

## SEQUÊNCIA DIDÁTICA COM HISTÓRIA DA CIÊNCIA: SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA

[\[ver artigo online\]](#)

Bruno Gomes da SILVA<sup>1</sup>

### RESUMO

Lecionar a disciplina de física nas escolas não é uma tarefa fácil para os docentes, tampouco para os estudantes, pois a disciplina exige domínio do raciocínio lógico, matemático e muita leitura e interpretação de textos. A História da Ciência (HC) é uma possibilidade que pode facilitar no processo de ensino e aprendizagem dos tópicos da física. Ela contextualiza a vida dos estudantes, situações reais do seu dia a dia, tornando a física mais humana e mais acessível para os educandos. Este estudo possuiu como objetivo desenvolver uma opção didática para professores de física e do ensino das ciências, para a Segunda Lei da Termodinâmica. Uma sequência didática (SD) com a utilização da HC metodologicamente definida na teoria dos Três Momentos Pedagógicos de Delizoicov e Angotti (1990). A metodologia utilizada no projeto foi de punho essencialmente qualitativo, uma revisão da literária no banco de pesquisa eletrônico Google acadêmico, com um crivo metodológico de trabalhos publicados nos últimos 10 anos. O resultado da SD está no decorrer do estudo.

**Palavras-chave:** Sequência Didática, História da Ciência, Segunda Lei da Termodinâmica.

## TEACHING SEQUENCE WITH HISTORY OF SCIENCE: SECOND LAW OF THERMODYNAMICS

### ABSTRACT

Teaching the subject of physics in schools is not an easy task for teachers, nor for students, as the subject requires mastery of logical reasoning, mathematics and a lot of reading and interpreting texts. The History of Science (HC) is a possibility that can facilitate the process of teaching and learning physics topics. It contextualizes students' lives, real situations in their daily lives, making physics more human and more accessible to students. This study aimed to develop a didactic option for physics and science teachers for the Second Law of Thermodynamics. A didactic sequence (SD) using HC methodologically defined in the theory of the Three Pedagogical Moments by Delizoicov and Angotti (1990). The methodology used in the project was essentially qualitative, a literary review in the academic Google electronic research bank, with a methodological sieve of works published in the last 10 years. The result of DS is in the course of the study.

**Keywords:** Didactic Sequence, History of Science, Second Law of Thermodynamics.

<sup>1</sup> Professor no IEEAB-RS. Formado em Engenharia Civil (Anhanguera de Pelotas) e Licenciado em Física (Instituto Federal de Educação Sul-rio-grandense - IFSUL), Especialista em Ciências e Tecnologias na Educação (IFSUL), Mestre no Ensino das Ciências (Instituto Politécnico de Bragança de Portugal - IPB), Doutorando em Engenharia de Materiais (Universidade Federal de Pelotas UFPEL). [brunoifsul@gmail.com.br](mailto:brunoifsul@gmail.com.br)



## INTRODUÇÃO

Aprender a física muitas vezes pode não ser uma tarefa tão simples para os estudantes, porque ela exige que os eles dominem a matemática, o raciocínio lógico, que leiam muito e saibam interpretar textos e situações. E se o estudante não possuir interesse na disciplina, ou se a física for descontextualizada com o seu dia a dia, o ensino da disciplina não se concretizará.

Se não houver interesse dos alunos, não há conhecimento de disciplina nenhuma que possa ser aprendido por eles. Os Parâmetros Curriculares Nacionais-PCN (BRASIL, 2000) afirmam que é importante contextualizar os tópicos estudados com as situações do dia a dia dos educandos, para tornar o conteúdo estudado mais próximo de suas realidades buscando resgatar o interesse dos alunos e atingir o processo de ensino e aprendizagem de um estabelecido conteúdo.

E nessa tentativa de alcançar a atenção dos alunos, a História da Ciência (HC) pode ser uma enorme parceira e moderadora nesse processo de ensino e aprendizagem. Silva (2018) elucida que a HC pode facilitar a tornar a aprendizagem dos alunos mais fácil, porque a disciplina de física se torna assim mais prática, mais comumente vivida no dia a dia dos alunos. A HC desenvolve elos de ligação com os conteúdos abordados em sala de aula, transformando a física em uma ciência única, a estudada na escola cheia de códigos, números e cálculos, com a física fora da escola, da rua, da casa dos estudantes, que eles vivenciam todos os dias.

A HC demonstra como viveram as pessoas que produziram o conhecimento científico, o seu entorno, como foram influenciados por decisões políticas, econômicas, psicológicas. Silva (2017) ressalta que as grandes descobertas científicas não foram por casualidade, que foram descobertas conjuntas, de muito trabalho árduo dos cientistas e que eles trabalham muitas vezes em equipe ou se embasaram em conhecimentos pré-estabelecidos por outros pesquisadores.

A HC faz com que os alunos compreendam de uma forma mais clara a física. Silva (2021) afirma que a HC faz com que os estudantes construam um entendimento do real funcionamento da ciência, da dedicação dos pesquisadores para atingirem as descobertas científicas.

