

**MNPEF**  
Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física



CONSTRUÇÃO DE UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE  
SIGNIFICATIVA (UEPS) PARA O ESTUDO DAS TRANSFORMAÇÕES GASOSAS  
NO NOVO ENSINO MÉDIO

Diego Alvino Lima

Manaus – AM  
09/2024

DIEGO ALVINO LIMA

CONSTRUÇÃO DE UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE  
SIGNIFICATIVA (UEPS) PARA O ESTUDO DAS TRANSFORMAÇÕES GASOSAS  
NO NOVO ENSINO MÉDIO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação no IFAM no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Linha de Pesquisa: Física no Ensino Médio.

Orientador(es): Dr. Igor Tavares Padilha

Manaus – AM  
09/2024

**Biblioteca do IFAM – Campus Manaus Centro**

---

L732c Lima, Diego Alvino.

Construção de uma unidade de ensino potencialmente significativa (UEPS) para o estudo das transformações gasosas no novo ensino médio / Diego Alvino Lima. – Manaus, 2024.

191 p. : il. color.

Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, *Campus* Manaus Centro; Universidade Federal do Amazonas, 2024.

Orientador: Prof. Dr. Igor Tavares Batista.

1. Física - ensino. 2. Sequência didática. 3. Transformações gasosas. I. Batista, Igor Tavares. (Orient.) II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Universidade Federal do Amazonas. IV. Título.

CDD 530.07

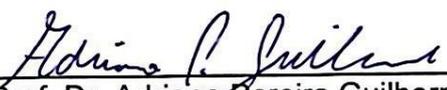


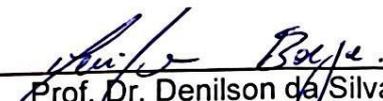
Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - Polo 4

Ata da 74ª Defesa de Dissertação

Aos seis dias do mês de dezembro, do ano de dois mil e vinte e quatro, às 10h, no Auditório 2 do ICOMP-UFAM, ocorreu a Defesa da Dissertação do mestrando **Diego Alvino Lima**, intitulado: **“CONSTRUÇÃO DE UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA (UEPS) PARA O ESTUDO DAS TRANSFORMAÇÕES GASOSAS NO NOVO ENSINO MÉDIO”**, do Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 4 das Instituições de Ensino Superior: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM) e Universidade Federal do Amazonas (UFAM). A Banca Examinadora foi composta pelo Prof. Dr. Igor Tavares Padilha (UFAM), Prof. Dr. Adriano Pereira Guilherme (MNPEF-Polo 64) e Prof. Dr. Denilson da Silva Borges (UFAM). O Professor Doutor Igor Tavares Padilha, Presidente, deu início aos trabalhos, convidando os membros a comporem a Banca Examinadora. O Presidente fez a leitura dos procedimentos para defesa de dissertação, e convocou o mestrando para fazer a exposição de seu trabalho que, em seguida, foi arguido pelos membros da Banca Examinadora. Após a arguição, a Banca Examinadora reuniu-se privativamente e decidiu pela aprovação do trabalho. Ao final, os presentes foram chamados para tomarem conhecimento do resultado da avaliação, o Presidente da banca comunicou ao interessado que feitas às devidas correções na dissertação, conforme sugestão da banca Examinadora, o discente é obrigado a entregar, na secretaria do polo 4, até sessenta (60) dias após a data da defesa, uma (01) via impressa e encadernada no formato capa dura, e uma via(01) digital em formato PDF, para os trâmites necessários à concessão do diploma, conforme Resolução N.º.47 – CONSUP/IFAM de 13 de julho de 2015. Nada mais havendo a tratar, foi lavrado a presente Ata que, após lida e aprovada, será assinada pelos presentes.

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Igor Tavares Padilha  
Presidente - UFAM

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Adriano Pereira Guilherme  
Membro Externo – UFAM/ICET-MNPEF/Polo 64

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Denilson da Silva Borges  
Membro Interno - UFAM

Diego Alvino Lima

**CONSTRUÇÃO DE UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA (UEPS) PARA O ESTUDO DAS TRANSFORMAÇÕES GASOSAS NO NOVO ENSINO MÉDIO**

Dissertação apresentada ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), pólo 04, da Universidade Federal do Amazonas (UFAM) e Instituto Federal do Amazonas (IFAM), como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Linha de Pesquisa: Física no Ensino Médio.

**APROVADO EM 06 DE DEZEMBRO DE 2024**

**BANCA EXAMINADORA**

Documento assinado digitalmente  
 **IGOR TAVARES PADILHA**  
Data: 18/12/2024 09:39:32-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Prof. Dr. Igor Tavares Padilha**  
Presidente – UFAM / PROFIS Polo 04

Documento assinado digitalmente  
 **ADRIANO PEREIRA GUILHERME**  
Data: 18/12/2024 12:06:22-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Prof. Dr. Adriano Pereira Guilherme**  
Membro Externo – UFAM / PROFIS Polo 64

Documento assinado digitalmente  
 **DENILSON DA SILVA BORGES**  
Data: 18/12/2024 10:13:12-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Prof. Dr. Denilson da Silva Borges**  
Membro Interno – UFAM / PROFIS Polo 04

## **AGRADECIMENTOS**

Eternamente, à minha mãe, Maria, ao meu pai, Francisco, e aos meus filhos, Diego e Anabela, pela companhia na vida e pelo amor que me faz continuar.

Ao meu grande amigo, Emanuel Sampaio, pela parceria de sempre e pela grande contribuição na aplicação na aplicação do produto deste mestrado.

Ao meu orientador, Dr. Igor Tavares Padilha, pela contribuição imensurável durante toda a jornada do mestrado.

À Universidade Federal do Amazonas, pela oportunidade transformadora. À Sociedade Brasileira de Física, por não esquecer da Educação Básica.

À FAPEAM – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas – pelo apoio.

À Sociedade Brasileira de Física, por não esquecer da Educação Básica.

À CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil(CAPES) – pelo apoio - Código de Financiamento 001.

## RESUMO

O presente trabalho tem como proposta Construir uma unidade de ensino potencialmente significativa (UEPS), através de uma sequência didática para o ensino das transformações gasosas, voltada aos alunos do ensino básico da rede pública do estado do Amazonas, inserida na disciplina de projeto de vida do novo ensino médio. O objetivo é identificar evidências de aprendizagem com significado e crítica. Nessa perspectiva, problematizando como se tem dado o ensino de Física na Educação Básica em detrimento das relações práticas do cotidiano, questiona-se: essas relações podem ser, realmente, inseridas e experimentadas nas escolas com o intuito de se obter uma aprendizagem potencialmente significativa? Quais as dificuldades encontradas pelos docentes da Educação Básica em levar práticas do dia-a-dia para dentro da sala de aula? Como a utilização da panela de pressão pode contribuir para o ensino da Física? Com a finalidade de agregar o cotidiano escolar ao cotidiano histórico, social e econômico, no qual hoje estamos inseridos, as escolas, tal como propõem as novas Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Básica e a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional – Lei 9.394/96 – visam preparar os alunos para o mundo do trabalho, das ciências e das tecnologias. Sendo assim, utilizamos a panela de pressão, inserida em uma sequência didática, contribuindo para uma situação-problema, pois é um exemplo fascinante de como os princípios físicos podem ser aplicados de forma prática e inovadora na culinária. Seu papel na aceleração do processo de cozimento, economia de energia e preservação dos nutrientes dos alimentos a torna uma ferramenta valiosa na cozinha contemporânea. No entanto, é crucial compreender os princípios físicos subjacentes e seguir as práticas de segurança recomendadas para aproveitar ao máximo os benefícios da panela de pressão. Dessa forma trabalhou-se com proposições de atividades colaborativas para resolução de situações-problema, assim como também nos apropriamos do referencial teórico da Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel articulada a aprendizagem significativa crítica de Moreira.

Palavras-chave: sequência didática, transformações gasosas, panela de pressão, Ensino de Física, novo ensino médio.

## ABSTRACT

The purpose of this work is to build a potentially significant teaching unit (UEPS), through a didactic sequence for teaching gaseous transformations, aimed at basic education students in the public network of the state of Amazonas, included in the life project discipline. of the new high school. The aim is to identify evidence of meaningful and critical learning. From this perspective, problematizing how Physics has been taught in Basic Education to the detriment of everyday practical relationships, the question arises: can these relationships really be inserted and experienced in schools with the aim of obtaining potentially significant learning? What are the difficulties encountered by Basic Education teachers in bringing day-to-day practices into the classroom? How can using a pressure cooker contribute to teaching Physics? With the purpose of adding the school routine to the historical, social and economic daily life, in which we are inserted today, schools, as proposed by the new National Curricular Guidelines for Basic Education and the Law of Guidelines and Bases of National Education – Law 9,394 /96 – aim to prepare students for the world of work, science and technology. Therefore, we use the pressure cooker, inserted in a didactic sequence, contributing to a problem situation, as it is a fascinating example of how physical principles can be applied in a practical and innovative way in cooking. Its role in accelerating the cooking process, saving energy and preserving food nutrients makes it a valuable tool in the contemporary kitchen. However, it is crucial to understand the underlying physical principles and follow recommended safety practices to fully enjoy the benefits of the pressure cooker. In this way, we worked with proposals for collaborative activities to resolve problem situations, as well as appropriating the theoretical framework of Ausubel's Theory of Meaningful Learning articulated with Moreira's critical meaningful learning.

Keywords: didactic sequence, gaseous transformations, pressure cooker, Physics Teaching, new high school.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1– Gráfico $(Pv/T) \times P$ .....	50
Figura 2 – Imagens de um tanque de aço (a) antes e (b) depois de ser esmagado pela pressão atmosférica.....	53
Figura 3 - Modelo de um gás ideal .....	55
Figura 4 - Modelo mais realista de um gás .....	55
Figura 5 - Colisão elástica de uma molécula com a parede idealizada de um recipiente.....	56
Figura 6 – Molécula se chocando contra uma parede.....	56
Figura 7 – Diagrama de fase $P \times T$ .....	61
Figura 8 – Superfície PVT .....	64
Figura 9 - Um gás confinado em um cilindro com um êmbolo móvel. ....	66
Figura 10 - Processos entre estados termodinâmico .....	68
Figura 11 - Três isotermas em um diagrama P-V.....	71
Figura 12 – Expansão livre de um gás .....	73
Figura 13 - Gráfico do trabalho adiabático .....	75
Figura 14 - Uma expansão adiabática .....	83
Figura 15 - Expansão livre.....	84
Figura 16 - Abordagem inicial .....	86
Figura 17 - Respostas sobre conceitos da termodinâmica (1).....	87
Figura 18 - Respostas sobre conceitos da termodinâmica (2).....	87
Figura 19 - Experimento sobre o comportamento molecular.....	88
Figura 20 – Debate sobre o informativo técnico .....	90
Figura 21 – Organização dos materiais.....	94
Figura 22 – Organização das equipes .....	95
Figura 23 – Corte dos temperos .....	96
Figura 24 – Preparo do feijão .....	96
Figura 25 – Indagação sobre conceitos e relações termodinâmicas durante a prática experimental .....	97
Figura 26 – Alívio da pressão.....	100
Figura 27 – Degustação do feijão.....	101
Figura 28 – Aula expositiva .....	102
Figura 29 – Roda de conversa .....	106
Figura 30 – Construção gráfica das transformações gasosas (1) .....	109
Figura 31 – Construção gráfica das transformações gasosas (2) .....	109

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Resultado da avaliação da aula inicial, através de conceitos termodinâmicos.....	114
Gráfico 2 - Resultado da avaliação após a aplicação da UEPS.....	115

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Síntese do planejamento da sequência didática.....	32
Quadro 2 - Distribuição dos trabalhos por categoria.....	35

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

BNCC – Base Nacional Comum Curricular

EM – Ensino Médio

GLP – gás liquefeito de petróleo

MNPEF – Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

PCN – Parâmetros Curriculares Nacionais

PCNEM – Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio

TAS – Teoria de Aprendizagem Significativa

TASC – Teoria de Aprendizagem Significativa Crítica

TDIC – Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação

UEPS – Unidade de Ensino Potencialmente Significativa

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	Justificativa.....	13
1.2	Problemática .....	15
1.3	Objetivos .....	15
1.3.1	Objetivo Geral .....	15
1.3.2	Objetivos Específicos.....	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO .....	16
2.1	A Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel.....	16
2.1.1	Tipos de Aprendizagem Significativa .....	19
2.1.2	Diferenciação progressiva, reconciliação integrativa, organização sequencial e consolidação .....	19
2.2	Teoria da aprendizagem significativa crítica de Moreira .....	20
2.2.1	Unidades de Ensino Potencialmente Significativas – UEPS... ..	22
3	REVISÃO DA LITERATURA.....	26
4	METODOLOGIA.....	31
4.1	Natureza da pesquisa .....	31
4.2	Delineamento da pesquisa.....	32
4.3	Sujeitos da pesquisa .....	32
4.4	Instrumentos de coleta de dados .....	32
4.5	Planejamento da sequência didática.....	33
4.6	Descrição das etapas da sequência didática .....	34
4.7	Apropriação de objetos de conhecimento da termodinâmica na utilização da panela de pressão.....	37
4.7.1	Sistema, meio e fronteira.....	49
4.7.2	Temperatura, equilíbrio térmico, lei zero da termodinâmica, calor e energia interna .....	40
4.7.3	Gás ideal.....	44

4.7.4	Equação de Van der Waals.....	51
4.7.5	Modelo cinético-molecular de um gás ideal .....	52
4.7.6	Colisões e pressões de um gás nas colisões .....	52
4.7.7	Pressão e energia cinética moleculares .....	55
4.7.8	Velocidade moleculares .....	57
4.7.9	Fases da matéria .....	58
4.7.10	Superfície pressão (P), volume (V) e temperatura (T) .....	60
4.7.11	Trabalho termodinâmico .....	62
4.7.12	Sinais para calor e trabalho termodinâmico .....	64
4.7.13	Processos entre estados termodinâmicos.....	65
4.7.14	Trabalho realizado por um gás ideal a temperatura constante.. .....	67
4.7.15	Trabalho realizado a volume constante e a pressão constante .....	70
4.7.16	Trabalho da configuração e trabalho dissipativo .....	70
4.7.17	Trabalho em processo adiabático.....	72
4.7.18	Primeira lei da termodinâmica .....	74
4.7.19	Energia interna.....	75
4.7.20	Fluxo de calor.....	75
4.7.21	Forma geral da 1° lei da termodinâmica.....	78
4.7.22	Alguns casos especiais da 1° lei da termodinâmica .....	79
5	IMPLEMENTAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	83
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	111
	REFERÊNCIAS.....	115
	APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL.....	117
	APÊNDICE B .....	168
	APÊNDICE C .....	182
	ANEXO 1 .....	185

## 1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho busca explorar a interseção entre a física e a utilidade prática da panela de pressão, um dispositivo culinário amplamente utilizado na cozinha. A compreensão dos princípios físicos envolvidos no funcionamento da panela de pressão não apenas enriquece nosso conhecimento científico, mas também oferece insights para melhorar sua eficiência e segurança. Também discute-se a implementação de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) no novo ensino médio, abordando como conceito alvo as transformações termodinâmicas, de forma interdisciplinar e com sua inserção no itinerário formativo de projeto de vida, utilizando-se como ferramenta pedagógica o cozimento de determinados alimentos com auxílio da panela de pressão, vídeos e a construção de gráficos (apesar dessa proposta ser implementada em um itinerário informativo, nada impede da mesma ser utilizada na disciplina Física). Com estas ferramentas foram propostas atividades colaborativas desenvolvidas em grupo para resolução de situações-problema.

Dentre os motivos pessoais que me levaram a desenvolver esse tema em sala de aula, está meu fascínio pela culinária e de que maneira relacioná-la com o processo de ensino-aprendizagem, apropriando-se para tal situação, de conhecimentos da área da Ciências da Natureza, de forma a construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição, representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica. Assim, durante o desenvolvimento deste trabalho, propõe-se que o papel do docente, enquanto professor da educação básica e pesquisador, é o de mediar e articular campos de conhecimentos, proporcionando que o processo cognitivo ocorra em detrimento de determinado potencial qualitativo, relacionando às atividades mentais envolvidas na aquisição, processamento, armazenamento e utilização do conhecimento, isso inclui a percepção, atenção, memória, raciocínio, tomada de decisão, e resolução de problemas. Quando falamos sobre como esse processo pode ocorrer em detrimento de um "potencial qualitativo" específico, podemos entender que pode ser influenciado ou limitado por determinados aspectos qualitativos, como

vieses, crenças pessoais ou experiências anteriores. Isso pode levar a uma interpretação ou processamento da informação que favoreça certos pontos de vista ou exclua outros, reduzindo a objetividade ou a abrangência do pensamento. Também tomou-se cautela com a sobrecarga cognitiva, pois quando o volume ou a complexidade da informação é maior do que a capacidade do indivíduo para processá-la eficazmente. Isso pode resultar em um processamento superficial, em detrimento da compreensão profunda e da análise crítica, prejudicando a qualidade do pensamento (Por exemplo: em um ambiente de trabalho com alta pressão e múltiplas tarefas simultâneas, um profissional pode priorizar a quantidade sobre a qualidade, resultando em decisões menos reflexivas e mais impulsivas). Por fim, podemos analisar que o processo cognitivo é dinâmico e multifacetado, e pode ser influenciado por uma variedade de fatores que afetam a qualidade do pensamento, esses fatores podem limitar ou redirecionar o potencial qualitativo de uma pessoa, resultando em um desempenho cognitivo que não reflete plenamente suas capacidades inatas. Entender esses mecanismos é crucial para desenvolver estratégias que promovam um equilíbrio saudável entre diferentes aspectos do pensamento e da aprendizagem.

Nessa perspectiva, o presente trabalho se atrela à competência específica da área 1 da base nacional comum curricular (BNCC), onde possui o objetivo de analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e/ou global. Nesta competência específica, os fenômenos naturais e os processos tecnológicos são analisados sob a perspectiva das relações entre matéria e energia, possibilitando, por exemplo, a avaliação de potencialidades e de limites e riscos do uso de diferentes materiais e/ou tecnologias para tomar decisões responsáveis e consistentes diante dos diversos desafios contemporâneos. Além de agregarmos as habilidades 1 e 2 dessa competência, onde as mesmas possuem a finalidade de analisar e representar as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões em situações cotidianas e processos produtivos que priorizem o uso racional dos recursos naturais, assim como também realizar previsões, avaliar intervenções e/ou construir protótipos de sistemas térmicos que visem à

sustentabilidade, com base na análise dos efeitos das variáveis termodinâmicas e da composição dos sistemas naturais e tecnológicos.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

O Brasil tem cerca de 1200 acidentes registrados por ano envolvendo panelas de pressão. Nos Estados Unidos, um em cada três incêndios é causado pelo utensílio doméstico (**Proteste** – *Associação Brasileira de Proteção dos Consumidores*). No entanto, se bem utilizada, a panela de pressão economiza tempo e recursos na cozinha, sendo que para tal benefício, é necessário uma relação entre ciência e culinária. Dessa forma o estudo da física por meio de equipamentos do cotidiano é algo que deveria sempre estar ligado ao ensino de física e de ciências como um todo, como por exemplo a visualização do concreto de dentro de cada casa, com o intuito de fazer com que o aluno observe maior significância e utilize melhor o conhecimento científico em práticas rotineiras.

Em um mundo repleto de informações de diferentes naturezas e origens, facilmente difundidas e acessadas, sobretudo, por meios digitais, é premente que os jovens desenvolvam capacidades de seleção e discernimento de informações que os permitam, com base em conhecimentos científicos confiáveis, analisar situações-problema e avaliar as aplicações do conhecimento científico e tecnológico nas diversas esferas da vida humana, com ética e responsabilidade. Isso coloca desafios para o Ensino Médio de garantir aos jovens uma educação que os preparem para uma sociedade em constante transformação (BRASIL, 2018, p. 473). No entanto, a escola ainda transmite a ilusão da certeza na sociedade da mudança; ou seja, ainda se ensina, direta ou indiretamente, verdades absolutas, fixas e imutáveis; de que as coisas possuem causas isoladas e simples; de que a tecnologia, o consumo, a globalização e o mercado inevitavelmente melhorarão a sociedade (MOREIRA, 2019).

O professor de física também enfrenta problemas em ministrar seus conteúdos devido a diminuição na carga-horária da disciplina, a falta de laboratórios de física para a realização de experimentos, ou se a escola possui o laboratório, na maioria das vezes o professor não foi capacitado para trabalhar com os equipamentos, o excesso de alunos nas turmas também impossibilita o professor de realizar atividades no laboratório. Sendo assim, é necessário que o professor consiga atrair a atenção do

aluno para o novo conhecimento, neste ponto, Ausubel propõe a utilização de organizadores prévios a fim de realizar uma ligação significativa entre o novo conhecimento e o conhecimento já existente.

A forma de abordagem dos conteúdos de Física desenvolvidos em sala com o que se passa fora dela, é um dos obstáculos para a aprendizagem da mesma, fazendo com que o aluno não dê aplicabilidade aos tópicos ali abordados. O método meramente expositivo contribui ainda mais para tal fato, pois acaba por considerar os estudantes desprovidos de quaisquer concepções prévias e o professor como detentor do conhecimento, sem considerar o que esses alunos trazem de observações empíricas sobre um assunto específico.

