



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA  
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA  
(POLO 58 - UFRPE)

José Aduino dos Reis Costa

## **PRODUTO EDUCACIONAL**

UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA:  
APRENDIZAGEM DOS CONCEITOS DE ENTROPIA E SEGUNDA  
LEI DA TERMODINÂMICA.

Recife,  
Novembro de 2022

UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA: APRENDIZAGEM  
DOS CONCEITOS DE ENTROPIA E SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA.

Este produto educacional é parte integrante da dissertação: UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA: APRENDIZAGEM DOS CONCEITOS DE ENTROPIA E SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 58-UFRPE, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:

Prof. Dr. Ramón E. R. González

Recife,  
Novembro de 2022

## **Agradecimentos**

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Primeiramente agradecer a Deus por me dar forças suficientes para cumprir minha jornada, À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) e à Sociedade Brasileira de Física (SBF), pela oferta, em conjunto, do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, possibilitando a capacitação em nível de mestrado, em pleno exercício da profissão, de professores atuantes no ensino de Física na educação básica neste mestrado; Em especial, ao professor Ramón González, meu orientador, por toda disponibilidade e ajuda do início ao fim deste projeto, à minha esposa pela compreensão nos momentos de ausência por conta do tempo empregado aos estudos.

## Sumário

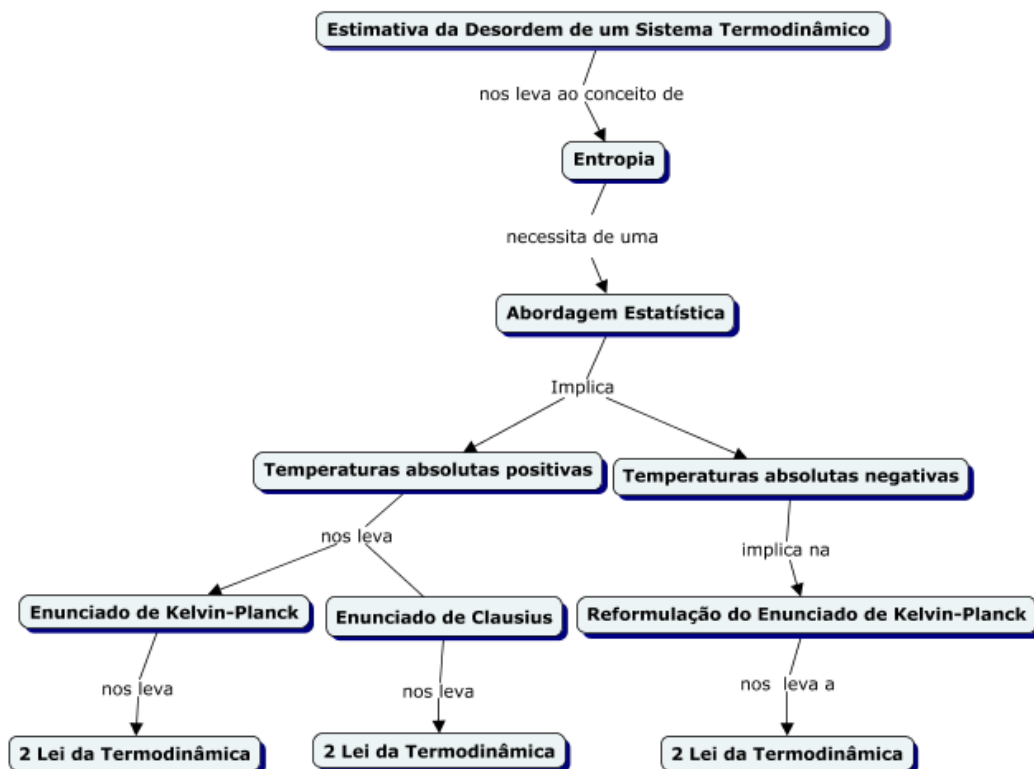
Apresentação	03
A sequência didática	04
Referências bibliográficas	13

