



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

JOÃO VICTOR REGIS LOPES

**PROPOSTAS DE TERMODINÂMICA PARA OS ENSINOS FUNDAMENTAL E
MÉDIO**

FORTALEZA

2019

JOÃO VICTOR REGIS LOPES

PROPOSTAS DE TERMODINÂMICA PARA OS ENSINOS FUNDAMENTAL E MÉDIO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Licenciatura em Física do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de licenciado em Licenciatura em Física.

Orientador: Prof. Dr. Ascânio Dias Araújo

FORTALEZA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- L853p Lopes, João Victor Regis.
Propostas de termodinâmica para os ensinos fundamental e médio / João Victor Regis Lopes. – 2019.
40 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências,
Curso de Física, Fortaleza, 2019.
Orientação: Prof. Dr. Ascânio Dias Araújo.
1. Termodinâmica. 2. Simulação. I. Título.

CDD 530

JOÃO VICTOR REGIS LOPES

PROPOSTAS DE TERMODINÂMICA PARA OS ENSINOS FUNDAMENTAL E MÉDIO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Licenciatura em Física do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de licenciado em Licenciatura em Física.

Aprovada em: 06/12/2019

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ascânio Dias Araújo (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

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

Doutorando Danilo da Silva Borges
Universidade Federal do Ceará (UFC)

À minha mãe, Maria da Conceição, que me apoiou em todas decisões, ao meu pai, Narcelio Souza, que sempre se esforçou para com meu estudos. aos meu tio, Marcelo, a minha tia, Marcia, a minha namorada, Sara, por sua paciência, ao meus amigos por sempre me ajudarem.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer:

Ao professor Ascânio por sua incansável paciência, por sua proatividade, por suas dicas muito importantes, e pelos diversos livros indicados que tornaram a bibliografia e o conteúdo do trabalho mais enriquecedor.

Ao professor Nildo pelo apoio e dicas não só na construção da monografia, como também na construção do profissional.

Gostaria de agradecer aos amigos, que incentivaram nas cadeiras mais difíceis do curso e que por vezes aconselhavam livros e monografias.

Gostaria de agradecer a minha namorada pela compreensão.

Aos amigos, Rafael pelos livros indicados e pelos gráficos que me ajudou, ao Wagner por sempre achar defeito em tudo, e ao Wallace por sempre concordar com o Wagner, ao Eudson, Marcos Aurélio, José Luiz, Breno e tantos os outros que me ajudaram na graduação.

A PROGRAD pela bolsa de iniciação docente (PID).

A PRAE pela bolsa de iniciação acadêmica (BIA) .

Esse trabalho foi possível graças ao apoio de todas essas pessoas.

“Tente outra vez.”

(Raul Seixas)

RESUMO

Neste trabalho, propomos a utilização de experimentos relacionados com termodinâmica, como uma ferramenta adicional para uso em sala de aula. Com a proposta de roteiros de práticas para um melhor aproveitamento dos experimentos práticos. Apresentamos também simulações que abordam temas relacionados a termodinâmica, como meio alternativo aos experimentos práticos, pois não se faz necessário levar todo um aparato, que seria necessário em um experimento prático. O trabalho busca definir se ambos podem ser utilizados em conjunto para melhorar o entendimento de conceitos relevantes. Os experimentos servem como um modo de aula alternativo ao modo tradicional, para tentar trazer aos alunos uma aula diferente da qual estão acostumados. Por fim, relatamos uma experiência sobre a aplicação desses experimentos e fizemos questionamento aos alunos acerca de sua preferência, com relação ao tipo de aula que preferem e se os mesmos tinham entendido o que foi explicado nas simulações, além de aplicar exercícios relacionados aos tema. As simulações foram aplicadas em escolas de ensino fundamental.

Palavras-chave: Termodinâmica. Simulações. Práticas. Ensino fundamental.

ABSTRACT

In this paper, we propose the use of experiments related to thermodynamics, such as an additional tool for use in the classroom. With the proposal of practical scripts for a better use of practical experiments. We also present simulations that address themes related to thermodynamics, as an alternative to practical experiments, because it is not necessary to carry an entire apparatus, which would be necessary in a practical experiment. The paper seeks to define if both can be used together to improve understanding of relevant concepts. Experiments serve as an alternative to the traditional mode of class, to try to bring students a different class than they are used to. Finally, we reported an experiment on the application of these experiments and asked the students about their preference, about the type of class they prefer and if they had understood what was explained in the simulations, and apply exercises related to the theme. The simulations were applied in elementary schools.

Keywords: Thermodynamics. Simulations. Practical. Elementary schools.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Contato térmico	18
Figura 2 – Lei zero da termodinâmica.	19
Figura 3 – Isotermas Representação	22
Figura 4 – Interação nos gases de Van der Walls - Representação - Gás de Van der Walls	23
Figura 5 – Interação nos gases de van der walls - Representação - Gás de Van der Walls	25
Figura 6 – Água no estado sólido - simulação	27
Figura 7 – Água no estado líquido - simulação	27
Figura 8 – Água no estado gasoso - simulação	28
Figura 9 – Atrito - simulação	29
Figura 10 – Interação interatômicas - simulação	30
Figura 11 – Aplicação das simulações em sala.	31
Figura 12 – plicação das simulações em sala.	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Constantes dos gases	22
Tabela 2 – Temperatura das substâncias	34
Tabela 3 – Variações de temperatura	36
Tabela 4 – Variações de temperatura	37
Tabela 5 – Capacidade térmica	40

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	PRÍNCIPIOS DA TERMODINÂMICA	15
2.1	Tópicos de termodinâmica	15
2.1.1	<i>Energia interna de um sistema</i>	15
2.1.2	<i>Calor</i>	16
2.1.3	<i>Temperatura</i>	16
2.1.4	<i>Pressão</i>	17
2.2	Lei zero da termodinâmica	18
2.3	A 1^o Lei da termodinâmica	18
2.4	A 2^o Lei da termodinâmica	20
2.5	Entropia	21
2.6	Lei dos Gases ideais	21
2.7	Gás de Van der Waals	22
2.8	Potencial entre duas moléculas	23
3	EXPERIMENTOS - SIMULAÇÕES	26
3.1	Estado da Matéria	26
3.1.1	<i>Fundamentos</i>	26
3.1.2	<i>Objetivos</i>	26
3.2	Atrito	28
3.2.1	<i>Fundamentos</i>	28
3.2.2	<i>Objetivos</i>	28
3.3	Interações Atômicas	28
3.3.1	<i>Fundamentos</i>	28
3.3.2	<i>Objetivos</i>	29
3.4	Resultados pedagógicos	29
3.5	Conclusões - Simulação	30
3.6	Aplicação das simulações - Fotos	31
4	EXPERIMENTOS - PRÁTICAS	32
4.1	Roteiros de Termodinâmica	32
4.2	Calor específico	32

4.2.1	<i>Objetivos</i>	32
4.2.2	<i>Material</i>	33
4.2.3	<i>Fundamentos</i>	33
4.2.4	<i>Procedimento</i>	34
4.2.5	<i>Questionário</i>	34
4.3	Capacidade térmica	35
4.3.1	<i>Objetivos</i>	35
4.3.2	<i>Materiais</i>	35
4.3.3	<i>Fundamentos</i>	35
4.3.4	<i>Procedimento</i>	36
4.3.5	<i>Questionário</i>	37
4.4	Conversão de Caloria em joules	38
4.4.1	<i>Objetivos</i>	38
4.4.2	<i>Materiais</i>	38
4.4.3	<i>Fundamentos</i>	38
4.4.4	<i>Procedimento</i>	39
4.4.5	<i>Questionário</i>	40
5	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	41
	REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

Termodinâmica é um dos ramos da física que apresenta uma complexidade nos seus conceitos que gera uma dificuldade adicional para a sua compreensão por parte dos estudantes. Percebi isso quando tive que dar aulas de termodinâmica para alunos do 9 ano do ensino fundamental, parecia ser uma tarefa árdua fazer com que os alunos entendessem a Física em si, mas quando partíamos para termodinâmica essa tarefa se tornava ainda mais complicada. Foi pensando nisso que decidi fazer esse trabalho de monografia voltado para a termodinâmica, para que professores e alunos pudessem utilizar esse trabalho ou se motivassem para desenvolver conteúdos relacionados ao tema.

