



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE FÍSICA**  
**CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA**

**DANIEL FERNANDES PINHEIRO**

**A UTILIZAÇÃO DO SIMULADOR PHET NUMA AULA DE TERMODINÂMICA**

**FORTALEZA**

**2023**

**DANIEL FERNANDES PINHEIRO**

**A UTILIZAÇÃO DO SIMULADOR PHET NUMA AULA DE TERMODINÂMICA**

Monografia apresentada ao Curso de Licenciatura em Física do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau em licenciado em Física.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Antônio Araújo Silva.

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

P718u Pinheiro, Daniel Fernandes.

A utilização do simulador Phet numa aula de termodinâmica / Daniel Fernandes Pinheiro.  
– 2023.

37 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro  
de Ciências, Curso de Física, Fortaleza, 2023.

Orientação: Prof. Marcos Antônio Araújo Silva.

1. Termodinâmica. 2. Leis da termodinâmica. 3. Simulador Phet. I. Título.

CDD 530

---

DANIEL FERNANDES PINHEIRO

A UTILIZAÇÃO DO SIMULADOR PHET NUMA AULA DE TERMODINÂMICA

Monografia apresentada ao Curso de Licenciatura em Física do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau em licenciado em Física.

Aprovada em: 01/12/2023.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Marcos Antônio Araújo Silva  
(Orientador) Universidade Federal do Ceará  
(UFC)

---

Profa. Dra. Wanessa Façanha da Silva  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Nildo Loiola Dias  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, Joaquim Erivan  
Pinheiro e Maria Nilma Fernandes  
Pinheiro.

## **AGRADECIMENTOS**

À todos os meus professores que tiveram paciência e virtude de me ensinar o que eu sei hoje, por exemplo, como na formação do meu caráter e no meu profissionalismo.

À residência pedagógica que me propiciou um aprendizado com o coordenador do projeto Afrânio de Araújo Coelho e aos professores da escola que participei que me ensinaram muito sobre como se comportar em sala de aula e os princípios importantes de como ministrar uma aula.

Ao meu orientador Prof. Dr. Marcos Antônio Araújo Silva que teve toda a paciência e me orientou de forma excelente.

Aos meus pais que são a base de tudo.

À minha esposa que terminou o mestrado e me concedeu força e sabedoria para eu concluir a minha licenciatura.

“Se a educação sozinha não transforma a sociedade, sem ela tampouco a sociedade muda.” (Freire, 2000, p.67)

## RESUMO

Essa monografia consiste em mostrar que os mecanismos apresentados pela informática possuem uma grande aplicação na educação, principalmente na forma de ensinar aos alunos. Os simuladores consistem em uma grande ferramenta de ensino e aprendizagem, pois permitem ao aluno visualizar os fenômenos e as leis que são apresentadas em sala de aula, e estas aulas podem ser trabalhadas por simuladores disponíveis na internet. O Phet é um simulador gratuito que pode ser utilizado sem maiores dificuldades, pois não precisa de um computador com uma configuração avançada para utilizá-lo. No trabalho mostramos como pode ser aplicado esse simulador numa aula de termodinâmica, servindo como ferramenta pedagógica para utilização em sala de aula, principalmente focando a primeira lei da termodinâmica e na equação dos estados dos gases ideais.

**Palavras-chave:** termodinâmica; leis da termodinâmica; simulador Phet.

## **ABSTRACT**

This monograph consists of showing that the mechanisms presented by information technology have a great application in education, mainly in the way of teaching students. Simulators are a great teaching and learning tool, as they allow the student to visualize the phenomena and laws that are presented in the classroom, and these classes can be worked on using simulators available on the internet. Phet is a free simulator that can be used without any major difficulties, as you do not need a computer with an advanced configuration to use it. In the work we show how this simulator can be applied in a thermodynamics class, serving as a pedagogical tool for use in the classroom, mainly focusing on the first law of thermodynamics and the equation of states of ideal gases.

**Keywords:** thermodynamics; laws of thermodynamics; simulate phet

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Imagem da página inicial do Phet.....	26
Figura 2	– Imagem mostrando as áreas de conhecimento .....	26
Figura 3	– Imagem das simulações de “calor e termometria” .....	27
Figura 4	– Imagem das formas de energia e transformações.....	27
Figura 5	– Imagem da transformação da energia química em mecânica.....	28
Figura 6	– Imagem da transformação da energia elétrica em energia luminosa.	29
Figura 7	– Imagem da utilização da energia solar para gerar energia elétrica...	29
Figura 8	– Imagem da simulação “gases: introdução” .....	31
Figura 9	– Imagem com a caixa do volume constante selecionado.....	32
Figura 10	– Imagem com pressão modificada devido ao aumento de temperatura.....	32
Figura 11	– Imagem com a caixa da temperatura constante selecionada.....	33
Figura 12	– Imagem com pressão modificada devido à redução de volume.....	34

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>SIMULADORES .....</b>	<b>14</b>
<b>3.1</b>	<b>Phet .....</b>	<b>14</b>
<b>4</b>	<b>TERMODINÂMICA .....</b>	<b>15</b>
<b>4.1</b>	<b>Origem da termodinâmica .....</b>	<b>18</b>
<b>4.2</b>	<b>As leis da termodinâmica.....</b>	<b>19</b>
<b>4.3</b>	<b>Aplicação da Termodinâmica.....</b>	<b>24</b>
<b>5</b>	<b>AULA UTILIZANDO O PHET .....</b>	<b>25</b>
<b>5.1</b>	<b>Primeira lei da termodinâmica.....</b>	<b>28</b>
<b>5.2</b>	<b>Equação de estado dos gases.....</b>	<b>30</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>35</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>36</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A mecânica é um ramo da física que investiga as interações entre os corpos e as forças que atuam sobre eles. Os movimentos cotidianos podem muitas vezes ser descritos usando equações deste campo. Existem três ramos da mecânica clássica: a cinemática, a dinâmica e a estática. A delimitação da temática sobre mecânica clássica foi utilizada com o objetivo de reporta-se a termodinâmica.

A termodinâmica, por exemplo, é utilizada em muitas situações, desde painéis de pressão até motores de automóveis. Surge também a invenção das máquinas a vapor, que foram essenciais à Revolução Industrial na Inglaterra em meados do século XIX. A pesquisa da termodinâmica tornou possível avaliar as propriedades da matéria sob condições exatas de pressão e temperatura. O estudo das flutuações de temperatura, calor e pressão, assim como as características dos materiais em determinados ambientes, estão todos cobertos pelo campo da termodinâmica. Este método examina pequenas e grandes modificações nas partículas, tais como pressão ou temperatura. Estas investigações examinam como os materiais mudam de sólidos para líquidos ou gases.

O uso da informática como ferramenta de ensino e aprendizagem tem se mostrado muito eficaz para ser inserido como instrumento de trabalho para professores utilizarem como um recurso fundamental. Atualmente, basicamente, todo estudante possui um celular e utiliza-se de diversos aplicativos, que em sua grande maioria são para jogos ou para mensagens, mas o professor pode incentivar ao aluno utilizar aplicativos voltados para a educação.

A utilização de simuladores propõe um engajamento maior por parte dos alunos, pois eles podem visualizar o fenômeno e modificar os parâmetros da forma que desejar até compreender o que está acontecendo e para isso será importante o embasamento teórico do assunto que é ensinado pelo professor.

O objetivo central deste trabalho é descrever a termodinâmica e mais especificamente teorizar e conceituar a termodinâmica e também descrever sobre suas leis e aplicá-las no simulador Phet que foi o simulador escolhido por ser gratuito e de fácil manipulação, podendo ser utilizado on-line ou off-line.

## 2 INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO

O desenvolvimento dos computadores, da internet e dos aplicativos possibilitou a sociedade, de uma maneira geral, a explorar a aprendizagem de diversos assuntos. Na educação também tivemos esse avanço com o aprimoramento e praticidade de aplicativos e simuladores relacionados ao aprendizado dos alunos os quais devem sempre serem orientados por seus professores. Segundo a BNCC (2018), a informática na educação significa:

A inserção do computador no processo de ensino-aprendizagem dos conteúdos curriculares de todos os níveis e modalidades da educação. Os assuntos de uma determinada disciplina da grade curricular são desenvolvidos por intermédio do computador.

O simulador é um instrumento de colaboração no desenvolvimento da aprendizagem e funciona como mediador pedagógico. No entanto para Behrens (2000) este recurso informatizado “por si só não garante a inovação, mas depende de um projeto bem arquitetado, alimentado pelos professores e alunos que são usuários.”