## **1. DESENVOLVIMENTO**

Entendendo a relevância da HC no ensino da física, este estudo possui como objetivo principal desenvolver uma sequência didática (SD) para o ensino da física térmica, para a Segunda Lei da Termodinâmica. E esta SD será repleta de HC.

A SD é metodologicamente definida na teoria dos Três Momentos Pedagógicos de Delizoicov e Angotti (1990). Bem como, a SD irá discutir conceitos teóricos científicos da física, exercícios de fixação e respostas dos exercícios.

Na construção da SD foi imposta uma metodologia de punho qualitativa, uma revisão da literatura que possuiu como crivo metodológico o banco eletrônico de pesquisa Google Acadêmico.

### **1.1. Referencial Teórico**

A SD é definida na Teoria dos Três Momentos Pedagógicos de Delizoicov e Angotti (1990), a Problematização Inicial, Organização do Conhecimento e Aplicação do Conhecimento.

Que tem como início no primeiro momento pedagógico, a Problematização Inicial. Nesse momento serão ilustradas as questões problemas para os alunos pensarem nos conteúdos que serão discutidos. Questões problematizadoras que discutem ocasiões do dia a dia dos alunos, com o objetivo de tornar mais próximo a eles os conteúdos de física e fazerem eles refletirem sobre o tema. Esse primeiro momento pedagógico tem como finalidade produzir a curiosidade dos estudantes sobre os assuntos que serão discutidos na continuidade da aula.

Após o professor lançar as questões problematizadoras será o período do segundo momento pedagógico: a Organização do Conhecimento. Nesse segundo momento pedagógico vão ser trabalhadas leis, fenômenos da natureza e toda parte teórica científica da física, no qual toda essa parte constitui a ideia central e da problematização inicial. É o que está por de trás nas das questões problemas que serão discutidos, mas de extrema relevância lembrar que as questões problematizadoras ainda não serão respondidas nesse instante.

Após toda essa discussão e alguns exercícios de fixação, então surgira o instante do terceiro momento pedagógico, a Aplicação do conhecimento. Esse momento se volta para responder as questões problematizadoras, a mais aplicações do dia a dia dos alunos, mais exercícios de fixação sobre o tema, reforçando os que foram abordados no início da aula, e abordagens mais significativas sobre o tema estudado.

## 1.2. Sequência Didática

### 1.2.1. *Rendimento de Máquinas Térmicas*

Essa primeira aula é direcionada para dois períodos de 45 minutos, totalizando 90 minutos de aula. E possui como objetivo discutir as concepções sobre rendimento das máquinas térmicas, a partir de uma construção histórica da ciência, construindo conjuntamente com os estudantes um melhor entendimento sobre este conceito.

Caro professor, para dar início a essa aula recomenda-se lançar a primeira questão problematizadora:

*O Ser humano pode ser considerado uma máquina térmica?*

Caro professor, lembre-se, sugere-se anotar todas as respostas enunciadas pelos estudantes. Você pode pedir aos alunos que não responderam a avaliarem as respostas dos colegas. Pois o importante é fazê-los participarem. Após esse instante inicial, lance outras questões problematizadoras, mas lembre-se que ainda não é o instante de responde-las.

*Qual motor é mais potente: o de um fiat uno ou de um carro de corrida?*

*Qual motor é mais potente: o motor de um avião ou de uma locomotiva?*

*O que significa a potência de um motor?*

*Imagine um motor de fiat uno. É possível converter toda gasolina fornecida a ele para gerar trabalho mecânico? E se for um motor de um carro de formula 1?*

Após lançar as questões, sugere-se um instante de uma aula expositiva com o texto de apoio ao professor, A Influência de Carnot às máquinas térmicas.

#### 1.2.1.1. *A Influência de Carnot às Máquinas Térmicas*

O motor a vapor substituiu o músculo humano e animal. Segundo Palma (2019) quase ninguém havia entendido a fundamental natureza do motor a vapor. As máquinas eram enormes e pesadas e possuíam rendimentos insatisfatórios.

Em março de 1814 durante as guerras napoleônicas, enquanto Napoleão e seus exércitos lutavam em outro lugar, Paris foi submetido a ataques constantes da Rússia, Prússia e Áustria. Chateau foi defendido por estudantes inexperientes, no qual, foram forçados a recuar sob a alta artilharia dos oponentes.

Um desses estudantes era o jovem soldado e com uma mente aberta, Leonard Sadi Carnot. A humilhação que ele sentiu motivou a descobrir como todos os motores funcionam para obter um melhor rendimento. Carnot era de uma família militar respeitada. Após a derrota francesa na guerra, Carnot ficou determinado a recuperar o orgulho francês. O que importunava Carnot era a hegemonia tecnológica que os inimigos da França pareciam possuir.

**Figura 1:** Carnot.



**Fonte:** Física Uol (2019).

Disponível: <https://alunosonline.uol.com.br/fisica/maquina-carnot.html>.