Este trabalho também é embasado teoricamente nas UEPS, segundo Moreira (2012, p.2) as Unidades de Ensino Potencialmente Significativas UEPS “são sequências de ensino fundamentadas teoricamente, voltadas para a aprendizagem significativa, não mecânica, que podem estimular a pesquisa aplicada em ensino, aquela voltada diretamente à sala de aula”. Deste modo, considerando dois pontos importantes no processo de aprendizagem significativa, para o desenvolvimento de uma UEPS, material potencialmente significativo e a pré-disposição a aprender, esta sequência surge como potencial ferramenta a ser utilizada neste processo, sendo que vídeos e simuladores, por exemplo, podem ser utilizados tanto como organizadores prévios, fazendo a ponte entre o que o aprendiz já detém e as novas informações que ele futuramente deterá, ao mesmo tempo pode despertar ou impulsionar sua participação mais ativa no processo de aprendizagem.

Ao longo dos anos, o processo educativo vem sofrendo várias mudanças quanto às suas formas de abordagem. Métodos pautados meramente na exposição de conteúdos vêm dando espaço a novas estratégias de ensino devido a necessidade de uma melhor aprendizagem por parte dos alunos. Diante desse contexto, é proposto neste trabalho a utilização de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) das transformações termodinâmicas, utilizando a panela de pressão como recurso facilitador da aprendizagem, onde essa deve se dar de forma significativa, de acordo com os pressupostos teóricos do psicólogo educacional David Paul Ausubel e na visão crítica de Marco Antonio Moreira.

## 1.2 PROBLEMÁTICA

Nessa perspectiva, problematizando como se tem dado o ensino de Física na Educação Básica em detrimento das relações práticas do cotidiano, questiona-se: Como a utilização da panela de pressão pode contribuir para uma aprendizagem significativa no ensino da Física?

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo Geral

Construir uma unidade de ensino potencialmente significativa (UEPS), através de uma sequência didática para o ensino das transformações gasosas, voltada aos alunos do ensino básico da rede pública do estado do Amazonas, agregado ao itinerário informativo de projeto de vida, do novo ensino médio.

### 1.3.2 Objetivo Específico

- Contribuir para o ensino de Física na educação básica por meio das trocas de saberes entre o conhecimento científico e as experiências de vida dos alunos;
- Identificar as transformações isotérmica, isobárica, isocórica e adiabática durante a utilização da panela de pressão no cozimento do feijão;
- Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e planejar intervenções científico-tecnológicas no âmbito da termodinâmica, no que tange as transformações gasosas, justificando conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 A TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE AUSUBEL

David Ausubel (1918-2008) era professor da Universidade de Columbia, médico- psiquiatra de formação, e dedicou sua carreira acadêmica à psicologia educacional na perspectiva cognitivista, desenvolvendo a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel (MOREIRA, 2019, p. 159-160).

Ausubel caracteriza a aprendizagem significativa pela interação entre conhecimentos novos e prévios, de forma não-litera e não-arbitrária; isto significa que a forma como uma pessoa aprende significativamente um conhecimento não é exatamente da forma que é preparada e ensinada pela docência, mas esta pessoa interage com este conhecimento de um modo particular definido por sua estrutura cognitiva própria (MOREIRA, 2012a, p. 2).

Segundo o teórico, o modo como uma aprendizagem significativa acontece é quando uma nova informação se apoia na estrutura de conhecimentos relevantes específica do indivíduo, a qual é definida como subsunçor (MOREIRA, 2019, p. 161). Este tipo de aprendizagem absorve e retém informações, em nível de excelência, na mente humana, através do seu funcionamento altamente organizado e hierárquico.

Ausubel (MOREIRA, 2019, p. 162) aponta o contraste com a aprendizagem mecânica quando uma nova informação se apresenta desconectada do que o indivíduo conhece do mundo –, que por não se ancorar em conhecimentos prévios, sua presença na estrutura cognitiva é temporária. É importante esclarecer, no entanto, que nessa perspectiva, aprendizagem mecânica e a aprendizagem significativa formam um contínuo, podendo haver transição da primeira para a segunda. Além disso, ele defende que a aprendizagem receptiva não é excludente da aprendizagem significativa, uma vez que é possível que a primeira ocorra com grande envolvimento cognitivo do estudante, sem passividade.

Para o teórico, os subsunçores presentes numa estrutura cognitiva variam em grau de abrangência, podem ser um significado, um conceito, uma proposição ou verdadeiros construtos. Eles não são simplesmente conhecimentos estáticos que ancoram novos conhecimentos, pelo contrário, são dinâmicos: Ao interagir com um

novo conhecimento, ele o incorpora, mudando a si próprio. Esse processo é chamado de assimilação. (MOREIRA, 2012, p. 9-10).

Quando há apropriação de novos conhecimentos na mente do aluno, tem-se uma Aprendizagem Significativa. Esta teoria tem sua composição com um conjugado de inclusões conceituais hierarquizadas constituídas pelo aluno partindo de suas vivências com o mundo. Portanto, o aglomerado de conhecimentos prévios do aluno se torna único, diferente de pessoa para pessoa, não havendo outro ser com o mesmo aglomerado de conhecimentos que aquele sujeito possui (MOREIRA, 2010).

A busca por uma aprendizagem de maneira significativa não tem por finalidade fazer com que um indivíduo nunca esqueça um determinado conhecimento, mas sim que o aluno possa recorrer a uma base cognitiva formada através do processo, que propicie uma retomada de tal conhecimento de maneira mais acessível e menos penosa possível. Por isso, estimular uma aprendizagem significativa, e não mecânica, torna-se fundamental, haja vista a má eficiência da segunda em detrimento da primeira e, conseqüentemente, a desagradável sensação de não ter aprendido efetivamente determinado saber por isso (SILVA, D., 2018).

A teoria da Aprendizagem Significativa foi criada em 1963 pelo psicólogo David Ausubel. Ela parte do princípio de que é de suma importância que o aluno já possua um conhecimento prévio sobre determinado assunto, para que o ensino apresente grande eficiência (MOREIRA, 2010). Tal conhecimento prévio serve de base cognitiva para a aprendizagem significativa dos alunos. Por sua vez, entenda-se que aprendizagem significativa é quando novos conceitos, fórmulas, leis, possam realmente significar algo ao aluno. Portanto, quando o aluno consegue de fato explicar fenômenos e situações de forma independente, ele se torna capaz de usar os conceitos ensinados na resolução de novos problemas.

Segundo Ausubel (1980, 2000), o fator isolado que mais influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já sabe. Para ele, aprendizagem é organização e integração do novo material na estrutura cognitiva do aprendiz. Ausubel (2000) parte da premissa de que na mente do indivíduo há uma estrutura na qual a organização e a integração da informação se processam: é a estrutura cognitiva, entendida por este, como o conteúdo total de ideias de um indivíduo e sua organização, ou o conteúdo e a organização de suas ideias, em uma determinada área de conhecimento.

Portanto, a aprendizagem significativa ocorre quando novos conceitos, ideias, interagem com outros conhecimentos relevantes e inclusivos, claros e disponíveis na estrutura cognitiva do aprendiz, sendo por eles assimilados, contribuindo para sua diferenciação, elaboração e estabilidade. Ou seja, novos conhecimentos são associados a conhecimentos pré-existentes.

Para Moreira (2013), a aprendizagem significativa se caracteriza pela interação entre conhecimentos prévios e conhecimentos novos, e essa interação não é literal e nem arbitrária. Ou seja, além de ser capaz de fazer essa associação o aprendiz deve apresentar disposição para aprender. Nesse processo, os conhecimentos prévios adquirem novos significados ou maior estabilidade cognitiva.

Ainda de acordo com o mesmo autor, este conhecimento que o aluno já possui é relevante à nova aprendizagem, Ausubel chamava de subsunçor ou “ideia-âncora”. Em termos simples, subsunçor é o nome que se dá a um conhecimento específico, existente na estrutura de conhecimentos do indivíduo, que permite dar significado a um novo conhecimento que lhe é apresentado ou por ele descoberto. Tanto por recepção como por descobrimento, a atribuição de significados a novos conhecimentos depende da existência de conhecimentos prévios especificamente relevantes e da interação com eles.

Ausubel argumenta que a longa experiência dos estudantes em fazer exames com “questões típicas” cujas respostas requerem uma aprendizagem mecânica, os acostumaram a decorar conceitos e proposições, i.e., respostas literais e arbitrárias. Assim, a melhor forma de testar se houve aprendizagem significativa, i.e., procurar evidências, não é colocar uma questão aberta, solicitando que apresentem as características de um conceito (o que poderia fazê-los darem respostas decoradas), mas sim colocar um problema inédito para os estudantes, de forma que para sua resolução seja necessário a aplicação do conceito ou da proposição em questão (MOREIRA, 2019, p. 164).

Como estratégia de ensino, Ausubel recomenda o uso de organizadores prévios (MOHR. et al. 2012), que é um material introdutório aplicado antes do que se pretende ensinar.

**[...] sua principal função é a de servir de ponte entre o que o aprendiz já sabe e o que deveria saber a fim de que o novo conhecimento pudesse ser aprendido significativamente. Na prática, organizadores prévios funcionam melhor quando explicitam a relacionabilidade entre novos**

**conhecimentos e aqueles existentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Muitas vezes, o aprendiz tem o conhecimento prévio, mas não percebe que está relacionado com aquele que lhe está sendo apresentado. (p. 54-55).**

Portanto, organizadores prévios são ferramentas que visam manipular a estrutura cognitiva, de acordo com o propósito docente (MOREIRA, 2019, p. 163).

### **2.1.1 Tipos de aprendizagem significativa**

Ausubel distingue três tipos de aprendizagem significativa: a representacional é a mais básica, na qual se atribui significado a símbolos (palavras, imagens, etc.), os associando a representações (objetos específicos, eventos particulares, etc.); a conceitual, na qual um conjunto de símbolos se organizam para dar significado a um único conceito, de forma genérica e categórica; e a proposicional, na qual se atribui significado na articulação de um símbolo ou um conceito, como quando colocados numa proposição (sentença) (MOREIRA, 2019, p. 165).

O teórico aponta que esses três tipos podem, cada um deles, se dar de três formas de aprendizagem significativa: por subordinação, quando um conhecimento novo interage com um subsunçor mais amplo, é assimilado, se reorganizando de forma ao primeiro ficar hierarquicamente inferior ao último (como uma situação particular, um exemplo, etc.); por superordenação, quando um conhecimento novo interage com subsunçores mais restritos que ele (os quais não conseguem subordinar o primeiro), assimilando-os, se reorganizando de forma ao primeiro englobar os últimos; e por fim, de modo combinatório, quando um conhecimento novo interage com um subsunçor de igual abrangência (não subordina ou é subordinado), ancorando um ao outro, se reorganizando de forma a serem um único e novo subsunçor (MOREIRA, 2011, p. 3).

### **2.1.2 Diferenciação progressiva, reconciliação integrativa, organização sequencial e consolidação**

No decorrer da aprendizagem significativa, alguns processos são fundamentais na dinâmica da estrutura cognitiva. Um deles é a diferenciação progressiva, a qual ocorre com uma ou mais aprendizagens significativas subordinadas (quando um

subsunçor assimila um novo conhecimento) e sua consequência inevitável, o subsunçor original se modifica com a interação, tornando-se mais abrangente. Esse processo acontece quando se compreende uma nova situação, um novo exemplo, ou uma extensão dentro de uma ideia mais geral, apresenta anteriormente. Nesse sentido, para promover uma diferenciação progressiva, deve-se partir de ideias, conceitos e proposições mais abrangentes, e proporcionar novos detalhes e especificidades de um ou mais casos particulares, novas situações aplicadas, novas extensões etc. Ausubel parte do pressuposto no qual é mais fácil para o indivíduo partir do geral para chegar ao particular, e não o contrário (MOREIRA, 2019, p. 168-169).

Outro processo é o da reconciliação integrativa, ou reconciliação integradora, a qual ocorre com a aprendizagem significativa superordenada ou combinatória, junto com a consequência sempre inevitável do subsunçor se transformar depois da interação, tornando todos um único novo subsunçor. Acontece quando o indivíduo aprende a relação entre ideias que até então eram distintas. Para promover a reconciliação integrativa, deve-se explorar a conexão entre ideias, apontar semelhanças e diferenças, e reconciliar discrepâncias aparentes. (MOREIRA, 2019, p. 168-169).

Ainda há outros dois processos, o da organização sequencial, o qual significa aproveitar de como os conteúdos são estruturados hierarquicamente nos currículos, pois “fica mais fácil para o aluno organizar seus subsunçores, hierarquicamente, se na matéria de ensino os tópicos estão sequenciados [...] de modo que certos tópicos dependam naturalmente daqueles que os antecedem” (MOREIRA, 2012a, p. 21). O último processo é o de consolidação, o qual aponta para a importância de consolidar os conhecimentos prévios antes de avançar para uma nova etapa, com maior complexidade, já que o conhecimento prévio é o fator mais importante para a aprendizagem significativa (MOREIRA, 2012a, p. 21).

## 2.2 TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA CRÍTICA DE MOREIRA

Marco Antônio Moreira é Professor Emérito do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul<sup>5</sup>, colaborador da aprendizagem significativa de Ausubel e Novak e autor da Teoria da Aprendizagem Significativa

Crítica. Na medida em que o livro *Teaching as a subversive activity* (Ensino como uma atividade subversiva), de Postman e Weingartner (1969), aborda o ensino, Moreira classifica sua teoria como complemento desta obra, que aborda a aprendizagem: “O ensino subversivo de Postman e Weingartner somente será subversivo se resultar em aprendizagem significativa crítica” (MOREIRA, 2019, p. 227).

Sobre a abordagem que ele faz, Moreira (2019) comenta que se analisa apenas o ensino e a aprendizagem, não tratando sobre os outros três elementos do evento educativo (o currículo, o contexto e a avaliação), pois seu foco foi a aprendizagem significativa e crítica, a qual é inseparável do ensino (subversivo de Postman e Weingartner), mas pontua: não se deve ignorar os efeitos desses três elementos no processo (p. 241).

Em 1969, há quarenta anos, numa época da energia nuclear e das viagens espaciais, Postman e Weingartner apontavam que apesar do dever de formar estudantes preparados para uma sociedade tecnológica e de mudanças rápidas, para lidar com conceitos como relatividade, probabilidade, incerteza, causalidade múltipla, graus de diferença, incongruência; a escola trabalhava conceitos fora de foco, maniqueístas e imutáveis, tais como: a verdade absoluta, fixa e imutável; que existe apenas uma resposta certa; de entidades isoladas que não são influenciadas por fatores externos; que cada efeito só tem uma causa; o diferente é sempre diametralmente oposto, como certo-errado; e o conhecimento é transmitido por uma autoridade superior e deve ser aceito sem questionamento. Atualmente, com desafios na sociedade que parecem maiores que aqueles, Moreira aponta que apesar da escola ter incorporado alguma tecnologia, na prática ainda defende os mesmos conceitos fora de foco e agrega mais outros, tais como: informação como algo necessário e bom; associando tecnologia sempre como algo positivo; consumir muito, mesmo que desnecessariamente, desde que garanta os direitos de consumidor; a globalização da economia como algo necessário e inevitável, sendo bom para todos; e o mercado consegue lidar com tudo com qualidade, como por exemplo a educação como mercadoria (MOREIRA, 2019, p. 223-225).

Para lidar com esse descompasso entre como a sociedade funciona e o que é discutido na escola na prática, Moreira propõe uma aprendizagem significativa subversiva, i.e., com uma postura crítica para lidar com a sociedade contemporânea. Para facilitar esta aprendizagem, ele propõe nove princípios: da interação social e do

questionamento, no qual a negociação de significados deve envolver troca de questionamentos e há aprendizagem significativa crítica quando o sujeito faz perguntas relevantes e substantivas sistematicamente; da não centralidade do livro didático e da não utilização do quadro de giz, os quais versam sobre a carga simbólica de “autoridade inquestionável” que há nesses recursos, mas que, acima de tudo, traga-se caminhos novos, diversificados e menos verticais no processo de ensino-aprendizagem; do aprendiz como perceptor/representador, no qual aponta-se que há postura ativa do aluno em aprendizagem receptiva, se além de receber, ele perceber o conhecimento em sua perspectiva e representá-lo de forma particular; do conhecimento como linguagem, no qual é preciso que o sujeito entenda estas novas linguagens (da mecânica, da eletricidade, da matemática, etc.) como novas maneiras de perceber o mundo; da consciência semântica, no qual é preciso ter consciência, durante a negociação de significados, que os significados estão na interpretação única que cada um faz (professor e aluno) e, não, nos livros; da desaprendizagem, no qual é preciso avaliar quando um conhecimento prévio está sendo realmente útil para compreender a nova aprendizagem (caso contrário, faz-se um “esquecimento” seletivo); e por fim, o princípio da incerteza do conhecimento, no qual é a percepção de que o conhecimento é incerto, pois a forma como é construído depende das perguntas feitas, as definições são válidas apenas em um certo contexto, e que todo conhecimento científico construído sobre o mundo utiliza metáforas (suposições, considerações, simplificações, etc.) (MOREIRA, 2019, p. 227-239).

Moreira (2019) relembra que os aspectos mais importantes para uma aprendizagem significativa é o conhecimento prévio, mas isso não basta: é preciso uma aprendizagem significativa crítica para formar pessoas com foco na sociedade contemporânea, que a compreendam e consigam analisá-la. “Aprendizagem significativa crítica é aquela perspectiva que permite ao sujeito fazer parte de sua cultura e, ao mesmo tempo, estar fora dela” (p. 226).

### **2.2.1 Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS)**

A UEPS, é uma sequência que busca estruturar um processo de ensino que resulte em uma aprendizagem significativa e crítica, cujos princípios, os quais foram fundamentados nas seções anteriores, são:

- O conhecimento prévio é a variável que mais influencia a aprendizagem significativa (Ausubel);
  - Pensamentos, sentimentos e ações estão integrados no ser que aprende; essa integração é positiva, construtiva, quando a aprendizagem é significativa (Novak);
  - É o aluno quem decide se quer aprender significativamente determinado conhecimento (Ausubel; Gowin);
  - Organizadores prévios mostram a relacionabilidade entre novos conhecimentos e conhecimentos prévios;
  - São as situações-problema que dão sentido a novos conhecimentos (Vergnaud); elas devem ser criadas para despertar a intencionalidade do aluno para a aprendizagem significativa;
  - Situações-problema podem funcionar como organizadores prévios;
  - As situações-problema devem ser propostas em níveis crescentes de complexidade (Vergnaud);
  - Em frente a uma nova situação, o primeiro passo para resolvê-la é construir, na memória de trabalho, um modelo mental funcional, que é um análogo estrutural dessa situação (Johnson-Laird);
  - A diferenciação progressiva, a reconciliação integradora e a consolidação devem ser levadas em conta na organização do ensino (Ausubel);
- 
- A avaliação da aprendizagem significativa deve ser feita em termos de buscas de evidências; a aprendizagem significativa é progressiva;
  - O papel do professor é o de provedor de situações-problema, cuidadosamente selecionadas, de organizador do ensino e mediador da captação de significados de parte do aluno (Vergnaud; Gowin);
  - A interação social e a linguagem são fundamentais para a captação de significados (Vygotsky; Gowin);
  - Um episódio de ensino envolve uma relação triádica entre aluno, docente e materiais educativos, cujo objetivo é levar o aluno a captar e compartilhar significados que são aceitos no contexto da matéria de ensino (Gowin);
  - Essa relação poderá ser quadrática, na medida em que o computador não for usado apenas como material educativo, ou seja, na medida em que for também mediador da aprendizagem;

- **A aprendizagem deve ser significativa e crítica, não mecânica (Moreira);**
- **A aprendizagem significativa crítica é estimulada pela busca de respostas (questionamento), ao invés da memorização de respostas conhecidas, pelo uso da diversidade de materiais e estratégias instrucionais, pelo abandono da narrativa em favor de um ensino centrado no aluno (Moreira). (MOHR. et al. 2012, p. 46- 47).**

A UEPS tem como coluna vertebral a Teoria de Aprendizagem Significativa (TAS) de Ausubel. A partir dela, elementos de outras teorias se encaixam para complementá-la. Para demonstrar esta articulação, estas teorias serão expressas nos próximos parágrafos de maneira reduzida mencionando apenas elementos envolvidos na UEPS, relacionados por Moreira (2011).

Segundo os princípios mencionados, Moreira (MOHR. et al. 2012) propõe os seguintes passos para construção da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa:

1. Definir o tópico específico a ser abordado;
2. Propor situações que induzam o estudante a externalizar seu conhecimento prévio;
3. Propor situações-problema, considerando o conhecimento prévio do estudante, em nível bem simples para que o estudante se prepare para introdução do conhecimento a ser trabalhado. É importante que o estudante perceba estas situações como problemas em sobre os quais são capazes de construir modelos mentais;
4. Apresentar o conhecimento a ser trabalhado, levando em conta a diferenciação progressiva;
5. Retomar os aspectos mais gerais do conteúdo da unidade de ensino, com uma nova apresentação em nível mais alto de complexidade em relação à primeira, de tal forma a promover a reconciliação integradora; em seguida, propor alguma outra atividade colaborativa que leve os/as alunos/as a interagir socialmente, negociando significados, tendo o/a professor/a como mediador/a;
6. Dar seguimento ao processo de diferenciação progressiva retomando as características mais relevantes do conteúdo em questão, porém, buscando a reconciliação integrativa; seguida da proposta de novas situações-problema em níveis mais altos de complexidade em relação às anteriores, por meio de atividades

colaborativas, as quais devem ser apresentadas e/ou discutidas em grande grupo com a mediação do/da docente;

7. Avaliação somativa com situações-problema, cujo resultado deve ser analisado dando igual importância a avaliação formativa durante toda a UEPS;

8. A UEPS será bem-sucedida se a avaliação do desempenho dos estudantes conter evidências de aprendizagem significativa, tais como a captação de significados, compreensão, capacidade de explicar, de aplicar o conhecimento para resolver situações-problema.

