



## OS PRINCÍPIOS TERMODINÂMICOS E A ENTROPIA

Otávio Cândido da Silva Neto (1); Irackson Ferreira Almeida (1); Jorge Danilo Rodrigues Moreira (2); Fernanda da Cruz Almeida (3).

*IFMA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, campus Açailândia.  
E-mail: otavio.csn@hotmail.com*

**Resumo:** O presente trabalho traz uma retomada sobre os três princípios da Termodinâmica, é um trabalho de revisão bibliográfica que busca relacionar tais conceitos com também o conceito de entropia. Vem buscar relações da termodinâmica e entropia em alguns aspectos da sociedade, tais como entropia e cosmologia e entropia e vida. Foi feito através de leituras e marcações de livros e artigos científicos.

*Palavras chaves: termodinâmica, entropia, big-bang.*

### 1 INTRODUÇÃO

A Ciência na sociedade moderna ficou com grande responsabilidade, a de identificar e apontar soluções para os problemas de sua atualidade. Com isto o crescimento de sua força é inevitável, e é no contexto do Século XIX que a termodinâmica ganhou impulso e reconhecimento prático-experimental. Seus estudos foram no sentido de satisfazer necessidades da sociedade que vivera naqueles momentos das maravilhas proporcionadas pela Revolução Industrial. A importância dos trabalhos em termodinâmica foi tão relevante que [...] Borges (1999, apud Henderson, p. 453) disse: “Science owe more to the steam engine than the steam owe to Science” (A ciência deve mais ao mundo a vapor do que o vapor deve à ciência).

### 2 METODOLOGIA

Este arquivo tem por intenção se aprofundar sobre as leis termodinâmicas e as contribuições que as mesmas trouxeram para sociedade. Tem caráter de revisão bibliográfica e neste ponto de vista identificar vertentes sobre o assunto nos diversos aspectos de estudo termodinâmico. O método utilizado foi levantamento bibliográfico através de livros e artigos que abordem o assunto, a fim de obter embasamento teórico para trazer tais informações e discursões.

### 3 RESULTADOS E DISCURSÕES

#### 3.1 PRIMEIRA E SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA

A primeira e segunda lei da termodinâmica surgiram concomitantemente uma a outra, apesar desta sequência trazer uma ideia subjacente de que foram



**III CONEDU**

CONGRESSO NACIONAL DE  
E D U C A Ç Ã O

determinadas em períodos de tempo diferentes. O princípio da conservação da energia constitui a base da primeira lei e pode ser matematicamente expressa por  $\Delta U = Q + W$ . Já a segunda lei também de grande relevância para a ciência e a qual é o objeto de estudo e explanação neste tópico está associado ao trabalho do físico Sadi Carnot (1796 - 1832), o qual estava particularmente interessado na eficiência de máquinas térmicas operando em condições perto de ideais.

Após o trabalho de Carnot, Willian Thomson (1824-1870) afirmara que se a máquina térmica troca calor com as vizinhanças em um processo cíclico e tais vizinhanças se encontrarem em uma só temperatura, então a máquina não poderá produzir trabalho. Rudolph Clausius (1822-1888) propôs outra formulação para a segunda lei da termodinâmica, isto por volta de 1850, em seu trabalho foi percebido que o principal axioma de Carnot envolve processos cíclicos, a conversibilidade de calor em trabalho e de trabalho em calor, demonstrada poucos anos antes por uma série de experimentos de James Joule (1818-1889). Rudolph Clausius em suas observações percebeu a presença de uma outra propriedade de estado, a entropia, conceito este que durante algum tempo ficou com sua formulação matemática sem compreensão por muitos devido ao seu caráter abstrato de abrangência em fenômenos diferentes.

O enunciado da segunda lei da termodinâmica apresentado primeiramente, está associado a aplicações práticas de motores/ refrigeradores do tipo Carnot, onde se estabelece que é impossível para um sistema termodinâmico transformar integralmente o calor em trabalho sem modificação do estado do sistema pelo menos, ou que é impossível a transferência de calor fonte fria para fonte quente sem utilização de trabalho para que isto aconteça. Ao investigarmos de forma mais ampla encontramos o conceito de entropia, onde o olhar a essa nova proposta associada a segunda lei definida na mudança da variável de estado, permite estabelecer uma conexão entre a direção preferencial de processos termodinâmicos das mais diversas naturezas.