O papel das tecnologias se restringe apenas ao de ferramenta, ou seja, é de suma importância o papel do professor e de seus alunos para que a tecnologia seja utilizada de forma correta e que seu benefício seja de fato utilizado no aprendizado dos alunos. Ao contrário do que pensaram no passado, qualquer ferramenta serve apenas como auxílio, não como pretensa substituição do professor.

Tivemos um grande exemplo do uso da informática na educação nos dois anos de pandemia devido a Covid 19 e vimos que o professor é sempre o orientador em relação ao uso da tecnologia para a educação e o aluno tem uma parte muito importante no seu aprendizado. O professor pode se esforçar ao seu máximo, mas se o aluno não colaborar ele não conseguirá aprender e é de suma importância o interesse do mesmo no seu processo de aprendizagem. O uso da informática na educação tem como principal objetivo atrair o interesse do aluno no seu aprendizado.

Apesar das vantagens que representam, as tecnologias digitais carecem de uma quase permanente formação, porque nessa área, a inovação acontece a todo o momento, o que por vezes proporciona mudanças significativas nas práticas dos professores (MOREIRA; MONTEIRO, 2012)

### 3 SIMULADORES

De acordo com Calomeno (2017) especificamente tratando de simuladores educacionais, algumas de suas características são especialmente vantajosas as práticas pedagógicas como: criar um ambiente livre de riscos; propiciar a experimentação; desenvolver a habilidade de solução de problemas; oferecer um processo de avaliação; e promover a interação social.

Os simuladores educacionais podem favorecer o processo de aprendizagem, quando relacionados à cognição do usuário, organizados de maneira lógica e que possibilitem uma interação social. Dessa forma, com a sua aplicação centrado no usuário, o simulador educacional apresenta particularidades, envolvendo: o aprender pelo uso, o aprendizado através dos erros, da orientação por objetivos, por tarefas, por perguntas, pela descoberta e com feedbacks, de forma interativa (PRENSKY, 2007). Existem diversos simuladores educacionais, nessa monografia iremos utilizar o simulador PHET.

#### 3.1 Phet

Fundada a plataforma em 2002 pelo Prêmio Nobel Carl Wieman, a plataforma Phet é uma iniciativa da Universidade do Colorado que explora o conceito de simulações aplicáveis ao campo das ciências e matemática, permitindo trabalhar, a partir de recursos digitais, conceitos para os quais a experimentação possa contribuir para o processo de aprendizagem.

O Phet oferece simulações, tais como: energia na pista de skate, os estados da matéria, as formas de energia e transformação, entre outras simulações de ciência e matemática, de maneira divertidas e gratuita, as simulações interativas são baseadas em pesquisa. Os pesquisadores testam e avaliam extensivamente cada simulação para garantir a eficácia educacional. Essa plataforma não requer um computador avançado para o seu uso e ainda pode ser utilizada on-line e off-line, basta realizar o download da simulação que será utilizada na aula. Podemos utilizá-las em qualquer parte da física para a melhor compreensão do aluno. Nessa monografia iremos utilizar a simulação em relação a termodinâmica.

O simulador Phet, além de auxiliar os professores na missão de repassar o conhecimento aos estudantes os faz fixar o aprendizado.

## 4 TERMODINÂMICA

A termodinâmica é a parte da física que trata da relação entre calor e trabalho. A termodinâmica vem de duas disciplinas separadas até o século XIX: termologia e mecânica. O primeiro tratou exclusivamente de fenômenos térmicos e o segundo tratou de movimento, força e trabalho.

A termodinâmica é o ramo da física que estuda as transferências de calor, a conversão de energia e a capacidade dos sistemas de produzir trabalho. As leis da termodinâmica explicam o comportamento global dos sistemas macroscópicos em situações de equilíbrio (MAZARO; DARROZ; ROSA, 2022).

Possui as seguintes características:

1. Aplica-se ao estudo de sistemas contendo muitas partículas e não ao estudo individualmente de moléculas, átomos ou partículas subatômicas.
2. Estuda o sistema em situações de equilíbrio, que são aquelas em que o sistema tende a evoluir e se caracteriza por ter todas as propriedades do sistema determinadas por fatores intrínsecos e não por influências externas anteriormente aplicadas.
3. Seus postulados são baseados em experiências e não em raciocínios teóricos (BRAGA; CARVALHO, 2021).

Por exemplo, um gás, o nosso corpo ou a atmosfera são sistemas que se pode estudar do ponto de vista termodinâmico. Tudo o que não é um sistema e que está localizado ao seu redor, chama-se ambiente ou meio ambiente. Os sistemas interagem com o ambiente transferindo massa, energia ou ambos.

Através deles o sistema se comunica com o meio ambiente. Existem os seguintes tipos:

1. Fixo: mantenha o volume constante.
2. Móvel: o volume é variável e depende da pressão do lado do sistema e do ambiente.
3. Condução ou diatérmico: conduzindo calor, eles permitem que a temperatura em ambos os lados seja a mesma.
4. Adiabáticos: não conduzem calor. São isolantes térmicos.
5. Variáveis e equação de estado (MAZARO; DARROZ; ROSA, 2022).

As variáveis de estado são o conjunto de valores que determinadas

variáveis físicas e químicas adotam e que permitem caracterizar o sistema. Nem todos os sistemas termodinâmicos têm o mesmo conjunto de variáveis de estado. No caso dos gases são: pressão, volume, massa e temperatura.

As variáveis de estado de uma substância são relacionadas através de uma equação de estado da substância de tal forma que, estabelecendo um valor para várias delas, as demais são determinadas. Por exemplo, verifica-se experimentalmente que, se estabelecermos o volume e a temperatura de uma certa quantidade de um gás, sua pressão não pode ser modificada. Neste tópico iremos focar frequentemente no estudo dos gases, além da sua relativa simplicidade, é de grande interesse para o estudo de sistemas termodinâmicos como o motor a vapor, precursor dos motores atuais (JÚNIOR; DA SILVA; MOREIRA, 2018).

A equação de estado dos gases ideais segue a expressão:

$$p \cdot v = n \cdot R \cdot T$$

- p: Pressão. Sua unidade de medida no Sistema Internacional é o pascal (Pa), embora a atmosfera (atm) também seja frequentemente usada.  $1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa}$ .
- V: Volume. Sua unidade de medida no Sistema Internacional é o metro cúbico ( $\text{m}^3$ ) embora o litro (L) também seja frequentemente usado.  $1 \text{ L} = 1 \text{ dm}^3 = 10^{-3} \text{ m}^3$ .
- n: Número de moles. É uma unidade de quantidade de matéria. Um mol de uma substância é formado pelo número de Avogadro,  $N_A = 6,023 \cdot 10^{23}$  de moléculas dessa substância, e seu peso coincide com a massa molecular da substância expressa em gramas. A unidade de medida no Sistema Internacional para o número de moles é o mol (mol).
- R: Constante universal do gás. Seu valor em unidades do Sistema Internacional é  $R = 8,31 \text{ J/mol K}$ , embora  $R = 0,083 \text{ atm L/mol K}$  também seja usado.
- T: Temperatura. Sua unidade de medida no Sistema Internacional é o kelvin (K), embora o grau centígrado ou celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) também seja usado com frequência. (WEBLER; FREDDO; JERZEWSKI, 2021).

É preciso lembrar que um gás ideal nada mais é do que um gás teórico no qual suas partículas, com deslocamento aleatório, interagem através das colisões. A

maioria dos gases reais, submetidos a temperaturas relativamente altas e baixas pressões, podem ser considerados gases ideais e, portanto, podemos aplicar essa expressão como sua equação de estado nos exercícios deste tópico (DA SILVA; ERROBIDART, 2020).

Finalmente, é sabido que um sistema atingiu o estado de equilíbrio quando suas variáveis de estado permanecem constantes no tempo. Todas as propriedades do sistema em equilíbrio são determinadas por fatores intrínsecos e não por influências externas previamente aplicadas. A termodinâmica lida apenas com sistemas em estado de equilíbrio.

Variáveis intensivas e extensivas.

1. Intensivo: são aqueles que não dependem do tamanho do sistema. Por exemplo, pressão, temperatura, concentração ou densidade.
2. Extensivo: são aqueles que dependem do tamanho do sistema. Por exemplo, volume, massa ou energia.