A UEPS pretende assim, através de sua estrutura, baseada nos seus princípios, superar a aprendizagem mecânica, com valores educacionais voltados para a sociedade do século XXI.

É fundamental identificar o conhecimento prévio do educando, se fosse possível isolar uma única variável como sendo a que mais influencia novas aprendizagens, esta variável seria o conhecimento prévio, os subsunçores (Moreira; Massine, 1982). Porém, como alerta Moreira (2013), dizer que o conhecimento prévio é a variável que mais influencia a aprendizagem significativa de novos conhecimentos não significa dizer que é sempre uma variável facilitadora, pode, em alguns casos, ser a bloqueadora dos conhecimentos. Segundo ele, existem duas condições para a aprendizagem significativa: o material de aprendizagem deve ser potencialmente significativo e o aprendiz deve apresentar uma predisposição para aprender. A primeira condição implica que o material de aprendizagem (livros, aulas, aplicativos) tenha significado lógico (isto é, seja relacionável de maneira não-arbitrária e não-literal a uma estrutura cognitiva apropriada e relevante) e a segunda que o aprendiz tenha em sua estrutura cognitiva idéias-âncora relevantes com as quais esse material possa ser relacionado. Quer dizer, o material deve ser relacionável à estrutura cognitiva e o aprendiz deve ter o conhecimento prévio necessário para fazer esse relacionamento de forma não-arbitrária e não-literal (MOREIRA, 2013 p. 11.).

### 3 REVISÃO DA LITERATURA

Este trabalho advém a partir de pesquisas de dissertações e artigos, sendo eles do caderno brasileiro de física, da revista brasileira de física, Universidades e Institutos Federais brasileiros, onde a maioria é proveniente do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF.

Destacamos a ferramenta Google, google acadêmico e scielo, como sendo a principal referência de busca para nossa revisão literária, onde se utilizava as seguintes palavras chaves/descriptores: uso da panela de pressão no ensino das transformações gasosas, aprendizagem significativa e ensino de física e panela de pressão e transformações gasosas, dispondo dos filtros de idiomas e períodos mais recentes das plataformas supracitadas, afim de apurar, por meio de publicações, como tem sido abordado a utilização da panela de pressão no ensino de Física. Os critérios de seleção/inclusão foram: idioma em português, disposição de material completo e que retratasse o tema de termodinâmica, UEPS, transformações gasosas e a utilização da panela de pressão nas atividades ou de alguma forma correlacionasse o método com a disciplina de Física.

Dessa forma segue no quadro abaixo as dissertações e artigos relacionados ao tema desta proposta, que tiverem contribuição valorosa para esta pesquisa.

Quadro 02: Distribuição dos trabalhos por categoria

CATEGORIA	TÍTULOS	QUANTIDADE
<b>DISSERTAÇÕES</b>	<p>O jogo educacional como ferramenta complementar ao ensino da termodinâmica (SILVA, 2019);</p> <p>Uma proposta para vivenciar, no ensino médio, os conceitos iniciais de termodinâmica por meio de uma unidade de ensino potencialmente significativa (BARBOSA 2016);</p> <p>Uma Proposta de Unidade de Ensino Potencialmente Significativa para Ensinar Física de Partículas por meio de Jogos de Cartas (JESUS,2018);</p> <p>Sequência didática para o ensino da termodinâmica (LIMA, 2016).</p>	4

<b>ARTIGOS</b>	<p>Aprendizagem significativa crítica: Atividades contextualizadas e interdisciplinares no ensino da termodinâmica (AZEVEDO e JÚNIOR, 2020);</p> <p>Usando a panela de pressão para aprender ciências (CHAGAS, 2020);</p> <p>Da sucata à física: Uma perspectiva ativa para o ensino da termodinâmica (CHAVES e EVANGELISTA, 2021);</p> <p>Aprendizagem significativa, organizadores prévios, mapas conceituais, diagramas V e unidades de ensino potencialmente significativas – UEPS (MOREIRA, 2012).</p>	4
----------------	---	---

A distribuição de tais trabalhos sobre ensino-aprendizagem de física em subtemáticas indicou que a produção se apoia sobre um desenvolvimento de experimentos para o laboratório didático, seguida de propostas de metodologias e estratégias de ensino e da elaboração de recursos didáticos. O predomínio de trabalhos de cunho descritivo sugere a necessidade de fomentar a cultura de pesquisa que de fato leve à produção de conhecimento.

Na dissertação de (SILVA, 2019), O Trabalho desenvolvido teve como objetivo a elaboração de um jogo educacional de perguntas e respostas sobre tópicos de Termodinâmica, tendo durante este processo uma abordagem construtivista. O jogo, em sua maior totalidade, é construído pelos próprios alunos, os quais, criam os itens de Termodinâmica e suas respectivas respostas. Em cada turma os alunos se organizam em cinco equipes, os quais, deverão possuir denominações que façam menção a nomes científicos. As equipes organizadas em sala de aula, recebem materiais de apoio para a construção das perguntas e respostas, como livros didáticos, material didático da escola e endereços eletrônicos para as pesquisas virtuais. As perguntas e respostas criadas por cada equipe são então recolhidas e analisadas pelo professor fora do ambiente escolar, e, após verificação, são inseridas em um único documento PDF e entregue às equipes, para que os membros estudem, dialoguem, interajam entre si, se preparando para o jogo.

Na leitura de Uma Proposta de Unidade de Ensino Potencialmente Significativa para Ensinar Física de Partículas por meio de Jogos de Cartas”, percebeu-se a utilização da Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, preconizando que aquilo que o aluno já sabe é a componente mais importante que sustenta o processo de aprendizagem. Sendo que partículas elementares foram tomadas como

suporte para as situações-problema, atividades desenvolvidas e aplicação dos jogos de cartas que possibilitaram analisar o modelo padrão, sua constituição, os conceitos físicos envolvidos e discutir temas relacionados com a formação dos hádrons.

Em (BARBOSA,2016), é relatada a construção, a aplicação em duas turmas de segunda série do ensino médio e a avaliação de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) para o ensino dos conceitos iniciais sobre termodinâmica. Foram abordados os conceitos de temperatura, sua relação com a sensação térmica, calor, energia térmica e os processos de propagação de calor. A UEPS aplicada consiste no produto educacional resultante de uma dissertação de mestrado profissional em ensino de física e foi organizada em oito encontros, apresentando situações-problemas com graus crescentes de dificuldade, utilizando atividades investigativas durante as quais o professor atuou como um mediador. As atividades foram compostas de um mapa conceitual, experimentos, vídeos e uma simulação computacional. As turmas foram divididas em pequenos grupos e após cada atividade realizada, os alunos discutiram o assunto e responderam questionários posteriormente entregues ao professor. Em vários momentos houve a socialização das respostas dos questionários e o professor, junto com a turma, promoveu discussões. Desta forma, esperava-se ser possível construir ou melhorar um conhecimento já adquirido a partir do que os grupos produziram.

A proposta do trabalho, “Sequência didática para o ensino da termodinâmica”, foi desenvolver e aplicar uma sequência didática para o ensino da termodinâmica com a utilização de TIC. O desenvolvimento deste material foi baseado principalmente na vertente da aprendizagem significativa crítica de Moreira (2012) sobre Unidades de Ensino Potencialmente Significativa e aplicado em uma turma do 2º ano do Ensino médio, em um Colégio da rede pública de ensino de Campo Mourão, no Paraná. Foram utilizados vídeos e simuladores como forma de propor uma situação/problema para levar os alunos a discutirem sobre os temas, além de questões levantadas de modo a identificar o conhecimento prévio dos alunos referente ao conteúdo abordado.

Na leitura do artigo (AZEVEDO e JÚNIOR, 2020), notou-se uma abordagem de situações contextualizadas, interdisciplinares e problematizadas, buscando promover uma aprendizagem significativa crítica no estudo da termodinâmica, valorizando os aspectos sociais e políticos do contexto histórico europeu no século XIX e não apenas

o desenvolvimento conceitual, tomando como quadro teórico a aprendizagem significativa crítica de Moreira.

O artigo, “Usando a panela de pressão para aprender ciências”, apresenta uma proposta de sequência didática para o ensino de formas de propagação de calor, voltada a alunos do 7º Ano do Ensino Fundamental, utilizando a panela de pressão como objeto de estudo e seguindo as orientações propostas na BNCC. O processo de aplicação dessa proposta está previsto para dois encontros de 50 min cada, podendo ocorrer de maneira presencial ou remota, e o público alvo são alunos do 7º ano do Ensino Fundamental – Anos Finais. Sendo que durante a aplicação da mesma, os alunos realizam a leitura de apostilas e assistem vídeos referentes a acidentes envolvendo a panela de pressão.

No trabalho (CHAVES e EVANGELISTA, 2021), procurou-se verificar o que é necessário para se aplicar uma sequência didática que favoreça o estudo dos gases perfeitos e da primeira lei da termodinâmica com a mediação de instrumentos e signos, ocorreu no período total de 6 horas/aula, aplicados em três semanas. Foram trabalhados os conteúdos dos gases ideais e da primeira lei da termodinâmica. Procurou-se utilizar metodologias de aula variadas, na tentativa de promover a participação do aluno. Utilizaram oficinas, atividades experimentais de baixo custo, fomentaram-se discussões de exemplos cotidianos, aulas dialogadas com o auxílio de mídias digitais e, quando necessário, aulas expositivas preenchem algumas lacunas conceituais.

Nesse artigo (MOREIRA, 2012), é proposta a construção de uma sequência didática fundamentada em teorias de aprendizagem, particularmente a da aprendizagem significativa. Partindo das premissas de que não há ensino sem aprendizagem, de que o ensino é o meio e a aprendizagem é o fim, essa sequência é proposta como sendo uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS). São sugeridos passos para sua construção, são dados exemplos e é apresentado um glossário dos termos técnicos utilizados.

Os trabalhos mencionados acima, foram e estão sendo fundamentais para um suporte na elaboração, estruturação e aprimoramento desta UEPS, principalmente através dos aspectos experimentais e da abordagem metodológica neles observado. Onde a perspectiva de cada um deles, acabaram fornecendo e fomentando o

planejamento de uma sequência didática no ensino da termodinâmica que possa instigar o aluno.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 NATUREZA DA PESQUISA

No contexto deste trabalho, a natureza da pesquisa se adequa à forma qualitativa, uma vez que há de se prezar pela verificação da aprendizagem significativa nos alunos através de evidências dadas durante a realização da prática pedagógica. Sendo assim, o professor deve assumir papel de pesquisador dentro do ambiente de sala de aula, tendo por principal objetivo observar, compreender e interpretar como está se dando o processo de captação de significados pelos alunos. No tocante à pesquisa aqui proposta, o docente tem como alvo de investigação a utilização de utensílios domésticos como possibilidade de recurso facilitador da aprendizagem significativa e a compreensão dos discentes quando inseridos na metodologia proposta. Quanto a coleta dos dados, os registros das observações devem ser feitas em um diário de bordo e questionários aos discentes. Em cada etapa, deve-se observar o comportamento do aluno mediante a interação com outros alunos, com o professor e com o conhecimento, buscando-se fatos que explicitem a aprendizagem significativa no mesmo.

Além da avaliação formativa, a qual avalia o progresso do aluno ao longo de uma fase de sua aprendizagem, contribuindo para a regulação da aprendizagem, em andamento, no progressivo domínio de um campo conceitual; e para uma avaliação contínua e ocupada com os significados apresentados e em processo de captação pelo aluno, também é proposto um teste final de avaliação da aprendizagem, denominada por Moreira (2011) como avaliação somativa, no qual ambas conjuntamente constituem o resultado final do aluno, e se dão em igualdade de peso. Tal questionário foi elaborado priorizando questões subjetivas (abertas) que sinalizassem a compreensão, captação e capacidade de transferência dos significados, e revisado pela orientação desse trabalho, alguém com maior experiência e vivência dentro da Física.

A coleta de informações pelos meios descritos acima possui grande relevância pois apoiam o processo de análise em busca da resolução dos questionamentos propostos nesta pesquisa. Desta forma, ao analisar tais informações, pode-se verificar se os resultados das mesmas se enquadram aos objetivos propostos, se auxiliam na

resolução da problemática da investigação e se os dispositivos empregados contribuíram suficientemente para fazer inferências sobre o estudo. Todos instrumentos de coleta poderão ser acessados na seção 3.3 deste capítulo.

Minayo (2012, p.621) destaca que “[...] uma análise para ser fidedigna precisa conter os termos estruturantes da investigação qualitativa que são os verbos: compreender e interpretar; e os substantivos: experiência, vivência, senso comum e ação social’. Quanto a compreender, a autora argumenta sobre a necessidade de se por no lugar do outro para isso, buscando entender um conjunto de fatores histórico-culturais por trás do indivíduo, no grupo ao qual ele se insere.

#### *4.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA*

Este trabalho foi realizado em uma escola pública da cidade de Manaus-AM, em uma turma de segundo ano do novo ensino médio, no 3º bimestre do ano letivo de 2023. Definido o conteúdo do trabalho e após a revisão de literatura, foram elaborados os planos de aula que dariam o suporte para a construção da sequência didática. De acordo com Batista (2016), sequência didática pode ser entendida como uma proposta metodológica determinada por um conjunto de atividades ordenadas e articuladas entre si.

Então foram realizadas as intervenções em sala de aula no período que foi de 17/07/2023 a 11/09/2023, data que correspondeu ao 3º bimestre do ano letivo de 2023.

#### *4.3 SUJEITOS DA PESQUISA*

A pesquisa foi desenvolvida com 15 alunos da 1ª série do Ensino Médio de um colégio público estadual localizado na cidade Manaus-Am. Esta participação foi voluntária e os sujeitos, seus responsáveis e a direção escolar tinham conhecimento prévio de todos os procedimentos experimentais realizados.

#### *4.4 INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS*

Os dados utilizados nesse trabalho foram coletados no decorrer da aplicação do projeto em sala de aula, por meio de questionários e observações realizadas pelo professor em sala de aula. Também foram utilizados os vídeos produzidos pelos alunos ao final da implementação da sequência didática.

Salientado que os registros referente às observações foram parciais e temporários, sendo realizados ao final de cada aula, seguindo instruções de Moreira e Caleffe (2008), para que pudessem ser utilizados na elaboração de registros permanentes.

A utilização dos questionários prévios teve como objetivo identificar o conhecimento dos alunos referente ao conteúdo das leis da termodinâmica. Em cada aula foram aplicadas questões para levantar discussões sobre o assunto a ser trabalhado no dia.

#### 4.5 PLANEJAMENTO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Dessa forma o processo de aplicação deste trabalho, ancorado às teorias de aprendizagens citadas anteriormente, traz como parte de sua proposta a utilização de uma panela de pressão para o cozimento do feijão em 25 minutos de fornecimento do gás de cozinha, culminando na construção de uma UEPS para o estudo das transformações gasosas no 1º ano do novo ensino médio.

Esta proposta está prevista para nove encontros de 48 min cada. No primeiro encontro temos a apresentação do conteúdo da unidade de ensino alvo, onde também deve ocorrer questionamentos simples, sobre o uso da panela de pressão, através de perguntas expostas no quadro, para o diagnóstico de alguns conhecimentos prévios da turma, como por exemplo perguntas indagando conceitos e relações entre as grandezas físicas termodinâmicas, como temperatura e pressão. No encontro posterior a partir das devolutivas dos alunos, levando em consideração os conhecimentos prévios de cada um, é feita uma discussão acerca das grandezas Físicas envolvidas nesse processo, inicialmente em grupos pequenos, e posteriormente em um grande grupo, e por seguinte propor para a próxima aula uma situação-problema: o cozimento do feijão, com o auxílio da panela de pressão, usando apenas 25 minutos do gás de cozinha. Em seguida, dividimos a sala em pequenos grupos para a solução da situação-problema, proporcionando a cada grupo, uma

panela de pressão, 400 gramas de feijão, um botijão de gás de cozinha de 5 quilos e um fogão de duas bocas. As orientações, e quando necessário, pequenas intervenções do docente, são de extrema importância, em cada grupo durante o preparo do alimento, para evitar algum tipo de acidente.

Posteriormente, com uma divisão em pequenos grupos, para a turma debater sobre como procederam e o que perceberam durante a solução da situação-problema, e para um debate com maior proporções, formar um grande grupo. Sendo que o professor deve estar atento à organização das ideias assim como também à diferenciação progressiva. A seguir é retomado aspectos gerais do conteúdo da unidade de ensino, mas em um nível mais elevado, abordando as semelhanças e diferenças percebidas por cada grupo, entre o uso da panela de pressão.

A sequência didática desenvolvida neste trabalho foi estruturada seguindo os pressupostos do modelo de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas propostos por Moreira (2013). Também se buscou centralizar o ensino no aluno, com questões introdutórias e situações-problemas mediadas pelo professor, de tal modo que o aluno pudesse expressar e discutir seus conceitos com seus pares e com o professor. Esse conjunto de ações principais tem por objetivo propiciar um processo de ensino com aprendizagem significativa.

Essa proposta buscou e busca tornar a aula mais dinâmica, modificando o processo tradicional de ensino a fim de despertar no aluno a predisposição para aprender, sempre se utilizando de meios para relacionar o seu conhecimento prévio, da sala de aula ou cotidiano, com os novos conceitos apresentados pelo professor.

Estratégias facilitadoras para aprendizagem significativa, como organização sequencial do conteúdo e consolidação dos conhecimentos prévios dos alunos, foram levadas em consideração nesta proposta. Assim, além da sequência didática ter a intenção de apresentar uma ordem lógica, hierárquica do conteúdo, procurou-se sempre analisar o domínio dos conhecimentos prévios pelos alunos para a partir de então introduzir novos conceitos. Isso foi realizado por meio, por exemplo, de exercícios e situações-problemas, com progressivos graus de dificuldades, almejando o processo contínuo de diferenciação e integração dos conceitos pelos alunos.

#### 4.6 DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Quadro 1 – Síntese do planejamento da sequência didática

(continua)

Número da aula	Descrição do desenvolvimento da etapa	Materiais e métodos utilizados
Aula 1	<p><i>Situação inicial:</i> No primeiro encontro teremos a introdução do conceito alvo, apresentando os conteúdos a serem estudados. Inicialmente quatro perguntas simples serão feitas à turma, expondo-as no quadro branco:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Alguém sabe cozinhar?</li> <li>2. Alguém sabe os tipos de panelas que podemos usar na cozinha?</li> <li>3. Qual a diferença entre elas?</li> <li>4. Em geral, como é a estrutura de uma panela de pressão?</li> <li>5. Qual sua percepção sobre as grandezas de calor, pressão, temperatura e volume.</li> </ol> <p>A partir das devolutivas dos alunos, levando em consideração os conhecimentos prévios de cada um, faremos uma discussão acerca dos conceitos de temperatura, calor e pressão.</p>	Aula expositiva e utilização do quadro branco.
Aula 2	<p><i>Abordagem experimental, para relembrar conceitos da aula anterior.</i></p> <p><i>Posteriormente apresentamos à classe uma <b>situação-problema:</b></i> dividimos a sala em grupos (com 5 alunos), e propomos a leitura do informativo técnico da coordenação de alimentação escolar da prefeitura de São Paulo (ANEXO 1). Após a leitura, os grupos são instigados a responder alguns questionamentos inerentes à utilização da panela de pressão e seus potenciais riscos.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Qual o tipo de panela é mais associado ao risco de acidentes? Por quê?</li> <li>2. Por que é importante verificar se a panela tem o selo do Inmetro?</li> <li>3. Que tipos de alimentos são preparados com o auxílio da panela de pressão?</li> <li>4. É verdade que ela pode explodir? Você sabe explicar como isso ocorre?</li> <li>5. Quais grandezas físicas estão presentes no uso da panela de pressão? E qual relação entre elas?</li> </ol>	Apostila sobre cautelas na utilização da panela de pressão. (ANEXO 1)

Aula 3	Deve-se retomar as principais ideias discutidas nas aulas iniciais, para que em seguida cada grupo possa realizar a socialização das ideias com toda a turma, referente às situações-problema propostas na aula 2. Durante as discussões deve ocorrer a mediação do docente, para orientar a condução da atividade.	Aula expositiva e orientação do docente durante a discussão dos grupos.
Aula 4	<i>Nova situação-problema, em nível mais alta de complexidade:</i> Este encontro, deve ser iniciado com uma breve revisão do que foi discutido na aula anterior, salientando todos os cuidados e medidas que devem ser adotados para a segurança de todos. Na sequência os mesmos grupos da aula anterior devem ser formados, propondo para estes, de que forma podem proceder e se organizarem para realizar o cozimento de 400 gramas de feijão, utilizando apenas 25 minutos de gás de cozinha, sendo proporcionando a cada grupo, uma panela de pressão, um fogão, uma tábua, talheres, fornecimento de gás de cozinha e diversos temperos para o preparo.	Aula expositiva e orientação do docente.
Aula 5	Início do preparo do feijão, ressaltando que é de extrema importância a orientação, e se necessário, pequenas intervenções do professor em cada grupo durante o preparo do alimento, para evitar algum tipo de acidente, adotando-se como cautela uma consulta prévia à escola e a própria brigada de incêndio da instituição.	Botijão de gás de cozinha, feijão, tábua de cozinha, talheres, tomate, cebola, pimentinha, cheiro verde, charque, folha de louro, bacon, calabresa, abóbora, maxixe, páprica doce, pimenta do reino e sal.
Aula 6	<i>Aprofundamento dos conhecimentos:</i> Aula expositiva sobre transformações gasosas, através de slides e do quadro branco.	Uso do data-show e quadro branco.
Aula 7	Será realizada uma roda de conversa com a turma, para a discussão sobre como procederam e o que perceberam, durante a solução da nova situação-problema (preparo do feijão), sendo que durante o debate os alunos serão instigados sobre a possível existência de relações entre as etapas de cozimento do feijão e as transformações gasosas, assim como também em que etapa durante o preparo do alimento podemos identificar determinada relação.	Roda de conversa, para debate em grande grupo.
Aula 8	<i>Avaliação somativa individual:</i> será realizada uma avaliação individual através de questões abertas envolvendo os conceitos-foco da unidade.	Questões expostas no quadro branco.
Aula 9		Aula expositiva.