Na primeira parte do trabalho abordo o que é termodinâmica, suas grandezas e leis, explicando-as e dando uma interpretação, em alguns momentos com aspectos pessoais, com base nos textos do livro Física Conceitua (PAUL G. HEWITT, 2015), do livro Moysés (MOYSÉS HERCH MOYSÉS NUSSENZVEIG, 2002), e do livro Sears (SEARS YOUNG, 2008) .

Na segunda parte apresento simulações que possam auxiliar professores na difícil tarefa de explicar o conteúdo abordado em termodinâmica com ajuda de um projetor. As simulações apresentadas neste trabalho fazem parte do site PHET SIMULATOR GRUPO DE SIMULAÇÕES INTERATIVAS (2015).

Na terceira parte apresento alguns experimentos de laboratório, com roteiros desenvolvidos, com o objetivo de facilitar e propiciar uma relação mais contextualizada, dos conceitos abordados no estudo da termodinâmica.

2 PRÍNCÍPIOS DA TERMODINÂMICA

Primeiro analisaremos o próprio nome. A palavra termodinâmica tem origem do grego *thermos* que é calor e *dynamis* que é poder. Em seguida apresentaremos uma introdução sobre o que é termodinâmica e a suas leis, procurando entender a termodinâmica de forma mais simples, considerando os aspectos macroscópicos e microscópicos.

O estudo da termodinâmica teve início quando a ideia de calor e energia foi estabelecida e realmente aperfeiçoada durante a revolução industrial, com a intenção de aumentar a eficiência das máquinas térmicas. Dentre os estudiosos que contribuíram para o desenvolvimento da termodinâmica podemos destacar: Otto Von Guericke, Robert Boyle, Gay-Lussac, Sadi Carnot, Émile Clapeyron. Como veremos adiante esses cientistas foram importantes para a compreensão da termodinâmica, e no decorrer das discussões apresentaremos suas descobertas.

Durante a revolução industrial buscava-se uma máquina que atingisse 100 % de rendimento, ou seja, buscava-se uma máquina que não tivesse desperdício de energia. A ideia básica era encontrar uma máquina que aproveitasse o máximo de energia fornecida, na forma de trabalho.

2.1 Tópicos de termodinâmica

Termodinâmica é um dos ramos da física que estuda as relações de troca de calor em um sistema e o trabalho realizado por este. Esta analisa a variação das grandezas, tais como pressão, volume e temperatura, influenciam os processos termodinâmicos.

Em seguida abordaremos cada uma das principais grandezas que compõe o estudo da termodinâmica, tentando caracterizar cada uma destas através de uma linguagem de fácil acesso e de simples compreensão.

2.1.1 *Energia interna de um sistema*

A energia interna de um sistema termodinâmico se estabelece pela soma das energias cinética e potencial dos constituintes desse sistema. A energia cinética, relaciona-se com o movimento dos elementos que compõem o sistema, enquanto que a energia potencial só depende da interação entre seus elementos. Entende-se como energia cinética o nível de agitação das moléculas ou átomos, de uma substância. Esta definição terá, como veremos adiante, uma forte conexão com o conceito de temperatura. A energia potencial se estabelece pelo nível de

conexão (ligação) entre moléculas ou átomos de uma determinada substância. Dependendo da forma da interação, entre estes elementos, se define uma expressão para a energia potencial, que normalmente depende da distância entre os constituintes desta substância.

Para o caso de substâncias ideais, a energia interna se traduz apenas pela presença de energia cinética, pois nesta aproximação não há interação entre as moléculas que compõem essa substância. Existem várias situações onde este tipo de aproximação é bastante adequado, como veremos em discussões posteriores.

2.1.2 Calor

O calor está diretamente associado as transferências de energia de um sistema com maior temperatura para um sistema com menor temperatura, este também pode migrar entre partes distintas do mesmo sistema. A ideia de calor está normalmente associado a transferência de energia entre partes de um sistema ou entre sistemas. O calor é energia em movimento. Sua unidade de medida é a caloria (cal). Uma caloria equivale a 4,186 Joules (J), com essa definição podemos aferir que caloria é a energia necessária para elevar 1 grama de água em um grau Celsius.

2.1.3 Temperatura

O conceito de temperatura surge de uma percepção que temos quando tocamos os objetos. Este se origina nas ideias relativas ao quente e ao frio. Quando estabelecemos que um objeto está quente atribuímos a este objeto uma temperatura mais elevada, quando comparado a um objeto que se apresenta como frio. Contudo, não podemos estabelecer os critérios para se definir temperatura de um objeto com base em nossas percepções. Para este propósito, podemos utilizar algumas propriedades da matéria que apresentam variações significativas quando submetidas a temperaturas diferentes. A temperatura também pode ser associada a energia cinética das moléculas de um material, no entanto esta relação se estabelece de uma forma bastante complexa. Por este motivo, normalmente se relaciona temperatura com propriedades dos materiais, tais como, comprimento e volume que o material apresenta sob diferentes estados definidos como quente e frio. Antes de definir uma temperatura que o corpo se encontra, precisamos definir uma escala de temperatura.

O conceito de temperatura vem com intuito de classificar o sistema a ser estudado. Com esse novo conceito, podemos dizer que a temperatura é o que caracteriza o nível de agitação

das moléculas de **um sistema físico ou corpo**, ou o nível de energia cinética. Para poder caracterizar se determinado corpo tem uma alta temperatura, temos que ter outro corpo como referência. A nossa temperatura, por exemplo, °C (graus Celsius), tem como referência o ponto em que a água tem uma energia cinética muito baixa, que é no estado sólido e o ponto em que a água tem uma energia cinética muito alta, que é no estado gasoso, 0 °C e 100 °C, respectivamente. Uma vez adotado esse sistema de referência podemos estudar outras substâncias, que reagem de maneiras diferentes a variações de temperaturas. Temos 3 escalas de temperaturas mais usadas atualmente, Celsius, Kelvin, Fahrenheit. Cada substância tem seu ponto de fusão, e a referência usada é o ponto de fusão da água, que é a temperatura na qual a água passa do estado sólido para o estado líquido. Na temperatura K (Kelvin) o ponto de referência é o zero absoluto, que seria quando a substância tem o menor nível de energia possível, -273,15°C ou 0 K. Devido a escala Kelvin se estabelecer com base em um comportamento fundamental de todas as substâncias, que é o nível de menor agitação, essa se fez como escala absoluta.

2.1.4 Pressão

Sabe-se que as moléculas de um gás estão em constante movimento e colidem com as paredes do recipiente na qual estão confinadas. Podemos dizer então que a força que é exercida pelas paredes por unidade de área nos dá o valor da pressão exercida pelo gás, sobre as paredes do recipiente.

Podemos citar como exemplo um recipiente com volume constante (panela de pressão), inicialmente com apenas água no estado líquido. Em seguida, o recipiente é aquecido, logo a água por condução também é aquecida. Com o aumento de temperatura no recipiente confinado tem-se a evaporação da água e com a presença do vapor de água temos mais moléculas por unidade de área, aumentando assim o número de colisões por unidade de área e por unidade de tempo no recipiente, conseqüentemente teremos um aumento da pressão exercida pelo gás com mais velocidade. Temos acima o conceito de pressão, que é expresso abaixo pela equação:

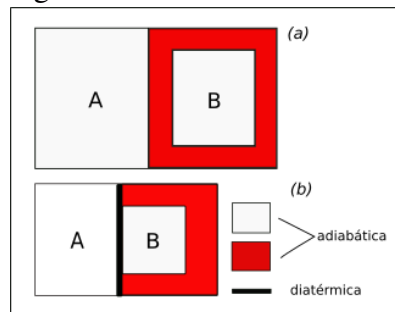
$$P = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

Podemos então dizer que essas duas Grandezas, pressão e área em um gás confinado são inversamente proporcionais, quando eu diminuo a área eu aumento a pressão.

2.2 Lei zero da termodinâmica

A lei zero da termodinâmica retrata um processo espontâneo da natureza, o equilíbrio térmico. Consideramos dois sistemas A e B (figura 1 (a)). Inicialmente os sistemas estão separados por uma parede adiabática, ou seja, que não permite a troca de calor, em seguida substituímos essa parede adiabática, por uma diatérmica (figura 2(b)), que permite a troca de calor, fazendo com que o sistema entre em contato térmico. Ao longo do tempo o sistema muda e atinge um novo estado de equilíbrio térmico, pode-se dizer então que o sistema A entrou em equilíbrio térmico com o sistema B.