#### **4.1 Origem da termodinâmica**

O estudo dos motores automotivos foi o ímpeto para o nascimento da termodinâmica. Otto von Guericke, um cientista alemão, é creditado por ter inventado a primeira bomba de vácuo por volta do ano de 1650. Guericke também construiu um modelo de trabalho de sua invenção na época (ESCAMILHA; SANGLARD; BERNARDES, 2021).

Logo após ver os desenhos que Guericke havia criado, cientistas da Inglaterra chamados Robert Hooke e Robert Boyle, construíram uma bomba de ar. Boyle e Hooke fizeram uso desta bomba em sua investigação da conexão entre pressão e volume e o que os levou a concluir que  $PV = \text{constante}$ . Na época as pessoas acreditavam que o ar consistia em um conjunto de partículas que não estavam em movimento, em vez de um sistema fluido que é composto de moléculas que estão sempre em movimento. Depois de algum tempo, a ideia de movimento térmico foi concebida (RAFAEL et al, 2018).

Como consequência disso, a noção de uma bomba de ar pode ser encontrada nas obras de Boyle a partir do ano de 1660. Depois que o termômetro foi construído pode-se então obter leituras da temperatura a partir dele. Foi por causa

deste aparelho que Gay-Lussac conseguiu chegar à conclusão correta, o que acabou levando à descoberta da lei ideal do gás. Em 1679, o amigo de Boyle Denis Papin construiu um digestor ósseo, que é um tanque fechado com uma tampa hermética que aprisiona o vapor até que uma alta pressão seja criada. Isto foi muito antes da descoberta da lei de gás ideal (PUHL; MARCHI, 2021).

Em futuras intervenções da máquina, uma válvula de liberação de vapor foi incluída a fim de mitigar o risco de explosão do dispositivo. Papin concebeu o conceito de um motor de pistão e cilindro quando observava o movimento consistente de subida e descida da válvula. Apesar disso, ele tomou a decisão de desistir desta busca. Apesar do fato de que os primeiros motores eram desajeitados e ineficazes, eles conseguiram atrair o interesse de cientistas proeminentes. Em 1697, um engenheiro chamado Thomas Savery utilizou os projetos de Papin para construir o primeiro motor.

Sadi Carnot foi um dos cientistas que revolucionou no empenho da construção de motores para obter melhor eficiência de funcionamento do mesmo. Carnot era referido como o "pai da termodinâmica".

Reflexões sobre Potência Motriz do Fogo foi uma dissertação a qual foi publicada em 1824 por Sadi Carnot e abordou uma ampla variedade de assuntos relacionados à potência, ao calor e à eficácia dos motores em geral. O título da dissertação era Reflexões sobre Potência Motriz do Fogo. Este é o ponto em que a termodinâmica como disciplina científica contemporânea tem seu início. No ano de 1816, Robert Stirling inventou a primeira versão de seu motor, que era um dispositivo térmico que tinha o potencial de ser mais eficiente (DE OLIVEIRA; MARQUES, 2019).

## **4.2 As leis da termodinâmica**

Os três princípios termodinâmicos serviram como a pedra angular para o crescimento precoce da disciplina. Então, os pesquisadores descobriram que um padrão mais básico havia ficado por descobrir, talvez porque não parecia exigir expressão explícita. Os cientistas afirmam que esta regra básica deve ser incluída em um conjunto completo de regras. Por outro lado, as três primeiras leis já haviam sido desenvolvidas e podiam ser diferenciadas por seus números determinados. Em vez de renumerar as regras atuais, o que seria muito confuso, ou colocar a regra mais crucial no final da lista, que seria ilógica, o físico britânico Ralph H. Fowler apresentou uma solução espantosa para o enigma, chamando de lei zero. As quatro leis

termodinâmicas são as seguintes:

1. A Primeira Lei da Termodinâmica: O aumento total de energia de um sistema é igual ao seu aumento de energia térmica adicionado a qualquer trabalho que tenha sido feito no sistema. Isto diz que, como o calor é uma espécie de energia, ele deve cumprir com a conservação de energia, o que estipula que a energia não pode ser criada ou destruída.
2. A Segunda Lei da Termodinâmica: Consiste na transferência de energia térmica. O calor, que é transferido de forma espontânea do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura.
3. A Terceira Lei da Termodinâmica: Quando medido em temperatura zero absoluta, um cristal perfeito tem entropia zero, de acordo com a teoria.
4. A lei zero da termodinâmica: Dois corpos em equilíbrio com um terceiro, estão em equilíbrio térmico entre si.

A entropia não existe a zero absoluto, uma vez que não há energia térmica. A entropia é às vezes referida como "energia desperdiçada", que se refere simplesmente à energia que é incapaz de realizar qualquer trabalho mecânico. A existência de mobilidade dentro do cristal a qualquer temperatura positiva leva à desordem, independentemente de quão altamente ordenado o cristal esteja. A entropia é outra estatística que pode ser usada para caracterizar a desordem de um sistema. Como nenhum sistema físico isolado pode diminuir a entropia, a medida da entropia será sempre positiva (PUHL; MARCHI, 2021).

A primeira lei da termodinâmica estabelece uma relação entre a energia interna do sistema e a energia que ele troca com a vizinhança na forma de calor ou trabalho; afirma que a energia interna de um sistema aumenta quando o calor é transferido para ele ou o trabalho é realizado sobre ele (RAFAEL et al, 2018). Sua expressão depende do critério de sinal para sistemas termodinâmicos escolhidos:

Como todos os princípios da termodinâmica, a primeira lei é baseada em sistemas em equilíbrio onde a energia não é criada nem destruída, apenas se transforma. Este é o princípio geral da conservação da energia. Logo, a primeira lei da termodinâmica é a aplicação deste princípio aos processos térmicos. Em um sistema isolado, no qual não há troca de energia com o exterior, ficamos com:

$$\Delta U=0$$

O universo como um todo pode ser considerado um sistema isolado e, portanto, sua energia total permanece constante. Observe que, sendo uma função de estado a diferença de energia interna, depende apenas dos estados inicial e final,  $\Delta U = U_f - U_i$  e não depende do caminho percorrido pelo processo. O calor e trabalho, por outro lado, não são funções de estado, portanto seus valores dependem do caminho seguido pelo processo (PUHL; MARCHI, 2021).

A energia interna de um corpo não inclui sua energia cinética global ou energia potencial mecânica, como apontamos anteriormente. É por isso que não é alterado pelo trabalho mecânico. Na termodinâmica estamos interessados em outro tipo de trabalho, capaz de variar a energia interna dos sistemas. Isso é trabalho termodinâmico (DE OLIVEIRA; MARQUES, 2019).

Trabalho termodinâmico é a transferência de energia entre o sistema e a vizinhança por métodos que não dependem da diferença de temperatura entre eles e o mesmo é capaz de variar a energia interna do sistema.

Normalmente o trabalho termodinâmico está associado ao movimento de alguma parte do ambiente, sendo indiferente para seu estudo se o próprio sistema está em movimento ou em repouso. Por exemplo, quando você aquece um gás ideal em um recipiente com um pistão em movimento no topo, as partículas ganham mais energia cinética (DA SILVA; ERROBIDART, 2020).

Este aumento da energia das partículas traduz-se num aumento da energia interna do sistema que, por sua vez, pode levar em um deslocamento do pistão. O estudo desse processo, do ponto de vista da termodinâmica, independe se o sistema como um todo, estar em repouso ou em movimento, o que seria uma questão de mecânica. No entanto, é verdade que, como ocorre em uma máquina a vapor, a energia do referido trabalho termodinâmico pode ser transformada em energia mecânica (WEBLER; FREDDO; JERZEWSKI, 2021).

Tal como acontece com outras leis da termodinâmica, o segundo princípio é do tipo empírico e chegamos a ele através da experimentação. A segunda lei trata de um postulado, mas ela é utilizada para explicar os fenômenos termodinâmicos.

A segunda lei da termodinâmica é expressa em várias formulações equivalentes:

1. Declaração de Kelvin-Planck: um processo que converte todo o calor absorvido em trabalho não é possível.

2. Declaração de Clausius: não é possível nenhum processo cujo único resultado seja a extração de calor de um corpo frio para um mais quente.

Observe que esta segunda lei não diz que a extração de calor de uma fonte fria para uma mais quente não seja possível. Simplesmente diz que tal processo nunca será espontâneo (BORGNAKKE; SONNTAG, 2018).