Acesso em 28/08/2019.

O pioneirismo da Revolução Industrial Inglesa foi oriundo do fato de que a burguesia ali se apresentava mais estruturada. Na qual a luta por poder se perpetuava. Para Silva e Errobiadart (2019) isso propiciou a aceleração da atividade industrial na Inglaterra.

Para Carnot a Inglaterra estava à frente, pois, possuía vantagem econômica e militar por conta de seu domínio sobre a energia do vapor. De acordo com Palma (2019), Carnot juramentou que entenderia o funcionamento dos motores a vapor e usaria esse conhecimento para o benefício da França. Carnot acreditava que acabando com o domínio desses motores a vapor da Inglaterra, o império britânico entraria em ruína.

Em 1824, sobrevivendo com um salário de meio período com seu irmão Hippolyte num pequeno apartamento em Paris, Carnot escreve o livro Reflexões Sobre a Potência Motriz do Fogo. De acordo com Nascimento et al., (2004) Carnot enxerga a maneira essencial do funcionamento das máquinas movidas à calor. Observa que se compunham de uma fonte de calor e uma fonte fria. Que um tipo de substância fluía entre as fontes. E com o fluxo de calor serviria a realizar um trabalho.

A principal ideia de Carnot era demonstrar que para fazer aumentar o rendimento de qualquer motor movido a calor, era preciso aumentar a diferença de temperaturas entre as fontes de calor.

Essa ideia vem movendo e orientando engenheiros por mais de 200 anos. Carnot demonstra que os motores movidos a calor estavam se utilizando do fluxo de energia entre a fonte quente e a fonte fria. Carnot enxerga a verdadeira natureza dos motores movidos a calor e com isso, inicia-se um novo ramo da Ciência.

**Figura 2:** Compreensão do Vapor.



**Fonte:** Pre Enem (2015).

Disponível: <https://cursinhopreenem.com.br/geografia/producao-e-uso-social-dos-combustiveis-fosseis/>.  
Acesso em 27/08/2019.

Caro professor, após o instante de aula expositiva do texto sobre o as contribuições de Carnot às máquinas térmicas, é sugerido então que construa uma discussão com os estudantes sobre o rendimento de máquinas térmicas. No início do tópico foram lançadas algumas questões problematizadoras.

*Qual motor é mais potente: o de um fiat uno ou de um carro de corrida? O motor de um avião ou de uma locomotiva? Um carro de corrida consegue alcançar uma velocidade de 100km/h em dois segundos.*

Já o fiat uno leva uns dezesseis segundos para atingir a mesma velocidade. Contudo, buscamos compreender sobre a eficiência que a energia é transformada, de combustível em trabalho. Para isso, precisamos dar atenção ao combustível e o rendimento do motor. Conforme Pietrocola et. *al.*, (2010) cada combustível possui seu poder calorífico, ou seja, libera quantidades de energia diferentes ao ser queimado.

Por exemplo a gasolina libera 11 400 Kcal/ Kg e o a óleo diesel 10 700 Kca/Kg. Para obtermos um maior rendimento é preciso escolher o combustível de maior densidade energética. Já em relação ao rendimento da máquina térmica, uma máquina a vapor simples atinge uma média de 7%, motores a gasolina uma média de 25 % e motores a diesel uma média de 35 %.

As perdas térmicas são ocasionadas pela troca de calor do motor com o ambiente, sistema de refrigeração construído para suporte do motor e a perdas ao atrito das peças do motor. Se toda energia fosse convertida em trabalho mecânico, o rendimento seria igual a 100%. Entretanto, isso não acontece. Logo, se denomina rendimento ( $\eta$ ) de uma máquina térmica a relação entre a energia transformada em trabalho (W) e a energia fornecida ( $Q_1$ ):

$$\eta = \frac{W}{Q_1}$$

Também pode ser calculado pela expressão que relaciona a quantidade de calor oferecida ( $Q_1$ ) e a quantidade de calor não aproveitada ( $Q_2$ ):

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

Caro professor, antes de exercitar estes conceitos sobre rendimentos de motores aconselha-se um instante de aula expositiva com o texto de apoio ao professor, Os primeiros motores de quatro tempos.

### *1.2.1.2. Os Primeiros Motores de Quatro tempos*

**Figura 3:** Benz Motorwagen.



**Fonte:** Ae Classic (2013).

Disponível: <http://www.autoentusiastasclassic.com.br/2013/03/motores-combustao-interna-uma-breve.html>.  
Acesso em 28/08/2019.

Em 1876, Nikolaus Otto cria o primeiro motor com os quatro tempos de funcionamento, admissão, compressão, explosão e descarga. Segundo Ae Classic (2013) o primeiro motor a queimar combustível dentro do cilindro, em uma câmara de combustão, conjuntamente com Gottlieb Daimler e Wilhelm Maybach.