## Apresentação

Nosso trabalho tem como enfoque principal a apresentação de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) que tem como objetivo, enquanto sequência de ensino, facilitar a ocorrência de aprendizagem significativa, na perspectiva de David Ausubel, dos conceitos de Física, especificamente alguns relacionados à Termodinâmica. As UEPS são constituídas por etapas que atuam como guias e auxiliam na sua elaboração. Através desta UEPS pretendemos contribuir para a melhoria do ensino, especificamente relativos aos conceitos de entropia, entropia e temperatura absoluta negativa, culminando com a reformulação da 2ª Lei da Termodinâmica, partindo da premissa de que só há ensino quando há aprendizagem e esta deve ser significativa; ensino é o meio, aprendizagem significativa é o fim.

O mapa conceitual abaixo, serve como referência para a construção das UEPS.

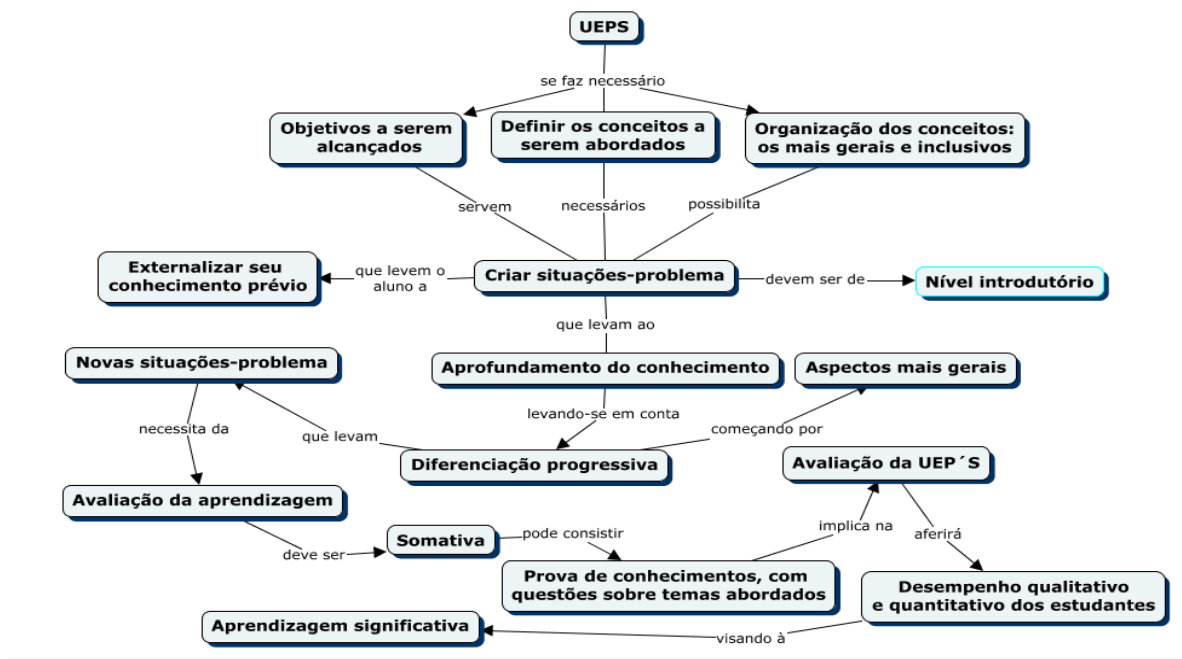
**Figura 01** – Mapa Conceitual da Entropia



Fonte: Elaborado pelo autor

## A sequência didática

Figura 02 – Mapa Conceitual da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa



Fonte: Elaborado pelo autor

**1º Passo – Definir os conceitos específicos a serem abordados e os objetivos a serem alcançados.**

Tópicos: Entropia, e Segunda Lei da Termodinâmica.

Objetivos: compreender o conceito de Entropia, Compreender a sua relação com a Segunda Lei da Termodinâmica, como também entender de que forma o conceito de temperatura absoluta negativa implica na modificação da 2ª lei da Termodinâmica.