	<p><i>Aula expositiva dialogada integradora final:</i> na seguinte aula terá o retorno dos conteúdos da UEPS e as atividades. Dessa vez, será questionado sobre como as transformações termodinâmicas influenciam o seu cotidiano, sendo que, cada estudante poderá dar um exemplo de como essa teoria se manifesta no seu dia a dia. Com o propósito de criar um ambiente de colisão entre teoria e prática.</p>	
--	---	--

Avaliação da aprendizagem na UEPS: deverá estar baseada nos trabalhos feitos pelos alunos (participação no cozimento do feijão), nas observações feitas em sala de aula e na avaliação somativa individual, cujo peso não deverá ser superior a 50%.

Avaliação da própria UEPS: deverá ser feita em função dos resultados de aprendizagem obtidos. Reformular algumas atividades, se necessário.

**Total de horas-aula:** 9 horas

#### 4.7 APROPRIAÇÃO DE OBJETOS DE CONHECIMENTO DA TERMODINÂMICA NA UTILIZAÇÃO DA PAINELA DE PRESSÃO

A painela de pressão é um utensílio doméstico de uso culinário que pode ser encontrado facilmente em cozinhas de todos os tipos. Ela foi criada pelo francês Denis Papin e tem como principal função aumentar a sua pressão interna após o contato com uma fonte de calor, geralmente a chama oriunda de um fogão, e assim possibilitar a fervura da água acima de seu ponto de vapor. Com isso, ela cozinha os alimentos de forma mais rápida gerando uma economia de gás de cozinha. A painela de pressão é um utensílio de cozinha que desempenhou um papel significativo na evolução da culinária, proporcionando uma maneira eficiente e rápida de preparar alimentos. A ideia por trás da painela de pressão remonta ao século XVII, quando Papin inventou uma máquina a vapor chamada "digestor". Essa invenção tinha a intenção de acelerar o processo de cozimento, utilizando a pressão do vapor. Ao longo do século XIX, vários inventores aprimoraram a ideia da painela de pressão, em 1824, o francês Sebástopol Trouvé patenteou uma painela de pressão a vapor. Mais tarde, em 1864, o inventor francês George A. Richard projetou uma painela de pressão que se assemelhava mais às versões modernas. A painela de pressão começou a se popularizar no início do século XX, em 1918, a empresa alemã Alfred Vischer AG

lançou uma versão comercialmente bem-sucedida da panela de pressão, chamada "Flex-Seal Speed Cooker". O dispositivo foi projetado para economizar tempo e energia durante o período da Primeira Guerra Mundial, quando recursos eram escassos.

Na década de 1940, devido principalmente à Segunda Guerra Mundial, impulsionou ainda mais a popularidade da panela de pressão, pois a necessidade de cozinhar rapidamente e economizar energia era crucial durante esse período. A partir de 1970 a panela de pressão se tornou um eletrodoméstico comum nas cozinhas domésticas, à medida que as pessoas buscavam maneiras mais eficientes de cozinhar refeições saudáveis em menos tempo. Atualmente, as panelas de pressão vêm em uma variedade de modelos e materiais, oferecendo recursos de segurança aprimorados, elas continuam sendo uma ferramenta popular na cozinha, especialmente para cozinhar alimentos que normalmente levariam mais tempo, como carnes de cozimento lento e legumes. Assim, ao longo dos anos, a panela de pressão passou por várias inovações e melhorias em termos de segurança e eficiência, tornando-se um item essencial em muitas cozinhas ao redor do mundo.

As panelas de pressão são geralmente feitas de materiais robustos e resistentes para suportar a pressão interna gerada durante o cozimento. Os materiais mais comuns utilizados na fabricação de panelas de pressão incluem por exemplo o aço inoxidável de alta qualidade, devido à sua durabilidade, resistência à corrosão e capacidade de suportar pressões elevadas. Outras são feitas de alumínio por ser um material leve e eficiente na condução de calor, no entanto, o alumínio pode ser menos durável e suscetível à corrosão se não for tratado adequadamente. Algumas combinam alumínio e aço em camadas para aproveitar as características positivas de ambos os materiais, isso pode resultar em uma panela mais leve, mas ainda resistente. Embora menos comum, algumas panelas de pressão são feitas de cobre devido à sua excelente condutividade térmica, porém, o cobre é propenso à corrosão e reage com certos alimentos, o que pode não ser ideal em todas as situações. Algumas panelas de pressão possuem revestimentos internos, como revestimentos antiaderentes, isso facilita a limpeza e evita que os alimentos grudem na panela.

É importante observar que a segurança das panelas de pressão é crucial, e os fabricantes seguem padrões rigorosos para garantir a integridade e a funcionalidade desses utensílios de cozinha. Analisando o funcionamento de uma panela de pressão

é interessante verificar que quando você começa a aquecer a panela de pressão fechada, a válvula libera o ar até que a água comece a ferver e forme vapor. A pressão do vapor é mantida no nível desejado, de 30psi (libra por polegada ao quadrado), por meio de um dispositivo que limita a pressão (WOLKE, 2003). Nota-se então toda uma ciência por trás deste utensílio, a termodinâmica.

A termodinâmica é uma ciência que abrange uma gama muito extensa de fenômenos naturais e que compreende o estudo da energia e das suas transformações, com isso possibilitando ao homem a capacidade de controlá-la. Desta forma podemos definir a termodinâmica como a ciência das transformações de energia relacionadas com as propriedades físicas das substâncias.

#### **4.7.1 Sistemas, meio e fronteira**

As definições a seguir farão parte de nosso vocabulário no transcorrer de nossa proposta, logo serão expostos de forma bem resumida.

**Sistemas Termodinâmicos:** Compreende certa quantidade de matéria ou especificada região, não necessariamente de volume constante, onde concentramos nossa atenção para as transferências de energia e/ou de massa. O termo sistema, como é usado em termodinâmica, se refere a uma certa porção do universo incluída em alguma superfície fechada chamada de fronteira do sistema. A fronteira pode incluir um sólido, um líquido ou um gás, ou uma coleção de dipolos magnéticos, ou mesmo uma porção de energia radiante ou fótons em vácuo. A fronteira pode ser real como a superfície interna de um tanque contendo um gás comprimido, ou pode ser imaginária, como a superfície que limita uma certa massa de fluido escoando ao longo de uma canalização e acompanhada na imaginação enquanto ele progride. A fronteira não é necessariamente fixa nem em forma nem em volume, assim quando um fluido se expande contra um êmbolo, o volume incluído pela fronteira aumenta. As propriedades de um sistema em um dado estado, proporcionais a massa do sistema, são chamadas extensivas, exemplos são o volume total e a energia total de um sistema. As propriedades independentes da massa são chamadas intensivas, Temperatura, pressão e densidade são exemplos de propriedades intensivas.

**Fronteira:** O invólucro ou superfície real ou imaginária que envolve o sistema é a fronteira do sistema.

Meio ou vizinhança: Região que está situada fora do sistema. Portanto, a fronteira é o limite que separa o sistema do meio.

Sistema Fechado: Uma região de massa constante em que só é permitida a passagem de energia através de sua fronteira. Pode haver movimento da fronteira em relação ao observador. Um sistema fechado é isolado se não é permitida a troca de energia com o meio. Nesta situação ele é forçado a manter fixos dentro de sua fronteira massa e energia.

Sistema Aberto: Uma região que troca massa com o exterior (meio) além de poder trocar energia. Às vezes é denominado de volume de controle. Neste caso a fronteira é denominada de “superfície de controle”.

#### **4.7.2 Temperatura, equilíbrio térmico, lei zero da termodinâmica, calor e energia interna**

Antes de relacionarmos determinadas grandezas físicas, se torna indispensável abordarmos inicialmente sobre temperatura, calor, energia interna e trabalho termodinâmico.

O conceito de temperatura como o de força, originou-se nas percepções sensoriais do homem, assim como uma força é algo que podemos relacionar com esforço muscular, a temperatura pode ser relacionada com às sensações de frio ou calor relativos, mas o senso humano de temperatura, como o de força, não é confiável e é de alcance restrito.

Para uma melhor análise, consideremos dois blocos de metal A e B, do mesmo material, e suponhamos que nosso senso de temperatura nos diga que A está mais quente do que B, se colocamos A e B em contato, e os envolvemos em uma camada espessa de feltro ou lã de vidro, achamos que após decorrer um tempo suficientemente longo, os dois parecem igualmente quentes. Medidas de diversas propriedades dos corpos, como seus volumes, resistividades elétricas, ou módulos elásticos, mostrariam que estas propriedades mudaram quando os dois corpos foram postos em contato, mas que finalmente elas se tornaram constantes.

Agora suponhamos que dois corpos de materiais diferentes, tais como um bloco de metal e um bloco de madeira são postos em contato. Novamente observamos que, após um tempo suficientemente longo, as propriedades mensuráveis destes corpos, como seus volumes, cessam de mudar. Entretanto, os corpos não parecerão

igualmente quentes ao tato, como é evidenciado pelo fato familiar de que um bloco de metal e um bloco de madeira, ambos tendo estado em uma mesma sala por um longo tempo, não aparentam estar igualmente quentes. Este efeito resulta de uma diferença de condutividades térmicas e é um exemplo de que nosso senso de temperatura não é confiável.

A característica comum aos dois casos, sejam os corpos do mesmo material ou não, é que um estado final termina por ser alcançado, estado esse em que as propriedades mensuráveis dos corpos deixam de sofrer mudanças observáveis. Define-se este estado, então, como um estado de equilíbrio térmico. Observações como as descritas acima nos levam a inferir que todos os objetos ordinários tem uma propriedade física, que determina se dois deles postos em contato estão ou não em equilíbrio térmico. Esta propriedade é denominada temperatura. Se dois corpos em contato estão em equilíbrio, então suas temperaturas são iguais por definição. Inversamente, se as temperaturas de dois corpos são iguais, eles estarão em equilíbrio térmico quando postos em contato. Um estado de equilíbrio térmico pode ser descrito como aquele em que a temperatura do sistema é a mesma em todos os pontos.

Tal conceito se torna extremamente importante quando analisamos a lei zero da termodinâmica, que se refere quando dois corpos quaisquer estão separadamente em equilíbrio térmico com um terceiro, eles também estão em equilíbrio térmico entre si. Assim, se queremos saber se dois jarros de água estão à mesma temperatura, é desnecessário colocá-los em contato e ver se suas propriedades variam com o tempo. Podemos mergulhar um termômetro (corpo A) em um dos jarros de água (corpo B) e aguardamos que alguma propriedade do termômetro, como o comprimento da coluna de mercúrio em um capilar de vidro, se torne constante. Então, por definição, o termômetro possui a mesma temperatura que a água deste jarro (justamente é a existência da lei zero que possibilita a construção de um termômetro). Em seguida, repetimos o procedimento com o outro jarro de água (corpo C). Se os comprimentos das colunas de mercúrio são os mesmos, as temperaturas de B e C são iguais, e a experiência mostra que, se os dois jarros são postos em contato, não se dá mudança alguma em suas propriedades.

Toda matéria – sólida, líquida ou gasosa – é composta por átomos ou moléculas em constante agitação, em virtude desse movimento aleatório, os átomos ou

moléculas da matéria possuem energia cinética. A temperatura está relacionada ao movimento aleatório dos átomos ou moléculas de uma substância, mais especificamente, a temperatura é proporcional à energia cinética média “translacional” do movimento molecular (pelo qual as moléculas se movimentam de um lugar a outro). As moléculas podem também rodar e vibrar, com energia cinética rotacional e vibracional correspondentemente associadas – mas esses movimentos não são de translação, e não definem temperatura. A temperatura é uma medida da energia cinética translacional média (e não a energia cinética média total) das moléculas de uma substância, por exemplo, existe duas vezes mais energia cinética molecular em 2 litros de água fervendo do que em 1 litro nas mesmas condições – mas as temperaturas das duas porções de água são iguais, pois a energia cinética translacional média por molécula é a mesma. O efeito da energia cinética translacional versus a energia cinética rotacional e vibracional é verificado drasticamente em um forno de micro-ondas. As micro-ondas que bombardeiam sua comida fazem com que determinadas moléculas da comida, principalmente as de água, rotacionem invertendo sua orientação de um sentido para o outro, com uma energia cinética rotacional considerável. Porém, as moléculas que rotacionam não cozinham de fato a comida. O que eleva a temperatura e cozinha efetivamente a comida é a energia cinética translacional comunicada às moléculas vizinhas, que ricocheteiam nas moléculas oscilantes de água. Se as moléculas vizinhas não interagissem com as moléculas oscilantes da água, a temperatura da comida não seria diferente do que era antes do forno de ser ligado (HEWITT, 2015).

Temos que possuir cautela ao conceituar e difundir os termos temperatura e calor, pois no senso comum tais percepções são normalmente confundidas. Como já abordamos sobre temperatura, agora vamos salientar uma grandeza denominada de fluxo de calor. O fluxo de calor ocorre através da fronteira do sistema, em virtude de uma diferença de temperatura ou da existência do gradiente térmico entre o sistema e o meio (o gradiente térmico é uma medida da variação da temperatura em uma determinada direção ao longo de um espaço, em termos simples, ele descreve como a temperatura muda ao mover-se de um ponto para outro em um determinado meio, seja ele sólido, líquido ou gasoso). É válido ressaltar que o calor nem sempre produz uma alteração de temperatura no corpo, pois em determinadas situações, o corpo ao receber ou perder calor, pode apenas alterar seu estado físico sem sofrer alteração

na temperatura, assim como também ocorre em uma transformação isotérmica, onde mesmo havendo fluxo de calor, percebemos que não ocorre mudança de temperatura do sistema gasoso. O sentido da transferência espontânea dessa energia é sempre da região de alta temperatura para um vizinho de menor temperatura, é importante observar que a matéria não contém calor, isso foi descoberto por Rumford em seus experimentos entediantes com canhões. Rumford, e pesquisadores que seguiram seus passos, perceberam que a matéria contém energia cinética molecular e possivelmente energia potencial, não calor (RUMFORD, 1978).

Calor é energia em trânsito de um corpo a uma temperatura mais alta para outro a uma temperatura mais baixa, uma vez transferida, a energia deixa de ser calor. (Como analogia, o trabalho também é energia em trânsito. Um corpo não contém trabalho, Ele realiza trabalho ou trabalho é realizado sobre ele). Enquanto que a energia interna é a soma total de todas as energias no interior de uma substância, além da energia cinética translacional da agitação molecular em uma substância, existe energia em outras formas, existe a energia cinética rotacional das moléculas e a energia cinética devido ao movimento interno dos átomos dentro das moléculas, existe também a energia potencial devido às forças entre as moléculas, de modo que uma substância não contém calor, ela contém energia interna. Quando uma substância absorve ou cede calor, a sua energia interna, correspondentemente, aumenta ou diminui, em alguns casos, como quando o gelo se derrete, o calor absorvido de fato não aumenta a energia cinética molecular, mas transforma-se em outras formas de energia. Neste caso, a substância sofre uma mudança de fase.

Para dois objetos em contato térmico, o fluxo de calor flui de uma substância a uma temperatura mais alta para outra a uma temperatura mais baixa, mas não necessariamente flui de uma substância com mais energia interna para outra com menor energia interna. Existe mais energia interna em uma tigela de água morna do que em uma tachinha incandescente, se ela for imersa em água, o fluxo de calor não ocorrerá da água morna para a tachinha, pelo contrário, o calor fluirá da tachinha quente (maior temperatura), para a água mais fria (menor temperatura). O calor não flui espontaneamente de uma substância a uma temperatura mais baixa para outra substância a uma temperatura mais alta. Quanto flui de calor depende não apenas da diferença entre as temperaturas das substâncias, mas também da quantidade de material que existe. Por exemplo, um barril cheio de água quente (90 °C) transferirá

mais calor para uma substância mais fria (20 °C) do que uma xícara cheia com água à mesma temperatura. Existe mais energia interna na porção de água maior. E por fim, analisando agora o trabalho termodinâmico, trata-se de uma forma de energia transferida de um sistema para o seu entorno, ou da vizinhança para o sistema, em consequência de processos que envolvem variações em determinadas propriedades termodinâmicas, como volume, pressão, ou outras variáveis de estado. Em termos simples, é o trabalho realizado pelo ou sobre um sistema devido a mudanças em suas condições internas.

O princípio de trabalho-energia, em mecânica, é uma consequência das leis de Newton do movimento. Ele estabelece que o trabalho da força resultante, que atua sobre uma partícula, é igual à variação da energia cinética da partícula. Se uma força é conservativa, o trabalho dessa força pode ser posto igual à variação da energia potencial da partícula, e o trabalho de todas as forças, excluindo o desta força, é igual à soma das variações das energia cinética e da energia potencial da partícula. As mesmas afirmações valem para um corpo rígido ( por simplicidade, suponhamos que as linhas de ação de todas as forças passem pelo centro de massa, de modo que não é necessário considerar o movimento de rotação).

Pode ser realizado um trabalho também em processos em que não há variação na energia cinética e nem na energia potencial de um sistema. Assim, quando um gás é expandido ou comprimido, ou quando uma célula eletrolítica é carregada ou descarregada, ou quando um bastão paramagnético é magnetizado ou desmagnetizado, muito embora o gás ou a célula ou o bastão permaneçam em repouso a uma mesma altura, o trabalho é realizado. Quando um sistema termodinâmico realiza um processo, o trabalho no processo pode ser, em última análise, atribuído ao trabalho de uma força. Entretanto é conveniente expressar o trabalho em propriedades termodinâmicas do sistema.

### **4.7.3 Gás ideal**

Ao se falar deste tipo de panela, é indispensável comentários sobre as propriedades dos gases, apesar de nesse caso trabalharmos com o vapor de água, fazemos uma aproximação com o comportamento gasoso. O objetivo é explicar as propriedades fundamentais dos gases.

Grandezas físicas como a pressão, o volume, a temperatura e a quantidade de substância descrevem as condições ou o estado no qual existe um material em particular (por exemplo, um tanque de oxigênio usado em hospitais possui um manômetro que mostra a pressão e uma indicação de volume dentro do tanque, poderíamos também usar um termômetro e colocar o tanque sobre uma balança para determinar sua massa), essas grandezas são chamadas de variáveis de estado. O volume (**V**) de uma substância geralmente é determinado por sua pressão (**P**), temperatura (**T**) e pela quantidade de substância, descrita por sua massa (**m<sub>tot</sub>**) ou pelo seu número de moles (**n**), em geral, não podemos variar uma dessas grandezas sem produzir variações nas outras (em alguns casos, há necessidade de se acrescentar propriedades para descrever completamente o estado de um sistema, e estas propriedades devem ser incluídas na equação de estado, como por exemplo a área e a tensão superficial de uma superfície líquido-vapor, a magnetização e a densidade de fluxo em um material magnético, e o estado de carga de uma célula eletrolítica). Quando, por exemplo, um tanque de oxigênio eleva a sua temperatura, a pressão em consequência aumenta, caso a temperatura do tanque continue aumentando indefinidamente, ele explode. Em alguns casos, a relação entre as variáveis de estado é tão simples que podemos expressá-la na forma de uma equação denominada equação de estado. Quando a relação for complicada demais para isso, podemos usar gráficos ou tabelas numéricas. Contudo, a relação entre essas variáveis ainda existe; nós a chamamos de equação de estado mesmo quando não conhecemos sua forma explícita.

As variáveis de estado são importantes porque descrevem o estado termodinâmico de um sistema e permitem analisar e prever seu comportamento durante processos físicos e químicos. Essas variáveis fornecem informações essenciais sobre o sistema, independentemente do caminho ou das transformações que ele sofreu para chegar a um determinado estado, além de serem fundamentais para aplicar as leis da termodinâmica. São essenciais para identificar e definir estados de equilíbrio termodinâmico, onde todas as propriedades são uniformes e não há fluxo de energia ou matéria dentro do sistema, isso é fundamental para compreender como os sistemas chegam a estados estáveis. Em aplicações práticas, as variáveis de estado são monitoradas e controladas para otimizar processos industriais, garantindo segurança, eficiência energética e qualidade do produto final,

por exemplo, em reatores químicos, o controle preciso da pressão e temperatura é vital para o sucesso das reações. Em síntese, são as ferramentas principais que permitem a análise, a modelagem e o controle de sistemas termodinâmicos, sendo essenciais para a compreensão das transformações de energia e matéria, elas formam a base da termodinâmica e de muitas outras disciplinas da ciência e engenharia.

