

# **O CONCEITO DE TERMODINÂMICA E DA 1° LEI EXTRAPOLADO PARA UM CENÁRIO DE LOGÍSTICA E ARMAZENAMENTO USANDO A VARIAÇÃO DE ENERGIA INTERNA**

Marcos Rafael Pereira Batista

marcosrafaelb@hotmail.com

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI

**Resumo:** Pode se ter a ideia que os conceitos de termodinâmica e de suas leis possam ser expressadas apenas em exemplos físico/químico, porem ele pode ser usado em vários outros ambientes. O conceito será usado em um cenário de logística, onde um centro de distribuição terá que atender cinco clientes. Além disso, se calculará a energia interna que esse mesmo centro precisa para levar sua mercadoria até seus clientes. Ele possui um cenário fictício para melhor exemplificar esses conceitos.

Palavras chave: termodinâmica; logística; centro de distribuição; energia interna;

## **THE CONCEPT OF THERMODYNAMICS AND THE 1° LAW EXTRAPOLATED TO A LOGISTICS AND STORAGE SCENARIO USING THE INTERNAL ENERGY VARIATION**

**Abstract:** One can have the idea that the concepts of thermodynamics and its laws can be expressed only in physical / chemical examples, but it can be used in many other environments. The concept will be used in a logistics scenario, where a distribution center will have to serve five customers. Furthermore, it has calculated the internal energy that this same center needs to take its merchandise to its customers. It has a fictitious scenario to best exemplify these concepts.

Keywords: thermodynamics; logistics; distribution center; internal energy;

## 1. INTRODUÇÃO

O conceito de energia interna muito empregado em termodinâmica engloba várias definições usados hoje na química, na física e até em cursos de graduação e pós-graduação, provando ser um tema muito importante nas nossas vidas. A fórmula de energia é demonstrada por esta equação:

$$\Delta u + \Delta Ep + \Delta Ek = Q - W$$

Nesta equação o  $\Delta u$  significa variação de energia interna,  $\Delta Ep$  significa variação da energia potencial, o  $\Delta Ek$  é a variação da energia cinética, o  $Q$  é o calor e o  $W$  é o trabalho realizado no sistema em estudo.

Porém esse conceito pode se expandir para nossa vida e ser usadas de diferentes formas, não apenas utilizando as variáveis calor e trabalho. As mesmas também podem ser interpretadas de uma maneira diferente da usual.

Este trabalho tem a finalidade de mostrar este conceito em um cenário de logística, onde o centro de distribuição se encontra distantes de seus clientes. Este cenário é fictício, porém não o torna distante da realidade e pode ser usada hoje em dia para diferentes outros exemplos.

Antes vamos mostrar algumas definições importantíssimas para continuidade do trabalho, como termodinâmica, as leis da termodinâmica e alguns outros conceitos.

No dicionário Aurélio, termodinâmica “é o estudo das leis que reagem as relações entre calor, trabalho e outras formas de energia, mais especificamente as transformações de um tipo de energia em outra, a disponibilidade de energia para a realização de trabalho e a direção das trocas de calor”. Fica claro então que toda transformação de energia em outra, o conceito termodinâmico está presente, por exemplo, na transformação de energia cinética em energia potencial, energia mecânica em energia elétrica etc. Este conceito de termodinâmica se originou a partir de estudo de Nicolas Léonard Sadi Carnot (1796 – 1832), que trouxe à tona a concepção de transformações cíclicas e a reversibilidade das operações.

Conforme Anexo I, temos uma tabela de alguns acontecimentos que marcaram a época sobre o surgimento da termodinâmica e sobre Carnot que pode ser entendido como a história da termodinâmica, evidenciando fator curiosos e relevantes sobre o tema.

A 1º Lei da termodinâmica (também conhecida como Princípio da Conservação da Energia), define que a variação de energia interna que um sistema possui é igual a soma de trabalho e calor, portanto:

$$\Delta U = Q - W$$

$\Delta U$  é a variação ou trocas de energias dentro do sistema, o  $W$  é o quanto de trabalho realizado pelo sistema e o  $Q$  é a quantidade de calor foi fornecida ou retirado ao corpo no sistema. Isto tudo demonstra que a energia é sempre conservada e nos define a importância do entendimento de calor e trabalho nos processos de transformação. Martinez e Perez (1997) define calor como sendo a quantidade de energia que os corpos apresentam.