Podemos ainda citar algumas outras formas de enunciar a segunda lei da termodinâmica, nos processos de transformação de energia, sempre acontece que a energia está inicialmente, numa forma mais convertível de trabalho, e no final, a forma que não se converteu está menos convertível em trabalho, dizemos que há uma degradação de energia. Concluindo que em qualquer transformação de energia uma parte é degradada, a diferença de temperatura entre o ambiente e um sistema qualquer, por exemplo, determina o quão este sistema está propício a realizar trabalho. Nasce aqui o conceito de rendimento que nada mais é de que a forma algébrica de quantificar a



**III CONEDU**

CONGRESSO NACIONAL DE  
E D U C A Ç Ã O

relação trabalho produzido por quantidade de energia fornecida, a diferença de temperatura entre o sistema e ambiente influencia diretamente no rendimento.

A segunda lei da termodinâmica está relacionada a quase todos os processos que ocorrem de forma naturais no universo esgotá-los aqui não seria conveniente, ela explica a irreversibilidade das coisas, o porque a energia flui de um corpo mais quente para um mais frio e não ao contrário.

### 3.2 ENTROPIA

Entropia vem do grego, entropiem, significa degeneração. Seu estudo assim como outras propriedades da termodinâmica se firmaram no século XX, a ideia inicial era representar algebricamente uma da medida de transferência de calor e temperatura em um sistema, para isto Rudolph Clausius usou o trabalho de Lord Kelvin e Sadi Carnot onde este último teve seu trabalho considerado o marco inicial da termodinâmica. Clausius contemplou em seu trabalho a fração de calor ( $Q$ ) que pode ser transformado em energia mecânica por energia livre e a perda de energia, ou seja, a parte que não pode ser transformada em trabalho útil. Posteriormente o físico Ludwig Boltzmann (1844-1906) relacionou o movimento caótico a nível atômico e associou uma grandeza macroscópica a esse movimento (entropia). Com a contribuição de Gibbs ao trabalho de Boltzmann surgiu a teoria da mecânica estatístico batizada de teoria de Boltzmann-Gibbs, contemporaneamente as diversas áreas da sociedade utilizam o termo entropia e em um nível mais avançado de conhecimento ela se relaciona com a questão não extensiva da matéria.

Assim como a primeira lei levou ao conceito de energia a segunda lei nos levou ao conceito de entropia, pois conforme a segunda lei os processos que ocorrem espontaneamente o calor sempre passa do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura, se tivéssemos em condições ideais de um sistema fechado, a quantidade de calor cedida pelo corpo mais quente é sempre igual a quantidade de calor recebida pelo corpo mais frio. Porém existe uma grandeza a qual mesmo ocorrendo o fenômeno citado acima não é em igual proporção para os objetos em questão, e a esta propriedade é dada o nome entropia.

Considere um recipiente contendo 1 t de gusa líquido a temperatura de 1673 K e um cubo de gusa a 373 K, ao colocar o cubo dentro do recipiente o calor irá fluir naturalmente do líquido para o cubo de ferro e assim provocar sua mudança de estado. Considerando  $\Delta Q$  positivo para valores de calor recebidos e  $\Delta Q$  negativo para calor cedido. E se considerarmos a quantidade de calor recebida pelo cubo de gusa de  $\Delta Q$  m.c, teremos:



**III CONEDU**

CONGRESSO NACIONAL DE  
E D U C A Ç Ã O

$$\Delta Q = (1000000\text{g}) \times (80 \text{ cal/g})$$

$$\Delta Q = 80000000 \text{ cal}$$

Para o cubo de gusa:  $\left(\frac{\Delta Q}{T}\right) = (80000000 \text{ cal} / 373\text{K}) = 2.14 \cdot 10^5 \text{ cal/K}$

Para o gusa líquido:  $\left(\frac{\Delta Q}{T}\right) = (80000000 \text{ cal} / 1673\text{K}) = - 4.78 \cdot 10^4 \text{ cal/K}$

Ao relacionarmos os valores acima para o cubo e para gusa líquido teremos:

$$(2.14 \cdot 10^5 \text{ cal/K}) + (- 4.78 \cdot 10^4 \text{ cal/K}) = 166200 \text{ cal/K}$$