Encontra-se pela experimentação, que somente um certo número mínimo de propriedades de uma substância pura pode ter valores arbitrários. Os valores das propriedades restantes são, então, determinados pela natureza da substância. Suponhamos, por exemplo, que gás de oxigênio seja induzido a fluir para dentro de um tanque evacuado, o tanque e seu conteúdo sendo mantidos a temperatura termodinâmica  $T$ . O volume  $V$  do gás admitido é fixado, então, pelo volume do tanque, e a massa  $m$  do gás é fixada pela quantidade que induzimos a entrar. Uma vez que fixamos  $T$ ,  $V$  e  $m$ , a pressão  $P$  é determinada pela natureza do oxigênio e não pode ter um valor arbitrário qualquer. Em alguns casos, há necessidade de se acrescentar propriedades, citadas anteriormente, para descrever completamente o estado de um sistema, e estas propriedades devem ser incluídas na equação de estado. As medidas do comportamento de muitos gases conduzem a três conclusões:

1. O volume  $V$  é proporcional ao número de moles  $n$ . Quando dobramos  $n$ , mantendo a temperatura e a pressão constantes, o volume duplica.
2. O volume é inversamente proporcional à pressão absoluta  $P$ . Quando dobramos a pressão, mantendo a temperatura  $T$  e o número de moles  $n$  constante, o gás se comprime à metade do volume inicial. Em outras palavras,  $PV = \text{constante}$  quando  $n$  e  $T$  permanecem constantes.
3. A pressão é proporcional à temperatura absoluta  $T$ . Quando dobramos  $T$ , mantendo o volume e o número de moles constantes, a pressão dobra. Em outras palavras,  $P = (\text{constante}) \times T$  quando  $n$  e  $V$  são constantes. as três proporcionalidades anteriores podem ser combinadas em uma única equação, denominada equação do gás ideal:

**Equação do gás ideal:**

$$PV = nRT \quad (1)$$

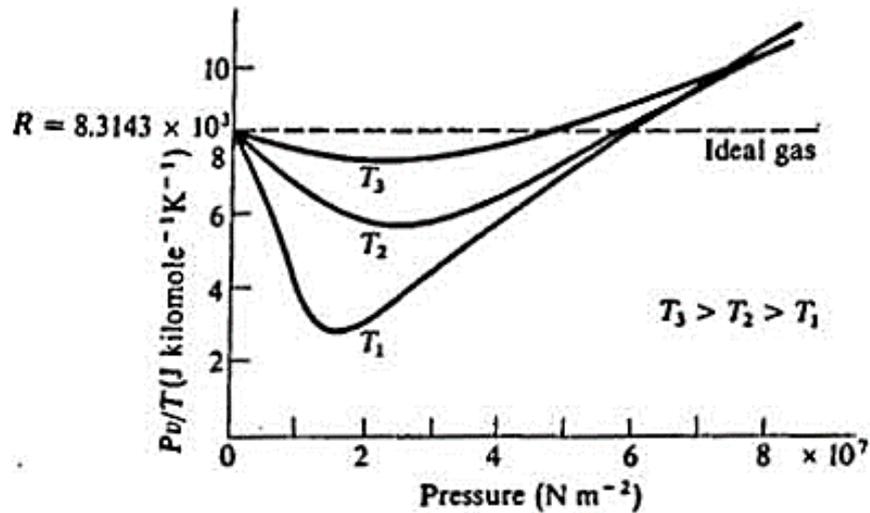
Pressão do gás  
Volume de gás

Número de moles do gás  
Temperatura absoluta do gás  
Constante do gás

Um gás ideal é aquele cujo comportamento pode ser descrito com precisão pela Equação acima, em todas as pressões e temperaturas, trata-se de um modelo idealizado, que funciona melhor com pressões muito pequenas e temperaturas muito elevadas, quando as distâncias entre as moléculas são muito grandes e se deslocam com velocidades elevadas. Esse modelo funciona razoavelmente bem (com um pequeno percentual de erro) para pressões moderadas (até algumas atmosferas) e para temperaturas muito acima daquela na qual o gás se liquefaz. Poderíamos esperar que a constante de proporcionalidade **R** da equação do gás ideal apresentasse diferentes valores para gases diferentes, porém verificamos que ela tem o mesmo valor para todos os gases, pelo menos em pressões suficientemente baixas e temperaturas suficientemente elevadas. Ela é chamada de constante dos gases ideais (ou simplesmente constante dos gases). usando unidades do sistema si, no qual a unidade da pressão  $P$  é Pa ( $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ ) e a unidade de volume  $V$  é  $\text{m}^3$ , o valor atual mais aproximado de **R** é

$$R = 8,3144621(75) \text{ J/mol} \cdot \text{K}$$

Suponhamos que se tenha medido a pressão, volume, temperatura e massa de um certo gás em um largo intervalo destas variáveis, ao invés do volume  $V$ , usaremos o volume específico molar ( $v$ ),  $v = V/n$ . Tomemos todos os dados coligidos a uma dada temperatura  $T$ , calculandos para cada medida individual a razão  $Pv/T$  e tracemos um gráfico com estas razões para ordenadas, e a pressão  $P$  como abscissa, encontra-se, experimentalmente, que todas estas razões se localizam em uma curva lisa (derivável em todos os pontos), qualquer que seja a temperatura, mas que as razões a diferentes temperaturas correspondem a diferentes curvas. Os dados para o dióxido de carbono estão lançados no gráfico da figura 1 ( $Pv/T$ ) x  $P$ , para três diferentes temperaturas. A característica notável destas curvas é que todas elas convergem exatamente para mesmo ponto no eixo vertical e as curvas para todos os outros gases convergem exatamente para o mesmo ponto, este limite comum da razão  $Pv/T$ , quando  $P$  se aproxima de zero, é o que denominamos de constante universal dos gases, e é denotado por **R**, segundo Sears e Salinger (1979).

Figura 1: Gráfico  $(Pv/T) \times P$ 

Fonte: Sears e Salinger, 1979

Podemos escrever a equação dos gases ideais, em termos da massa total do gás, usando  $m_{\text{tot}} = nM$

$$PV = \frac{m_{\text{tot}}}{M} RT \quad (2)$$

A partir dessa relação, podemos obter uma expressão para a densidade  $\rho = m_{\text{tot}}/V$  do gás:

$$\rho = \frac{PM}{RT} \quad (3)$$

Para uma massa constante (ou número de moles constante), o produto  $nR$  de um gás ideal é constante, de modo que  $PV/T$  também é constante. Designando dois estados da mesma massa de um gás pelos subscritos 1 e 2, podemos escrever

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} = \text{constante (gás ideal, massa constante)} \quad (4)$$

Quando estamos lidando com átomos e moléculas, faz sentido medir o tamanho das amostras em mols. Fazendo isso, temos certeza de que estamos comparando amostras que contêm o mesmo número de átomos ou moléculas. O mol, uma das sete unidades fundamentais do SI, é definido da seguinte forma: um mol contém exatamente **6,02214076 x 10<sup>23</sup>** entidades elementares (entidades

elementares podem ser átomos, moléculas, íons, elétrons, outras partículas ou grupos específicos de partículas, dependendo do contexto). Este número é conhecido como a **constante de Avogadro** ( $N_A$ ). O número  $N_A$  é chamado de número de Avogadro em homenagem ao cientista italiano Amedeo Avogadro (1776- 1856), um dos primeiros a concluir que todos os gases que ocupam o mesmo volume nas mesmas condições de temperatura e pressão contêm o mesmo número de átomos ou moléculas. O número de mols  $n$  contidos em uma amostra de qualquer substância é igual à razão entre o número de moléculas  $N$  da amostra e o número de moléculas  $N_A$  em 1 mol:

$$n = \frac{N}{N_A} \quad (5)$$

Podemos calcular o número de mols  $n$  em uma amostra a partir da massa  $M_a$  da amostra e da massa molar  $M$  (a massa de um mol) ou da massa molecular  $m$  (a massa de uma molécula):

$$M = mN_A \quad (6)$$

Usamos o fato de que a massa  $M$  de 1 mol é o produto da massa  $m$  de uma molécula pelo número de moléculas  $N_A$  em 1 mol:

$$n = \frac{M_a}{M} = \frac{M_a}{mN_A} \quad (7)$$

Também podemos escrever de outra forma, em termos de uma constante  $k$  chamada **constante de Boltzmann**, definida como

$$k = \frac{R}{N_A} = \frac{8,31 \text{ J/mol.K}}{6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}} = 1,381 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

Que nos dá  $R = kN_A$ . De acordo com a equação  $n = N/N_A$ , temos:

$$nR = Nk \quad (8)$$

Substituindo essa relação na equação dos gases ideais, obtemos uma segunda expressão para a lei dos gases ideais:

$$PV = NkT \quad (\text{lei dos gases ideais}) \quad (9)$$

Esse resultado mostra que a constante de Boltzmann  $k$  é uma constante de gases em base “por molécula”, em vez da usual base “por mol” relacionada à constante  $R$ . (Observe a diferença entre as duas expressões da lei dos gases ideais. Enquanto uma envolve o número de mols,  $n$ , a outra envolve o número de moléculas,  $N$ .)

Afinal, o que é um *gás ideal* e o que ele tem de especial? Um gás ideal é por definição aquele que apresenta o comportamento de um gás real em limite rarefeito em qualquer limite. A resposta também está na simplicidade da lei dos gases ideais, que governa as propriedades macroscópicas de um gás ideal. Usando essa lei, pode-se deduzir muitas propriedades de um gás real. Embora não exista na natureza um gás com as propriedades exatas de um gás ideal, todos os gases reais se aproximam do estado ideal em concentrações suficientemente baixas, ou seja, em condições nas quais as moléculas estão tão distantes umas das outras que praticamente não interagem. Assim, o conceito de gás ideal nos permite obter informações úteis a respeito do comportamento limite dos gases reais.

A Figura 2 referente a imagens de um tanque de aço (a) antes e (b) depois de ser esmagado pela pressão atmosférica, mostra um exemplo chocante do comportamento de um gás ideal. Um tanque de aço inoxidável com um volume de  $18 \text{ m}^3$  foi carregado com vapor d'água a uma temperatura de  $110^\circ\text{C}$  por meio de um registro. Em seguida, o registro foi fechado e o tanque foi molhado com uma mangueira, em menos de um minuto, o tanque de grossas paredes foi esmagado como se tivesse sido pisado por alguma criatura gigantesca de um filme de ficção científica, na verdade, foi a atmosfera que esmagou o tanque, quando o tanque foi resfriado pela água, o vapor esfriou e a maior parte se condensou, o que significa que o número  $N$  de moléculas de gás e a temperatura  $T$  do gás no interior do tanque diminuíram, como o volume  $V$  continuou o mesmo, a pressão  $P$  também diminuiu. A pressão do gás diminuiu tanto que a pressão atmosférica foi suficiente para esmagar o tanque de aço. No caso, tudo não passou de uma demonstração planejada, mas casos semelhantes ocorreram várias vezes de forma acidental, de acordo com Halliday (2010).

Figura 2: Imagens de um tanque de aço (a) antes e (b) depois de ser esmagado pela pressão atmosférica



Fonte: [www.doctorslime.com](http://www.doctorslime.com)

#### 4.7.4 Equação de Van der Waals

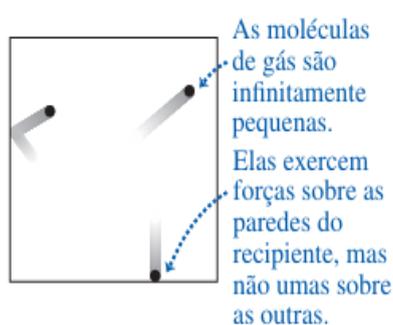
A equação do gás ideal, comentada anteriormente, utilizamos para analisar a partir de um modelo molecular simples que despreza os volumes das moléculas e a força de atração entre elas. Outra equação de estado, a equação de van der Waals, faz pequenas correções nas duas aproximações mencionadas, essa equação foi deduzida no século XIX pelo físico alemão J. D. van der Waals, em sua homenagem, as interações entre átomos passaram a ser chamadas de interações de Van der Waals, a equação de Van der Waals é

$$P + \frac{an^2}{V}(V - nb) = nRT \quad (10)$$

As constantes **a** e **b** assumem valores diferentes para cada gás. Podemos dizer que, grosso modo, que **b** representa o volume de um mol de moléculas, o volume total das moléculas é **nb**, e o volume resultante disponível para o movimento das moléculas é **V – nb**, a constante **a** depende da força de atração entre as moléculas, que reduz a pressão do gás puxando as moléculas para perto umas das outras enquanto elas

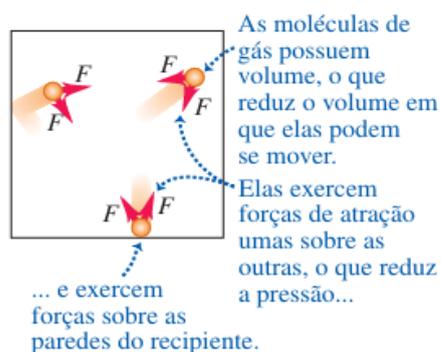
empurram as paredes do recipiente, a diminuição da pressão é proporcional ao número de moléculas por unidade de volume em uma camada próxima da parede (que está exercendo a pressão sobre a parede) e também é proporcional ao número de moléculas por unidade de volume da camada que se segue à primeira (que está exercendo a atração). Portanto, a diminuição da pressão decorrente das forças moleculares é proporcional a  $n^2/V^2$ .

Figura 3: modelo de um gás ideal



Fonte: Young e Freedman, 2015

Figura 4: modelo mais realista de um gás



Fonte: Young e Freedman, 2015

#### 4.7.5 Modelo Cinético-Molecular de um Gás Ideal

As hipóteses do modelo são:

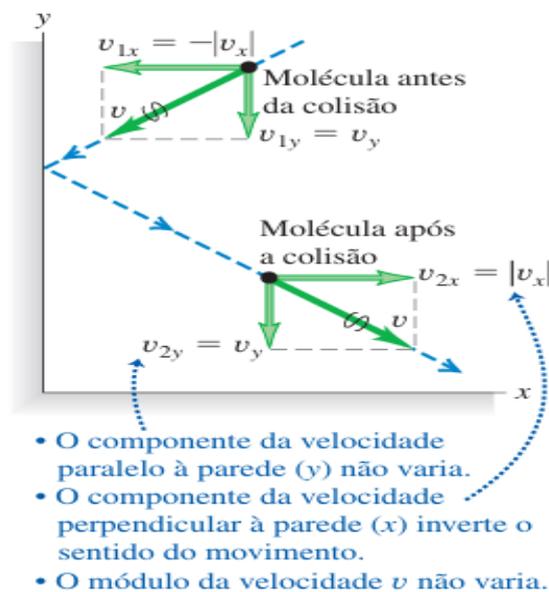
1. Um recipiente com volume  $V$  contém um número  $N$  muito grande de partículas idênticas com a mesma massa  $m$ .
2. As moléculas se comportam como partículas puntiformes, muito pequenas em comparação às dimensões do recipiente e à distância média entre as moléculas.
3. As moléculas estão em movimento constante, cada molécula colide ocasionalmente com a parede do recipiente. Essas colisões são perfeitamente elásticas.
4. As paredes do recipiente são rígidas e possuem massa infinita, elas não se movem.

#### 4.7.6 Colisões e Pressão do Gás nas Colisões

As moléculas exercem forças sobre as paredes do recipiente; essa é a origem da pressão que o gás exerce. Em uma colisão típica o componente da velocidade paralelo à parede não varia, enquanto o componente da velocidade perpendicular à parede muda de sentido, mas seu módulo permanece constante.

Para começar, vamos supor que todas as moléculas no gás possuem o mesmo módulo da velocidade  $x$ ,  $|v_x|$ . Mais adiante mostraremos que nossos resultados não dependem dessa hipótese simplista, conforme mostra a figura abaixo da colisão de uma molécula com a parede idealizada de um recipiente, para cada colisão o componente  $x$  da velocidade varia desde  $-|v_x|$  até  $+|v_x|$ . Logo, o componente  $x$  do momento linear  $P_x$  varia de  $-m|v_x|$  até  $+m|v_x|$ , e a variação do componente  $x$  do momento linear  $P_x$  é dada por  $m|v_x| - (-m|v_x|) = 2m|v_x|$ .

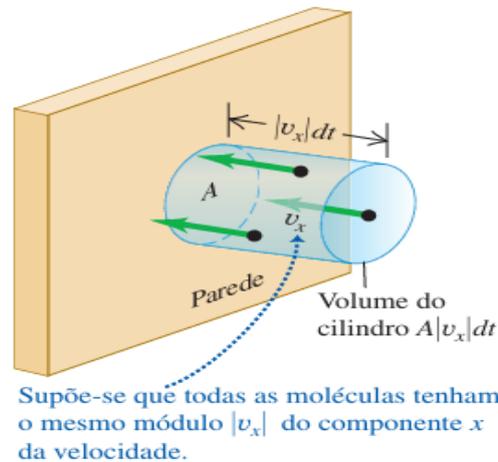
Figura 5: colisão elástica de uma molécula com a parede idealizada de um recipiente



Fonte: Young e Freedman, 2015

Se a molécula está na iminência de colidir com uma dada área  $A$  da parede durante um pequeno intervalo  $dt$ , então no início desse intervalo ela deve estar a uma distância  $|v_x|dt$  da parede e deve se dirigir frontalmente contra ela. Logo, o número de moléculas que colidem com  $A$  durante o intervalo  $dt$  é igual ao número de moléculas no interior de um cilindro com base de área  $A$  e comprimento  $|v_x|dt$ , e que tenha sua velocidade  $x$  direcionada para a parede. O volume desse cilindro é  $A|v_x| dt$ , supondo que o número de moléculas por unidade de volume ( $N/V$ ) seja uniforme, o número de moléculas nesse cilindro é  $(N/V) (A|v_x| dt)$ .

Figura 6: Molécula se chocando contra uma parede



Fonte: Young e Freedman, 2015

Para uma molécula se chocar contra a parede com área  $A$  durante o intervalo  $dt$ , ela precisa estar voltada para a parede e dentro do cilindro sombreado com comprimento  $|v_x| dt$  no início do intervalo. Na média, metade dessas moléculas se aproximam da parede e as demais se afastam dela. Logo, o número de colisões na área  $A$  durante  $dt$  é

$$\frac{1}{2} \left( \frac{N}{V} \right) (A|v_x| dt) \quad (11)$$

Para o sistema constituído por todas as moléculas do gás, a variação total do momento linear  $dp_x$  durante  $dt$  é igual ao número de colisões multiplicado por  $2m|v_x|$ :

$$dp_x = \frac{1}{2} \left( \frac{N}{V} \right) (A|v_x| dt) (2m|v_x|) = \frac{NAmv_x^2 dt}{V} \quad (12)$$

A taxa de variação do componente  $p_x$  do momento linear é

$$\frac{dp_x}{dt} = \frac{NAmv_x^2}{V} \quad (13)$$

De acordo com a segunda lei de Newton, essa taxa de variação do momento linear é a força que a área  $A$  da parede exerce sobre as moléculas de gás. Pela terceira lei de Newton, essa força é igual e contrária à exercida pelas moléculas sobre a parede. a pressão  $P$  é o módulo da força exercida sobre a parede por unidade de área, portanto:

$$P = \frac{F}{A} = \frac{Nm v_x^2}{V} \quad (14)$$

A pressão exercida pelo gás depende do número de moléculas por unidade de volume ( $N/V$ ), da massa  $m$  por molécula e da velocidade das moléculas (YOUNG e FREEDMAN, 2015, p. 245-250)

#### 4.7.7 Pressão e Energias Cinéticas Moleculares

Já dissemos que, na realidade,  $|v_x|$  não é igual para todas as moléculas. Poderíamos, contudo, ter dividido as moléculas em grupos e colocado no mesmo grupo as moléculas de mesmo  $|v_x|$ , e a seguir somado às contribuições resultantes da pressão, o efeito é precisamente a substituição de  $v_x^2$  pelo valor médio de  $v_x^2$ , que será designado por  $(v_x^2)_{\text{méd}}$ , além disso,  $(v_x^2)_{\text{méd}}$  pode ser relacionada de modo simples ao módulo da velocidade de cada molécula, o módulo da velocidade  $v$  de uma molécula é relacionado aos componentes  $v_x$ ,  $v_y$  e  $v_z$  por

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} \quad (15)$$

Tomamos a média dessa relação para todas as moléculas:

$$(v^2)_{\text{méd}} = (v_x^2)_{\text{méd}} + (v_y^2)_{\text{méd}} + (v_z^2)_{\text{méd}} \quad (16)$$

Todavia, não existe nenhuma diferença real entre as direções  $x$ ,  $y$  e  $z$  (as velocidades moleculares são muito elevadas em um gás típico, de modo que os efeitos da gravidade são tão pequenos que são desprezíveis), de onde se conclui que  $(v_x^2)_{\text{méd}}$ ,  $(v_y^2)_{\text{méd}}$  e  $(v_z^2)_{\text{méd}}$  devem ser iguais, assim,  $(v^2)_{\text{méd}}$  é igual a  $3(v_x^2)_{\text{méd}}$  e

$$(v_x^2)_{\text{méd}} = \frac{1}{3}(v^2)_{\text{méd}} \quad (17)$$

A equação também pode ser escrita na forma

$$PV = \frac{1}{3}Nm(v^2)_{\text{méd}} = \frac{2}{3}N \left[ \frac{1}{2}m(v^2)_{\text{méd}} \right] \quad (18)$$

Notamos que  $\frac{1}{2} m(v^2)_{\text{méd}}$  é a energia cinética média de translação de uma única molécula. o produto desse valor pelo número total de moléculas  $N$  é igual à energia cinética aleatória  $K_{\text{tr}}$  do movimento de translação de todas as moléculas (a notação  $K_{\text{tr}}$  nos lembra de que essa energia é associada ao movimento de translação, podem existir outras energias associadas ao movimento de rotação e de vibração das moléculas). O produto  $PV$  é igual a dois terços da energia cinética translacional total:

$$PV = \frac{2}{3} K_{\text{tr}} \quad (19)$$

Comparando com a equação do gás ideal, temos

$$K_{\text{tr}} = \frac{3}{2} nRT \quad (20)$$

Assim, esse resultado mostra que  $K_{\text{tr}}$  é diretamente proporcional à temperatura absoluta  $T$ . A energia cinética translacional média de uma única molécula é a energia cinética translacional total  $K_{\text{tr}}$  de todas as moléculas dividida pelo número de moléculas,  $N$ :

$$\frac{K_{\text{tr}}}{N} = \frac{1}{2} m(v^2)_{\text{méd}} = \frac{3nRT}{2N} \quad (21)$$

Além disso, o número total de moléculas  $N$  é o número de moles  $n$  multiplicado pelo número de avogadro  $N_a$ , logo,  $N = nN_a$  e  $n/N = 1/N_a$ . assim, a equação acima torna-se

$$\frac{K_{\text{tr}}}{N} = \frac{1}{2} m(v^2)_{\text{méd}} = \frac{3}{2} \left( \frac{R}{N_A} \right) T \quad (22)$$

A razão  $R/N_a$ , já mencionada anteriormente, é chamada de constante de Boltzmann,  $k$ :

$$k = \frac{R}{N_A} = \frac{8,314 \text{ J/mol.k}}{6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}} = 1,381 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

Podemos reescrever a Equação em termos de  $k$  do seguinte modo:

$$\frac{1}{2} m(v^2)_{\text{méd}} = \frac{3}{2} kT \quad (23)$$

Esse resultado mostra que a energia cinética translacional média por molécula depende somente da temperatura, e não da pressão, do volume, nem do tipo de molécula. Podemos obter a energia cinética translacional média por mol multiplicando a equação acima pelo número de avogadro e usando a relação  $M = N_A m$ :

$$N_A \frac{1}{2} m(v^2)_{\text{méd}} = \frac{1}{2} M(v^2)_{\text{méd}} = \frac{3}{2} RT \quad (24)$$

A energia cinética translacional de um mol das moléculas de um gás ideal depende somente de  $T$ .