Figura 1 – Contato térmico



Fonte: (MOYSÉS HERCH MOY-
SÉS NUSSENZVEIG, 2002).

Propomos agora que A e B estão em equilíbrio térmico entre si, mas não estão em equilíbrio térmico com C, os sistemas estão separados por uma parede adiabática (figura 2(a)). Tiramos agora a parede adiabática e a colocamos entre A e B uma fronteira diatérmica (figura 2(b)), a partir daí inferimos experimentalmente que:

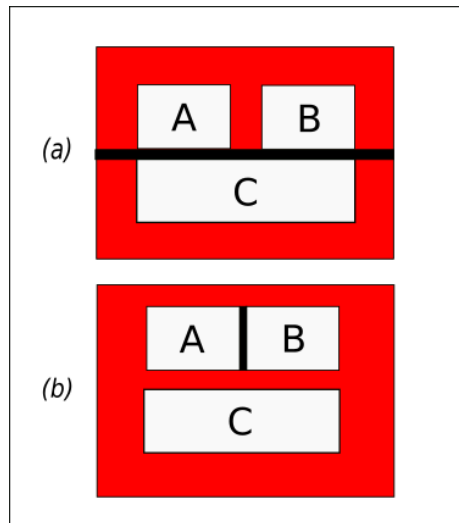
”Dois sistemas em equilíbrio térmico com um terceiro estão em equilíbrio térmico entre si.”

Essa conclusão nos leva a entender que dois sistemas em equilíbrio térmico possuem a mesma temperatura. Esta afirmação se traduz como a lei zero da termodinâmica que define o que é mesma temperatura a partir da ideia de equilíbrio térmico.

2.3 A 1ª Lei da termodinâmica

Sabemos que calor é energia em trânsito. Quando adicionamos calor a um sistema estaremos adicionando energia e essa energia pode ser usada para aumentar a energia interna

Figura 2 – Lei zero da termodinâmica.



Fonte: (MOYSÉS HERCH MOYSÉS NUSSENZVEIG, 2002).

do sistema ou para realizar trabalho sobre sua vizinhança. Podemos expressar a primeira lei da termodinâmica na forma:

Calor adicionado = Aumento da energia interna + trabalho externo realizado pelo sistema.

Na primeira lei temos a adição de calor a um sistema de modo que possibilita a realização de trabalho mecânico. Não existe a possibilidade da energia interna mais trabalho exceder a energia fornecida. Um exemplo prático da primeira lei é o funcionamento de uma locomotiva a vapor. A energia em forma de calor é fornecida a água, que entra em ebulição, o vapor em expansão realiza trabalho e a locomotiva é impulsionada para frente.

O conceito fundamental contido na primeira lei é a conservação de energia, vemos, na realidade, que se trata de uma variação de energia, descrita pela fórmula abaixo:

$$\Delta U = Q - W \quad (2.2)$$

Vejamos a seguir os tipos de transformações que normalmente ocorrem nos sistemas termodinâmicos.

Transformação adiabática: Não há troca de calor com o meio externo, isolando-se o sistema termicamente ($Q = 0$), dizemos que um determinado gás se comprime ou se expande, sendo assim o gás realiza um trabalho no pistão, e quando o mesmo é comprimido realizado-se um trabalho, temos então:

$$\Delta U = -W(\text{Adiabática}) \quad (2.3)$$

Transformação isocórica: O volume é constante, se o volume é constante, então não se realiza trabalho mecânico, ou seja toda energia adicionada na forma de calor, aumenta a energia interna.

$$\Delta U = Q(\text{isocórica}) \quad (2.4)$$

Transformação isobárica: Nesta transformação temos a pressão constante e podemos perceber que o trabalho é dado:

$$W = P(V_2 - V_1)(\text{isobárica}) \quad (2.5)$$

Transformação isotérmica: Temos a temperatura constante, nesse é preciso que a transferência de calor de dentro para fora seja lenta para que o equilíbrio térmico seja garantido, em geral nenhuma das grandezas chega a zero. No caso dos gases ideais temos que a energia interna depende apenas da temperatura, nesse caso:

$$Q = W(\text{isotérmica}) \quad (2.6)$$

2.4 A 2ª Lei da termodinâmica

Nesse tópico, abordaremos os processos irreversíveis, ou seja, aqueles que ocorrem em um sentido mas não podem ocorrer no sentido contrário, como por exemplo derretimento de um gelo, ou um perfume borrifado, esse processos não voltam ao estado inicial espontaneamente. O mesmo ocorre com o trabalho mecânico que fazemos para mover um bloco em um chão com atrito. Parte do trabalho realizado é perdido em calor na forma de atrito, em outras palavras, é impossível converter esse calor em trabalho de modo que o sistema não volta ao seu estado inicial. A segunda lei, basicamente trata do sentidos dos processos termodinâmicos e podemos enunciar-la da seguinte forma:

' O calor por si mesmo jamais flui de um objeto frio para um objeto quente. '

É um fato que o fluxo de calor jamais vai partir de um corpo frio para um corpo quente sem que haja realização de trabalho ou adição de energia de alguma outra fonte. O que nós leva ao enunciado de Kelvin-Planck para essa lei, também chamado de enunciado da 'máquina térmica'.

'É impossível para qualquer sistema passar por um processo no qual absorve calor de um reservatório a uma dada temperatura e converte o calor completamente em trabalho mecânico de modo que o sistema termine em um estado idêntico ao inicial.' (SEARS YOUNG, 2008)

A segunda lei determina um limite a disponibilidade de energia, nos modos de convertê-la e na sua disponibilidade.

2.5 Entropia

Agora abordaremos a segunda lei acrescentando o conceito de entropia. Entropia é o nível de desordem de um sistema, ou seja, a quantidade de desordem apresentada pelas partes de um sistema. Por exemplo, um perfume quando aberto as suas moléculas tendem a se espalharem pelo ambiente fazendo com que as pessoas possam sentir o seu aroma. Nunca observaremos as moléculas do perfume se organizando novamente para retornarem ao frasco. Com isso concluímos que a entropia é sempre positiva, pois esta reflete o nível de desorganização das partes de um sistema, e pode ser expressa, para processos reversíveis, pela seguinte relação:

$$\Delta S = \int_a^b dQ/T = 0(\text{processo reversível}). \quad (2.7)$$

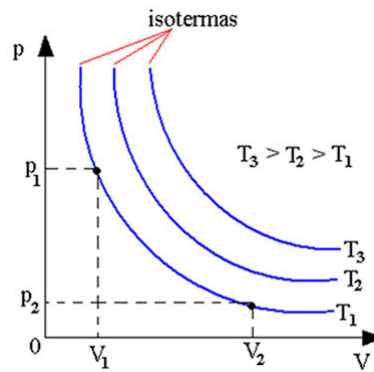
2.6 Lei dos Gases ideais

A lei dos gases ideais ocorre na condição em que as moléculas não sofrem atração e nem repulsão entre si. Portanto as moléculas fazem colisões perfeitamente elásticas entre si. A equação dos gases ideais é dada pela seguinte fórmula:

$$PV = nRT \quad (2.8)$$

Temos as variáveis pressão(P), volume(V), que relacionam-se de forma inversamente proporcional à temperatura(T). As Constantes são, n(número de mols do gás), e R(constante universal dos gases perfeitos). Podemos entender que a equação dos gases ideais funciona muito bem para pressões abaixo de 1 atm, e para temperaturas muito acima daquelas da condensação do referido gás. Baixa pressão significa que há poucas moléculas no espaço ocupado. No gráfico da fig.3 apresentamos as curvas típicas para gases ideais em um diagrama PV. Neste temos curvas distintas com temperatura constante. A função que define o comportamento da pressão em função do volume para gases ideais é a hipérbole, conforme podemos constatar pelas curvas do gráfico.

Figura 3 – Isotermas Representação



Fonte: Sears Young (2008).