Já a 2º Lei da termodinâmica vem com o intuito de nos mostrar vários conceitos diferentes, como o de entropia e temperatura. Além disso, essa lei vem salientando que toda máquina não consegue converter totalmente calor em trabalho com uma máxima eficiência, pois sempre existirá perder no processo em forma de calor para um corpo ou ambiente de menor temperatura. Quando a energia é transformada, é possível a realização de um trabalho útil, com a mudança da forma de energia. Disso essa lei fala que é impossível converter totalmente energia térmica em trabalho útil. Ela também vem mostrando que em toda transformação, uma parte é degradada para o sistema.

A 3º Lei da Termodinâmica se origina com a tentativa de estabelecer um certo ponto de referência para determinar a entropia (que é uma grandeza da termodinâmica que mede o grau de desordem ou de aleatoriedade de um sistema). Porém Nernst, físico muito importante, concluiu que é impossível que qualquer uma substância pura não consiga atingir uma temperatura de zero graus apresentasse uma entropia também de zero. Por causa disso, muitos cientistas e físicas a considera como apenas uma regra e não uma terceira lei.

Outro conceito muito importante que devemos entender é o da energia interna que pode ser entendida como a soma de todas as energias que as partículas possam ter dentro de um sistema. Para se fazer essa soma as energias cinéticas de agitação, os potenciais e pode ser considerada até as nucleares.

Esse conceito de energia interna será muito importante para esse artigo, pois pegaremos essa definição e colocaremos dentro de um setor logístico. A logística sempre tende atender ao seu consumidor final e encontrar os melhores caminhos para economizar tempo e recursos da empresa, tanto material, pessoal e financeiro. Conforme disse Ballou (2006) salienta que logística é um processo de planejamento, controle de fluxo e de informação, de implantação e para melhorias.

Por isso dentro da logística, o centro de distribuição (conhecido como CD), tem o papel importantíssimo para essas economias de recursos. Um CD é um lugar onde se tem grande capacidade de armazenamento de mercadorias, e ele se encontra os mais perto de seus potenciais clientes. Lopes, Souza e Moraes (2006) define que a função de armazenar compreende inúmeras atividades, dentre as mais importantes é guardar, manusear e proteger os produtos para atender as necessidades operacionais da empresa.

O intuito deste trabalho é mostrar que as leis da termodinâmica podem ser transportadas para o nosso dia-a-dia, não somente em questões relacionadas a física ou química. Irá se transportar essa ideia para resolver um problema de energia interna, utilizando a 1<sup>o</sup> Lei da Termodinâmica em um centro de distribuição. Calcularemos a energia interna necessária para ir do centro de distribuição para seus cinco clientes, situados em distâncias diferentes.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

Para melhor exemplificar as definições de energia interna para o setor de logística, foi criado um cenário onde se encontra um centro de distribuição no meio de cinco clientes equidistantes do CD, esse esquema pode ser visualizado no Anexo II:

Nota-se que o centro de distribuição está a 12 quilômetros do cliente 1, está a 7 quilômetros do cliente 2, 5 quilômetros do cliente 3, 10 quilômetros do cliente 4 e 2 quilômetros do cliente 5. O produto/mercadoria que o CD está levando aos seus clientes não é importante para esse estudo. O que importa para esse estudo é notar que os clientes estão a distâncias diferentes do CD.

Como já explicado anteriormente, esse cenário foi criado para mostrar melhor como a definição de energia interna pode ser ampliado para inúmeros outros cenários.

O caminhão que será utilizado é um caminhão da marca Ford da série Cargo 816 e como combustível ele usa o diesel, como ilustra o Anexo III, a seguir. Suas características e quilometragem foram retiradas da ficha técnica fornecida pela Ford em seu próprio site sobre o caminhão em questão.