1879 Karl Benz, utilizou o conceito de Otto e criou seu próprio motor de quatro tempos, que foi colocado no famoso Benz Motorwagen de 1885. O motor era um monocilíndrico de 0,67 cv, que atingia rotações da ordem de 250 rpm. Com um grande volante, acumulador de trabalho mecânico que dá estabilidade ao motor.

Em 1890, em parceria com os trabalhos de Daimler e Maybach, os franceses eram devidamente representados por René Panhard e Emile Levassor, que fabricavam sob licença os motores de Daimler. Equipado com um motor de quatro cilindros em linha e cabeçotes individuais em formato de “T”, com fluxo cruzado de gases, admitindo-se por um lado do bloco e o sistema de escapamento do lado oposto, esquema amplamente utilizado hoje.

No mesmo tempo, de forma simultânea aos trabalhos nos motores de ciclo Otto, o engenheiro James Atkinson construía o motor de ciclo, com os quatro ciclos de funcionamento revolucionando os motores. De forma simultânea aos trabalhos nos motores de ciclo Otto, o engenheiro James Atkinson construía o motor de ciclo, com os quatro ciclos de funcionamento ocorrendo em uma revolução do motor.

Segundo Ae Classic (2013) os motores de ciclo Atkinson viriam a ser utilizados anos depois, inclusive nos automóveis híbridos atuais, como o Toyota Prius. O ciclo Atkinson apresentava-se um melhor rendimento que o motor de ciclo Otto, mas não fornecia mais potência, pois o volume admitido não era comprimido com a eficiência necessária, assim, liberando menos energia.

**Figura 4:** Q 50hp, 1905.



**Fonte:** Ae Classic (2013).

Disponível: <http://www.autoentusiastasclassic.com.br/2013/03/motores-combustao-interna-uma-breve.html>.  
Acesso em 28/08/2019.

Caro professor, agora se torna um instante para exercitar o conceito de rendimento com os alunos.

### **Exercício de fixação 1:** Rendimentos de Máquinas Térmicas.

Calcule o rendimento de uma máquina térmica que recebe 2000 J de calor de uma fonte quente e trabalha sob as temperaturas de 400 °C e 700 °C.

**Fonte:** Brasil Escola (2019).

**Respostas:** A partir do rendimento para uma máquina de Carnot, temos:  $\eta = 1 - T_2/T_1$ . Logo:  $\eta = 1 - 400/700$ . Então:  $\eta = 0,43$  ou 43 %.

*O Ser humano pode ser considerado uma máquina térmica?* As vezes escutamos a expressão a máquina humana. E é verdade, os seres humanos são exemplos de máquinas naturais a combustão. De acordo com Pietrocola et al., (2010) o organismo humano precisa de alimentos para produzir energia e trabalho.

Os alimentos de certa forma acumulam energia do sol, da mesma forma que combustíveis de veículos também acumulam, como a gasolina, o álcool e diesel. No processo de digestão a produção de energia ocorre numa organela no interior da célula humana chamada de mitocôndria. Esta extrai a glicose do alimento à transformando em ATP, denominada, adenosina trifosfato, que são utilizadas para liberar energia química para todo o corpo.

É essencial reforçar, que, embora a energia se conserve nos modelos físicos, há sempre uma fração dissipada na forma de calor, assim, apenas uma porção dessa energia é transformada em trabalho. Nos automóveis em geral, o rendimento dos motores alcança em média 30%, ou seja, 70% é dissipado na forma de calor para o meio externo, atrito das peças. Já o corpo humano é uma máquina um pouco mais eficiente, que atinge um rendimento de cerca de 60%. Caro professor, mais um instante de aula expositiva com o texto máquinas de Movimento Perpétuo.

### ***1.2.1.3. Máquinas de Movimento Perpétuo***

Desde a antiguidade, as máquinas de certa forma encantaram o homem por produzir trabalho mecânico e facilitar sua vida. Por isso o homem se determinou a descobrir de onde vinha essa capacidade criativa das máquinas e se era possível criar trabalho de forma inesgotável? Carnot mostra que é impossível essa possibilidade. Porém muitas pessoas acreditavam que era possível criar trabalho e dedicaram tempo e dinheiro na busca de construir uma máquina de movimento perpétuo.

**Figura 5:** John Bernoulli.



**Fonte:** Peoplepil (2019).

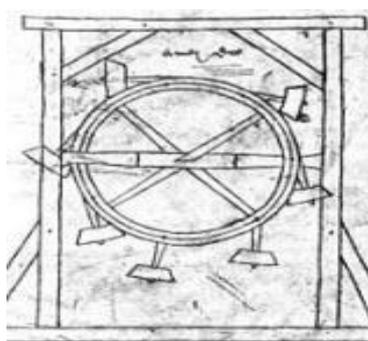
Disponível: <https://peoplepill.com/people/johann-bernoulli/>.

Acesso em 03/09/2019.

No século XX, até mesmo o famoso cientista da época John Bernoulli foi seduzido por esta ideia. Segundo Pietrocola et al., (2010) surgiram muitos pedidos de registros de patentes de máquinas capazes de produzir trabalho inesgotável.