#### 4.7.8 Velocidades Moleculares

Podemos obter expressões para a raiz quadrada de  $(v^2)_{\text{méd}}$ , a chamada velocidade quadrática média  $v_{\text{rmq}}$ :

$$v_{\text{rmq}} = \sqrt{(v^2)_{\text{méd}}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} \quad (25)$$

Poderia parecer mais natural caracterizar a velocidade molecular pelo valor da velocidade média, em vez de achar a  $v_{\text{rmq}}$ . Para calcular o valor da velocidade quadrática média, elevamos ao quadrado a velocidade de cada molécula, somamos os resultados, dividimos pelo número de moléculas e extraímos a raiz quadrada,  $v_{\text{rmq}}$  é a raiz quadrada do valor médio dos quadrados das velocidades. Em uma dada temperatura  $T$  do gás, moléculas com massas  $m$  diferentes possuem a mesma energia cinética média, porém velocidades quadráticas médias diferentes. Na média, as moléculas de nitro gênio ( $M = 28 \text{ g/mol}$ ) do ar que respiramos se movem com velocidades maiores que as moléculas de oxigênio ( $M = 32 \text{ g/mol}$ ). Moléculas de hidrogênio ( $M = 2 \text{ g/mol}$ ) são as que se movem com a maior velocidade entre todos os gases; essa é a razão pela qual não existe praticamente nenhum hidrogênio na atmosfera terrestre, embora esse gás seja formado pelo elemento mais abundante em todo o universo. Uma parcela significativa das moléculas de  $\text{H}_2$  da atmosfera ter restre

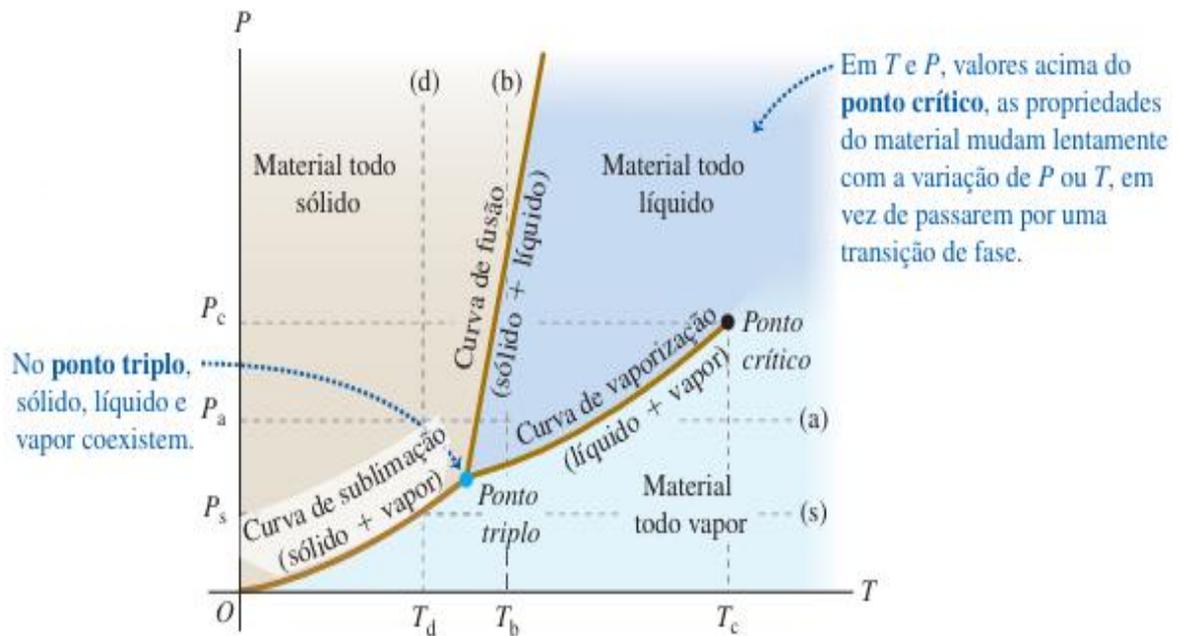
teria velocidades superiores à “velocidade de escape” ( $1,12 \times 10^4$  m/s), e escapariam da atmosfera para o espaço. Os gases mais pesados e mais lentos não podem escapar com muita facilidade, sendo essa a razão do predomínio desses gases em nossa atmosfera.

#### **4.7.9 Fases da Matéria**

Um gás ideal é o sistema mais fácil de ser analisado do ponto de vista molecular, porque desprezamos as interações entre as moléculas. Porém, essas interações são as responsáveis pela condensação da matéria nas fases sólida e líquida em determinadas condições. Por isso, não é surpresa verificar que a estrutura e o comportamento de um líquido ou de um sólido são muito mais complicados que dos gases. Não entraremos em detalhes sobre a estrutura microscópica, mas falaremos genericamente sobre as fases da matéria, o equilíbrio de fases e as transições de fase. Cada fase só é estável em certos intervalos de temperatura e pressão, a transição de uma fase para outra geralmente ocorre quando existem condições de equilíbrio de fase entre as duas fases, e para uma dada pressão isso ocorre somente em uma temperatura específica.

Pode-se representar essas condições em um gráfico da pressão em função de temperatura, chamado de diagrama de fase. Existe apenas uma única fase em cada ponto no gráfico, exceto nos pontos sobre linhas contínuas, em que duas fases coexistem em equilíbrio de fase, a curva de fusão separa a área da fase líquida da região da fase sólida, e representa as possíveis condições de existência do equilíbrio de fase sólido-líquido, analogamente, a curva de vaporização separa a área da fase líquida da região da fase vapor, e a curva de sublimação separa a área da fase sólida da região da fase vapor, as três curvas se encontram em um ponto denominado ponto triplo, o único ponto do diagrama onde as três fases podem.

Figura 7: diagrama de fase P x T



Fonte: Young e Freedman, 2015

Se fornecermos calor a certa substância a uma pressão constante  $P_a$ , representada pela reta horizontal (a), ela passará por diversas fases, nessa pressão, a temperatura de fusão é dada pela interseção dessa reta com a curva de fusão, e a temperatura de ebulição é dada pela interseção com a curva de vaporização. Quando a pressão é  $P_s$ , o aquecimento à pressão constante transforma a fase sólida diretamente na fase vapor, esse processo denomina-se sublimação.

A interseção da linha (s) com a curva de sublimação fornece a temperatura  $T_s$  para a qual ela ocorre a uma dada pressão  $P_s$ . Para qualquer pressão menor que a do ponto triplo, a ocorrência da fase líquida não é possível. a pressão do ponto triplo do dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) é igual a 5,1 atm. Na pressão atmosférica normal, o  $\text{CO}_2$  sólido (“gelo seco”) sofre sublimação, não existe a fase líquida nessa pressão. A linha (b) representa uma compressão a uma temperatura constante  $T_b$ , o material passa da fase sólida para a fase líquida e, finalmente, para a fase vapor, quando a linha (b) cruza com a curva de vaporização e com a curva de fusão, respectivamente. A linha (d) indica uma compressão a essa temperatura constante  $T_d$ , o material passa da fase vapor para a fase sólida no ponto onde a linha reta (d) cruza com a curva de sublimação.

Verifica-se no diagrama PV, que a transição de fase líquido-vapor ocorre somente quando a temperatura e a pressão forem menores que os valores do pico da curva que delimita a área sombreada indicada como “região de equilíbrio da fase líquido-vapor”. Esse ponto corresponde ao ponto final no topo da curva de vaporização, trata-se do chamado ponto crítico, e os valores de **P** e **T** correspondentes a ele denominam-se pressão crítica **P<sub>c</sub>** e temperatura crítica **T<sub>c</sub>**. um gás submetido a uma pressão maior que a do ponto crítico não se separa em duas fases quando é resfriado à pressão constante (ao longo de uma reta horizontal acima do ponto crítico), em vez disso, suas propriedades variam continuamente e se afastam do comportamento normalmente associado a um gás (baixa densidade, alta compressibilidade) até chegar gradualmente ao comportamento de um líquido (alta densidade, baixa compressibilidade) sem que ocorra uma transição de fase.

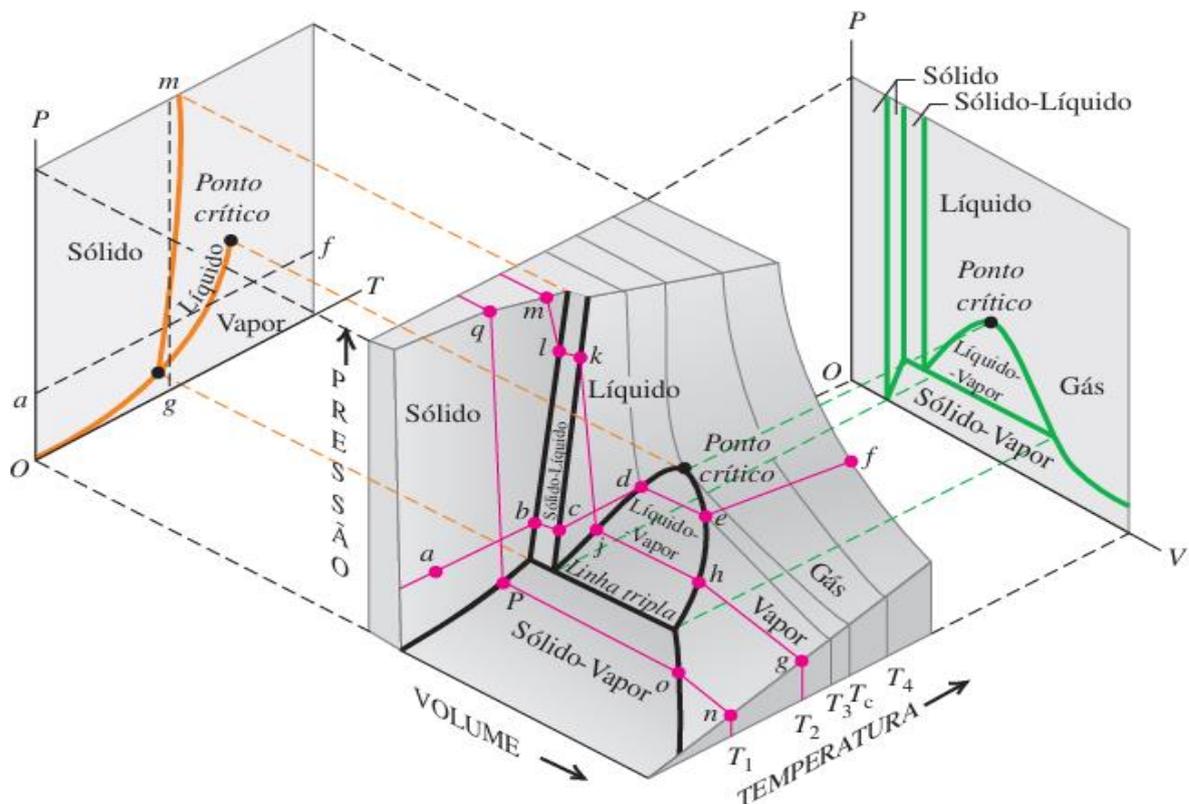
Para entender melhor, devemos pensar em uma transição da fase líquida para a fase vapor em pontos sucessivamente mais elevados da curva de vaporização, conforme nos aproximamos do ponto crítico, as diferenças entre as propriedades físicas (como a densidade e a compressibilidade) da fase líquida e da fase vapor vão se tornando cada vez menores, exatamente no ponto crítico, todas as diferenças se anulam e desaparece a distinção entre líquido e vapor, o calor de vaporização também cresce mais lentamente à medida que nos aproximamos do ponto crítico, e também é igual a zero no ponto crítico. Em quase todos os materiais conhecidos, as pressões críticas são muito maiores que a pressão atmosférica, de modo que não podemos observar esse comportamento em nossa vida cotidiana, por exemplo, a pressão crítica da água ocorre a uma temperatura de 647,4 K e a uma pressão igual a  $221,2 \times 10^5$  Pa (cerca de 218 atm ou 3.210 psi), entretanto, as caldeiras que aquecem o vapor em usinas termelétricas em geral operam mantendo o gás em temperaturas e pressões muito maiores que os respectivos valores no ponto crítico.

#### **4.7.10 Superfícies Pressão (P), Volume (V) e Temperatura (T)**

A equação de estado de qualquer material pode ser representada graficamente como uma superfície em um espaço de três dimensões com coordenadas P, V e T. A figura abaixo mostra uma superfície PVT típica, as linhas finas representam isotermas no plano PV, as isotermas PV representam linhas de contorno sobre a superfície PVT,

exatamente como as curvas de nível em um mapa topográfico representam a altitude (a terceira dimensão) em cada ponto, as projeções das arestas da superfície sobre o plano PT produzem o diagrama de fase PT mostrado no diagrama de fase. A linha **abcdef** na figura da superfície PVT, representa um aquecimento à pressão constante, a fusão ocorre ao longo da linha **bc**, e a vaporização, ao longo da linha **de**, observe as variações de volume que ocorrem ao longo dessa linha quando **T** aumenta. a linha **ghjklm** corresponde a uma compressão isotérmica (temperatura constante), ocorrendo liquefação ao longo da linha **hj** e solidificação ao longo da linha **kl**. Entre os pontos **g** e **k**, os segmentos **gh** e **jk** representam uma compressão isotérmica com aumento de pressão, este é muito maior na região líquida **jk** e na região sólida **lm** que na fase vapor **gh**. Finalmente, a linha **nopq** representa solidificação isotérmica diretamente a partir da fase vapor, como na formação da neve ou do granizo.

Figura 8: superfície PVT



Fonte: Young e Freedman, 2015

A figura acima mostra a superfície PVT mais simples de uma substância que obedece à equação de estado do gás ideal sob todas as condições, as projeções das curvas de temperatura constante sobre o plano PV correspondem às curvas

isotérmicas, e as projeções das curvas com volume constante sobre o plano PT mostram que, nesse caso, a pressão é diretamente proporcional à temperatura, além de também mostrar as curvas isobáricas (pressão constante) e isocóricas (volume constante) para um gás ideal.

#### 4.7.11 Trabalho termodinâmico

Vamos agora examinar de perto o modo como a energia pode ser transferida, na forma de calor e trabalho, de um sistema para o ambiente, e vice-versa. Vamos tomar como sistema um gás confinado em um cilindro com um êmbolo, como podemos observar na figura abaixo. A força para cima a que o êmbolo é submetido pela pressão do gás confinado é igual ao peso das esferas de chumbo colocadas sobre o êmbolo mais o peso do êmbolo. As paredes do cilindro são feitas de material isolante que não permite a transferência de energia na forma de calor. A base do cilindro repousa em um reservatório térmico (um **reservatório térmico** é um sistema teórico ou idealizado que tem a capacidade de trocar energia na forma de calor com outros sistemas, sem sofrer mudanças significativas em sua própria temperatura, ele pode ser considerado uma "fonte infinita" de calor, no sentido de que pode fornecer ou absorver quantidades ilimitadas de energia térmica sem que isso altere sua temperatura) cuja temperatura  $T$  pode ser controlada.

O sistema (gás) parte de um *estado inicial*  $i$ , descrito por uma pressão  $p_i$ , um volume  $V_i$  e uma temperatura  $T_i$ . Deseja-se levar o sistema a um *estado final*  $f$ , descrito por uma pressão  $p_f$ , um volume  $V_f$  e uma temperatura  $T_f$ . O processo de levar o sistema do estado inicial ao estado final é chamado de *processo termodinâmico*. Durante o processo, energia pode ser transferida do reservatório térmico para o sistema (calor positivo), ou vice-versa (calor negativo). Além disso, o sistema pode realizar trabalho sobre as esferas de chumbo, levantando o êmbolo (trabalho positivo) ou receber trabalho das esferas de chumbo (trabalho negativo). Vamos supor que todas as mudanças ocorrem lentamente, de modo que o sistema está sempre (aproximadamente) em equilíbrio térmico (ou seja, cada parte do sistema está em equilíbrio térmico com todas as outras partes).

Suponha que algumas esferas de chumbo sejam removidas do êmbolo da Figura de um gás confinado em um cilindro com um êmbolo móvel, permitindo que o

gás empurre o êmbolo e as esferas restantes para cima com uma força  $\vec{F}$ , que produz um deslocamento infinitesimal  $\vec{ds}$ . Como o deslocamento é pequeno, podemos supor que  $\vec{F}$  é constante durante o deslocamento. Nesse caso, o módulo de  $\vec{F}$  é igual a  $pA$ , em que  $p$  é a pressão do gás e  $A$  é a área do êmbolo (Na prática, um vetor nunca é diretamente igualado a um escalar, pois são entidades matemáticas diferentes: um vetor possui magnitude e direção, enquanto um escalar possui apenas magnitude. No entanto, a relação entre vetores e escalares ocorre em operações onde um vetor é reduzido a um escalar, extraindo-se uma informação específica, como a magnitude ou o componente em uma determinada direção. Desenvolvido no estudo da geometria e física, o produto escalar surgiu da necessidade de calcular trabalho e energia, como o trabalho sendo  $W = \vec{F} \cdot \vec{d}$ , onde força e deslocamento, vetores, se relacionam de forma escalar<sup>1</sup>). O trabalho infinitesimal  $dW$  realizado pelo gás durante o deslocamento é dado por

$$dW = \vec{F} \cdot \vec{ds} = p(Ads) = P \cdot dV \quad (26)$$

Em que  $dV$  é a variação infinitesimal do volume do gás devido ao movimento do êmbolo. Quando o número de esferas removidas é suficiente para que o volume varie de  $V_i$  para  $V_f$ , o trabalho realizado pelo gás é

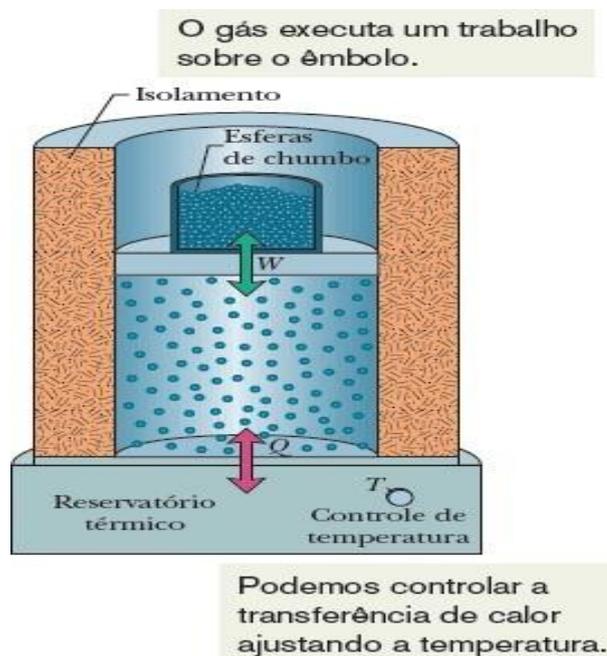
$$W = \int dW = \int_{V_i}^{V_f} p dV \quad (27)$$

Durante a variação de volume, a pressão e a temperatura do gás também podem variar. Para calcular diretamente a integral, precisaríamos saber como a pressão varia com o volume no processo pelo qual o sistema passa do estado  $i$  para o estado  $f$ .