**2º Passo – Criar/propor situações que levem o aluno a externalizar seu conhecimento prévio (Duração: 0,5 hora/aula)**

A partir da observação das imagens, entregar para os alunos uma folha com contendo a figura 1 e as seguintes questões:

- O que levou a criança a dar sempre a mesma resposta, embora as situações fossem diferentes?
- O que acontece quando as coisas estão desarrumadas?

Figura 03 – Problematização inicial



situação inicial sobre o conceito de entropia (disponível em): [www.facebook.com/cienciaemmemes/posts/617441232084214/](http://www.facebook.com/cienciaemmemes/posts/617441232084214/)

Figura 04 – Problematização inicial



Fonte: disponível em: <http://www.fisica-interessante.com/fisica-termodinamica-entropia.html>

Embora divertida, esta associação entre entropia e o sentido de senso comum da palavra 'desordem' pode prejudicar a compreensão do conceito e ao uso incorreto da 2ª Lei da Termodinâmica. Uma relação correta cientificamente mais correta será vista no desenvolvimento desse trabalho.

Nesta etapa, trabalhamos também alguns conceitos necessários à construção de mapas conceituais.

**3º passo – Propor situações-problema em nível introdutório que levem em conta o conhecimento prévio do aluno (Duração: 0,5 hora/aula)**

- Questionamento oral do professor para o grupo de todos os alunos, anotando as respostas no quadro: O que aconteceu com a moléculas de água ao passar do estado sólido para o estado líquido? Houve realização de trabalho?

**Figura 05** – Situação-problema



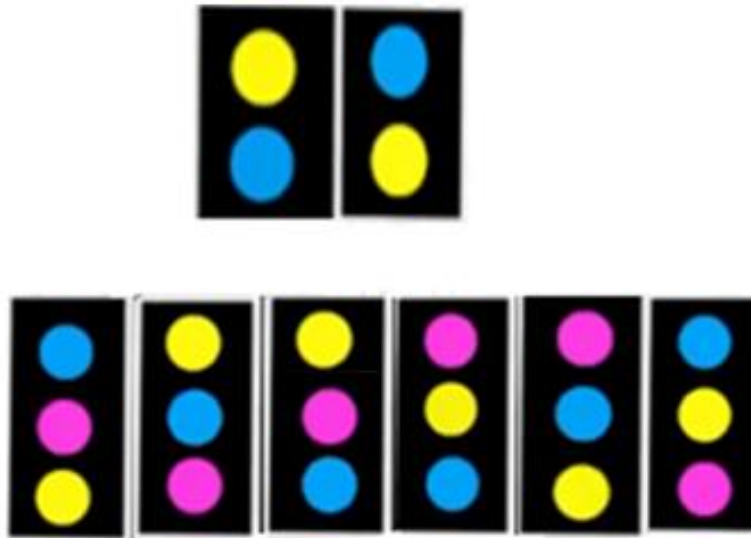
Fonte: disponível em <http://tiobill.com.br/derretendo-o-gelo/>

- Através do diálogo, partindo do que foi observado no caso da mudança de estado (Sólido para líquido) e de outros exemplos do cotidiano, introduz-se o conceito de Entropia, para que o aluno consiga entender que o sistema recebeu energia, mas não houve realização de trabalho.

- Através do diálogo, partindo do que foi observado no caso da mudança de estado (Sólido para líquido) e de outros exemplos do cotidiano, introduz-se o conceito de Entropia, para que o aluno consiga entender que o sistema recebeu energia, mas não houve a realização de trabalho.



**Figura 06** – Estados possíveis



**Fonte:** Elaborado pelo autor

A partir da apresentação da figura acima, perguntamos ao aluno quantos estados o sistema pode assumir na primeira situação e na segunda situação, mostrando que quando eu aumento meu sistema, aumento o número de combinação (estados possíveis do sistema). Quanto maior o número de estados possíveis, menos energia estará disponível para ser utilizada.