De acordo a segunda lei da termodinâmica nos processos que ocorrem na natureza sempre teremos esses valores positivos para  $(\Delta Q / T)$  total, o que nos conduz a ideia do aumento de alguma propriedade neste caso a desordem de ambas as situações, no recipiente com gusa líquido esta desordem praticamente não muda já no cubo de ferro gusa ela aumenta significativamente, se lançarmos um olhar sobre todo o sistema (cubo de gusa e recipiente com gusa líquido) veremos que a desordem aumentou como um todo, essa seria então a ideia de variação de entropia, de imediato como estamos falando de um sistema fechado concluímos a partir do experimento acima que a entropia nestes casos somente aumenta.

### 3.3 ENTROPIA, REVERSIBILIDADE E IRREVERSIBILIDADE

A ideia de reversibilidade e irreversibilidade é algo bastante dedutível para nós, o ciclo de Carnot são exemplos de processos com reversibilidade, já a queima de combustíveis fosseis, por exemplo irreversíveis. Para processos reversíveis o fluxo de calor e os arredores devem ocorrer sem diferenças de temperatura finita caso contrário, o fluxo de calor seria irreversível. Ao analisarmos a entropia de um universo ( $\Delta S_{\text{univ}}$ ) em questão fazemos a seguinte ponderação:

$$S_{\text{univ}} = S_{\text{sist}} + S_{\text{ent}}$$

Em um processo de ciclo reversível, como por exemplo o ciclo de Carnot  $S_A = - S_B$  já que

$$\left(\frac{\Delta Q}{T}\right) + \left(\frac{\Delta Q}{T}\right) = 0$$

Substituindo na equação que contempla o somatório das entropias:

$$\Delta S_{\text{univ}} = \Delta S_{\text{sist}} + \Delta S_{\text{ent}}$$



**III CONEDU**

CONGRESSO NACIONAL DE  
E D U C A Ç Ã O

$$\Delta S_{\text{univ}} = d\left(\frac{Q}{T}\right) + d\left(-\frac{Q}{T}\right)$$

Integrando

$$\int dS_{\text{univ}} = \int d\left(\frac{Q}{T}\right) - \int d\left(\frac{Q}{T}\right)$$

$$\Delta S_{\text{univ}} = 0$$

O  $\Delta S$  é igual a 0 (zero), se nós temos em um processo de I para F a entropia positiva ( $Q/T$ ), quando operação percorre o caminho inverso, ou seja, entra em sua fase de reversível teremos ( $-Q/T$ ).

Já em processos irreversíveis o conceito de entropia  $\Delta S = \int dQ / T$  como conhecemos fica limitado tendo este sua aplicação mais destinada a processos reversíveis, já que na natureza os processos possuem um grau de irreversibilidade, o caminho seguido de I para F é o fator de grande relevância, por exemplo na queima de combustíveis algum calor irá ser transferido e raramente podemos executar processos reais em processos infinitesimais.

Se colocarmos dois recipientes ligados por um vaso comunicante e isolados por uma válvula, onde a região A contém um gás e a região B está vazia ao abrirmos a válvula e o gás começar a sair de A para B não teremos mais controle sobre o sistema, ficando o conceito inicial de entropia difícil de ser definido, já que fora dos estados de equilíbrio não temos as temperaturas.

### 3.4 ENTROPIA, TEMPO E COSMOLOGIA

Muitos estudiosos, físicos, matemáticos, teólogos, filósofos, etc. procuram encontrar respostas para uma pergunta que traz muitas outras indagações: “como surgiu o universo?”.

São inúmeras teorias que vêm tentar explicar a origem de todas as coisas e como o tempo influi nas transformações sofridas desde do início de tudo. São teorias pautadas na afirmação de que o universo surgiu a partir da criação feita por um ser superior, estas intituladas de teorias criacionistas, e outras baseadas em acontecimentos científicos que levam o nome de teorias evolucionistas.