Esse caminhão foi escolhido pelo baixo peso dele e é um dos caminhões leves de menor consumo, cerca de 8 km/l (dado pesquisado no site de fabricação do caminhão). Pois escolhendo um caminhão com essas características, a energia será o menor possível e o trabalho ( $W$ ) será o melhor possível. Para esse exemplo, quanto menor o trabalho melhor é para a empresa, pois como o trabalho ( $W$ ) simboliza a distância do centro de distribuição para os clientes, quanto menor o trabalho realizado, menos recursos se mobilizará para atingir as distâncias entre eles.

Consequentemente, o calor ( $Q$ ) que é o consumo utilizado pelos caminhões, seguem a mesma ideia do trabalho ( $W$ ). Quanto menor o valor de  $Q$  melhor para a empresa, pois assim indica que se gastará para chegar aos clientes.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesse artigo, a fórmula de energia interna será transportada para outro cenário. A fórmula já explicada anteriormente é a seguinte:

$$\Delta u + \Delta Ep + \Delta Ek = Q - W$$

Cada variável nessa equação tomará outros significados, porém manteremos seu conceito.  $\Delta u$  é a variação de energia interna dentro da operação/sistema, e para esse exemplo o  $\Delta u$  é a quantidade de mercadorias que se encontra dentro do centro de distribuição. Essa quantidade é variável pois podem chegar muitos produtos e como despachar muitos produtos, isso mostra que essa quantidade sempre varia ao longo do tempo.

O  $\Delta Ep$  é a variação de energia potencial dentro do sistema em estudo e para esse exemplo ele será a capacidade de escoamento que o centro de distribuição possui, tanto na capacidade de receber mercadorias em seu estoque como também a capacidade de escoar seus produtos para seus clientes, neste cenário. O conceito de  $\Delta Ek$  está relacionado com a movimentação dos corpos no sistema, e para esse exemplo ele está ligado com o valor da massa e da movimentação dos produtos dentro do centro de distribuição.

O  $Q$  que na fórmula simboliza o calor gerado ou retirado do sistema, nesse exemplo ele indicará o consumo de combustível que os caminhões utilizarão para levar as mercadorias do centro de distribuição para os cinco clientes. E, por fim, o trabalho ( $W$ ) que é o trabalho realizado pelo sistema, nesse exemplo indicará o trabalho que o centro de distribuição tem para chegar até os seus clientes, traduzindo, é a distância que cada cliente se encontra do centro de distribuição. E para isso se tem um caminhão como já descrito anteriormente para percorrer essas distâncias.

As entregas serão realizadas uma vez por semana para os clientes, assim segunda-feira será para atender o cliente 1, terça-feira para o cliente 2, quarta-feira para o cliente 3, quinta-feira para o cliente 4 e sexta-feira para o cliente 5. Assim, para ir ao cliente 1 é de 60 km/mês, cliente 2 é de 35 km/mês, para o cliente 3 é de 25 km/mês, para o cliente 4 será de 50 km/mês

e para chegar ao cliente 5 é de 10 km/mês. Essas distâncias, então, simbolizam o trabalho ( $W$ ) do centro de distribuição até os destinos finais.

Como já informado anteriormente, o consumo do caminhão é de 8 km/litro. Então como visto que mensalmente para ir até o cliente 1 tem uma distância de 60 km/mês se têm um consumo de 480 litros de combustível. O cliente 2 fica a 35 km/mês do centro de distribuição, tendo assim um consumo de 280 litros. O cliente 3 se encontra a 25 km/mês, tendo um consumo de 200 litros de combustível. Tendo o cliente 4 a 50 km/mês com um consumo de 400 litros e o cliente 5 se encontra a 10 km/mês tendo um consumo de 80 litros de consumo. Todos esses valores equivalem ao valor de calor ( $Q$ ) em litros para esse exemplo/sistema.

O caminhão tem como combustível o diesel e como pesquisado no site da globo.com o preço do litro é de R\$ 3,551 reais/litro. O gasto mensal de combustível para os clientes varia pois varia a distância deles para o centro de distribuição, tendo assim um gasto para o cliente 1 de R\$1.704,48 reais; R\$ 994,28 reais para o cliente 2; R\$ 710,20 reais para o cliente 3; R\$ 1.420,40 reais para o cliente 4 e de R\$ 284,08 reais para o cliente 5.