A primeira foi a de Bhaskara no século XII. Era um conjunto de tubos distribuídos da mesma forma ao longo de uma roda, contendo a mesma quantidade de mercúrio. De acordo com Lancellotti et al., (2015) também no mesmo século, o francês Villard desenvolveu uma máquina similar usando martelos. Villard propunha que com um número ímpar de martelos, a roda giraria continuamente, produzindo trabalho mecânico inesgotável.

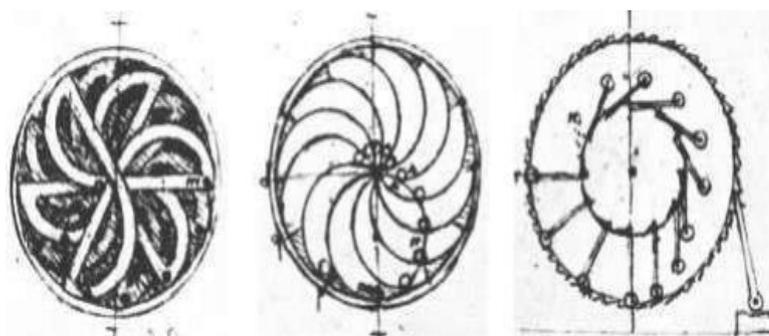
**Figura 6:** Máquina de movimento perpétuo de Villard.



**Fonte:** Lancellotti et al., (2015, p.2).

Bem como alguns desenhos retratados pelo grande inventor e desenhista Leonardo Da Vinci, de acordo com a figura 7 abaixo:

**Figura 7:** Desenhos de Leonardo Da Vinci.



**Fonte:** Pietrocola et al., (2010, p.288).

No século XV, surgem críticos da ideia de se criar trabalho do nada, Leonardo Da Vinci, é um deles. Argumenta que as máquinas de movimento perpétuo utilizando de pesos, são impossíveis de serem desenvolvidas pois assim que o peso fica longe do eixo de rotação, o torque é maior, mas o momento de inércia da roda também. Assim, tornando menos efetivo o torque gravitacional na sustentação do movimento.

Para Da Vinci nenhum mecanismo construído pela engenhosidade humana pode reverter essas circunstâncias. Na busca de negar os motos-perpétuos fez com que pesquisadores se propusessem investigar a fundo essas teorias e assim, contribuindo na formulação das leis da termodinâmica.

### ***1.2.2. Ciclo de Carnot e a Segunda Lei da Termodinâmica***

Esta nova aula estimasse para dois períodos de 45 minutos em sequência, totalizando uma hora e meia. E possui como objetivo a ser alcançado desenvolver os tópicos de o Ciclo de Carnot e a Segunda Lei da Termodinâmica, construindo um melhor entendimento para os estudantes através de uma construção histórica da Ciência.

Caro professor, é um sugerido um instante de aula expositiva com o texto de apoio ao professor, Ainda sobre as contribuições de Carnot às máquinas térmicas.

#### ***1.2.2.1. Ainda sobre as contribuições de Carnot às Máquinas Térmicas***

**Figura 8:** Carnot.



**Fonte:** Alunos Online (2019).

Disponível: <https://alunosonline.uol.com.br/fisica/reflexao-geral-sobre-ciclo-carnot.html>.

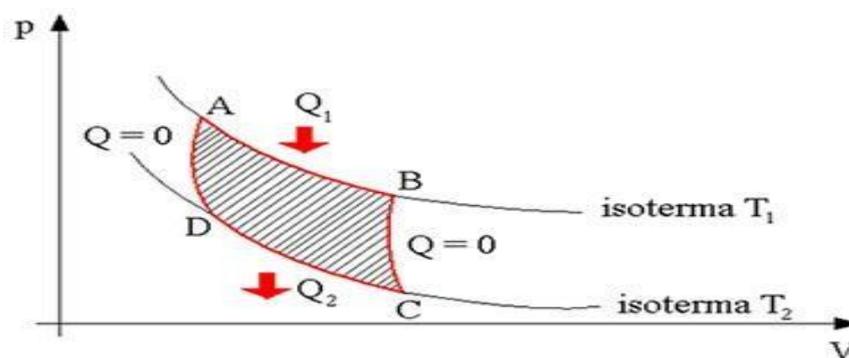
Acesso em 21/08/2019.

Até o início do século XIX, a humanidade entendia ser possível a construção de uma máquina térmica ideal, ou seja, capaz de transformar toda a energia fornecida em trabalho, assim, obtendo um rendimento total de 100%.

Em 1824, Carnot escreve o livro *Reflexões Sobre a Potência Motriz do Fogo*. Palma (2019) afirma que Carnot demonstra que isso não seria possível. Para essa demonstração, ele, propôs uma máquina térmica teórica, ideal, que atingia um rendimento de 100%. Estabelece um ciclo de rendimento máximo, que mais tarde passa a ser chamado Ciclo de Carnot.