2.7 Gás de Van der Waals

No gás de Van der Waals, ao contrário dos gases ideais, temos gases compostos por moléculas com tamanhos não desprezíveis e com interações moleculares, ou seja, as partículas sofrem interação. A equação de Van der Waals foi obtida empiricamente pelo mesmo após analisar os gases e foi definida conforme a equação abaixo:

$$\left(P + \frac{n^2 a}{V^2}\right)(V - nb) = nRT \quad (2.9)$$

Surgem nesta equação duas constantes, a e b, a constante **a** está relacionada com forças de atração intermoleculares e a constante **b** está relacionada com o volume molecular. Essas constantes foram obtidas empiricamente e variam para cada gás. Abaixo observaremos uma tabela com as constantes de alguns dos gases.

Tabela 1 – Constantes dos gases

Gás	a(Litro ² .atm/mol)	b(litro/mol)
H ₂	0,2444	0,02661
He	0,03412	0,02370
N ₂	1,390	0,03913
O ₂	1,360	0,03813
CO ₂	3,592	0,04267
H ₂ O	5,464	0,03049

Fonte: P. Paulo Cesar (2015)

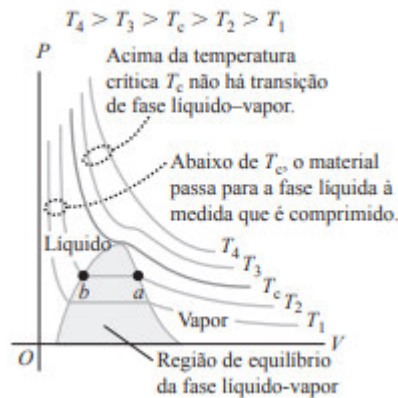
Podemos notar que quando zeramos as duas constantes, a e b, retornamos para a equação do gás ideal

$$PV = nRT \quad (2.10)$$

Conforme podemos observar a partir do gráfico da fig.4, o gás de Van der Waals apresenta um comportamento mais complexo do que o gás ideal. A novidade apresentada pelo gás de Van der Waals, com relação ao gás ideal é que este contempla as mudanças de fases observadas nas substâncias, quando a temperatura se encontra abaixo da temperatura crítica. Para o caso onde a temperatura é bastante elevada este recupera o comportamento já previsto pela formulação do gás ideal. Acima da temperatura crítica não há transição de fase de primeira ordem, da fase líquida para vapor. Neste tipo de transição existe uma coexistência de fases, diferente da transição de segunda ordem onde a mudança de fase ocorre de forma contínua de um estado para outro.

O fato da formulação de Van der Waals, contemplar transições de fase, trouxe uma grande contribuição no entendimento das transformações termodinâmicas observadas em várias substâncias. Esta nova formulação contribuiu de forma considerável para a termodinâmica, haja visto, que esta formulação ampliou a contribuição obtida por meio da equação de gás ideal, pois possui o gás ideal como seu caso particular.

Figura 4 – Interação nos gases de Van der Waals - Representação - Gás de Van der Waals



Fonte: (SEARS YOUNG, 2008).

2.8 Potencial entre duas moléculas

Nesta seção, iremos demonstrar como um potencial do tipo Lennard-Jones(1921) que expressa de maneira simples e bastante satisfatória, a interação entre um par de átomos neutros ou moléculas pode ser aproximada para um potencial harmônico para distâncias próximas da

posição de equilíbrio.

$$U = U_0 \left[\left(\frac{R_0}{r} \right)^{12} - 2 \left(\frac{R_0}{r} \right)^6 \right] \quad (2.11)$$

A forma do potencial de Lennard-Jones, eq.2.11, expressa as duas formas de interação que se observa em sistemas carregados, um termo de repulsão e outro de atração que depende essencialmente da distância r , entre as moléculas. Devido a sua simplicidade este potencial é comumente utilizado para descrever propriedades dos gases e interações moleculares. Para uma aproximação harmônica devemos supor que as moléculas ou átomos estão próximos da posição de equilíbrio. Neste caso, podemos derivar a função potencial $U(r)$ e relacioná-la com a força na forma:

$$F_r = - \frac{dU}{dr} \quad (2.12)$$

$$F_r = 12 \frac{U_0}{R_0} \left[\left(\frac{R_0}{r} \right)^{13} - \left(\frac{R_0}{r} \right)^7 \right] \quad (2.13)$$

Agora substituímos r que é a distância inicial por $R_0 + x$, que são a distância das mesmas em equilíbrio mais a distância que percorrem depois de serem tiradas do equilíbrio. A força é positiva para r menor que R_0 , e negativa para r maior que R_0 , caracterizando assim uma força restauradora.

$$F_r = 12 \frac{U_0}{R_0} \left[\left(\frac{1}{1+x/R_0} \right)^{13} - \left(\frac{1}{1+x/R_0} \right)^7 \right] \quad (2.14)$$

Aplicando o teorema binomial na equação 2.16.

$$(1+u)^n = \left[1 + nu + \frac{n(n-1)u^2}{2!} + \dots \right] \quad (2.15)$$

$$F_r = 12 \frac{U_0}{R_0} \left[1 - 13 \frac{x}{R_0} - 1 + 7 \frac{x}{R_0} \right] \quad (2.16)$$

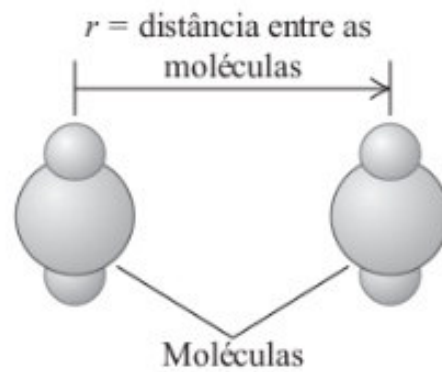
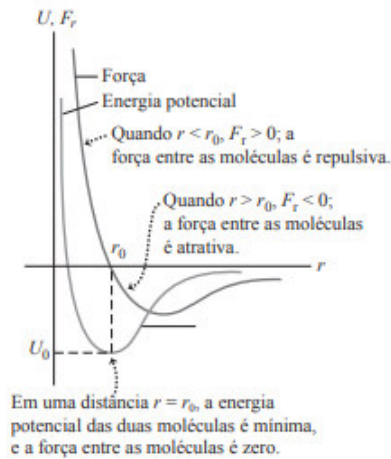
$$F_r = - \left(72 \frac{U_0}{R_0^2} \right) . x \quad (2.17)$$

Considerando $\left(72 \frac{U_0}{R_0^2} \right)$ como a constante K do sistema, obtemos finalmente que:

$$F_r = -K . x \quad (2.18)$$

As moléculas em suas interações estão sujeitas a uma força do tipo harmônica, desde que x/R_0 seja muito menor que 1, ou seja, a perturbação x , tem que ser muito pequena se comparada com a posição de equilíbrio. No gráfico 3 vemos uma ilustração deste tipo de potencial e uma configuração de moléculas que interagem segundo este potencial.

Figura 5 – Interação nos gases de van der Waals - Representação - Gás de Van der Waals



Fonte: (SEARS YOUNG, 2008).

3 EXPERIMENTOS - SIMULAÇÕES

Nesse capítulo apresentaremos três simulações. Seus fundamentos, os objetivos de cada uma e discutiremos os resultados pedagógicos. Apresentamos também propostas de planos de aulas para uma melhor abordagem em sala. Com o propósito de oferecer um recurso adicional ao professor para que este possa abordar a física em sala de aula. As simulações apresentadas nesse capítulo são relacionadas sobre o conteúdo de termodinâmica já reportado no capítulo anterior. Tratamos nestas simulações alguns aspectos de matéria e suas transformações que não podem ser detectados a olho nu, devido a escala na qual estes eventos ocorrem. Acreditamos que estas simulações possam propiciar uma nova experiência aos alunos no processo de aprendizagem. As simulações foram obtidas no site PHET Simulator e são totalmente gratuitas (GRUPO DE SIMULAÇÕES INTERATIVAS, 2015).

3.1 Estado da Matéria

3.1.1 Fundamentos

Utilizaremos inicialmente a simulação para tratarmos a interação entre partículas de um mesmo gás, a partir da variação de grandezas como a pressão, temperatura e volume. Na simulação podemos alterar a escala de temperatura, de Celsius para Kelvin, podemos modificar facilmente de temperaturas elevadas para temperaturas baixas, além da possibilidade de incluir mais moléculas ao sistema e alternar entre cinco tipos de átomos (Neônio, Argônio, Oxigênio, Água) além de poder escolher entre um átomo ajustável com relação a sua força de interação e seu tamanho, o sistema é acoplado a um termômetro e a um barômetro para melhor entendimento e visualização das transformações.

