação é uma das formas de expressar a primeira lei de Kirchhoff.

Em um ciclo termodinâmico, não apenas a variação da entropia é igual a zero, como também a variação da energia interna do sistema é nula.

$$\Delta U = 0 \Delta U = 0 \quad (5)$$

A variação de energia interna de um sistema termodinâmico pode ser calculada da seguinte forma:

$$\Delta U = \frac{3}{2} n R \Delta \theta \Delta U = 3/2 n R \Delta \theta$$

Onde:

R = constante dos gases ideais $\approx 8,3144598$ (Joule)/(Kelvin.Mol) $8,3144598 \cdot \frac{\text{Joule}}{\text{Kelvin.Mol}}$

n = número de mols do sistema (Mols)

Usando a equação 5, chegamos às seguintes conclusões:

$$\Delta\theta = 0 \Delta\theta = 0$$

$$\Delta\theta_{total} = \Delta\theta_1 + \Delta\theta_2 + \Delta\theta_3 + \dots + \Delta\theta_n = 0 \Delta\theta_{(total)} = \Delta\theta_1 + \Delta\theta_2 + \Delta\theta_3 + \dots + \Delta\theta_n = 0 \quad (6)$$

Utilizando a analogia na equação 6, temos a segunda lei de Kirchhoff:

$$\Delta V_{total} = \Delta V_1 + \Delta V_2 + \Delta V_3 + \dots + \Delta V_n = 0 \Delta V_{(total)} = \Delta V_1 + \Delta V_2 + \Delta V_3 + \dots + \Delta V_n = 0 \quad (7)$$

2.3 Relação entre a lei de Fourier e o efeito Franklin (poder das pontas)

Gaspar (2016a), Gaspar (2016b), Luz, Alvarez & Guimarães (2016a), Luz, Alvarez & Guimarães (2016b), Biscuola, Bôas & Doca (2016a) e Biscuola, Bôas & Doca (2016b) apresentam que o fluxo de calor em um condutor térmico (lei de Fourier) pode ser calculado usando a equação 8.

$$\phi = \frac{k.A.(\Delta\theta)}{L} \phi = (k.A.(\Delta\theta))/L \quad (8)$$

Onde:

ϕ = fluxo de calor (Joule/segundo = Watt)

A = área do condutor térmico (metro²)

L = comprimento do condutor térmico (metros)

k = condutividade térmica do material ($\frac{Watt}{metro.Kelvin}$)

Podemos observar que “A” é inversamente proporcional à variação de temperatura. Logo, se tomarmos a analogia como verdadeira, temos a seguinte relação de proporcionalidade.

$$\Delta V \propto \frac{1}{A} \Delta V \propto 1/A$$

Essa relação é condizente com o “poder das pontas”, um fenômeno físico descoberto por Benjamin Franklin, que prevê o acúmulo de cargas elétricas e de potencial elétrico nas partes mais pontiagudas de um condutor elétrico, ou seja, em lugares cuja área é extremamente pequena.

2.4 Relação entre a lei de Fourier e as leis de Ohm

Novamente, vamos usar o fluxo de calor num condutor térmico.

$$\phi = \frac{k.A.(\Delta\theta)}{L} \phi = (k.A.(\Delta\theta))/L$$

Além disso, vamos observar a segunda lei de Ohm.

$$R = \frac{\rho L}{A} R = (\rho L)/A \quad (9)$$

Onde:

R = resistência elétrica (Ohm)

ρ = resistividade elétrica do material (Ohm.metro)

Podemos relacionar as equações 8 e 9 da seguinte forma:

$$\phi = \frac{k.\rho.(\Delta\theta)}{R} \phi = (k.\rho.(\Delta\theta))/R$$

Aqui, podemos notar que a resistência elétrica é diretamente proporcional à variação de temperatura.

Curiosamente, a resistência elétrica também é diretamente proporcional à variação de potencial elétrico, como podemos ver na primeira lei de Ohm.

$$\Delta V = R \cdot i \Delta V = R \cdot i$$

Onde:

i = corrente elétrica (Coulomb/segundo)

3 CONCLUSÕES

Como podemos ver na seção 2, existem alguns argumentos favoráveis à validação da analogia. Por exemplo, usando-a, podemos perceber que circuitos elétricos são bastante semelhantes a ciclos termodinâmicos, ou seja, as leis de Kirchhoff possivelmente não são limitadas ao estudo da eletricidade.

Além disso, observando a atuação da analogia nas duas leis de Ohm, podemos perceber que as relações de proporcionalidade se mantêm, como no caso da variação de temperatura e da variação de potencial elétrico, que são diretamente proporcionais à resistência elétrica do material.