As Máquinas térmicas são sistemas que transformam calor em trabalho. Neles, as restrições indicadas acima são claramente refletidas. Existem muitos exemplos de dispositivos que são na verdade motores térmicos: o motor a vapor, um motor de carro e até uma geladeira, que é uma máquina térmica funcionando ao contrário (BORGNAKKE; SONNTAG, 2018).

Um motor térmico transforma energia térmica em trabalho, realizando um ciclo continuamente. Não há nenhuma mudança na energia interna neles,  $\Delta U=0$ . O processo cíclico (ciclo de Carnot) de uma máquina térmica segue os seguintes passos:

1. A fonte de calor, por exemplo uma caldeira, a uma temperatura  $T_1$ , inicia uma transferência dele  $Q_1$  para o motor. Esta transferência é possível devido à diferença de temperatura com a fonte fria, a uma temperatura  $T_2$ .
2. O motor usa parte desse calor para realizar trabalho  $W$ . Por exemplo, o movimento de um pistão
3. O restante do calor  $Q_2$  é transferido para um dissipador de calor, por exemplo, um circuito de refrigeração, a uma temperatura  $T_2 < T_1$ .
4. O processo acima é repetido continuamente enquanto a máquina está funcionando (MAZARO; DARROZ; ROSA, 2022).

As máquinas térmicas aproveitam parte do calor que recebem e o transformam em trabalho, deixando o resto para a fonte fria. Dadas duas máquinas quaisquer, será útil saber qual delas é capaz de converter mais calor que recebe em trabalho. O desempenho ou eficiência térmica é a relação entre o trabalho realizado e o calor fornecido à máquina em cada ciclo. Sua expressão é dada por:

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

- $\eta$ : desempenho ou eficiência térmica. Representa a parte do calor que a máquina usa para realizar trabalho.
- $W$ : trabalho realizado pela máquina. Sua unidade de medida no sistema internacional é o joule (J).
- $Q_1, Q_2$ : calor. Ele representa o fluxo de calor transferido entre a fonte e a máquina e a máquina e o dissipador, respectivamente. Sua unidade de medida no sistema internacional é o joule (J), embora a caloria (cal) também seja utilizada.  $1 \text{ cal} = 4.184 \text{ joules}$ .

O fato de os valores de eficiência serem inferiores a 100% não é uma questão técnica que pode ser melhorada, mas sim uma consequência da segunda lei da termodinâmica (BRAGA; CARVALHO, 2021).

A segunda lei da termodinâmica não se limita exclusivamente às máquinas térmicas, mas trata, em geral, de todos os processos naturais que ocorrem espontaneamente. Podemos dizer que trata da evolução natural dos sistemas termodinâmicos, ou seja, da direção em que eles avançam. Essa direção está associada à distribuição molecular interna das moléculas (WEBLER; FREDDO; JERZEWSKI, 2021).

Para estudar a espontaneidade dos processos, o austríaco Ludwig Edward Boltzmann introduziu uma nova quantidade chamada entropia. A entropia  $S$  é uma variável de estado. Está associada à probabilidade de que um determinado estado ocorra em um sistema. Aqueles provavelmente têm uma entropia mais alta (PUHL; MARCHI, 2021).

Um estudo mais exaustivo da entropia requer ferramentas matemáticas que estão fora do escopo deste nível educacional, porém é importante que você saiba qual a relação da entropia com a segunda lei da termodinâmica.

Qualquer processo natural espontâneo evolui para um aumento na entropia. Vejamos alguns exemplos concretos para entender melhor esse conceito:

1. Ao pegar vários lápis e jogá-los no ar, quando eles pousarem, é improvável que pousem na linha. Eles provavelmente cairão em completa desordem.
2. Ao adicionar açúcar à água, as partículas são distribuídas aleatoriamente por toda a solução espontaneamente, e não em uma direção.
3. Em um gás em expansão livre, a pressão nas paredes do invólucro

é a mesma em qualquer ponto. A razão é que as partículas de gás se expandiram igualmente em todas as direções e não em uma direção específica (PUHL; MARCHI, 2021).

Vemos, então, que um aumento na desordem está na direção natural na qual os processos naturais evoluem.

Da primeira e segunda leis da termodinâmica podemos dizer que em qualquer transformação natural a energia do universo se conserva e sua entropia aumenta. Portanto:

$$\Delta U_{\text{universo}} = 0 ; \Delta S_{\text{universo}} \geq 0$$

Este aumento na entropia está associado a um aumento na energia térmica dos sistemas. A energia térmica é a forma de energia mais degradada, pois, como apontamos, não pode ser totalmente utilizada para produzir trabalho. Esse fenômeno passou a ser chamado de crise entrópica, pois leva o universo, ao longo de milhões de anos, à morte térmica: todas as formas de energia acabarão sendo convertidas em calor (RAFAEL et al, 2018).

A entropia está intimamente relacionada com a terceira lei da termodinâmica. Foi desenvolvido em 1906 por Walther Nernst e seu estudo detalhado está além dos propósitos deste nível. No entanto, é importante que você saiba que isso está relacionado ao comportamento da entropia quando nos aproximamos do zero absoluto (JÚNIOR; DA SILVA; MOREIRA, 2018).

A entropia de uma substância pura e cristalina no zero absoluto é zero.

### 4.3 Aplicação da Termodinâmica

Uma aplicação do cotidiano, fácil de ser observada, é de um copo com água gelada cheio de minúsculas gotículas em seu exterior após algum tempo. Sob condições específicas, esses estados da matéria podem sofrer um processo físico que chamamos de transição de fase. Neste caso, a água presente o ar ambiente sofre o processo de condensação.

Os dispositivos térmicos que eram alimentados por vapor foram essenciais durante toda a Revolução Industrial. Já na Grécia antiga e ainda mais ao longo da história, as fontes de calor foram identificadas. As aplicações e aperfeiçoamentos da Termodinâmica tornou possível o crescimento da indústria que necessitava de uma

fonte de maior eficiência na sua força motora com o objetivo de aumentar a produção, devido ao aumento da população, e de baixar os custos, chegando-se à construção da máquina a vapor. Pádua, Pádua e Silva (2009) destacam que a máquina a vapor, foi aperfeiçoada por James Watt, o qual tornou mais econômica e com maior rendimento no que se dizia a respeito de produção de energia. “A partir daí, a máquina a vapor foi decisiva para o êxito e crescimento da indústria têxtil como também, para a evolução dos meios de transportes, como a locomotiva, barcos a vapor, etc.” (PÁDUA; PÁDUA; SILVA, 2009, p.23).

## 5. AULA UTILIZANDO O PHET

O simulador Phet é utilizado com o principal objetivo de facilitar a compreensão do aluno sobre o fenômeno físico estudado. Ele não apresenta nenhum risco, podendo ser refeito quantas vezes forem necessários para o aluno compreender melhor o que está sendo estudado.

Ao utilizar o simulador Phet o professor terá uma ferramenta muito poderosa para elaborar as suas aulas de forma prática e dinâmica, tendo a possibilidade de explorar diversos assuntos que possuem simulações na plataforma. Nesse capítulo iremos mostrar como utilizar a plataforma numa aula de termodinâmica. A base teórica desse assunto foi abordada no capítulo anterior.

O simulador pode ser aplicado em aulas dos níveis de ensino fundamental, médio ou universitário. Além de abordar diversos ramos da física como a mecânica, termodinâmica, eletricidade e magnetismo e física moderna.

A utilização de simulações virtuais no ensino de física possibilitam ao aluno desenvolver a compreensão de conceitos e com isso fazer com que o aluno participe efetivamente do seu aprendizado, saindo de uma postura passiva dando início ao protagonismo no seu processo de ensino-aprendizagem, principalmente relacionando o que é ensinado pelo professor com o seu cotidiano.

A aula pode ser modificada para melhor entendimento do aluno, porém mostrarei como o professor pode utilizar o simulador em uma aula de termodinâmica, o professor pode retirar ou acrescentar elementos da forma que achar necessária.

Irei indicar como fazer o passo a passo para chegar na parte da simulação utilizada nessa aula. Na Figura 1 temos a página inicial do simulador Phet, para chegar nos experimentos clique no nome “entre aqui e simule”.

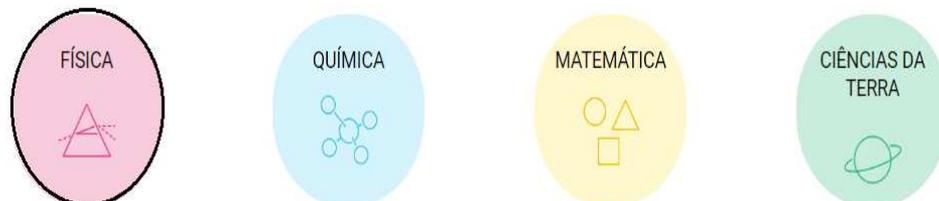
Figura 1 – Imagem da página inicial do Phet.