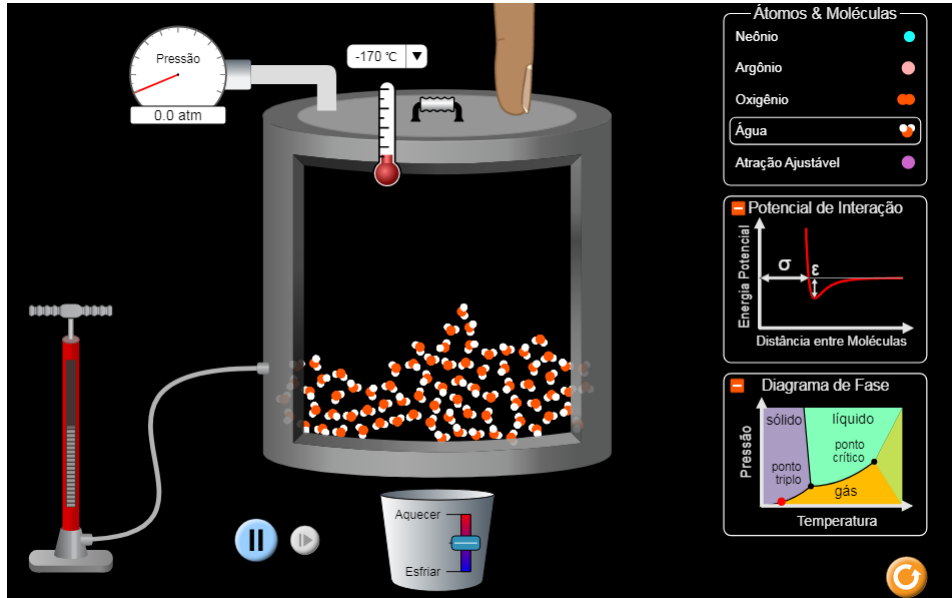
3.1.2 Objetivos

O intuito nesse experimento é mostrar as mudanças de estado a partir de mudanças externas como calor, volume e temperatura. É importante aqui observar como as moléculas se comportam como função de suas ligações. Entender como um diagrama de pressão x volume se comporta em função de variações da temperatura, faz parte dos objetivos desta prática.

É importante que após essa simulação o aluno saiba relacionar o diagrama pressão-volume com o comportamento das moléculas. Entender como são as ligações entre as moléculas,

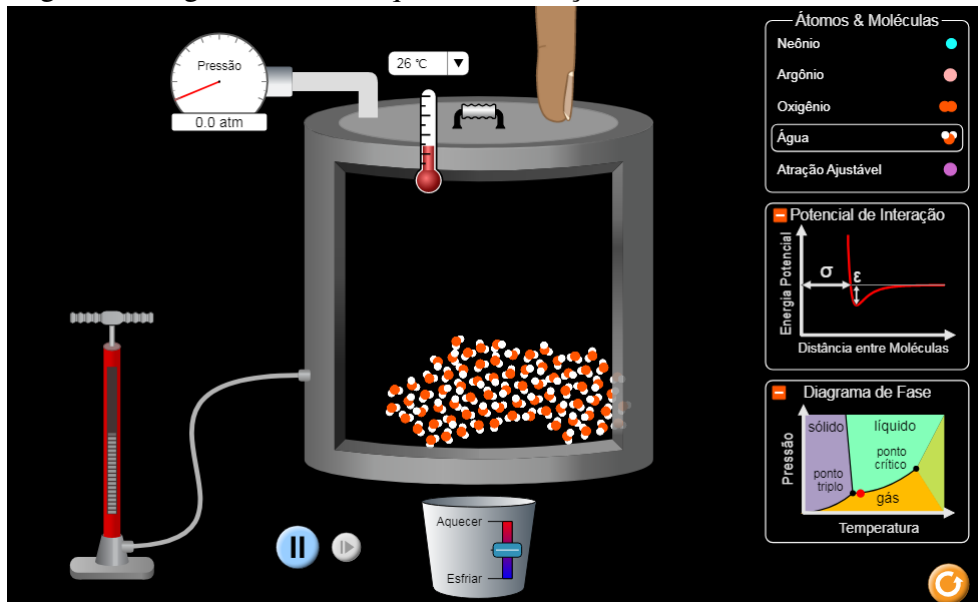
e como se comporta uma substância durante uma mudança de fase. Em seguida mostramos três tipos de estados da água para ilustrar a representação. Na figura 5 temos o estado sólido, na figura 6 o estado líquido, e na figura 7 temos o estado gasoso.

Figura 6 – Água no estado sólido - simulação



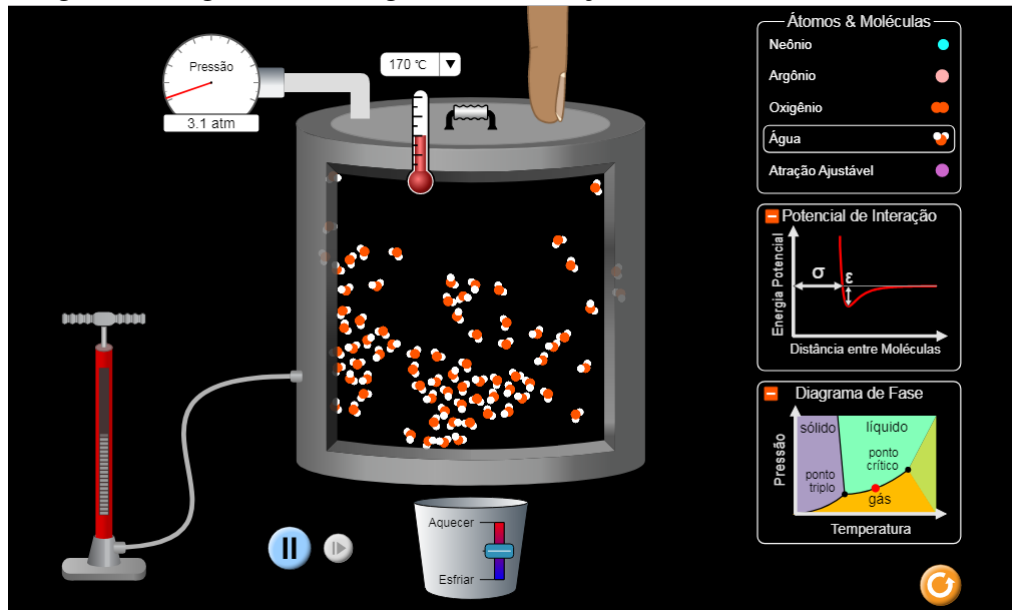
Fonte: GRUPO DE SIMULAÇÕES INTERATIVAS (2015)

Figura 7 – Água no estado líquido - simulação



Fonte: GRUPO DE SIMULAÇÕES INTERATIVAS (2015)

Figura 8 – Água no estado gasoso - simulação



Fonte: GRUPO DE SIMULAÇÕES INTERATIVAS (2015)

3.2 Atrito

3.2.1 Fundamentos

Nessa simulação temos dois livros e atritamos um ao outro, acoplado a um termômetro. Com base nesta simulação podemos ver como o atrito entre dois objetos está relacionado ao aumento de temperatura.