Porém, existem problemas, como podemos perceber no primeiro argumento, ele é válido apenas se consideramos a situação com cargas positivas.

Também é importante ressaltar que é muito provável que não exista uma possível analogia entre termodinâmica e magnetismo, pois grande parte das grandezas físicas relacionadas a efeitos magnéticos são grandezas vetoriais e grande parte das grandezas termodinâmicas são escalares. E, nos quatro argumentos

aqui apresentados, podemos perceber que foram usadas apenas relações entre grandezas escalares elétricas e termodinâmicas.

Apesar disso, essa analogia pode ser uma ferramenta bastante útil para o ensino de eletricidade, tanto pela redução do tempo nas deduções dos fenômenos e leis, como também pela possibilidade de construção de experimentos ou práticas intradisciplinares entre termodinâmica e eletricidade.

REFERÊNCIAS

- BISCUOLA, G.; BÔAS, N.; DOCA, R. **Física**: eletricidade: física moderna. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2016a. V. 3. Disponível em: <https://www.edocente.com.br/pnld/2018/obra/fisica-volume-3-saraiva>. Acesso em: 07 maio 2022.
- BISCUOLA, G.; BÔAS, N.; DOCA, R. **Física**: eletricidade: física moderna. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2016b. V. 2. Disponível em: <https://www.edocente.com.br/pnld/2018/obra/fisica-volume-2-saraiva>. Acesso em: 07 maio 2022.
- BORGES, T. A. Como evoluem os modelos mentais. **Ensaio**: Pesquisa em Educação em Ciências v. 1, n. 1, p. 85-125, Belo Horizonte: 1999. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/epec/a/bHKXtCD5SnMdppvGyhs4c5q/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 07 maio 2022.
- DORNELES, P. F. T.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. Simulação e modelagem computacionais no auxílio da aprendizagem significativa de conceitos básicos de eletricidade: parte i – circuitos elétricos simples. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 4, p. 487-496, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/mgGq3WMCwXR9GSsgMMtFfdh/?lang=pt>. Acesso em: 07 maio 2022.
- GASPAR, A. **Compreendendo a física**. 3. ed. São Paulo: Ática, 2016a. V. 3. Disponível em: <https://www.edocente.com.br/pnld/2018/obra/compreendendo-a-fisica-volume-3-saraiva>. Acesso em: 07 maio 2022.
- GASPAR, A. **Compreendendo a física**. 3. ed. São Paulo: Ática, 2016b. V. 2. Disponível em: <https://www.edocente.com.br/pnld/2018/obra/compreendendo-a-fisica-volume-2-atica>. Acesso em: 07 maio 2022.
- GENTNER, D.; GENTNER, D. R. Flowing waters or teeming crowds: mental models of electricity. In: GENTNER, D.; STEVENS, A. L. **Mental models**. Hillsdale: Erlbaum, 1983. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=G8iYAgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA99&dq=Flowing++waters++or++teeming++crowds:+ +mental++models++of++electricity&ots=aNsNRXFAGy&sig=TTzXbJ44ZlnWGGQeyt0Ram550oE#v=onepage&q=Flowing%20waters%20or%20teeming%20crowds%3A%20mental%20models%20of%20electricity&f=false>. Acesso em: 07 maio 2022.
- LUZ, A.; ÁLVARES, B.; GUIMARÃES, C. **Física**: contexto & aplicações: ensino médio. 2. ed. São Paulo: Scipione, 2016a. V. 3. Disponível em: <https://www.edocente.com.br/pnld/2018/obra/fisica-contexto-e-aplicacoes-volume-3-scipione>. Acesso em: 07 maio 2022.
- LUZ, A.; ÁLVARES, B.; GUIMARÃES, C. **Física**: contexto & aplicações: ensino médio. 2. ed. São Paulo: Scipione, 2016b. V. 2. Disponível em: <https://www.edocente.com.br/pnld/2018/obra/fisica-contexto-e-aplicacoes-volume-2-scipione>. Acesso em: 07 maio 2022.
- NERSESSIAN, N. How do scientists think? Capturing the dynamics of conceptual change in science. In: GERE, R. **Minnesota studies in Philosophy of Science**: cognitive models of science. Minneapolis: University of Minnesota Press, 1992. v. XV. Disponível em: <https://www.cc.gatech.edu/aimosaic/faculty/nersessian/papers/how-do-scientists-think.pdf>. Acesso em: 07 maio 2022.
- TSAI, C.C. The preferences toward constructivist internet-based learning environments among university students in Taiwan. **Computers in Human Behavior**, v. 24, n. 1, p.16-31, jan. 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0747563206001518>. Acesso em: 07 maio 2022.