Fonte: [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/](https://phet.colorado.edu/pt_BR/). Acesso em: 25 set. 2023

Ao entrarmos na página principal já podemos escolher a categoria que você deseja trabalhar as simulações, nesse caso escolhemos o campo da física, mostrado na Figura 2.

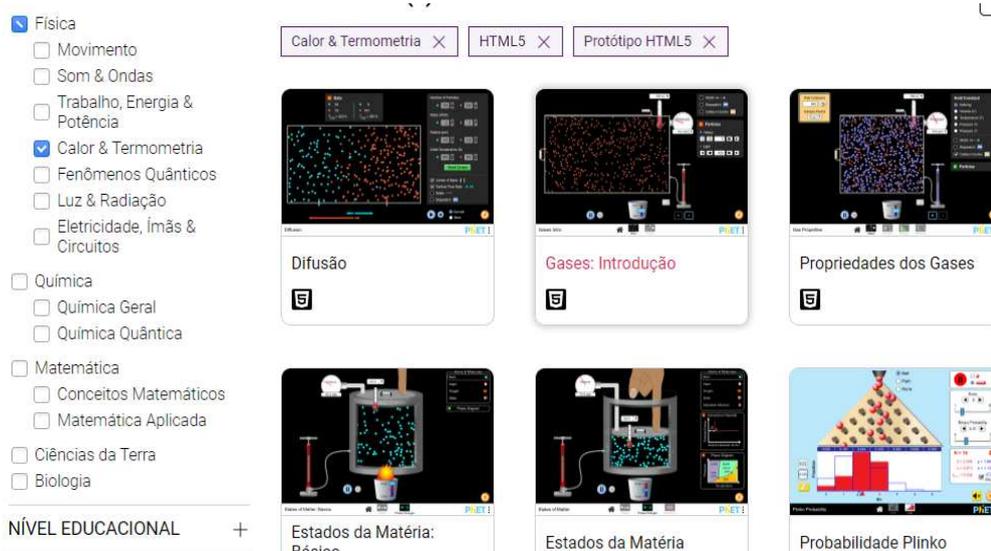
Figura 2 – Imagem mostrando as áreas de conhecimento.



Fonte: [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/](https://phet.colorado.edu/pt_BR/). Acesso em: 25 set. 2023

Escolhido o campo da física entramos numa outra página para filtrar o experimento de acordo com o interesse do professor, nesse caso vamos marcar o campo “calor e termometria” (Figura 3) que é o nosso assunto estudado.

Figura 3 – imagem das simulações de “calor e termometria”.



Fonte: [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulations/filter?subjects=heat-and-thermodynamics&type=html,prototype](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/filter?subjects=heat-and-thermodynamics&type=html,prototype). Acesso em: 28 set. 2023

Para iniciar nosso estudo relacionado à primeira e segunda lei da termodinâmica, utilizando o Phet ao clicar na opção “Formas de energia e Transformações” (Figura 4) veremos como funciona a primeira lei da termodinâmica. Em seguida clicaremos na opção “Sistemas” e daremos início a nossa aula.

Figura 4 - imagem das formas de energia e transformações.



Fonte: [https://phet.colorado.edu/sims/html/energy-forms-and-changes/latest/energy-forms-and-changes\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/energy-forms-and-changes/latest/energy-forms-and-changes_pt_BR.html). Acesso em: 28 set. 2023

## 5.1. Primeira lei da termodinâmica

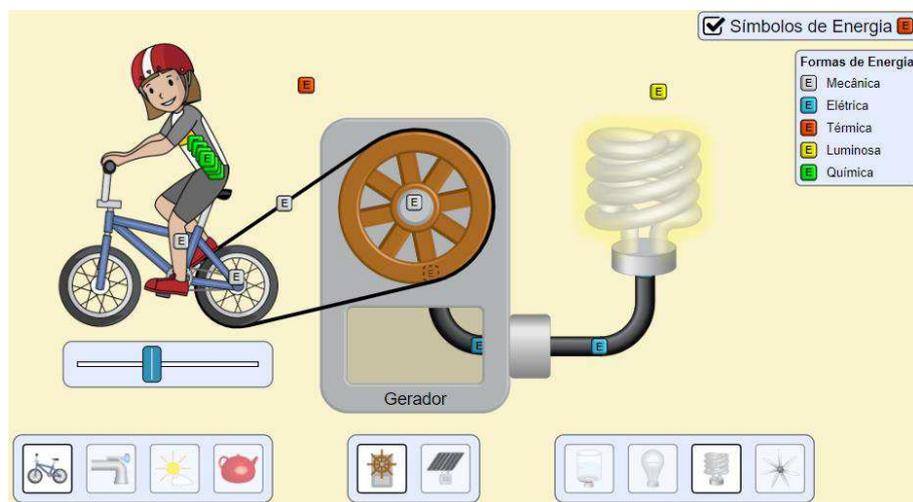
A primeira lei da termodinâmica já foi descrita no capítulo 4 desse trabalho, basicamente ela descreve a conservação da energia, ou seja, que a energia não pode ser criada ou destruída.

Nessa simulação de “transformações de energias” na parte de “sistemas” observamos exatamente essa parte da energia sendo transformada e utilizada de outra maneira. No primeiro exemplo da Figura 5, temos a energia química do ser humano gerando energia mecânica ao pedalar uma bicicleta, perceba que parte dessa energia química, que vem dos alimentos ingeridos pelo ser humano, é perdida, ou seja, transformada em calor.

A grande parte da energia mecânica gerada pelo movimento da bicicleta passa pelo gerador, que tem a função de transformar essa energia mecânica em energia elétrica, podemos perceber facilmente essas transformações de energias devido aos símbolos e a legenda que a própria simulação fornece.

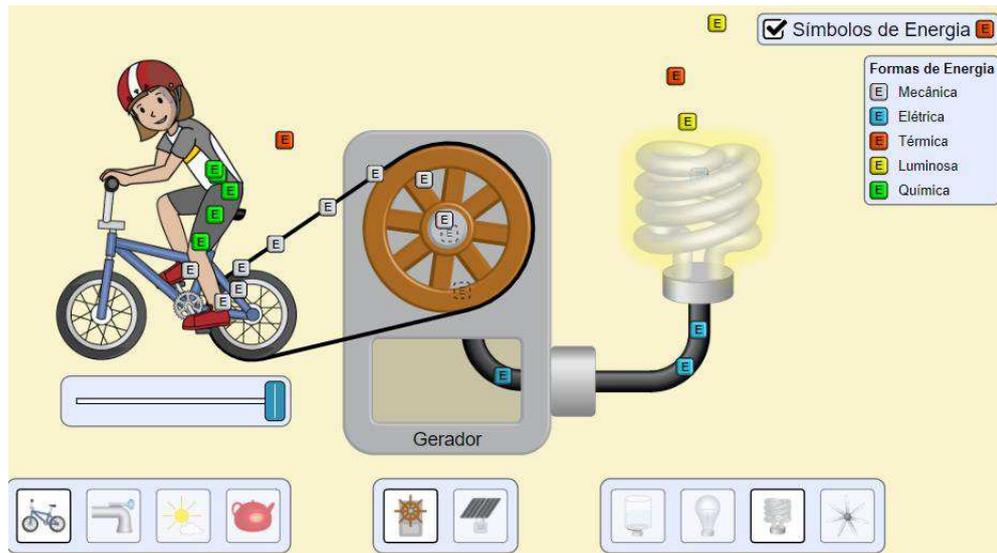
Na Figura 6 podemos observar que a energia elétrica que foi transformada no gerador, fornece energia para a lâmpada, que por sua vez tem a agitação dos gases que transformam essa energia elétrica em energia luminosa, em sua grande parte, mas novamente temos um pequeno desperdício na forma de calor, novamente é fácil perceber essas transformações de perdas de energias devido aos diagramas e a legenda fornecidos pelo próprio simulador.

Figura 5 – Imagem da transformação da energia química em mecânica.