Para exemplificar, usaremos a fórmula da 1º Lei da Termodinâmica para calcular a variação de energia interna ( $\Delta U$ ) para cada um dos clientes usando calor ( $Q$ ) e o trabalho ( $W$ ):

$$\Delta U = Q - W$$

Um fato importante antes de se começar os cálculos, tem que ser ter em mentes que esses cálculos são apenas ilustrativos, ou seja, é apenas um exemplo para demonstrar os conceitos e da fórmula da 1º Lei da Termodinâmica.

## **I. Cliente 1**

O cliente 1 se encontra a 12 quilômetros de distância do centro de distribuição. Como já calculado anteriormente, o valor de calor ( $Q$ ) em litros é de 480 e o trabalho ( $W$ ) é de 60 km/mês. Calculando a energia interna, temos:

$$\Delta U = Q - W$$

$$\Delta U = 480 - 60$$

$$\Delta U = 420 \text{ J}$$

Isso mostra que a energia interna que o centro de distribuição disponibiliza para o cliente 1 é de 420 J (joules).

## **II. Cliente 2**

O cliente 2 está a 7 quilômetros de distância do centro de distribuição, tem um valor de calor ( $Q$ ) em litros de 280 e se tem um trabalho ( $W$ ) de 35 km/mês. Assim, calculando o valor de energia interna:

$$\Delta U = Q - W$$

$$\Delta U = 280 - 35$$

$$\Delta U = 245 \text{ J}$$

Fica claro então que a energia interna necessária para ir até esse cliente é de 245 J (joules).

### III. Cliente 3

Este cliente se encontra a 5 quilômetros do centro de distribuição, possui um valor de calor ( $Q$ ) em litros de 200 e um valor de trabalho ( $W$ ) de 25 km/mês. Calculando a energia interna para esse cliente, se têm:

$$\Delta U = Q - W$$

$$\Delta U = 200 - 25$$

$$\Delta U = 175 \text{ J}$$

Então a energia interna para se atender o cliente 3 é de 175 J (joules).

### IV. Cliente 4

Este cliente se encontra a 10 quilômetros do centro de distribuição, tem um valor de calor ( $Q$ ) em litros de 400 e um valor de trabalho ( $W$ ) de 50 Km/mês. Assim, para o cálculo da energia interna temos:

$$\Delta U = Q - W$$

$$\Delta U = 400 - 50$$

$$\Delta U = 350 \text{ J}$$

O centro de distribuição então precisa de um valor de 350 J (joules) de energia interna para atender esse cliente.

### V. Cliente 5

Este cliente se encontra a 2 quilômetros do centro de distribuição, e tem um valor de calor ( $Q$ ) em litros de 80 e um trabalho ( $W$ ) de 10 km/mês. Calculando a energia interna, temos:

$$\Delta U = Q - W$$

$$\Delta U = 80 - 10$$

$$\Delta U = 70 \text{ J}$$

Para se atender este cliente, o centro de distribuição precisa de 70 J (joules) de energia interna.

## **VI. Conclusão da energia interna para os cinco clientes**

Vimos que nesse exemplo, quanto menor o trabalho ( $W$ ) e o valor de calor ( $Q$ ) é melhor, pois isso significa que a empresa teve que usar pouco da sua energia interna para atender seus clientes.

Então, nota-se que o cliente 5 teve o menor valor de energia interna (com um valor de 70 J), pois ele se encontra o mais perto de todos os outros clientes, e conseqüentemente, terá um menor gasto de litros de gasolina para atendê-lo. E o cliente com maior valor de energia interna, o cliente 1 (com um valor de 420 J), é o que se encontra mais longe do centro de distribuição, e assim, terá um maior gasto com gasolina para o atender.

Isso tudo mostra que nesse exemplo, quanto maior for o valor de energia interna, pior será para o centro de distribuição, que terá que mover mais recursos de trabalho e calor para atender seus clientes.