3.2.2 Objetivos

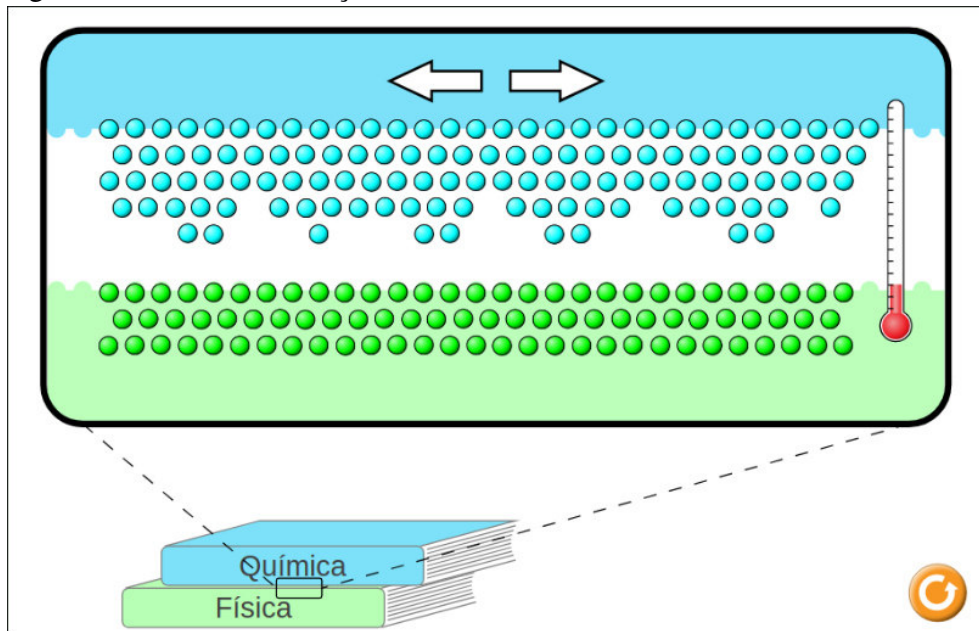
O objetivo dessa simulação é dar ao aluno um entendimento sobre a relação entre temperatura e movimento. Como o aumento de temperatura está diretamente relacionado ao aumento do nível de agitação das moléculas.

3.3 Interações Atômicas

3.3.1 Fundamentos

Nesta simulação podemos constatar as interações interatômicas em gases de Van der Waals e o poço de potencial de várias moléculas. Podemos entender como ocorre a atração e repulsão de moléculas diferentes. Por meio do movimento do mouse, fixamos uma molécula e deslocamos a outra, a partir disso percebemos a molécula presa uma a outra por um potencial. A

Figura 9 – Atrito - simulação



Fonte: GRUPO DE SIMULAÇÕES INTERATIVAS (2015)

medida que alteramos a distância entre as moléculas podemos visualizar no gráfico a energia potencial. Esta análise também nos oferece a opção para escolha de tipos diferentes de átomos, tais como, Neônio, Argônio, Oxigênio.

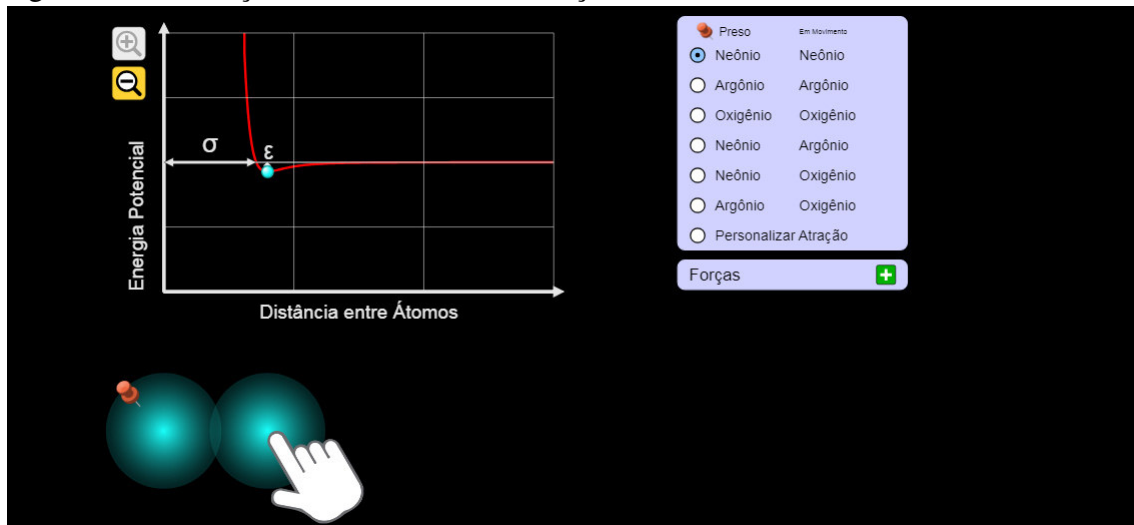
3.3.2 *Objetivos*

Para estes experimentos, queremos oferecer ao estudante a oportunidade de visualizar o gráfico de uma função potencial, a medida que variamos as distâncias entre as moléculas dos átomos. Apresentar ao estudante a possibilidade de alterar o tipo de interação potencial e visualizar como as forças atuantes no sistema se comportam sua natureza, atrativa ou repulsiva. Esta experiência, permitirá uma interação do estudante com as forças que atuam em nível molecular para manter as estruturas das moléculas. Acreditamos que esta oportunidade permitirá uma maior fixação dos conceitos pertinentes ao caso em estudo.

3.4 **Resultados pedagógicos**

Para verificar a eficiência desta experiência por meio de simulações, foi necessário uma aplicação das mesmas em uma sala de aula. As simulações escolhidas foram 'estado da matéria' e 'atrito' abordadas em duas aulas de cinquenta minutos cada. As aulas foram ministradas em duas turmas do 9º ano do ensino médio, na Escola municipal 11 de Agosto e na Escola municipal São José. A aplicação desses experimentos em sala de aula serviu para que os

Figura 10 – Interação interatômicas - simulação



Fonte: GRUPO DE SIMULAÇÕES INTERATIVAS (2015)

alunos tivessem a oportunidade de perceberem a diferença entre as duas experiências: simulação computacional e experimentos em sala. Após a realização dos experimentos foi aplicado um questionário ao estudante com as seguintes perguntas:

- 1 - Qual o tipo de aula você prefere mais? Aula tradicional, aula com simulações, ou aula com experimentos práticos? Por quê?
- 2 - Você conseguiu associar o que foi dito em sala, com o que foi visto no simulador?
- 3 - Na sua opinião, para melhorar a aula, que tipos de experimento, você gostaria de ver?

3.5 Conclusões - Simulação

Com relação ao questionário podemos destacar as respostas que mais surgiram:

1. Os alunos ficam mais atentos e motivados em aulas onde existe a oportunidade de interação direta com o conteúdo. Observa-se esta maior motivação no caso de aulas com experimentos e simulações.
2. Os alunos reclamam constantemente que estão cansados das aulas tradicionais de física. Aquelas onde se utiliza apenas o quadro e pincel. A exposição neste caso fica muito monótona.
3. O contato dos alunos com experimentos tanto o simulador como as experiências em sala, permitiu a estes alunos uma proximidade com a realidade do conteúdo abordado. A relação direta entre teoria e prática favoreceu a fixação dos conceitos abordados nos experimentos. Esta relação entre teoria e prática se torna mais eficiente para os estudantes, principalmente em conteúdos de física mais abstratos.

3.6 Aplicação das simulações - Fotos

Figura 11 – Aplicação das simulações em sala.



Fonte: Autor

Figura 12 – aplicação das simulações em sala.



Fonte: Autor

4 EXPERIMENTOS - PRÁTICAS

Neste capítulo mostraremos alguns roteiros desenvolvidos para utilização nos laboratórios, com enfoque em experimentos de termodinâmica. Os mesmos foram obtidos a partir de apostilas dos laboratórios didáticos de física da UFC, de livros, e criados pelo autor. As práticas aqui contidas, servem de auxílio ao professor e tem a intenção de permitirem aos estudantes a possibilidade de realizarem medidas físicas visando aumentar a percepção do aluno com relação ao conteúdo. As práticas abordadas neste trabalho foram estruturadas na seguinte forma:

- **Objetivos** - Apresenta o que o experimento propicia ao aluno e o que este poderá perceber ao realizar o experimento.
- **Material** - Contém todo o material necessário para realização do experimento.
- **Fundamentos** - Explica os conceitos teóricos necessários para o melhor entendimento do experimento.
- **Procedimento** - Explica o passo a passo para a realização do experimento, alertando em alguns casos sobre a necessidade de anotar dados que poderão ser confrontados com os dados obtidos da literatura.
- **Questionário** - Questões abordando os resultados coletados durante os experimentos e conteúdos pertinentes para explicação ou entendimento dos experimentos realizados.

Objetiva-se assim oferecer uma experiência completa para o aluno e para o professor que concluir essas práticas, com um material elaborado para tornar o aprendizado dos alunos melhor, e para auxiliar o professor na hora de conectar o que foi visto em sala de aula com as práticas realizadas. Vejamos agora os roteiros presentes.