O ciclo de Carnot estabelece o limite teórico, inalcançável, para qualquer máquina térmica real, ou seja, um rendimento máximo. De acordo com Pietrocola et al., (2010) não é possível construir uma máquina que atinja um ciclo igual ao de Carnot. Mas, mesmo assim o estudo teórico de Carnot possibilitou compreender melhor o funcionamento das máquinas térmicas.

Figura 9: Diagrama PV do Ciclo de Carnot.



Fonte: Alunos Online (2019).

Disponível: <https://alunosonline.uol.com.br/fisica/reflexao-geral-sobre-ciclo-carnot.html>.  
Acesso em 29/08/2019.

Seu diagrama PV, uma expansão isotérmica totalmente reversível em todos os pontos do sistema.

No percurso (A-B) o sistema ganha calor da fonte quente.

No percurso (B-C) o sistema sofreu uma expansão adiabática, assim, não troca calor com as fontes térmicas.

No percurso (C-D) o sistema sofre uma compressão isotérmica, assim, cede calor para a fonte fria.

No percurso (D-A) o sistema sofre uma compressão adiabática, assim, o sistema não troca calor com as fontes térmicas.

Assim, Carnot demonstra que a porção máxima de energia que pode ser convertida em trabalho útil, denominado, rendimento ideal ( $\eta_{\text{ideal}}$ ) depende da diferença de temperatura entre a fonte quente e a fonte fria. Considerações construídas a partir dessas temperaturas e ao calor fornecido as fontes. Carnot mostra proporcionalidade entre essas grandezas, de acordo com as expressões a seguir:

$$\frac{Q_1}{T_{\text{quente}}} = \frac{Q_2}{T_{\text{fria}}}$$

Substituindo a relação de proporcionalidade do calor com as temperaturas na expressão do rendimento, temos:

$$\eta_{\text{ideal}} = 1 - \frac{Q_{\text{fria}}}{Q_{\text{quente}}}$$

Assim vamos analisar um exemplo: imagine que numa turbina a fonte quente estiver a 127 °C e a fonte fria a 27 °C, o rendimento ideal é de 25%, mesmo sendo sob condições ideais.

Logo, se utilizarmos qualquer uma das expressões para calcular o rendimento das máquinas térmicas, para obtermos 100% rendimento nenhuma quantidade de calor pode ser cedida a fonte fria e a variação da energia interna precisa ser nula, porém, essa condição é impossível. Carnot ainda afirma que, outra possibilidade de alcançarmos um rendimento de 100% seria fornecer uma quantidade de calor infinita. Está condição também é impossível.

Os estudos de Carnot proporcionaram determinar os limites das transformações de calor em trabalho. De acordo com Pietrocola et al., (2010) isso ficou conhecido na Física como a **Segunda Lei da Termodinâmica**, que sofreu distintas formulações, porém, equivalentes:

“É impossível realizar um processo real cujo único resultado seja remover calor de uma fonte quente e transformá-lo numa quantidade equivalente de trabalho” (p. 286).

“É impossível que, espontaneamente, o calor flua de uma fonte fria para uma fonte quente” (ibid.).

“É impossível construir um dispositivo que opere em um ciclo termodinâmico e que não produza outros efeitos além da passagem de calor da fonte fria para a fonte quente” (ibid.).

Esse último sobre as máquinas refrigeradoras, foi feito por Rudolf J. Clausius.

**Figura 10:** Rodolf J. Clausius (1822-1888).



**Fonte:** Science Photo (2019).

Disponível: <https://www.sciencephoto.com/media/441700/view/rudolf-clausius-german-physicist>.  
Acesso em 30/08/2019.

No qual enuncia que, é impossível construir uma máquina que opere sem receber trabalho, pois é impossível o calor passar de um corpo frio para um corpo quente de forma espontânea.

Alguns anos depois Max Planck (1858-1947) se destacou como uns dos físicos mais importantes em relação mecânica quântica, ganhando o Nobel em 1918, em condecoração à sua descoberta dos quanta de energia. Porém, Planck também produziu muitos trabalhos em relação a termodinâmica.

**Figura 11:** Max Planck (1858-1947).



**Fonte:** Today Physics (2019).

Disponível: <https://physicstoday.scitation.org/doi/10.1063/PT.6.6.20190423a/full/>.  
Acesso em 31/08/2019.

Em 1879 Planck em seu trabalho de doutorado fez uma revisão dos princípios da termodinâmica: a primeira e a segunda lei da termodinâmica. De acordo com Nóbrega, Freire e Pinho (2013) em 1897, Planck reuniu suas investigações sobre termodinâmica em um único texto inspirado em uma das mais relevantes sínteses teóricas construídas por Rudolf Clausius e o conde de Rumford na década de 1850.

A partir desses trabalhos Planck escreve um livro com o nome de *Treatise on Thermodynamics*, no qual Planck destaca que nenhum processo é possível se o único resultado é a transferência de calor de um corpo frio um corpo quente. Pois é impossível um motor térmico operar trocando calor com uma única fonte de calor.