Fonte: [https://phet.colorado.edu/sims/html/energy-forms-and-changes/latest/energy-forms-and-changes\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/energy-forms-and-changes/latest/energy-forms-and-changes_pt_BR.html). Acesso em: 30 set. 2023

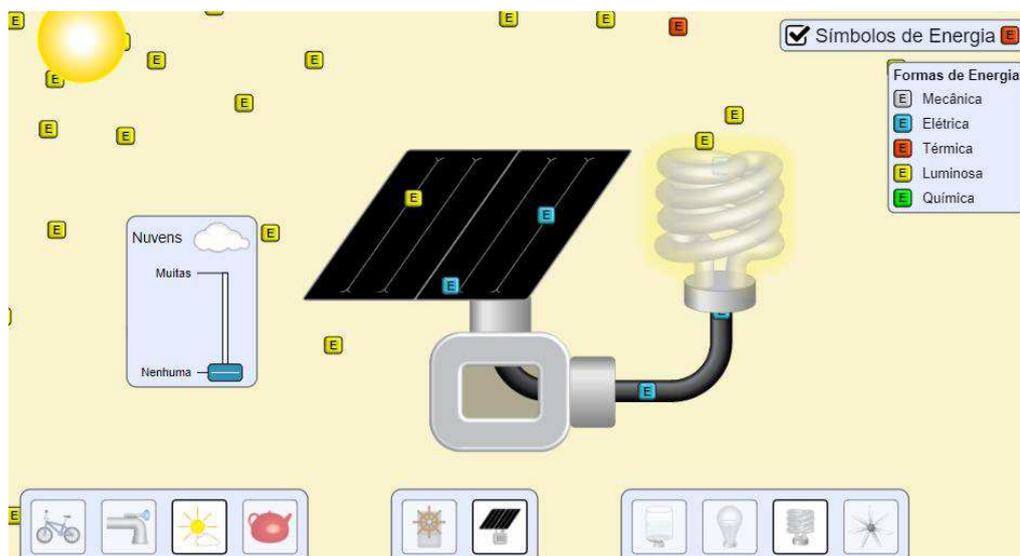
Figura 6 – Imagem da transformação da energia elétrica em energia luminosa.



Fonte: [https://phet.colorado.edu/sims/html/energy-forms-and-changes/latest/energy-forms-and-changes\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/energy-forms-and-changes/latest/energy-forms-and-changes_pt_BR.html). Acesso em: 30 set. 2023

Podemos perceber pelas Figuras 5 e 6 que temos outras fontes de energias possíveis para alimentar o sistema. Temos a torneira que gera uma energia mecânica ao girar a roda, temos o sol com a sua energia luminosa, nesse caso devemos trocar o gerador por uma placa fotovoltaica que fará a captação da energia luminosa para transformar em energia elétrica (Figura 7) e por fim temos a energia térmica representada pelo aquecimento de água na chaleira.

Figura 7 – Imagem da utilização da energia solar para gerar energia elétrica.



Fonte: [https://phet.colorado.edu/sims/html/energy-forms-and-changes/latest/energy-forms-and-changes\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/energy-forms-and-changes/latest/energy-forms-and-changes_pt_BR.html). Acesso em: 30 set. 2023

Nesse caso da energia solar o fato de se terem muitas ou poucas nuvens, que pode ser controlado por um dispositivo presente na própria simulação, afeta a quantidade de energia que chega na placa fotovoltaica, fazendo um aumento ou uma redução na captação da energia, pode-se também perceber pela simulação que nem toda energia proveniente do sol é aproveitada, apenas aquela que de fato chega na placa e novamente temos uma pequena parte da energia elétrica que chega na lâmpada não sendo aproveitada e transformada em calor (energia térmica).

A grande vantagem dessa simulação é que o professor tem a liberdade de trocar as formas de energia que entram no sistema e como elas serão aproveitadas. Nesse caso fica a critério do professor quais energias irá utilizar em sua aula ou pode utilizar todas.

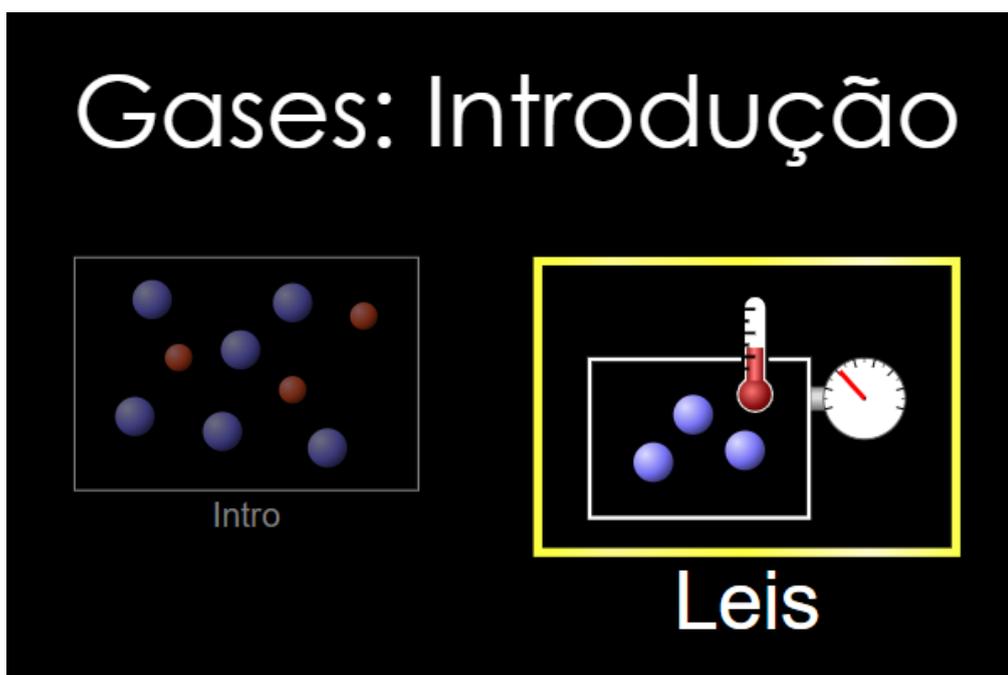
Nessa simulação fica bem nítida a presença da primeira lei da termodinâmica, a energia não pode ser criada ou destruída apenas transformada e cabe ao ser humano fazer equipamentos que aproveitem ao máximo essa conversão de energia com quantidade mínima de perdas.

Depois de estudarmos a primeira lei da termodinâmica, conseguindo absorver melhor, com o simulador, já que fizemos várias simulações e análises dos resultados de cada simulação. Consequente agora estudaremos a equação de estado dos gases (Figura 8).

## **5.2. Equação de estado dos gases**

A equação de estado dos gases mencionada no capítulo 4 dessa monografia é a relação entre as variáveis de um gás:  $PV = nRT$ , onde  $P$  é a pressão,  $V$  é o volume,  $n$  é o número de mols,  $R$  é a constante universal dos gases e  $T$  é a temperatura em Kelvin. Na simulação representada pela Figura 8, vamos determinar a relação entre as variáveis: volume, pressão e temperatura de um determinado gás. Vamos utilizar a simulação “Gases: introdução” e clicar em “Leis”.

Figura 8 – imagem da simulação “gases: introdução”.



Fonte: [https://phet.colorado.edu/sims/html/gases-intro/latest/gases-intro\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/gases-intro/latest/gases-intro_pt_BR.html).