4.1 Roteiros de Termodinâmica

4.2 Calor específico

4.2.1 *Objetivos*

- Entender o conceito de calor específico
- Determinar o calor específico do óleo a partir da água
- Aprender a determinar o calor específico de outras substâncias

4.2.2 *Material*

2 Béquers
 2 Termômetros
 1 Fogareiro
 1 Cronômetro
 Óleo de cozinha (soja)
 Água

4.2.3 *Fundamentos*

Observa-se que a quantidade de calor Q necessária para elevar a temperatura da massa m de um material qualquer é proporcional à variação da temperatura sofrida pelo corpo. Esse calor é também proporcional à massa m do corpo. Com base nestas observações podemos definir que: O calor necessário para a variação de uma temperatura ΔT em uma massa m é dado por,

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (4.1)$$

sendo a grandeza c denominada calor específico do material. Trata-se de uma grandeza intensiva, não depende da quantidade do material, apenas do tipo de material. Devemos ressaltar que o calor não é uma quantidade contida no corpo, não faz sentido. Calor é sempre uma energia em movimento, devido a uma diferença de temperatura, este encontra-se sempre em movimento. Existe também uma grandeza denominada calor específico molar, designado pela letra C . Este parâmetro é bastante utilizado quando descrevemos a quantidade da substância em termos do número de mols em vez de especificar a massa da substância.

Nesse experimento iremos determinar o calor específico do óleo, a partir do calor específico da água ($c = 1 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$). No experimento em questão teremos duas equações, uma para o calor específico de cada substância, como seguem abaixo:

$$Q = m_{\text{água}} \cdot c_{\text{água}} \cdot \Delta T_{\text{água}} \quad (4.2)$$

$$Q = m_{\text{óleo}} \cdot c_{\text{óleo}} \cdot \Delta T_{\text{óleo}} \quad (4.3)$$

A partir das equações acima, podemos obter a variação da temperatura a partir da medida no termômetro. Considerando que as duas substâncias receberão a mesma quantidade de

calor pois as mesmas estão no mesmo tipo de recipiente que deverá ser colocado no mesmo tipo de aquecedor, durante o mesmo período de tempo. Com base nestas considerações temos que:

$$m_{\text{óleo}} \cdot c_{\text{óleo}} \cdot \Delta T_{\text{óleo}} = m_{\text{água}} \cdot c_{\text{água}} \cdot \Delta T_{\text{água}} \quad . \quad (4.4)$$

Para determinar o calor específico temos:

$$c_{\text{óleo}} = \frac{m_{\text{água}} \cdot c_{\text{água}} \cdot \Delta T_{\text{água}}}{m_{\text{óleo}} \cdot \Delta T_{\text{óleo}}} \quad (4.5)$$

4.2.4 Procedimento

1.2 - Pese o béquer vazio, $M_{Becker} =$

1.3 - Pese o béquer 2 vazio, $M_{Becker2} =$

1.4 - Coloque a mesma massa de água e de óleo igual em cada um dos beakers.

1.5 - Coloque um termômetro em cada um dos béquers e anote a temperatura inicial.

1.6 - Coloque os dois béquers no fogareiro, e espere 5 minutos

1.7 - Após 5 minutos passados, anote a temperatura dos dois termômetros, e retire os béquers.

1.8 - Preencha a tabela abaixo:

Tabela 2 – Temperatura das substâncias

	T_i	T_f	ΔT
Água			
Óleo			

Fonte: Autor

4.2.5 Questionário

1 - A partir da tabela, calcule qual o calor específico do óleo, e qual o erro percentual comparado com o da literatura. (Assuma que o calor específico da água é igual a $1 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$.)

2 - Se o calor específico do óleo fosse maior do que o da água o que aconteceria?

Explique.

4.3 Capacidade térmica

4.3.1 Objetivos

- Entender o que é capacidade térmica
- Determinar a capacidade térmica de um calorímetro
- Determinar o calor específico de um determinado material com um calorímetro

4.3.2 Materiais

1 Calorímetro
1 Peça de alumínio
1 Fêquer
1 Foguareiro
1 Termômetro
1 Balança
Água

4.3.3 Fundamentos

Nesse experimento iremos determinar a capacidade térmica do calorímetro. O calorímetro é um recipiente isolado termicamente do meio ambiente bastante utilizado em diversos laboratórios relacionados com ensino de física, para realizar estudos sobre a quantidade de calor trocado entre corpos com temperaturas diferentes. Basicamente, o calorímetro evita a entrada e saída de calor, parecido com uma garrafa térmica. O calorímetro nos auxilia na hora de estudar outros materiais e determinar o calor específico dos mesmos. Inicialmente utilizaremos o calorímetro com a água para determinar a capacidade do mesmo, e em seguida determinaremos o calor específico do alumínio. A equação que define a capacidade térmica de um calorímetro:

$$Q_{\text{calorímetro}} = C_{\text{calorímetro}} \cdot \Delta T_{\text{calorímetro}} \quad (4.6)$$

Sabendo que ao colocar dois materiais com temperaturas diferentes no interior de um calorímetro, haverá troca de calor entre os materiais até que estes atinjam o equilíbrio térmico. Como não há perda de calor do interior do calorímetro para o meio exterior, podemos afirmar que

no interior do calorímetro o calor cedido por um corpo (material) será necessariamente absorvido pelo outro corpo. Por meio desta afirmação podemos estabelecer a seguinte equação,

$$\Delta Q_{\text{calorímetro}} + \Delta Q_{\text{água}} = 0 \quad (4.7)$$

Princípio de conservação da energia através do fluxo de calor. Por meio desta relação podemos determinar várias grandezas térmicas pertinentes aos materiais envolvidos como, por exemplo, a capacidade térmica e o calor específico.

4.3.4 Procedimento

PROCEDIMENTO 1 : CAPACIDADE TÉRMICA DO CALORÍMETRO

- 3.1 - Anote a temperatura ambiente que está registrada no termômetro do calorímetro
- 3.2 - Coloque um volume de água no becker, em seguida leve-o ao fogareiro.
- 3.3 - Espere a água entrar em ebulição (atingir 100 °C).
- 3.4 - Após a água ferver, coloque-a no calorímetro e feche o mesmo.
- 3.5 - Espere até que a temperatura do termômetro se estabilize,(equilíbrio térmico).
- 3.6 - Anote a temperatura após o equilíbrio térmico.
- 3.7 - Leve o calorímetro a balança e pese-o, anote a massa. $M_{\text{total}} =$
- 3.8 - Derrame a água contida no calorímetro, e pese-o novamente. Determine a quantidade da massa de água presente no calorímetro. $M_{\text{água}} =$
- 3.9 - Preencha a tabela abaixo:

Tabela 3 – Variações de temperatura

	T_i	T_f	ΔT
Água			
Calorímetro			

Fonte: Autor

PROCEDIMENTO 2 : CALOR ESPECÍFICO DO ALUMÍNIO

- 3.10 - Pegue o calorímetro, coloque um volume de água a temperatura ambiente, suficiente para que a peça de metal fique submersa na água do calorímetro.
- 3.11 - Após colocar a água, feche o calorímetro, e espere o sistema entrar em equilíbrio térmico, anote a temperatura.

3.12 - Pegue uma peça de alumínio e coloque em um becker com água suficiente para que a peça fique submersa, espere a água entrar em ebulição. Anote a temperatura da água, que será a mesma que a da peça de alumínio.

3.13 - Coloque a peça de alumínio no calorímetro e espere o sistema entrar em equilíbrio térmico, anote a temperatura final.

3.14 - Leve o calorímetro à balança e pese. $M_{total} =$

3.15 - Abra o calorímetro e pese apenas a peça de alumínio. $M_{alumínio} =$

3.16 - Despeje a água e pese o calorímetro, determine a massa da água. $M_{água} =$

3.17 - Preencha a tabela abaixo:

Tabela 4 – Variações de temperatura

	T_i	T_f	ΔT
Água			
Calorímetro			
Alumunínio			

Fonte: Autor

4.3.5 Questionário

1 - Determine a capacidade térmica do calorímetro, a partir dos dados obtidos na tabela.

2 - Determine o calor específico do alumínio, a partir dos dados obtidos na tabela, compare com o resultado esperado, calcule o erro percentual.