Esse enunciado de Planck refere-se ao motor térmico. Segundo Nóbrega, Freire e Pinho (2013) Planck afirma que é impossível transformar todo o calor em trabalho mecânico, pois sempre que certa quantidade de calor é transformada em trabalho, outra quantidade de calor deve ser submetida a uma mudança correspondente e compensadora, ou seja, é cedida a fonte de baixa temperatura.

Assim em um motor térmico é impossível transformar todo o calor fornecido em trabalho mecânico, é impossível atingir 100% de rendimento. Parte desse calor fornecido é cedido a fonte fria, ao meio que está o motor e ao atrito das peças. Todos esses enunciados anteriormente citados foram construídos experimentalmente e até os dias de hoje não foram contrariados.

Caro professor, agora se volta a retomada das últimas questões problematizadoras lançadas no início da aula afim de discuti-las com os alunos.

*O que significa a Potência de um motor? É a relação entre o trabalho realizado pelo motor e o tempo gasto neste processo.*

*Imagine um motor de fiat uno. É possível converter toda gasolina fornecida a ele para gerar trabalho mecânico? E se for um motor de um carro de formula 1? Conforme visto pela segunda lei da termodinâmica, é impossível converter todo calor fornecido em trabalho. Sempre haverá dissipação de energia para o meio e atrito entre as peças do motor.*

Bem como serão sugeridos alguns exercícios extras de fixação, sobre rendimentos de máquinas térmicas que operam de acordo com a máquina de Carnot.

**Exercício de fixação 2:** Segunda Lei da Termodinâmica.

- 1- (PIETROCOLA et. al., 2010) Uma máquina funciona seguindo o ciclo de Carnot com boa aproximação; ela opera as temperaturas de  $27^{\circ}\text{C}$  e  $227^{\circ}\text{C}$ . Determine o rendimento dessa operação.
- 2- (PUCCAMP) Rendimentos das máquinas térmicas que operam entre as temperaturas e  $0^{\circ}\text{C}$  e daquelas que operam entre de  $50^{\circ}\text{C}$ , conforme o ciclo de Carnot.  
A) 50%. B) 25%. C) 15%.

Fonte: autor.

**Resposta aos exercícios de Fixação 7:** Exercício 1:  $T_{\text{fria}} = 27 + 273 = 300\text{ K}$  e  $T_{\text{quente}} = 227 + 273 = 500\text{K}$ . O rendimento do ciclo é dado por  $1 - 300 / 500 = \eta_{\text{ideal}} = 0,4$  ou 40%. Exercício 2 = B.

**1.2.3. Prova (Atividade Avaliativa)**

Projetada para dois períodos de 45 minutos sequenciais, totalizando 90 minutos. Essa aula possui como objetivo avaliar o processo de aprendizagem dos estudantes, como também, construir uma reflexão sobre as práticas educacionais aplicadas.

**Exercício de fixação 3:** Prova.

**Questão 1:** Explique o que são máquinas térmicas:

**Questão 2:** Explique quais foram as contribuições de Carnot às máquinas térmicas:

**Questão 3:** Através do enunciado da Segunda Lei da Termodinâmica por Clausius, no qual afirma que é impossível o calor passar de forma espontaneamente de um corpo frio para um corpo quente. Porém, observamos em uma geladeira na cozinha de nossas casas esse processo. Explique por quê um refrigerador não contraria o enunciado de Clausius:

**Questão 4:** Uma máquina funciona seguindo o ciclo de Carnot com boa aproximação; ela opera as temperaturas de  $76^{\circ}\text{C}$  e  $96^{\circ}\text{C}$ . Determine o rendimento dessa operação.

**Questão 5:** Determine o Rendimentos de uma máquina térmica que operam entre as temperaturas de  $30^{\circ}\text{C}$  e  $60^{\circ}\text{C}$ , conforme o ciclo de Carnot.

Fonte: autor.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse estudo foi construído uma SD para o ensino da física térmica, para a Segunda Lei da Termodinâmica com a utilização da HC e metodologicamente estruturada na teoria dos Três Momentos Pedagógicos de Delizoicov e Angotti (1990).

A SD desenvolvida aqui se torna uma alternativa de material para professores de física e ciências da natureza para o tópico da Segunda Lei da Termodinâmica. Recheada de HC e estruturada na teoria dos três momentos pedagógicos a SD se torna uma ferramenta frutífera para o ensino, potencializando os mecanismos de aprendizagem dos alunos, assim tornando a física mais compreensível aos educandos.

O ensino da física, é ensinar o educando a pensar, a construir raciocínio lógico. Acostuma-lo a lidar com as ocasiões do dia a dia. O processo de ensino e aprendizagem da disciplina de física não é uma tarefa fácil para os educandos. Mas a HC ajudar nesse processo e torna-lo mais acessível ao aluno, pois compreender como os conhecimentos foram construídos torna mais familiar, a cognição dos tópicos da disciplina de física.