Podemos citar Bouw (1997) que explica a teoria do big bang, e que segundo o próprio autor é a mais aceita atualmente:



# III CONEDU

CONGRESSO NACIONAL DE  
E D U C A Ç Ã O

Hoje em dia o modelo cosmológico mais aceito é o da grande explosão inicial, a teoria do “big bang”. Como teoria, ela resultou da observação de que quase todas as galáxias tênues, e presumivelmente distantes, parecem estar se afastando da Terra com velocidades que aumentam com a sua distância até nós. [...] Tal interpretação da relação acima implica que todo o universo, com tudo que nele existe, esteve uma vez compactado em um único ponto. Como a interpretação do efeito Hubble é que a matéria que constitui o universo está atualmente em expansão centrífuga a partir daquele ponto, os evolucionistas especulam que toda a matéria explodiu violentamente a partir daquele ponto, esta grande explosão inicial recebendo o nome de “big bang”. (BOUW, 1997)

São muitas incertezas que geram ao analisar a evolução de todo o universo a partir da teoria big bang. Entre eles surge o problema da entropia. Ainda segundo Bouw:

Existe um problema real quanto a como teria evoluído uma massa caótica, como a que se supõe ter existido no “big bang”, de tal forma a produzir um universo ordenado como o conhecemos hoje. Os evolucionistas normalmente tendem a contornar esse problema da entropia destacando que a entropia total do universo permanece constante desde que se suponha que o universo se expanda adiabaticamente. É, porém, trivial esta afirmação, pois supor que o universo se expande adiabaticamente é supor que a entropia permanece constante, o que constitui um círculo vicioso. (BOUN, 1997).

Esta é uma indagação sobre a evolução do universo no decorrer do tempo, pois supor que o universo se expande adiabaticamente é assumir que a entropia do universo permaneceu constante, porém, o universo surgido a partir de uma explosão faz presumir que existia movimento desordenado das moléculas logo após a explosão big bang.

Existem muitas outras indagações a respeito das fundamentações sobre a cosmologia, tempo e a evolução do universo, porém cabe a ciência com novas pesquisas e novas teorias trazer respostas para essas dúvidas fundamentais inclusive ao que se diz a respeito à entropia.

### 3.5 A TERCEIRA LEI DA TERMODINAMICA

Segundo Atkins (2014), a terceira lei da termodinâmica diz que a entropia de todos os cristais perfeitos é zero na temperatura absoluta.

Podemos dizer que em  $T=0$  todas a energia térmica (movimento caótico) das moléculas) também é zero, ou seja, não existe entropia quando a temperatura está no 0 absoluto. Num cristal implica dizer que as moléculas estão regularmente distribuídas no reticulo cristalino.

A observação experimental que mostra ser compatível com a ideia de a entropia de uma estrutura regular de moléculas ser zero em  $T=0$  e resumida pelo teorema do calor de Nernst: variação de entropia de qualquer transformação física ou química tende a zero quando a temperatura tende a zero:  $\Delta S \rightarrow 0$  quando  $\Delta T \rightarrow 0$ , admitindo que todas as substancias envolvidas estão ordenadas perfeitamente (são perfeitamente cristalinas). (ATKINS, 2014)



**III CONEDU**

CONGRESSO NACIONAL DE  
E D U C A Ç Ã O

Trazendo Castellam (2014) para essa fundamentação podemos dizer que em 1913 o valor de:  $\Delta S=0$  (ou  $S_0$ ) quando  $T=0$  foi sugerido por M. Planck. Expressando matematicamente:

$$S_t = \int_0^T \frac{C_p dT}{T}$$

Onde de acordo com Castellam (2014)  $S_t$  é a entropia do terceiro princípio, ou a temperatura do sólido em  $T$  e  $p$ . Onde  $C_p$  é positivo, logo a integral é positiva e  $S_t$  é o menor valor possível para a entropia quando  $T=0$ .

Se a pressão por 1 atm então a  $S_t$  também será uma entropia padrão: Castellam em 1986 demonstra a seguinte equação para uma variação de estado (fusão ou vaporização) com um aumento de entropia de um líquido ou gás:

$$S^{\circ}t = \int_0^{T_f} \frac{C^{\circ}p(S)}{T} dT + \int_{T_f}^T \frac{\Delta H^{\circ}fus}{T_f} + \int_{T_f}^T \frac{C^{\circ}p(1)}{T} dT$$

*Neste caso para um líquido.*

$$S^{\circ}t = \int_0^{T_f} \frac{C^{\circ}p(S)}{T} dT + \int_0^{T_f} \frac{\Delta H^{\circ}fus}{T_f} + \int_{T_f}^{T_{eb}} \frac{C^{\circ}p(1)}{T} dT + \frac{\Delta H^{\circ}vap}{T_f} + \int_{T_{ed}}^T \frac{C^{\circ}p(g)}{T} dT$$

*Neste caso para um gás.*

Ainda segundo Castellam (2014), se for um sólido que sofre uma transição de uma estrutura cristalina a entropia de transição na temperatura de equilíbrio deve ser incluída. E deve fazer uma varredura desde o zero absoluto até a temperatura de interesse para entropias com as capacidades caloríficas das substâncias em vários estados de agregação.