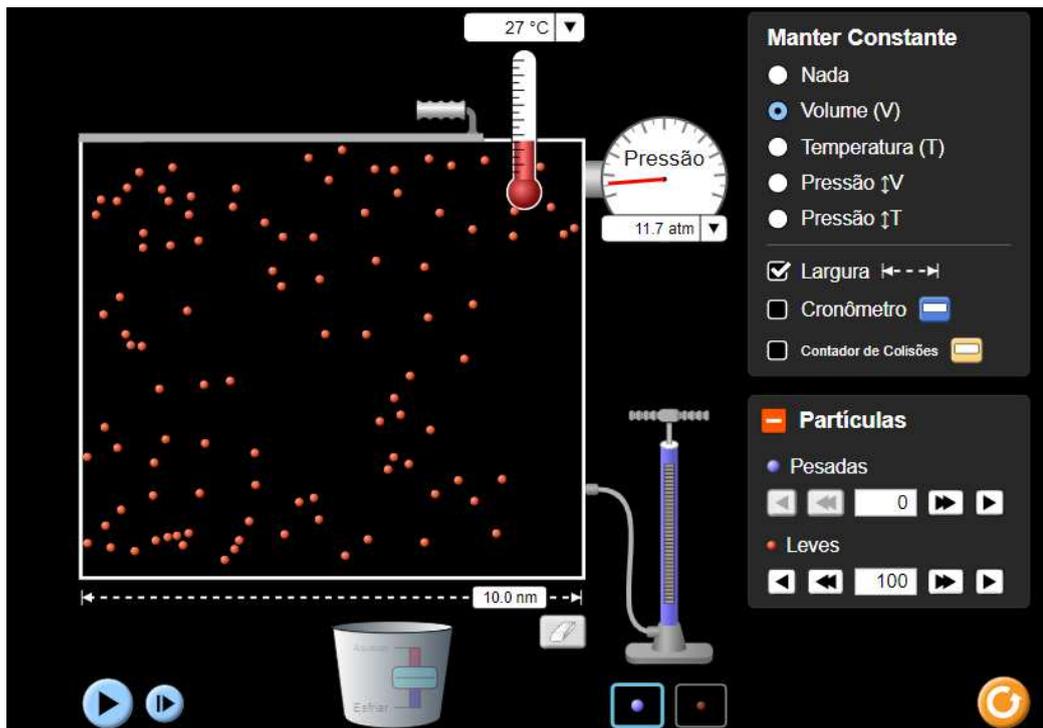
Acesso em: 30 set. 2023

Essa simulação é muito importante para a compreensão do aluno em relação a interação das três variáveis, que é uma dificuldade que os alunos possuem quando se tem que fazer uma análise matemática da equação dos gases. Perguntas do tipo são bem comuns: qual variável é inversamente ou diretamente proporcional a outra variável? Pressão e volume são grandezas inversamente ou diretamente proporcionais?

Para responder essa e outras perguntas sobre as variáveis de um gás vamos à simulação. Inicialmente introduzimos no recipiente uma certa quantidade de partículas, nessa simulação eu acrescentei 100 partículas leves, esse valor pode ser modificado de acordo com a quantidade que o professor desejar. Ao introduzir uma certa quantidade de partículas na simulação o medidor de pressão e temperatura já apresentam um valor.

Vamos inicialmente manter o volume constante (Figura 9) e ver o comportamento da pressão ao alterar a temperatura, iremos comparar a Figura 9 com a Figura 10 para visualizar o que aconteceu com os valores de pressão e temperatura.

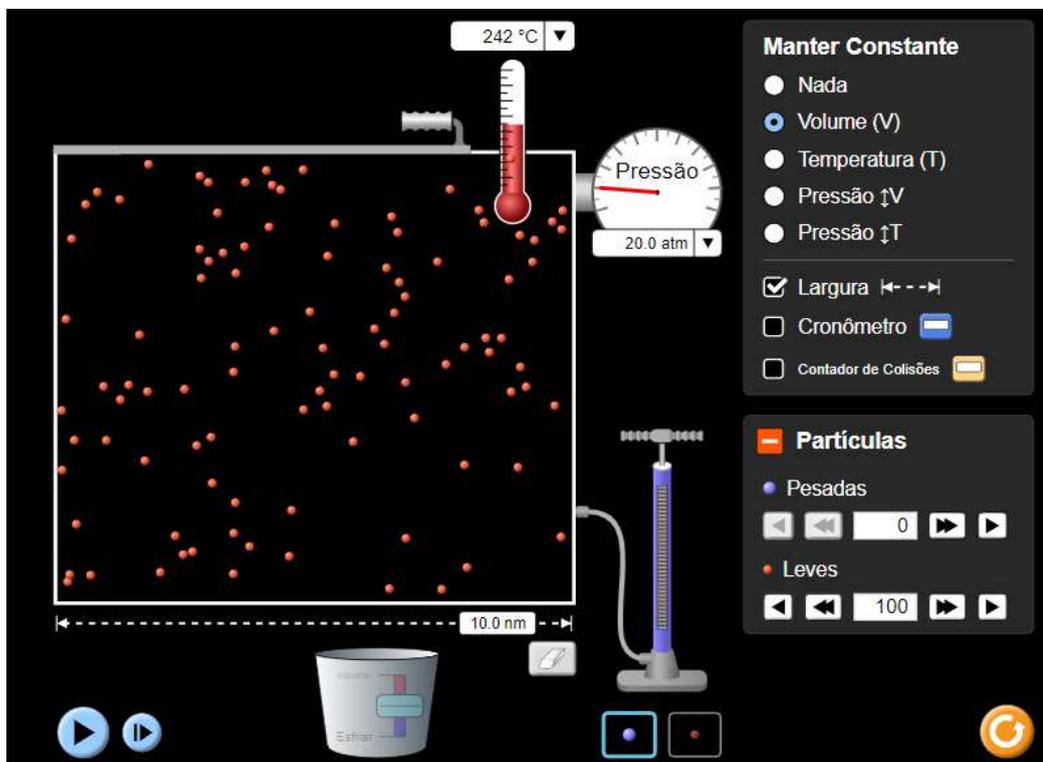
Figura 9 – Imagem com a caixa do volume constante selecionado.



Fonte: [https://phet.colorado.edu/sims/html/gases-intro/latest/gases-intro\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/gases-intro/latest/gases-intro_pt_BR.html).

Acesso em: 30 set. 2023

Figura 10 – Imagem com pressão modificada devido ao aumento de temperatura.



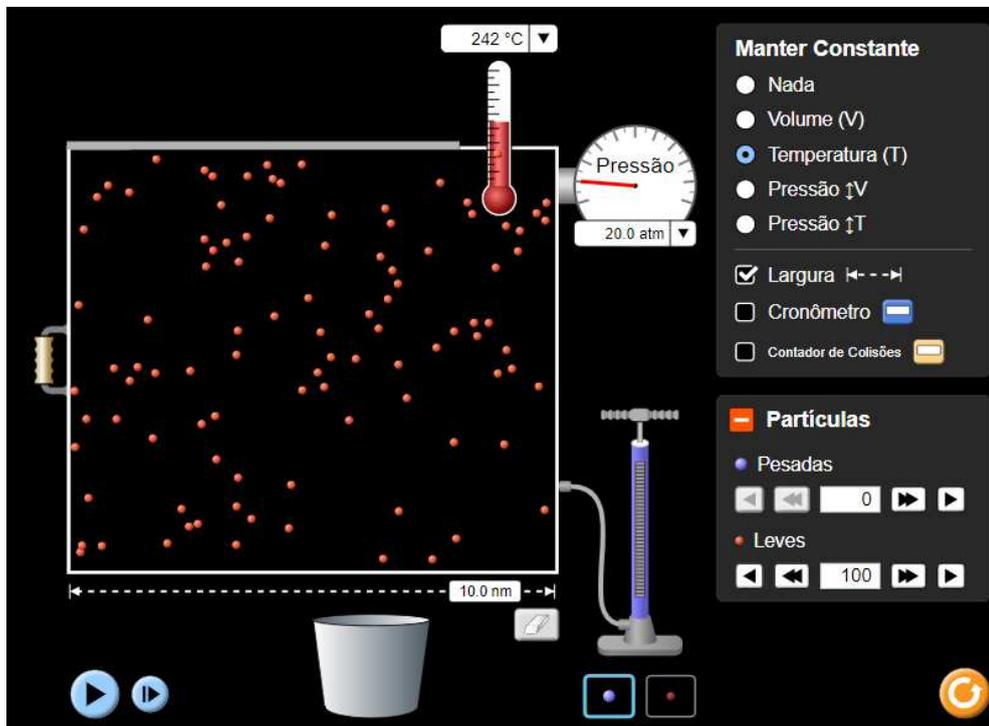
Fonte: [https://phet.colorado.edu/sims/html/gases-intro/latest/gases-intro\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/gases-intro/latest/gases-intro_pt_BR.html).

Acesso em: 30 set. 2023

Comparando as Figuras 9 e 10 podemos perceber que mantendo o volume constante e não alterando a quantidade de partículas do gás o aumento de temperatura provocou um aumento de pressão o que podemos facilmente concluir que as variáveis pressão e temperatura são diretamente proporcionais, que é exatamente a mesma conclusão que se tem ao fazer uma análise simples da equação de estado dos gases.

Agora vamos manter a temperatura constante (Figura 11) e analisar o comportamento entre as variáveis volume e pressão. A variável volume será alterada mudando o tamanho do recipiente no qual o gás se encontra.

Figura 11 – Imagem com a caixa da temperatura constante selecionada.