Como reforça os Parâmetros curriculares Nacionais (BRASIL, 2000), nos quais salientam que se o ensino for descontextualizado os alunos perdem a vontade de aprender e isso pode até gerar a desistência da escola, “*distanciamento entre os conteúdos programáticos e a experiência dos alunos certamente responde pelo desinteresse e até mesmo pela deserção que constatamos em nossas escolas*” (BRASIL, 2000, p. 22).

É necessário contextualizar o ensino de física. A disciplina é pesada para os educandos por tudo que já foi citado anteriormente, pois exige interpretação de textos, muito raciocínio lógico e um amplo conhecimentos de matemática.

Nessa busca o professor fornece aos alunos uma base teórica científica que eles possam se organizar e desenvolver o seu próprio conhecimento. Que possam construir um entendimento mais amplo sobre o funcionamento da ciência, de como um processo que evoluiu ao longo dos anos, que é farto de inúmeras interferências políticas, tanto emocionais dos pesquisadores quanto de todos que estão envolvidos nas pesquisas. Que sobre influências culturais, econômicas e sociais. A HC é uma grande aliada para atingir esse processo de ensino e aprendizagem.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio**. Ministério da Educação/Secretária de Educação Básica, Brasília, 2000.

CLASSIC, Ae. **Motores a Combustão Interna uma breve história**. 2013. Disponível: <http://www.autoentusiastasclassic.com.br/2013/03/motores-combustao-interna-uma-breve.html>. Acesso em 28/08/2019

DELIZOICOV, Demétrio; ANGOTTI, José André. **Física**. São Paulo: editora Cortez, 1990.

EDUCAÇÃO, Mundo. **Funcionamento de um motor a combustão interna**. 2019. Disponível: <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/funcionamento-motor-combustao-interna.htm>. Acesso em 24/08/2019.

ENEM, Pre. **Produção e uso Social dos Combustíveis Fósseis**. 2015. Disponível: <https://cursinhopreenem.com.br/geografia/producao-e-uso-social-dos-combustiveis-fosseis/>. Acesso em 27/08/2019.

ESCOLA, Brasil. **Exercícios sobre máquinas Térmicas**. Exercícios de Física. 2019. disponível: <https://exercicios.brasilecola.uol.com.br/exercicios-fisica/exercicios-sobre-maquinas-termicas.htm#resp-3>. Acesso 29/08/2019.

LANCELLOTTI, Catherine Pinheiro D. et. *al.* Roda de Movimento Perpétuo. **Thorq Legal**. UNESP, Universidade Estadual Júlio de Mesquita, Campus de Sorocaba Laboratório de Física II. V.1. Sorocaba, 2015.

MÁXIMO, Antônio; ALVARENGA Beatriz. **Física: Frente A**. Editora Ática, V.2, 2. ed. São Paulo. 2015.

NASCIMENTO et. *al.* Reflexões Sobre a Contribuição da Carnot à Primeira Lei da Termodinâmica. **Revista Química Nova**. Vol. 27, N. 3, 2004.

NÓBREGA, M.L; FREIRE, Jr. O; PINHO, S. T. Max Planck e os enunciados da segunda lei da termodinâmica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v. 35, n. 2, 3601. 2013.

PALMA, Francisco R. **Alfabetização Científica por meio do conteúdo máquinas térmicas: uma perspectiva para a aprendizagem de Física**. (Dissertação) Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, PPGECIM, da Universidade Federal do Amazonas. 2019.

PEOPLEPILL, People. Johann Bernoulli. **Swiss Mathematician**, 2019. Disponível: <https://peoplepill.com/people/johann-bernoulli/>. Acesso em 03/11/2021.

PIETROCOLA, Maurício et. *al.* **Física em contextos: Energia, Calor, Imagem e Som.** v.2, editora FTD S.A. 1ed. São Paulo. 2010.

SILVA, Bruno G. Sequência Didática com História da Ciência: A Evolução do Conceito de Calor. **Revista Científica Semana Acadêmica.** Fortaleza, Ceará, Ed. 202, V.8, 2021.

\_\_\_\_\_. **História da Ciência nos Livros Didáticos de Física do 1.º Ano do Ensino Médio no Brasil.** Dissertação de Mestrado em Ensino de Ciências - Instituto Politécnico de Bragança, Portugal. Bragança, 2017.

\_\_\_\_\_. Ensino de Física: ciência e sua natureza. **Revista Científica Semana Acadêmica.** Fortaleza, Ceará, Ed. 119, vol. 1, 2018.

SILVA, Geilson R.; ERROBIDART, Nádia Cristina G. Termodinâmica e Revolução Industrial: Uma abordagem por meio da História Cultural da Ciência. **Revista História da Ciência e Ensino.** Volume 19, pp. 71-91. 2019.

UOL, Universo Online. **Alunos Online.** Física, 2019. Disponível <https://alunosonline.uol.com.br/fisica/maquina-carnot.html>. Acesso em 28/08/2019.