Introduzimos o conceito termodinâmico da temperatura, a partir da 1ª Lei, chegamos a

$$\Delta S = Q/T \quad (1.0)$$

A definição termodinâmica diz que alteração na entropia é igual ao calor adicionado ao sistema dividido pela temperatura na qual o calor é adicionado.

Se houver pequena alteração na temperatura e é o que acontece, podemos ver isso com a definição matemática, estatística ou combinatória da entropia onde  $\Omega$  é o número de estados que o sistema poderá suportar, este é o caso no qual todos os estados são igualmente prováveis, o que é uma situação bastante consistente

$$S = K \ln \Omega. \quad (2.0)$$

A partir do conceito de entropia, introduzimos a 2ª lei da Termodinâmica.

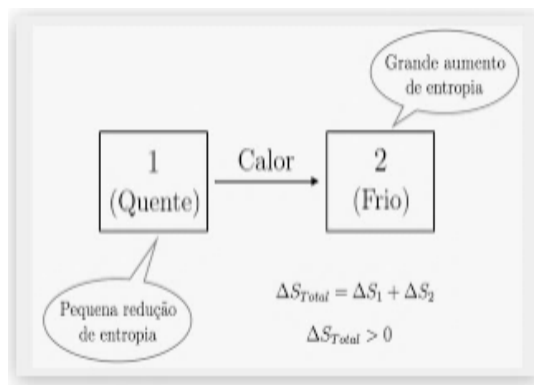
2ª Lei da Termodinâmica

$$\Delta S_U \geq 0 \quad (3.0)$$

A alteração na entropia do universo quando qualquer processo está em andamento. Isso nos diz que, quando qualquer coisa acontece no universo, o efeito líquido é que há mais entropia no universo em si.

Mostramos como num processo de transferência de calor, a entropia do universo aumenta.

**Figura 12** – Processo de transferência de calor



**Fonte:** Material instrucional associado à dissertação de mestrado de Marcos Moura, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

$$\Delta S_U = \Delta S_1 + \Delta S_2 \quad (4.0)$$

$$\Delta S_U = -\frac{Q}{T_1} + \frac{Q}{T_2} \quad (5.0)$$

$$\Delta S_U = \frac{Q}{T_2} - \frac{Q}{T_1} \quad (6.0)$$

Assim, o sistema perde calor a uma temperatura  $T_1 > T_2$ . O calor será transferido do corpo quente para o corpo frio

Mostrar para aos alunos, que a definição de temperatura como a energia cinética média das moléculas, pode levar a um paradoxo quando experimentos demonstram temperatura absolutas menores que zero.

Introduzimos

Assistir ao vídeo “Temperatura absoluta negativa em sistemas quânticos” (Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=5gjeIkBlpKI>). Nesta etapa, construir o 1º mapa conceitual.

**4º Passo – uma vez trabalhadas as situações iniciais, aprofundar o conhecimento, levando-se em conta a diferenciação progressiva começando com aspectos mais gerais (Duração: 1 horas/aula)**

- Questionamento oral para todo o grupo: a) O que são processos reversíveis? O que são processos irreversíveis.

- Leitura e discussão do texto Entropia e 2ª Lei e transformações reversíveis e irreversíveis, disponíveis em <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/entropia-segunda-lei>. e <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/transformacoes-reversiveis-irreversiveis.htm>, respectivamente.

**5º Passo – Em continuidade, retomar os aspectos mais gerais estruturantes, com novas situações-problema. Essa atividade pode ser a resolução de problemas, a construção de um mapa conceitual ou um diagrama em V, um experimento de laboratório, mas deve, necessariamente, envolver negociação de significados e mediação docente (Duração: 0,5 hora/aula)**

Introduzimos o conceito de que a mudança na entropia está inversamente relacionada à temperatura ou seja, em termos de equação

$$\frac{1}{t} = \frac{ds}{dE} \quad (7.0)$$

Podemos a partir de agora, aprofundar o conhecimento e construir o gráfico  $S = f(U)$ .