### 3.6 ENTROPIA E VIDA

Ao se relacionar o enfoque da definição de entropia com o que entendemos sobre o que é a vida, devemos partir do pressuposto teórico de que o universo que nos cerca e que habitamos teve início em uma singularidade, o Big Bang, como teoria mais difundida e aceita no meio científico.



**III CONEDU**

CONGRESSO NACIONAL DE  
E D U C A Ç Ã O

Assim admitindo que o universo teve início em uma grande explosão, e de lá até então o mesmo continua expandindo-se a uma certa taxa chamada constante de Hubble, em homenagem ao físico Edwin Hubble que a estabeleceu em 1929, a partir de dados astronômicos, que galáxias distantes apresentavam um espectro que tendia ao vermelho o que evidenciava assim que universo estaria em expansão acelerada, o que através de cálculos teóricos acarretaria como produto final um universo composto por bilhões de bilhões de galáxias cada vez mais distantes umas das outras, transformando o universo em um cosmo cada vez mais vazio e frio, ao passo que as estrelas conforme se expandem despreendem energia térmica dissipando-a no universo. Dessa ótica podemos formular a mesma pergunta feita pelo físico Freeman Dyson em 1979, onde em artigo publicado no “Reviews of Moderns Physics” o mesmo especulava sobre o futuro da vida num universo com este teorizado.

Esse enfoque nos remete a questões de cunho filosófico sobre e o início e futuro do cosmo que nos cerca, cosmo esse que durante muito tempo teve as leis que o governa pautadas no determinismo mecânico newtoniano e as extrapolações desse princípio na figura de Laplace, e em que tudo poderia se prever pelo simples fato de um dado presente. Nessa assertiva o surgimento das leis termodinâmicas a partir dos estudos da condução térmica de Fourier, podemos relacionar a vida com princípios termodinâmicos, mas embasando nossa análise a partir de um questionamento sobre do que necessita a vida para existir.

De forma lógica e natural, todos organismos vivos necessitam de certa forma, capturar uma certa quantidade de energia externa e transformá-la em “energia interna” que fomentará a manutenção de seu metabolismo vital, atribuída a figura da alimentação. (Gleiser, 2016). Dessa ótica estabelecemos que um organismo vivo consome “energia livre”, produzindo internamente “entropia”, assim como define a termodinâmica pelos sinais opostos entre “G” e “S”, energia livre e entropia respectivamente.

Em linhas gerais entropia pode ser definida também bem como uma medida da desordem de um dado sistema, tendo seu conceito entrelaçado até mesmo com a noção de tempo devido a ordem natural como as coisas tendem a acontecer conforme destaca Hawking: *“O aumento da desordem ou entropia com o tempo é um exemplo do que chamamos de seta do tempo, algo que distingue o passado do futuro, estabelecendo uma direção”*. Assim, ficará fácil formular o seguinte questionamento: Como se comportará a vida como a conhecemos em um universo cada vez mais cheio de entropia e escasso em energia livre?



**III CONEDU**

CONGRESSO NACIONAL DE  
E D U C A Ç Ã O

Na grande maioria dos livros textos sempre se abre espaço para discussões acerca da vida, organizada e complexa como a conhecemos, ao tentar se explicar acerca da Segunda Lei da Termodinâmica, que em suma para sistemas isolados a entropia tende sempre a aumentar e nunca decrescer. De contrapartida, localmente, considerando a teoria da evolução para seres vivos, a entropia pode diminuir localmente para favorecer o aparecimento da vida, mas, sua tendência global é de aumento, quando consideramos seres vivos complexo com um sistema composto a outras fontes de energia como o sol e os alimentos, como destacado por Gleiser.