---

<sup>1</sup> A origem da relação entre vetores e escalares remonta à necessidade de descrever fenômenos físicos de forma quantitativa e simplificada. As operações que conectam vetores a escalares surgiram com o desenvolvimento da álgebra vetorial e da geometria analítica, que foram impulsionadas pelo trabalho de matemáticos e físicos como Isaac Newton, René Descartes e William Rowan Hamilton. Essas relações foram criadas para resolver problemas em física clássica, como o cálculo de trabalho, a decomposição de forças e a análise de movimentos, onde era necessário simplificar vetores em termos de grandezas numéricas (escalas). Isso permitiu a modelagem precisa de sistemas físicos, desde o movimento de planetas até o comportamento de partículas em campos eletromagnéticos.

Figura 9: Um gás confinado em um cilindro com um êmbolo móvel.



Fonte: Halliday, 2010

Na figura acima, de um gás confinado em um cilindro, certa quantidade  $Q$  de calor pode ser adicionada ou removida do gás regulando a temperatura  $T$  do reservatório térmico ajustável. Certa quantidade de trabalho  $W$  pode ser realizada pelo gás ou sobre o gás levantando ou abaixando o êmbolo.

#### 4.7.12 Sinais Para o Calor e o Trabalho na Termodinâmica

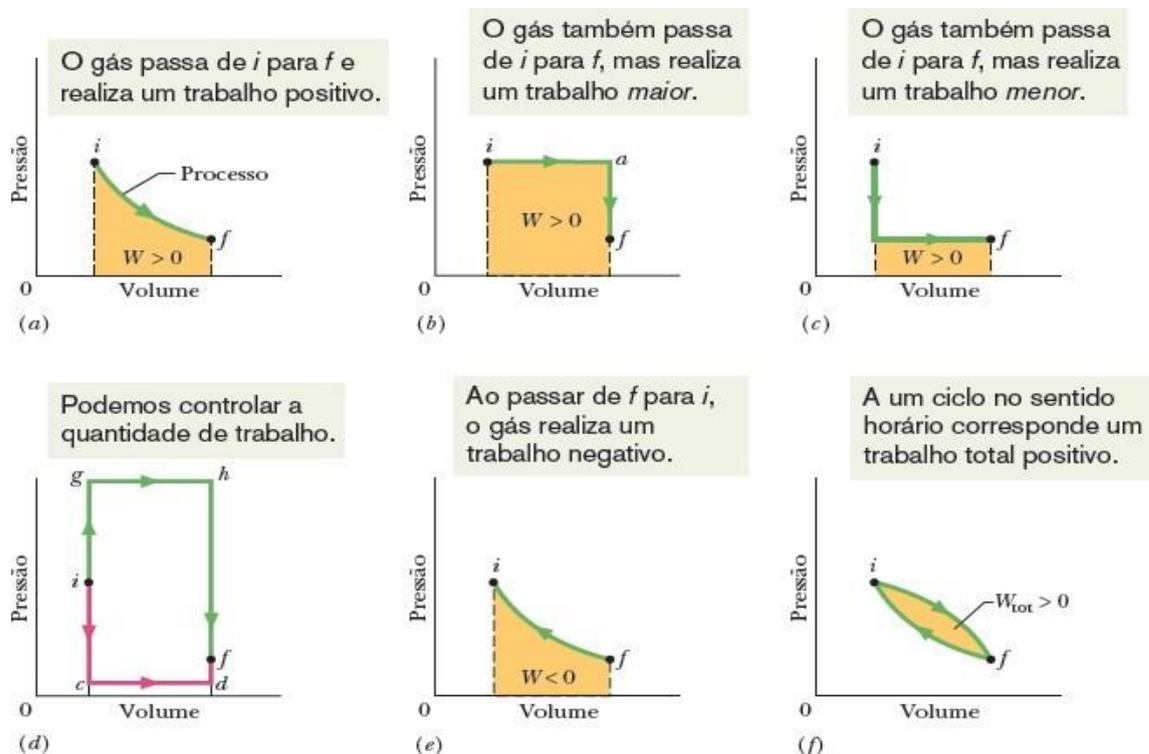
Descrevemos relações de energia em muitos processos termodinâmicos em termos da quantidade de calor  $Q$  fornecida para o sistema e o trabalho  $W$  realizado pelo sistema. Os valores de  $Q$  e de  $W$  podem ser positivos, negativos ou nulos, um valor de  $Q$  positivo significa uma transferência de calor para dentro do sistema, com um fluxo de energia correspondente para o interior do sistema,  $Q$  negativo significa uma transferência de calor para fora do sistema, um valor de  $W$  positivo significa um trabalho realizado pelo sistema sobre suas vizinhanças, como o trabalho realizado por um gás que se expande e, portanto, corresponde a uma transferência de energia para fora do sistema, enquanto que um valor de  $W$  negativo, como o trabalho realizado durante a compressão de um gás, significa um trabalho realizado sobre o gás pelas

suas vizinhanças e, portanto, corresponde a uma transferência de energia para dentro do sistema.

#### 4.7.13 Processos entre estados termodinâmicos

Na prática, existem muitas formas de levar o gás do estado  $i$  para o estado  $f$ . Uma delas é mostrada na Figura caminhos entre estados termodinâmico, que são representações gráficas da pressão do gás em função do volume, conhecido como diagrama  $P$ - $V$ . Em (a), a curva mostra que a pressão diminui com o aumento do volume. A integral da equação do trabalho (e, portanto, o trabalho  $W$  realizado pelo gás) é representada pela área sombreada sob a curva entre os pontos  $i$  e  $f$ . Independentemente do que fizermos exatamente para levar o gás do ponto  $i$  ao ponto  $f$ , esse trabalho será sempre positivo, já que o gás só pode aumentar de volume empurrando o êmbolo para cima, ou seja, realizando trabalho sobre o êmbolo.

Figura 10 : Processos entre estados termodinâmico



Fonte: Halliday, 2010

Analisando os gráficos acima, referente aos possíveis caminhos para a realização do trabalho termodinâmico, nota-se que em (a), a área sombreada

representa o trabalho ( $W$ ) realizado por um sistema ao passar de um estado inicial  $i$  para um estado final  $f$ , o trabalho  $W$  é positivo porque o volume do sistema aumenta. Em (b)  $W$  continua a ser positivo, mas agora é maior, em (c)  $W$  continua a ser positivo, mas agora é menor, em (d)  $W$  pode ser ainda menor (trajetória **icdf**) ou ainda maior (trajetória **ighf**). No caso (e), o sistema vai do estado  $f$  para o estado  $i$  quando o gás é comprimido por uma força externa e o volume diminui; o trabalho  $W$  realizado pelo sistema é negativo, enquanto que em (f) O trabalho total  $W_{\text{tot}}$  realizado pelo sistema durante um ciclo completo é representado pela área sombreada. Outra forma de levar o gás do estado  $i$  para o estado  $f$  é mostrada na em (b), nesse caso, a mudança acontece em duas etapas: do estado  $i$  para o estado  $a$  e do estado  $a$  para o estado  $f$ .

A etapa **ia** deste processo acontece a uma pressão constante, o que significa que o número de esferas de chumbo sobre o êmbolo da figura de um gás confinado em um cilindro com êmbolo móvel, permanece constante. O aumento do volume (de  $V_i$  para  $V_f$ ) é conseguido aumentando lentamente<sup>2</sup> a temperatura do gás até um valor mais elevado  $T_a$ . (O aumento da temperatura aumenta a força que o gás exerce sobre o êmbolo, empurrando-o para cima). Durante essa etapa, a expansão do gás realiza um trabalho positivo (levantar o êmbolo) e calor é absorvido pelo sistema a partir do reservatório térmico (quando a temperatura do reservatório térmico é aumentada lentamente). Esse calor é positivo porque é fornecido ao sistema.

A etapa **af** do processo da acontece a volume constante, de modo que o êmbolo deve ser travado. A temperatura do reservatório térmico é reduzida lentamente e a pressão do gás diminui de  $p_a$  para o valor final  $p_f$ . Durante essa etapa, o sistema cede calor para o reservatório térmico.

Para o processo global **iaf**, o trabalho  $W$ , que é positivo e ocorre apenas durante o processo **ia**, é representado pela área sombreada sob a curva. A energia é transferida na forma de calor nas etapas **ia** e **af**, com uma transferência de

---

<sup>2</sup> A temperatura de um gás é aumentada lentamente em muitos experimentos e processos termodinâmicos para assegurar que o sistema permaneça em equilíbrio termodinâmico, ajudando a minimizar gradientes térmicos dentro do gás, e garantindo que o calor seja distribuído uniformemente. Processos rápidos tendem a ser não reversíveis, causando variações abruptas de pressão e temperatura internas, levando a perdas de energia por dissipação, que podem ser difíceis de quantificar ou controlar, podem também causar dilatações térmicas bruscas, levando a tensões estruturais nos recipientes que contêm o gás.

energia líquida  $Q$  (energia líquida é um termo que se refere ao balanço de energia resultante após considerar todas as entradas e saídas de energia em um sistema, ela representa a energia disponível após as perdas e ganhos ocorridos durante um processo).

Em (c), mostra um processo no qual os dois processos anteriores ocorrem em ordem inversa. O trabalho  $W$  nesse caso é menor que (b) e o mesmo acontece com o calor total absorvido. Em (d) mostra que é possível tornar o trabalho realizado pelo gás tão pequeno quanto se deseja (seguindo uma trajetória como  $icdf$ ) ou tão grande quanto se deseja (seguindo uma trajetória como  $ighf$ ).

O gráfico (e) mostra um exemplo no qual um trabalho negativo é realizado por um sistema, quando uma força externa comprime o sistema, reduzindo o volume, o valor absoluto do trabalho continua a ser igual à área sob a curva, mas, como o gás foi *comprimido*, o trabalho realizado pelo gás é negativo.

O gráfico (f) mostra um ciclo termodinâmico no qual o sistema é levado de um estado inicial  $i$  para um outro estado  $f$  e depois levado de volta para  $i$ . O trabalho total realizado pelo sistema durante o ciclo é a soma do trabalho positivo realizado durante a expansão com o trabalho negativo realizado durante a compressão. O trabalho total é positivo porque a área sob a curva de expansão (de  $i$  a  $f$ ) é maior do que a área sob a curva de compressão (de  $f$  a  $i$ ) (HALLIDAY, 2010, p. 439-442).

Em resumo, um sistema pode ser levado de um estado inicial para um estado final de um número infinito de formas e, em geral, o trabalho  $W$  e o calor  $Q$  têm valores diferentes em diferentes processos. Dizemos que o calor e o trabalho são grandezas que dependem da trajetória. Conclui-se que o trabalho realizado pelo sistema depende não somente dos estados inicial e final, mas também dos estados intermediários, ou seja, depende do caminho.

#### **4.7.14 Trabalho realizado por um gás ideal a temperatura constante**

Suponha que um gás ideal seja introduzido em um cilindro com um êmbolo, suponha também que permitimos que o gás se expanda de um volume inicial  $V_i$  para um volume final  $V_f$  mantendo constante a temperatura  $T$  do gás. Um processo desse

tipo, a uma temperatura constante, é chamado de **expansão isotérmica** (e o processo inverso é chamado de **compressão isotérmica**).

Em um diagrama  $p$ - $V$ , uma isoterma é uma curva que liga pontos de mesma temperatura. Assim, é o gráfico da pressão em função do volume para um gás cuja temperatura  $T$  é mantida constante. Para  $n$  mols de um gás ideal, é o gráfico da equação

$$P = nRT \frac{1}{V} = (\text{constante}) \frac{1}{V} \quad (28)$$

Para determinar o trabalho realizado por um gás ideal durante uma expansão isotérmica, começamos com a equação abaixo:

$$W = \int_{V_i}^{V_f} P dV \quad (29)$$

A equação acima é uma expressão geral para o trabalho realizado durante qualquer variação de volume de um gás. No caso de um gás ideal, podemos usar a  $PV = nRT$ , para eliminar  $P$ , o que nos dá:

$$W = \int_{V_i}^{V_f} \frac{nRT}{V} dV \quad (30)$$

Como estamos supondo que se trata de uma expansão isotérmica, a temperatura  $T$  é constante, de modo que podemos colocá-la do lado de fora do sinal de integração e escrever

$$W = nRT \int_{V_i}^{V_f} \frac{dV}{V} = nRT [\ln V]_{V_i}^{V_f} \quad (31)$$

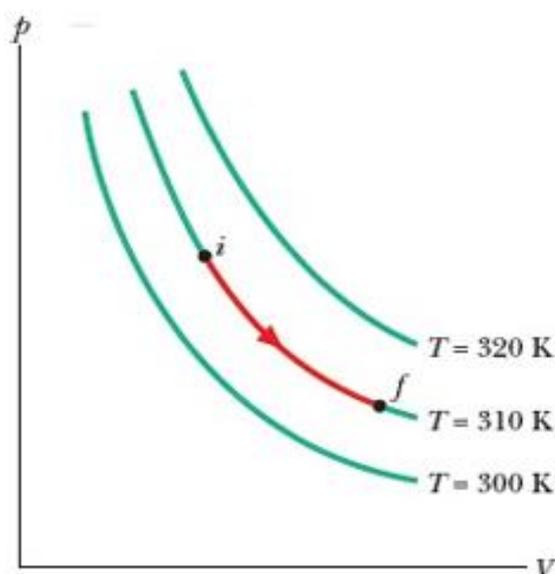
Calculando o valor da expressão entre colchetes nos limites indicados e usando a identidade  $\ln a - \ln b = \ln(a/b)$ , obtemos

$$W = nRT \ln \frac{V_i}{V_f} \quad (\text{gás ideal, processo isotérmico}) \quad (32)$$

A Figura de três isotermas em um diagrama  $P$ - $V$ , mostra cada uma isoterma correspondendo a um valor diferente (constante) de  $T$  (Observe que os valores de  $T$

das isotermas aumentam para cima e para a direita.) A expansão isotérmica do gás do estado  $i$  para o estado  $f$  a uma temperatura constante de 310 K está indicada na isoterma do meio.

Figura 11: Três isotermas em um diagrama  $p$ - $V$ .



Fonte: Halliday, 2010

A trajetória mostrada na isoterma central representa uma expansão isotérmica de um gás de um estado inicial  $i$  para um estado final  $f$ . A trajetória de  $f$  para  $i$  na mesma isoterma representa o processo inverso, ou seja, uma compressão isotérmica. Lembre-se de que o símbolo  $\ln^3$  indica que se trata de um logaritmo natural, de base  $e$ . No caso de uma expansão,  $V_f$  é maior do que  $V_i$ , de modo que a razão  $V_f/V_i$  é maior que 1. O logaritmo natural de um número maior do que 1 é positivo e, portanto, como era de se esperar, o trabalho realizado por um gás ideal durante uma expansão isotérmica é positivo. No caso de uma compressão,  $V_f$  é menor que  $V_i$ , de modo que a razão entre os volumes é menor que 1. Assim, como era de se esperar, o logaritmo natural nessa equação e, portanto, o trabalho  $W$ , é negativo, segundo Halliday (2010).

<sup>3</sup> Muitas vezes, em experimentos que envolvem isotermas, os dados de pressão e volume se comportam de maneira que, ao serem linearizados usando  $\ln$ , se tornam mais fáceis de interpretar e ajustar a modelos matemáticos. A relação entre pressão e volume em processos isotérmicos pode ser complexa, e aplicar o logaritmo natural simplifica a análise gráfica. Ele é usado, por exemplo, para interpretar isotermas de adsorção (fenômeno de superfície onde moléculas, átomos ou íons de um fluido se acumulam e se aderem à superfície, geralmente, de um sólido, formando uma camada fina), que descrevem como moléculas se adsorvem em superfícies sob temperatura constante, uma aplicação prática são as isotermas de Freundlich, que utilizam o  $\ln$  para modelar a relação entre a quantidade adsorvida e a pressão ou concentração.

#### 4.7.15 Trabalho realizado a volume constante e a pressão constante

A equação  $W = nRT \ln \frac{V_i}{V_f}$  não permite calcular o trabalho  $W$  realizado por um gás ideal em *qualquer* processo termodinâmico; ela só pode ser aplicada quando a temperatura é mantida constante. Se a temperatura varia, a variável  $T$  da equação não pode ser colocada do lado de fora do sinal de integração. Entretanto, podemos voltar para determinar o trabalho  $W$  realizado por um gás ideal (ou um gás real) durante qualquer processo, como os processos a volume constante e a pressão constante. Se o volume do gás é constante, a equação nos dá

$$W = 0 \quad (\text{processo a volume constante})$$

Se, em vez disso, o volume varia enquanto a pressão  $P$  do gás é mantida constante, obtemos a equação

$$W = P(V_f - V_i) = P\Delta V \quad (\text{processo a pressão constante}) \quad (33)$$

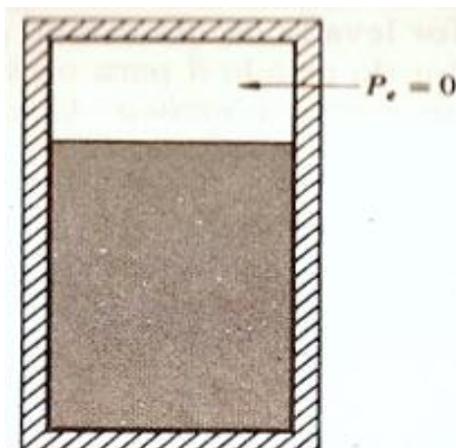
#### 4.7.16 Trabalho da configuração e trabalho dissipativo

O trabalho em um processo reversível é dado pelo produto de alguma variável intensiva (as variáveis intensivas são aquelas que independem da massa ou do tamanho do sistema) por alguma variável extensiva (as variáveis extensivas são aquelas que dependem da massa ou do tamanho do sistema). Seja  $Y$  qualquer uma destas variáveis intensivas e  $X$  a variável extensiva correspondente, no caso mais geral em que mais de um par de variáveis pode estar envolvido, temos

$$dW = Y_1 dX_1 + Y_2 dX_2 + \dots = \sum Y dX$$

As variáveis extensivas  $X_1, X_2, \dots$  (e assim por diante), determinam a configuração do sistema e o trabalho  $\sum Y dX$  é chamado de trabalho de configuração. É possível que a configuração de um sistema possa mudar sem realização de trabalho. Na figura de uma expansão livre de um gás, um recipiente está dividido em duas partes por um diafragma. O espaço acima do diafragma está evacuado, e a parte de baixo contém um gás.

Figura 12: expansão livre de um gás



Fonte: Sears e Salinger, 1979

Se o diafragma for perfurado, o gás se expandirá para a região evacuada e preencherá todo o recipiente. O estado final seria o mesmo, se o diafragma fosse um êmbolo muito leve, originalmente preso na posição do diafragma e, então, abandonado, o processo é conhecido como uma expansão livre. Uma vez que o espaço acima do diafragma está evacuado, a pressão externa  $P_e$  sobre o diafragma é nula. O trabalho em uma expansão livre, é portanto

$$W = \int P_e dV = 0 \quad (34)$$

O trabalho então é nulo, embora o volume do gás tenha aumentado.

Suponhamos agora, que um agitador tenha sido mergulhado em um fluido, e consideremos que o agitador e o fluido juntos formam um sistema. O agitador é preso a um eixo que atravessa a parede do recipiente e um torque externo é exercido sobre a parte externa do eixo, independentemente do sentido da rotação do eixo, o torque externo é sempre no mesmo sentido do deslocamento angular do eixo, e o trabalho do torque externo é sempre negativo, isto é, sempre é feito trabalho sobre o sistema composto pelo fluido e o agitador. Referimo-nos, então, ao trabalho como trabalho de agitação, ou geralmente, como trabalho dissipativo. Qualquer processo em que é realizado trabalho dissipativo, é irreversível.

No caso geral, tanto trabalho da configuração quanto o trabalho dissipativo podem ser realizados em um processo. O trabalho total no processo é definido como a soma algébrica do trabalho da configuração com o trabalho dissipativo. Se um

processo é para ser reversível, então o trabalho dissipativo deve ser nulo. Uma vez que um processo reversível é necessariamente quase estático, especificar que um processo é reversível, subentende que o processo é quase estático e que o trabalho dissipativo é nulo. Em um processo reversível então, o trabalho total é igual ao trabalho da configuração, segundo Sears e Salingers (1979).

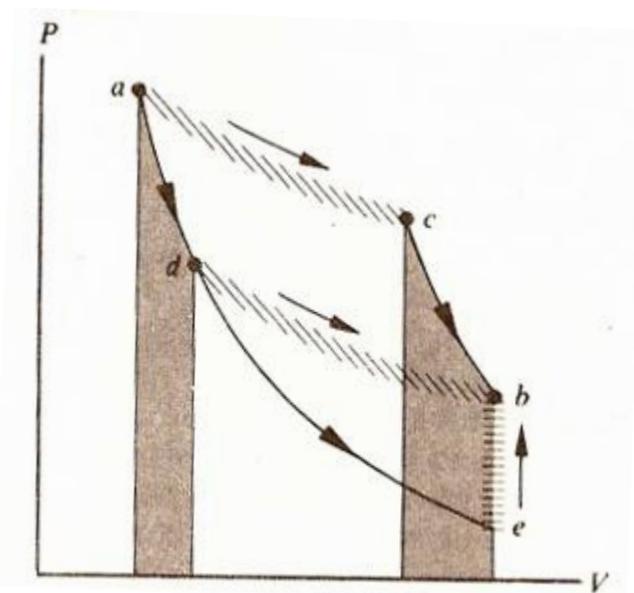
#### 4.7.17 Trabalho em um processo adiabático

Um processo adiabático é aquele no qual não ocorre transferência de calor nem para dentro, nem para fora do sistema, onde a troca de calor entre o sistema e a vizinhança é nulo ( $Q = 0$ ). Podemos impedir a transferência de calor fechando o sistema com um material isolante ou realizando o processo tão rapidamente que não haja tempo suficiente para ocorrer um fluxo de calor apreciável.