- Introduzir a Segunda Lei da Termodinâmica explicando qual a sua relação com Entropia: Enunciado de Clausius e enunciado de Kelvin-Planck.

- A segunda lei da termodinâmica formulada em termos quantitativos usando o conceito de entropia, o qual fornece uma estimativa da desordem do sistema.

- Entropia e temperatura absoluta negativa.

- Construção de um mapa conceitual

**6º Passo – Diferenciação progressiva retomando as características mais relevantes do conteúdo em questão, porém de uma perspectiva integradora (Duração: 0,5 hora/aula)**

- Através do diálogo e da apresentação de algumas situações, explicar as diferenças entre temperaturas absolutas positivas e temperaturas absolutas negativas, definindo temperatura do ponto de vista de entropia e energia.
- Reformulação do enunciado de Kelvin-Planck
- 2ª lei da Termodinâmica reformulada
- Construção de um mapa conceitual que envolva os conceitos de temperaturas absolutas positivas, bem com temperaturas absolutas negativas.

**7º Passo – A avaliação da aprendizagem através da UEPS deve ser feita ao longo de sua implementação, através de avaliação somativa individual (Duração: 1 hora/aula)**

- Esta avaliação pode consistir de prova de conhecimentos, com questões sobre os temas abordados. Abaixo, exemplos de questões que podem ser utilizadas:

a) a entropia de uma batata assada quente diminui à medida que ela esfria. Isso viola o princípio do aumento de entropia? Explique.

b) em relação à questão anterior, o que sistema e o que o meio? O que forma o sistema mais o meio?

c) por que não se pode construir uma máquina com 100% de rendimento? Que grandeza física está relacionada ao fato de não se poder construir uma máquina com 100% de rendimento

d) No caso de temperaturas absolutas negativas, elas são mais frias ou mais quentes que o zero absoluto? Como isso é possível?

e) É possível, através de um número finito de operações, “reduzir” a T de qualquer sistema com  $T > 0$  ao zero absoluto?

f) Construção do mapa conceitual final.

**8º Passo – Avaliação da UEPS**

-A UEPS somente será considerada exitosa se a avaliação do desempenho dos alunos fornecer evidências de aprendizagem significativas, para isso será feita uma análise quantitativa e qualitativa sobre as atividades realizadas no desenvolvimento da UEPS, verificando se ocorreu uma aprendizagem significativa.

## Referências Bibliográficas

- MOREIRA, M. A. **Ensino e Aprendizagem Significativa**. 1ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2017.
- MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. 2ed. São Paulo: EPU, 2011.
- SOUZA, GRAZIELA FERREIRA DE. **Mapas Conceituais: estratégias para ensinar e aprender significamente**: 1 ed. Curitiba: CRV, 2021.
- H. M. NUSSENZVEIG. **Curso de Física Básica**. v.2. 4a ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2002.
- SALINA, SÍLVIO R.A. **Introdução à Física Estatística**. 2 ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2018.
- BORGES. E. P. **Irreversibilidade, desordem e incerteza**: Três visões da generalização do conceito de entropia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**: v. 21, n. 4, Dezembro de 1999.
- OLIVEIRA, M. J. de. **Termodinâmica**. São Paulo: Livraria da Física, 2005.
- MOREIRA, MARCO ANTONIO; MASINI, ELCIE FORTES SALZANO. **Aprendizagem significativa**: a teoria de David Ausubel. São Paulo: Centauro, 2006.
- MOREIRA, MARCO ANTONIO. MASINI. **Ensino e Aprendizagem significativa**:. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2017.
- MOURA, Marcos. **Entropia estatística e o ensino da segunda lei da termodinâmica**. 2016. 197 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2016.
- MOURA, Marcos. Material instrucional associado à dissertação de mestrado **Entropia estatística e o ensino da segunda lei da termodinâmica**. 2016. 54f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2016.