Como nem mesmo a ciência é livre de controvérsias e conflitos, é só olharmos para o desaparecimento do determinismo científico para o surgimento de uma época de maior iluminismo científico, Pontes faz uma extensão referência em seu texto as observações de Blumenfeld (1981), sobre abaixamento da entropia geral nas organizações celulares para formação de moléculas complexas que dão origem a vida como a conhecemos, chegando a afirmar que a formação de estruturas biológicas é feita sobre tudo, livre de um custo termodinâmico considerável.

Em suma, todas essas discussões acerca da relação entre a vida e as leis da termodinâmica perpassam o simples embasamento das teorias da evolução, biologia ou termodinâmica, mas, se adentram em fatores mais triviais como a noção de tempo e sentido de acontecimentos de cunho filosófico envolvendo assim até mesmo a metafísica. Fato intrigante e verdadeiramente válido foi colocado por Gleiser (2015), onde o mesmo cita o grande físico Arthur Eddington em uma proclamação de que: “Se a sua teoria contrariar alguma lei da física tudo bem, é possível que a lei possa ser modificada. Mas se essa lei for a segunda lei da termodinâmica, pode jogar sua teoria no lixo”

## **4 CONCLUSÃO**

A Termodinâmica, desde os seus princípios teóricos, se mostrou eficiente ao que se propunha na investigação da dinâmica do calor e suas transformações, porém nota-se facilmente que os primeiros estudos nessa área do conhecimento não imaginavam o leque de ação de seus princípios que permeiam desde a fatores sociais ao questionamento até mesmo do sentido e origem da vida. Quem entre os teóricos termodinâmicos como Lord Kelvin, Planck, Nernst Helmholtz, Clausius, entre outros grandes nomes, imaginariam que uma probabilidade entrópica poderia mostrar-se válida até para a noção de passado e futuro que todo ser cognoscente, como nos seres humanos, são capazes de ter. A própria ciência, como outras fontes de conhecimento não é livre



**III CONEDU**

CONGRESSO NACIONAL DE  
**E D U C A Ç Ã O**

de conflitos internos, que as leva a questionamentos de cunha fundamental, ou no melhor pensamento kantiano, à procura dos axiomas fundamentais.

## REFERÊNCIAS

ATKINS, Peter; PAULA, Julio de. **Físico-química**. trad. Edilson Clemente da Silva...[et al.]. 9ª. ed. LTC: Rio de Janeiro, 2014, V.1.

BORGES, E. P. **Irreversibilidade, Desordem e Incerteza: Três Visões da Generalização do Conceito de Entropia**. Rev. Bras. Ens. Fis. V. 21, 453 (1999)

BOUW, Gerardus D. **O Espaço Cósmico e o Tempo**. Disponível em: <[http://www.scb.org.br/artigos/FC38\\_OespacoCosmico.asp](http://www.scb.org.br/artigos/FC38_OespacoCosmico.asp)> Acesso em 19 de jul de 2016.

CASTELLAN, Gilbert William. **Fundamentos de físico-química**. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

GLEISER, Marcelo. **Universo eterno, vida eterna? Para se adaptar ao aumento de entropia, a vida terá que mudar**. Brasil Escola. Disponível em <<http://brasilescola.uol.com.br/fisica/a-lei-hubble-expansao-universo.htm>>. Acesso em 18 de julho de 2016.

HAWKING, Stephen. **Uma Breve História do Tempo**. Editora Intrínseca. Rio de Janeiro, 2015

NERY, A. R. L. e BASSI, A. B. M. S. **Condições de equilíbrio termodinâmico: a função disponibilidade**. Química Nova, Vol.34, n.1, p. 160-164, 2011.

PONTES, José. **Determinism, chaos, self-organization and entropy**. Anais da Academia Brasileira de Ciências (2016). Rio de Janeiro, Setembro de 2015.

SABADINI, E.; BIANCHI, J. **Ensino do Conceito de Equilíbrio Químico: Uma Breve Reflexão**. Revista Química Nova na Escola, São Paulo, v. 25, p. 10, 2007.



**III CONEDU**

CONGRESSO NACIONAL DE  
E D U C A Ç Ã O

SILVA, Paulo Soares Da. **A lei de Hubble e expansão do universo.** Brasil Escola. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/fisica/a-lei-hubble-expansao-universo.htm>>. Acesso em 18 de julho de 2016.

(83) 3322.3222

contato@conedu.com.br

[www.conedu.com.br](http://www.conedu.com.br)