3 - Suponhamos que você deseja saber a capacidade térmica da sua garrafa de café, e acopla um termômetro a mesma. Supondo que você espera a água ferver e a coloca na garrafa que está a temperatura ambiente (23 °C). Em seguida espera a temperatura estabilizar e nota que a temperatura final é 90 °C. Supondo que a massa de água é 330 g, qual a capacidade térmica da sua garrafa de café?

4.4 Conversão de Caloria em joules

4.4.1 *Objetivos*

- Determinar o equivalente elétrico da caloria.
- Determinar a capacidade térmica de um calorímetro.

4.4.2 *Materiais*

Calorímetro (recipiente de isopor);
Ebulidor (potência de 210W quando ligado em 110V)
Termômetro;
Béquer;
Água;
Cronômetro ou relógio.

4.4.3 *Fundamentos*

Nesse experimento será observado a conversão de joule em caloria. Para isto temos no experimento um resistor que será aquecido dentro da água e passará calor para a mesma. A partir da potência fornecida, podemos estabelecer a conversão aproximada de joules e calorias. Calor é energia térmica em trânsito de um corpo para outro ou de uma parte para outra de um mesmo corpo. Essa energia recebe o nome de calor quando e apenas enquanto está em trânsito. O calor flui espontaneamente da região de maior temperatura para a de menor temperatura. Como calor é uma forma de energia, sua unidade no Sistema Internacional é o joule (J), entretanto, por razões históricas, também é muito usada uma unidade prática denominada caloria (cal). Uma caloria é a quantidade de calor que 1 grama de água pura deve receber, sob pressão normal, para que sua temperatura seja elevada de 14,5 °C para 15,5 °C. Chamamos de calor específico a quantidade de calor que cada unidade de massa de um corpo precisa receber ou ceder para que sua temperatura varie de uma unidade. Embora a definição de caloria seja para o intervalo de 14,5 °C para 15,5 °C, para efeitos práticos podemos considerar a água como tendo calor específico igual a 1cal/g °C em qualquer temperatura, abaixo da transição de fase.

4.4.4 Procedimento

- Ligue o ebulidor somente quando ele estiver mergulhado na água. A parte em forma de espiral deve estar totalmente coberta pela água.
- Ligue o ebulidor em 110V. A potência do aparelho é de aproximadamente 210W.
- Tome cuidado para não quebrar o bulbo do termômetro, ele é muito frágil.
- Sempre, antes de medir a temperatura da água no calorímetro, agite-o levemente para uniformizar a temperatura. Atenção para não derramar a água.

PROCEDIMENTO 1: Equivalente elétrico da caloria.

1.1 Coloque 200 ml de água (M_{ab}) no calorímetro.

$$M_{ab} = \quad (4.8)$$

1.2 Agite a água levemente e meça a temperatura inicial da água (T_i).

1.3 Introduza o ebulidor no calorímetro e ligue-o durante aproximadamente 2 minutos. Anote o tempo total em que o ebulidor permaneceu ligado.

1.4 Agite levemente o calorímetro e meça a temperatura final (T_f).

1.5 Calcule a energia fornecida pelo ebulidor (E em joules), durante o tempo em que o mesmo permaneceu ligado. $E = P \cdot t$ (potência do ebulidor vezes o tempo)

1.6 Calcule o calor recebido pela água (Q), durante o tempo em que o ebulidor permaneceu ligado. $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$ Calor específico da água = 1,0 cal/g °C. Densidade da água = 1,0 g/ml.

1.7 Despreze a capacidade térmica do calorímetro e a perda de calor para o ambiente. Suponha que todo o calor gerado pelo ebulidor serviu para aquecer a água. Utilizando o princípio da conservação da energia, determine quantos joules correspondem a uma caloria, ou seja, determine o equivalente elétrico da caloria.

PROCEDIMENTO 2: Capacidade térmica do calorímetro.

2.1 Jogue fora a água do calorímetro, lave-o em água corrente para restabelecer a temperatura ambiente e seque-o.

2.2 Coloque 150 ml de água no calorímetro, e deixe outros 100ml no béquer.

2.3 Agite levemente a água do béquer e meça a sua temperatura. Anote na Tabela

8.1.

2.4 Aqueça com o ebulidor a água do calorímetro até aproximadamente 50 °C (não precisa ser exatamente esse valor, anote o valor obtido). OBS: Agite a água do calorímetro e observe a temperatura à medida em que a água é aquecida.

2.5 Despeje a água do béquer no calorímetro, agite-o novamente e meça a temperatura de equilíbrio. Anote. OBS: Não retire o ebulidor do calorímetro; considere-o juntamente com o termômetro como parte do calorímetro.

Tabela 5 – Capacidade térmica

Experimento	Massa água quente (g)	Temp. inicial água quente (°C)	Massa água fria (g)	Temp. inicial água fria (°C)	Temp. de Equilíbrio (°C)	Capacidade Térmica (cal/°C)
1						
2						
3						

Fonte: Autor

2.6 Repita o procedimento anterior mais duas vezes de modo a obter um valor médio para a capacidade térmica do calorímetro.

4.4.5 Questionário

1- Calcule o erro percentual entre o equivalente elétrico (ou mecânico) da caloria obtido no Procedimento 1 e o valor da literatura e indique as principais fontes de erros experimentais neste caso.

2- Com base no Procedimento 2, experimento 1, calcule:

- a) O calor cedido pela água quente.
- b) O calor recebido pela água fria.
- c) O calor cedido pelo calorímetro.

3- Qual o valor médio da capacidade térmica do calorímetro obtido experimentalmente?

4- Calcule novamente o equivalente elétrico da caloria, incluindo nos dados do Procedimento 1 o efeito do calorímetro (calor recebido pelo calorímetro) e compare com o valor obtido na questão 1. Comente.

5- Qual a quantidade de calor necessário para levar à ebulição um litro de água à temperatura ambiente de 30 °C ?

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O trabalho desenvolvido teve como enfoque principal, oferecer ao professor de física uma ferramenta tradicional para que o mesmo possa enriquecer suas aulas.

Inicialmente discutimos alguns conceitos pertinentes ao conteúdo da termodinâmica. Após esta etapa indicamos a utilização de ferramentas tipo simulações computacionais abordando temas da termodinâmica.

Adicionalmente indicamos experimentos de fácil explicação para melhorar o entendimento dos alunos sobre os conteúdos de termodinâmica. Acreditamos que o trabalho como um todo mostra que experimentos de termodinâmica podem ser conduzidos em sala de aula e que estes experimentos podem ajudar de maneira considerável no entendimento dos conceitos de termodinâmica por parte dos alunos.

O nível de aceitação por parte dos alunos reforça a ideia de que aulas de física com uso de simulações experimentais pode transformar o ambiente de sala de aula em um ambiente propício à descobertas e encantamentos por parte dos alunos. Fica evidente a partir da experiência vivenciada neste trabalho, que aulas no método tradicional onde o professor é o membro atuante em sala e os alunos são passivos, não conseguem atingir níveis satisfatórios no processo de ensino aprendizagem. A inclusão de experimentos e simulações em sala de aula são ferramentas indispensáveis para melhoria do processo de ensino aprendizagem.

Acredito que a experiência vivenciada a partir do desenvolvimento deste trabalho possa ser compartilhada e que sirva de motivação para professores e alunos na procura pelo aperfeiçoamento do processo de ensino aprendizagem.

REFERÊNCIAS

GRUPO DE SIMULAÇÕES INTERATIVAS. **PHET - Simulações interativas**. 2015. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/>. Acesso em: 15 nov. 2019.

MOYSÉS HERCH MOYSÉS NUSSENZVEIG, N. M. **Curso de Física Básica 2: Fluidos oscilações e ondas calor**. [S. l.]: EDGARD BLUCHER, 2002.

P. PAULO CESAR. **PORTAL DE ESTUDOS EM QUÍMICA**. 2015. Disponível em: <<https://www.profpc.com.br/EquaC3A7C3A3oVanDerWaals.htm>>.

PAUL G. HEWITT, H. G. **Física Conceitual: Conceitos de física**. [S. l.]: Bookman Companhia, 2015.

SEARS YOUNG, S. e. Z. S. Z. **Física de Sears Zemansky: Volume II: Termodinâmica e ondas**. [S. l.]: Pearson Education, 2008.