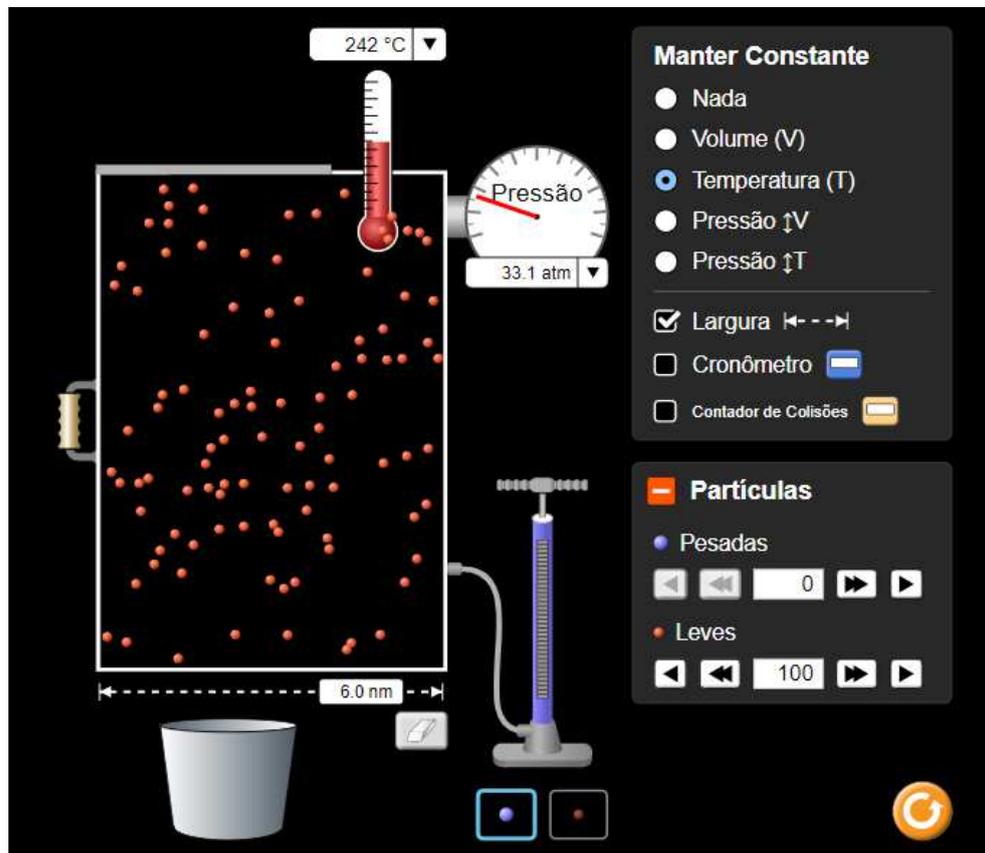


Fonte: [https://phet.colorado.edu/sims/html/gases-intro/latest/gases-intro\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/gases-intro/latest/gases-intro_pt_BR.html).

Acesso em: 30 set. 2023

Nessa situação iremos modificar o volume do recipiente e analisar o comportamento da pressão (Figura 12) para assim determinar qual a relação entre essas duas variáveis.

Figura 12 – Imagem com pressão modificada devido à redução de volume.



Fonte: [https://phet.colorado.edu/sims/html/gases-intro/latest/gases-intro\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/gases-intro/latest/gases-intro_pt_BR.html).

Acesso em: 30 set. 2023

Comparando as Figuras 11 e 12 podemos perceber e analisar a redução do tamanho do recipiente, ou seja, a redução do seu volume, gerou um aumento de pressão, essa simulação comprova que mantida a temperatura constante e não alterando a quantidade de gás no recipiente, as variáveis volume e pressão são inversamente proporcionais.

Essa simulação ainda permite manter a pressão constante e analisar a relação entre as variáveis volume e temperatura, gerando um complemento que o professor pode utilizar na sua aula. Reforçando que todas essas relações entre as variáveis possuem um embasamento matemático, mas a simulação auxilia e muito ao aluno visualizar de maneira bem mais simples.

## 6. CONCLUSÃO

Concluimos que, com o avanço tecnológico, a educação também foi beneficiada, com simuladores, jogos, animações, dentre outros. O uso da tecnologia pode ser utilizado em sala de aula como um excelente recurso didático para a melhor compreensão dos alunos sobre o assunto que está sendo lecionado pelo professor.

A tecnologia não veio para substituir o professor, até porque, talvez essa substituição seja muito improvável, mas é um recurso que o professor precisa utilizar cada vez mais e deixar de ser aquele professor que só utiliza pincel e quadro negro. Quanto mais recursos diferenciados e dinâmicos um professor utiliza em sua aula, mais ajuda na assimilação do conteúdo.

O simulador Phet apresentado nesse trabalho é bastante atrativo, pois é gratuito e precisa de um computador bem simples para rodar, ainda tem a opção do app, mas ele é pago a um pequeno custo. Podemos simular diversos temas da física e propiciar ao aluno um melhor aprendizado.

## REFERÊNCIAS

- BEHERENS, Marilda Aparecida. Projetos de aprendizagem colaborativa num paradigma emergente. *In: MORAN, José Manuel. Novas tecnologias e mediação pedagógica*, Campinas: Papyrus, 2000.
- BRAGA, Mercia Cristina Félix Teixeira; CARVALHO, Regina Simplício. Ensinando termodinâmica através de uma sequência de ensino investigativa. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 16, n. 2, p. 144-163, 2021.
- CALOMENO, Carolina. Simuladores Educacionais: definições e aprimoramento como objetos de aprendizagem. **Educação Gráfica**, v. 21, n. 1, p. 257-269, 2017.
- ESCAMILHA, Lucas Jardim; SANGLARD, João Pedro Adame Barros; BERNARDES, Adriana Oliveira. TRABALHANDO COM IMAGENS NO ENSINO DE FÍSICA: UMA CONTRIBUIÇÃO SOBRE A HISTÓRIA DA TERMODINÂMICA. *In: Anais do Congresso Nacional Universidade, EAD e Software Livre*. Disponível em: <http://www.periodicos.letras.ufmg.br/index.php/ueadsl/article/view/18207>. Acesso em: 09 set. 2023.
- MAZARO, Simone Bonora; DARROZ, Luiz Marcelo; ROSA, Cleci Teresinha Werner da. A volta ao mundo em 80 dias: uma aprendizagem significativa de Termodinâmica. **REPPE-Revista de Produtos Educacionais e Pesquisas em Ensino**, v. 5, n. 2, p. 154-166, 2022.
- MOREIRA, J. A.; MONTEIRO, A. M. **Ensinar e aprender online com tecnologias digitais**: abordagens teóricas e metodológicas. Porto: Porto Editora, 2012.
- OLIVEIRA, Ana Paula Sabino de; MARQUES, Deividi Marcio. Análise das Dificuldades Conceituais sobre o Conceitos de Termodinâmica na Formação Inicial de Professores de Química. **Revista Debates em Ensino de Química**, v. 5, n. 2, p. 55-70, 2019.
- PÁDUA, A. B. de., PÁDUA, C. G. de.; SILVA, J. L. C. **A história da Termodinâmica clássica**: uma ciência fundamental. Londrina: EDUEL, 2009.
- PRENSKY, Marc. **Digital Game-Based Learning**. St. Paul, Minnesota: Paragon House, 2007.
- PUHL, Neiva Mara; MARCHI, Miriam Ines. FEIRA DE CIÊNCIAS: Abordando Relações entre Termodinâmica e Corpo Humano. **Revista Contexto & Educação**, v. 36, n. 113, p. 183-194, 2021.
- RAFAEL, Romário Felinto *et al.* O estudo da termodinâmica com o uso de folhetos de cordel. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 13, n. 1, p. 15-31, 2018.
- RAMALHO, Francisco Júnior; NICOLAU, Gilberto Ferraro. **Os Fundamentos da Física**. São Paulo. Editora Moderna Plus, 2018. v. 2.
- SILVA, Geilson Rodrigues da; ERROBIDART, Nádia Cristina Guimarães. A construção histórica conceitual da Termodinâmica para o Ensino Médio. **Revista**

**Insignare Scientia-RIS**, v. 3, n. 5, p. 540-559, 2020.

WEBLER, Geovane; FREDDO, Francine; JERZEWSKI, Valéria Bonetti. Estudo de um processo termodinâmico através de um sistema desenvolvido pelos acadêmicos. **Experiências e reflexões educativas na Rede Sinodal de Educação**. São Leopoldo: Faculdades EST, 2017.