## **4. CONCLUSÕES**

Sabemos que o termo termodinâmica, muito usada hoje, tanto nas matérias de graduação, quanto na pós-graduação, evidenciando a importância que ele tem. O mais interessante que os conceitos neles descritos, podem ser elencadas em vários outros exemplos, como o caso deste artigo usado em uma questão logística, mas também em inúmeros outros exemplos utilizados em lâmpadas LED, barragens de mineradoras e outras.

Foi utilizada o conceito de energia interna para poder mostrar, com um exemplo hipotético, como um centro de distribuição mover suas cargas dentro e fora dele, mostrando as variações de energia que nele podem conter. Porém, poderia ser utilizada as outras variáveis também, como a variação de energia cinética ( $\Delta Ek$ ) ou até mesmo a variação de energia potencial ( $\Delta Ep$ ). Todas essas variáveis podem ser encontradas dentro de um armazém, para movimentar as cargas internamente e para erguer as mesmas, mostrando que a fórmula  $\Delta u + \Delta Ep + \Delta Ek = Q - W$  pode ser calculada para todos os clientes do centro de distribuição. Este



artigo pode servir de auxílio para futuros estudos, que desejam continuar a calcular as outras variáveis.

## 5. AGRADECIMENTO

A CNPQ, através do Programa de bolsas, pelo apoio financeiro.

## 6. REFERÊNCIAS

AURÉLIO. **Dicionário do Aurélio Online 2018.** Disponível em: <<https://dicionariodoaurelio.com/termodinamico>>. Acesso em: 07 de Abr 2019.

BALLOU, R. H. Gerenciamento da cadeia de suprimentos: logística empresarial. Porto Alegre; Bookman, 2006, 5º ed.

PASSOS, Júlio César. Carnot e a Segunda Lei da Termodinâmica. **ABENGE: Revista de Ensino de Engenharia**, v. 22, n. 1, p. 25-31, 2003.

**Preço do litro da gasolina e do diesel sobe nos postos.** Disponível em <<https://g1.globo.com/economia/noticia/2019/04/12/preco-do-litro-da-gasolina-e-do-diesel-sobe-nos-postos-diz-anp.ghtml>>. Acesso em: 08 de Abr 2019.

**CARGO 816.** Disponível em <<https://www.fordcaminhoes.com.br/content/ford-brazil-trucks/pt-br/cargo/c-816/especificacoes-tecnicas.html>>. Acesso em 12 de Abr 2019.

**ENERGIA INTERNA.** Disponível em <<https://www.sofisica.com.br/conteudos/Termologia/Termodinamica/energiainterna.php>>. Acesso em 11 de Abr 2019.

LOPES, Alexandre Souza; SOUZA, Eustáquio Rabelo; MORAES, Marcio Ladeira. **Gestão estratégica de recursos materiais: um enfoque prático.** Rio de Janeiro: Fundo de Cultura, 2006.

MARTÍNEZ, J.M., PÉREZ, B. A. **Estudo de propostas alternativas en la enseñanza de la termodinámica básica, Enseñanza de Las Ciencias**, n.15(3), p. 287-300, 1997

NASCIMENTO, Cássius K.; BRAGA, João P.; FABRIS, José D. **Reflexões sobre a contribuição da Carnot à primeira lei da termodinâmica.** Química Nova, v. 27, n. 3, p. 513-515, 2004.

ANACLETO, Joaquim; ANACLETO, Alcinda. **Sobre a primeira lei da termodinâmica. As diferenciais do calor e do trabalho.** Química Nova, v. 30, n. 2, p. 488, 2007.

MOREIRA, Ney Henrique et al. Sobre a primeira lei da termodinâmica. **Química Nova**, 2001.

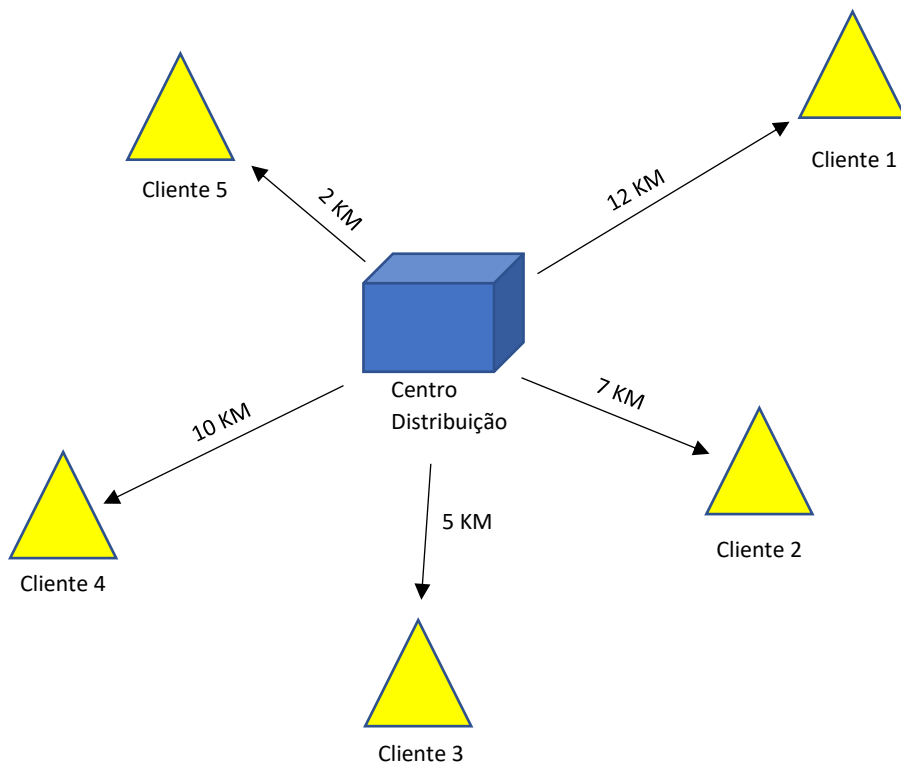
## ANEXO I

Anexo I – Linha do Tempo de Carnot e Termodinâmica (timeline of Carnot and thermodynamics).

Ano	Autor	Fato e comentário	Fonte
1698	Thomas Savery (1650-1715).	Apresenta seu invento a Guilherme III. A máquina era constituída por uma caldeira e de um reservatório, para retirada de água de uma galeria de mina de cobre.	Mantoux (1905). Pág. 313-315
1705 ou 1706	Thomas Newcomen (1663-1729).	Em sua máquina em 1720, o vapor produzido em uma caldeira preenchia um reservatório em contato com água fria, permitindo a criação de um vácuo, provocando a descida do êmbolo que movimentava o acionamento de uma bomba.	Mantoux (1905). Pág. 315-318.
1783	Lazere Carnot (1753-1819).	Publicou o livro “Ensaio sobre as máquinas em geral”, onde se discute uma máquina com funcionamento ideal.	Fox (1978).
1769	James Watt (1736-1819).	Primeira patente requerida por Watt para máquina a vapor.	Mantoux (1905). Pág. 319-341.
1774	James Watt (1736-1819).	James Watt se associa com Matthew Boulton e passam a fabricar máquinas a vapor.	Sproule (1993).
1800	James Watt (1736-1819).	Expira a patente de Watt. Chega ao fim a sociedade entre Watt e Boulton.	Sproule (1993).
1822	Jean-Baptiste-Joseph Fourier (1768-1830).	Publicação da Teoria Analítica do Calor.	Fox (1978).
1833	Bernoît Paul Emile Clapeyron (1799-1864).	Descobre o trabalho de Carnot sobre um ciclo de um gás e o diagrama pressão-volume.	Fox (1978), Prigogine e Kondepudi (1999) e Bejan (1988).
1845	William Thomson (Lorde Kelvin) (1824-1907).	Propõe escala absoluta de temperatura, derivadas dos conceitos de Carnot.	Dugdale (1996).
1860	Rudolf Clausius (1822-1888).	Introduz o conceito de entropia.	Prigogine e Kondepudi (1999).

Fonte: Passos (2003).

## ANEXO II



Anexo II – Cenário para o setor logístico (scenario for the logistics sector). (Fonte: Próprio autor)

## ANEXO III



Anexo III – Caminhão da marca Ford da série Cargo 816 (truck of the brand Ford of the series Cargo 816). (Fonte: Ford caminhões, 2019)