Na figura do gráfico do trabalho adiabático, o sistema, inicialmente no estado **a**, em primeiro lugar perfaz uma expansão adiabática livre (representado por uma linha hachurada) de **a** para **c**. Nenhum trabalho de configuração é realizado nesse processo e supomos que, não há trabalho dissipativo, o sistema, em seguida, perfaz uma expansão adiabática reversível para o estado **b**, neste processo, o trabalho da configuração é representado pela área sombreada sob a linha **cb**, e uma vez que o trabalho dissipativo é nulo em qualquer processo reversível, esta área sombreada representa o trabalho total no processo **a-c-b**.

Em um segundo processo, começando novamente no estado **a**, o sistema primeiramente perfaz uma expansão adiabática reversível para o estado **d**, sendo este estado escolhido de tal forma que a subsequente expansão livre (mais uma vez sem qualquer trabalho dissipativo) termine no estado **b**. O trabalho total no processo **a-d-b**, é então, representado pela área sombreada sob a curva **ad**. Embora os dois processos sejam muito diferentes, é um fato experimental que o trabalho, representado pelas duas áreas sombreadas, é o mesmo em ambos.

Figura 13: Gráfico do trabalho adiabático



Fonte: Sears e Salinger, 1979

O trabalho total  $W_{ad}$  em qualquer processo adiabático é a soma dos trabalhos  $dW_{ad}$  em qualquer estágio do processo:

$$W = \int_a^b dW_{ad} \quad (34)$$

Embora a diferencial  $dW$  seja para enfatizar que o trabalho em um processo infinitesimal é uma diferencial inexata<sup>4</sup>, e o trabalho  $W$  tenha valores diferentes para diferentes trajetórias (Trabalho é função de trajetória, não é função de ponto, e o trabalho em um processo não pode ser posto igual a diferença entre os valores de alguma propriedade de um sistema nos estados extremos de um processo), a diferencial  $dW_{ad}$  é exata<sup>5</sup> no sentido de que o trabalho é o mesmo ao longo de todas as trajetórias adiabáticas entre um dado par de estados que tenha a mesma energia cinética e a mesma energia potencial.

<sup>4</sup> Diferenciais inexatas, são diferenciais de funções que não são derivadas de uma função de estado específica e, portanto, não podem ser expressas como a variação exata de uma única função. Em termodinâmica, essas diferenciais são associadas a quantidades como calor e trabalho, que dependem do caminho percorrido pelo sistema entre dois estados e não apenas dos estados finais.

<sup>5</sup> Diferencial exata é aquela que pode ser escrita como a derivada de uma função de estado. Por exemplo, a energia interna, a entropia e o volume, têm diferenciais exatas, porque dependem apenas do estado inicial e final e não do caminho seguido.

#### 4.7.18 Primeira lei da termodinâmica

Há muitos processos diferentes pelos quais um sistema pode ser levado de um estado de equilíbrio para outro, e em geral o trabalho realizado pelo sistema é diferente em processos diferentes. De todos os possíveis estados, aproveitando que ele foi comentado anteriormente, vamos analisar, agora com mais detalhes, os adiabáticos, isto é, o sistema é envolvido por uma fronteira adiabática e sua temperatura é independente da temperatura das vizinhanças. A fronteira não precisa ser rígida, de modo, de modo que o trabalho de configuração pode ser realizado pelo sistema ou sobre sistema. Suponhamos também que possa, ter trabalho dissipativo sobre o sistema, e que não haja mudança na energia cinética e nem na energia potencial do sistema.

Na figura do trabalho adiabático, analisamos no capítulo anterior, os trabalho nos caminhos **a-c-b** e **a-d-b**. Analisaremos agora um terceiro processo possível, a expansão adiabática reversível, começando em **a**, é prolongada além do ponto **d** até o ponto **e**, no qual a configuração (neste caso o volume) é a mesma que no estado **b**, então, é realizado trabalho adiabático dissipativo sobre o sistema a configuração constante (por exemplo, um agitador é girado dentro do sistema) até que ele atinja o estado **b** (o trabalho dissipativo não é representado por uma área no diagrama). O trabalho total feito pelo sistema no processo **a-e-b** é igual ao trabalho da configuração feito pelo sistema no processo **a-e**, representado pela área sob a curva **a-e**, menos o trabalho dissipativo feito sobre o sistema no processo **e-b**. Encontra-se que esse trabalho total é o mesmo que o de cada um dos dois primeiros processos, e segue-se que o trabalho feito pelo sistema na expansão reversível de **d** para **e**, é igual ao trabalho feito sobre o sistema no processo dissipativo **e-b**.

Não se há de inferir que experimentos, tenham sido efetuados com alta precisão para todos os processos adiabáticos possíveis entre todos os pares de estados de equilíbrio possíveis. Entretanto, a estrutura inteira da termodinâmica, é consistente com a conclusão, que qualquer que seja a natureza do processo, “o trabalho total é o mesmo em todos os processos adiabáticos entre quaisquer dois estados de equilíbrio tendo a mesma energia cinética e a mesma energia potencial.” (Sears e Salinger, 1979, pág. 66).

O enunciado precedente é chamado de primeira lei da termodinâmica.

#### 4.7.19 Energia interna

É possível definir uma propriedade de um sistema, representada por  $U$ , tal que a diferença entre seus valores em um estado **a** e um estado **b**, seja igual ao trabalho total feito pelo sistema ao longo de qualquer trajetória adiabática de **a** para **b**. Esta propriedade é chamada de energia interna do sistema. O valor da energia interna (a menos de uma constante arbitrária que não afeta os valores de diferenças de energia interna) só depende do estado do sistema, e portanto,  $dU$  é uma diferencial exata. Convencionalmente define-se  $dU$  como trabalho adiabático  $dW_{ad}$  feito pelo sistema, mas com o sinal trocado, ou seja, como trabalho adiabático feito sobre o sistema. Assim,

$$dU = -dW_{ad} \quad (35)$$

Para dois estados cuja a diferença é finita,

$$\int_{U_a}^{U_b} dU = U_b - U_a = - \int_a^b dW_{ad} = -W_{ad} \quad (36)$$

Ou

$$U_a - U_b = W_{ad} \quad (37)$$

Isto é, o trabalho total feito pelo sistema em qualquer processo adiabático entre dois estados **a** e **b**, tendo as mesmas energias cinética e potencial, é igual ao decréscimo ( $U_a - U_b$ ) da energia interna do sistema. Assim, um gás se expandindo contra um êmbolo, em um processo adiabático, pode realizar trabalho, embora não haja variação da energia cinética ou potencial, o trabalho é realizado à custa da energia interna do gás. E assim como o trabalho, a unidade da energia interna é o Joule (J).

#### 4.7.20 Fluxo de calor

Consideremos agora processos entre um dado par de estados de equilíbrio que não são adiabáticos, isto é, o sistema não está termicamente isolado de suas vizinhanças, mas faz contato via uma fronteira não-adiabática com um ou mais

sistemas, cuja temperatura difere do sistema sob consideração. Nestas circunstâncias se diz que há um fluxo de calor  $Q$  entre o sistema e suas vizinhanças.

O fluxo de calor  $Q$  é definido quantitativamente em termos do trabalho em um processo como se segue. O trabalho total  $W$  em um processo não-adiabático entre um dado par de estados de equilíbrio difere de um processo para outro, e difere também do trabalho  $W_{ad}$  em um processo adiabático entre o mesmo par de estados. Defini-se o fluxo de calor  $Q$  para o sistema em qualquer processo como a diferença entre o trabalho  $W$  e o trabalho adiabático  $W_{ad}$ :

$$Q = W - W_{ad} \quad (38)$$

Dependendo da natureza do processo, o trabalho  $W$  pode ser maior ou menor que o trabalho adiabático  $W_{ad}$ , e portanto, o sinal algébrico de  $Q$  pode ser positivo ou negativo. Se  $Q$  for positivo, haverá um fluxo de calor para o sistema; se  $Q$  for negativo, haverá um fluxo de calor saindo do sistema. O fluxo de calor pode ser positivo em algumas partes do processo e negativa em outras. Então,  $Q$  é igual ao fluxo líquido de calor para o sistema.

Uma mudança reversível na temperatura de um sistema, pode ser descrita agora em termos de fluxo de calor. Se a temperatura de um sistema tem uma diferença apenas infinitesimal da temperatura das vizinhanças, o sentido do fluxo pode ser invertido por uma variação infinitesimal da temperatura do sistema, e o fluxo de calor é reversível.

Se um processo é adiabático, o trabalho  $W$  é simplesmente o trabalho adiabático  $W_{ad}$  temos que o fluxo de calor  $Q$  é nulo. Isto justifica a afirmativa de que uma fronteira adiabática pode ser descrita como aquela em que não há fluxo de calor que a atravesse, mesmo que haja diferença de temperatura entre as superfícies da fronteira. Uma fronteira adiabática é um isolador de calor ideal.

Desde que o trabalho adiabático, realizado por um sistema em um processo, a partir de um estado inicial  $\mathbf{a}$  para um estado final  $\mathbf{b}$ , seja por definição igual ao decréscimo da energia interna do sistema,  $U_a - U_b$ , temos

$$U_b - U_a = Q - W \quad (39)$$

A diferença  $U_b - U_a$  é o acréscimo na energia interna, a equação acima afirma que o acréscimo na energia interna de um sistema, em qualquer processo em que não

há variação das energias cinética e potencial do sistema, é igual ao fluxo líquido de calor  $Q$  menos o trabalho total  $W$  realizado pelo sistema.

Se o fluxo de calor e o trabalho são ambos muito pequenos, a variação da energia interna é muito pequena também, assim temos

$$dU = dQ - dW \quad (40)$$

A equação  $U_b - U_a = Q - W$ , ou sua forma diferencial  $dU = dQ - dW$ , é comumente denominada a formulação analítica da primeira lei da termodinâmica, de fato, estas equações nada mais são do que as definições de  $Q$  e  $dQ$ . Ressaltando que o verdadeiro significado da primeira lei está na afirmativa de que o trabalho é o mesmo em todos os processos adiabáticos entre quaisquer dois estados de equilíbrio tendo a mesma energia cinética e a mesma energia potencial.

Para um dado par de estados inicial e final, os valores de  $(U_b - U_a)$ , ou de  $dU$ , são os mesmos para todos os processos entre os estados. Entretanto, como vimos, os valores de  $W$  ou de  $dW$  são diferentes para processos diferentes, e conseqüente os fluxos de calor  $Q$  ou  $dQ$  são diferentes também. Assim  $dQ$ , do mesmo modo que  $dW$ , é uma diferencial inexata, e  $Q$  não é propriedade de sistema algum. O calor, como o trabalho, é uma função de trajetória e não uma função de ponto, e só tem significado em conexão com um processo. O fluxo líquido de calor  $Q$ , para um sistema em qualquer processo entre estados **a** e **b**, é a soma dos  $dQ$  em cada estágio do processo, e podemos escrever

$$Q = \int_a^b dQ \quad (41)$$

Entretanto, como para o trabalho  $W$  em um processo, não podemos fazer a integral igual a diferença entre os valores de alguma propriedade do sistema nos estados inicial e final. Assim, suponhamos que, arbitrariamente, tomássemos algum estado de referência de um sistema e atribuíssemos um valor  $Q_0$  ao calor no sistema, neste estado de referência. O calor em algum outro estado seria então igual ao calor  $Q_0$  mais o fluxo de calor  $Q$  para o sistema em um processo indo do estado de referência para este outro estado. Mas o fluxo de calor é diferente para diferentes processos

entre os estados, e é impossível atribuir qualquer valor definido ao calor no segundo estado.

#### 4.7.21 Forma geral da 1ª lei da termodinâmica

Até o momento consideramos somente processos em que as energias cinética e potencial permanecem constante. De modo mais geral, a energia interna de um sistema, assim como a sua energia cinética, pode variar em um processo, e pode variar como resultado de um fluxo de calor para o sistema, assim como pela realização de trabalho. Então temos

$$\Delta U + \Delta E_c = Q - W \quad (42)$$

Se atuam sobre o sistema forças conservativas, o sistema tem uma energia potencial, e o trabalho das forças conservativas (na convenção de sinais da termodinâmica) é igual a variação da energia potencial  $\Delta E_p$ . Vamos definir uma grandeza  $W^*$  como o trabalho total  $W$  menos o trabalho  $W_c$  das forças conservativas:

$$W^* = W - W_c \quad \text{ou} \quad W = W^* + W_c$$

Então,

$$\Delta U + \Delta E_c = Q - W^* - W_c \quad (43)$$

Substituindo  $W_c$  pela variação de energia potencial, obtemos

$$\Delta U + \Delta E_c + \Delta E_p = Q - W^* \quad (44)$$

Dessa forma, temos a energia total  $E$  de um sistema, como a soma de sua energia interna, sua energia cinética e sua energia potencial:

$$E = U + E_c + E_p$$

Logo,

$$\Delta E = \Delta U + \Delta E_c + \Delta E_p$$

E finalmente se  $E_b$  e  $E_a$  representam os valores final e inicial da energia total de um processo,

$$\Delta E = E_b - E_a = Q - W^* \quad (45)$$

Se o fluxo de calor e o trabalho forem pequenos,

$$dE = dQ - dW^* \quad (46)$$

A equação acima é por muitas vezes mencionadas como a forma geral da primeira lei da termodinâmica, mas é melhor denominá-la de generalizações do teorema do trabalho-energia da mecânica, isto é, os princípios da termodinâmica generalizam este teorema pela inclusão da energia interna  $U$  de um sistema, bem como de suas energias cinética e potencial, e pela inclusão do fluxo de calor  $Q$  para o sistema, assim como do trabalho  $W^*$ . Assim, a variação da energia total  $\Delta E$  de um sistema é igual ao fluxo de calor  $Q$  para o sistema menos o trabalho  $W^*$  feito pelo sistema, excluído o trabalho de qualquer uma das forças conservativas.

Se as energias cinética e potencial forem constantes  $\Delta E = \Delta U$  e  $W = W^*$ , de modo que voltamos para a equação anteriormente mencionada,

$$dU = dQ - dW \quad (47)$$

Se um sistema estiver completamente isolado, isto é, se estiver envolto por uma fronteira rígida e adiabática, e sobre ele atuarem somente forças conservativas, o fluxo de calor  $Q$  e o trabalho  $W^*$  serão ambos nulos. Então,  $\Delta E = 0$  e a energia total do sistema permanecerá constante. Esta é a forma generalizada do princípio da conservação da energia: a energia total de um sistema isolado é constante. No caso especial em que as energias cinética e potencial são constantes, como para um sistema em repouso no laboratório, a energia interna é constante.

#### 4.7.22 Alguns Casos Especiais da Primeira Lei da Termodinâmica

Vamos agora examinar quatro processos termodinâmicos diferentes para verificar o que acontece quando aplicamos a esses processos a primeira lei da termodinâmica.

**1.Processos adiabáticos.** Processo adiabático é aquele que acontece tão depressa ou em um sistema tão bem isolado que não há trocas de calor entre o sistema e o ambiente. Fazendo  $Q = 0$  na primeira lei, obtemos

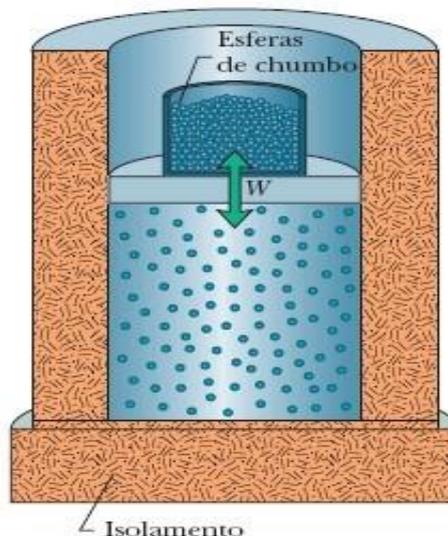
$$\Delta U = -W \quad (48)$$

Se o sistema realiza trabalho sobre o ambiente (ou seja, se  $W$  é positivo), a energia interna do sistema diminui de um valor igual ao do trabalho realizado. Se, por outro lado, o ambiente realiza trabalho sobre o sistema (ou seja, se  $W$  é negativo), a energia interna do sistema aumenta de um valor igual ao trabalho realizado.

A Figura de uma expansão adiabática abaixo, mostra um processo adiabático. Como o calor não pode entrar no sistema ou sair do sistema por causa do isolamento, a única troca possível de energia entre o sistema e o ambiente é por meio de trabalho. Se removemos esferas de chumbo do êmbolo e deixamos o gás se expandir, o trabalho realizado pelo sistema (o gás) é positivo e a energia interna diminui. Se, em vez disso, acrescentamos esferas e comprimimos o gás, o trabalho realizado pelo sistema é negativo e a energia interna do gás aumenta.

Figura 14: Uma expansão adiabática

Removendo algumas esferas de chumbo, permitimos que o gás se expanda sem transferência de calor.



Fonte: Halliday, 2010

2. **Processos a volume constante.** Se o volume de um sistema (um gás, em geral) é mantido constante, o sistema não pode realizar trabalho. Fazendo  $W = 0$  na primeira lei, obtemos

$$\Delta U = Q \quad (49)$$

Assim, se o sistema recebe calor (ou seja, se  $Q$  é positivo), a energia interna do sistema aumenta. Se, por outro lado, o sistema cede calor (ou seja, se  $Q$  é negativo), a energia interna do sistema diminui.

3. **Processos cíclicos.** Existem processos nos quais, após certas trocas de calor e de trabalho, o sistema volta ao estado inicial. Nesse caso, nenhuma propriedade intrínseca do sistema (incluindo a energia interna) pode variar. Fazendo  $\Delta U = 0$  na primeira lei, obtemos

$$Q = W \quad (50)$$

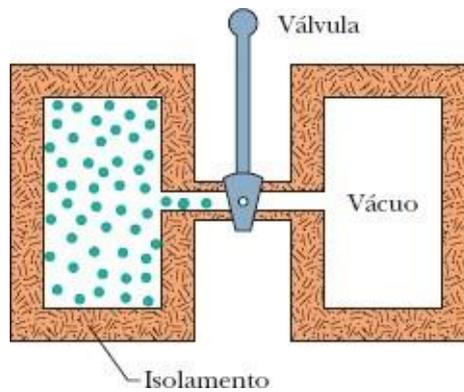
Assim, o trabalho total realizado durante o processo é exatamente igual à quantidade de energia transferida na forma de calor; a energia interna do sistema permanece a mesma. Os processos cíclicos representam uma trajetória fechada no diagrama  $p$ - $V$ .

4. **Expansões livres.** São processos nos quais não há troca de calor com o ambiente e nenhum trabalho é realizado. Assim,  $Q = W = 0$  e, de acordo com a primeira lei,

$$\Delta U = 0 \quad (51)$$

A Figura expansão livre abaixo, mostra de que forma esse tipo de expansão pode ocorrer. Um gás, cujas moléculas se encontram em equilíbrio térmico, está inicialmente confinado por uma válvula fechada em uma das duas câmaras que compõem um sistema isolado; a outra câmara está vazia. A válvula é aberta e o gás se expande livremente até ocupar as duas câmaras. Nenhum calor é transferido do ambiente para o gás ou do gás para o ambiente por causa do isolamento. Nenhum trabalho é realizado pelo gás porque ele se desloca para uma região vazia e, portanto, não encontra nenhuma resistência (pressão) na segunda câmara.

Figura 15: expansão livre



Fonte: Halliday, 2010

Uma expansão livre é diferente dos outros processos porque não pode ser realizada lentamente, de forma controlada. Em consequência, durante a expansão abrupta, o gás não está em equilíbrio térmico e a pressão não é uniforme. Assim, embora os estados inicial e final possam ser mostrados em um diagrama  $p-V$ , não podemos desenhar a trajetória da expansão. (HALLIDAY, 2010, p. 443-444).

## 5 IMPLEMENTAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Neste capítulo é feito um relato da implementação, em julho de 2023, do produto educacional (apêndice A).

### **Primeira aula - Apresentação da sequência didática e análise de conhecimentos prévios**

Iniciamos a aula com a identificação do conteúdo potencialmente significativo (seleção do conteúdo que se deseja ensinar, considerando o conhecimento prévio dos alunos e sua relevância para a vida cotidiana), comentando sobre a proposta de trabalho, salientando a importância da participação e empenho da turma para alcançar seus objetivos. Em grande maioria, os alunos afirmaram gostar da ideia, pois estariam tendo relação com os conceitos alvos abordados e práticas do cotidiano, saindo de uma aula meramente tradicional. Outros poucos, porém, acharam isso estranho por, seguramente, estarem habituados com as aulas tradicionais. Mas, de forma geral, os alunos presentes se comprometeram em participar ativamente.

Em consonância com os referenciais teóricos, usamos questionamentos pertinentes aos conceitos alvos, onde tais questões foram expostos no quadro branco, para a análise da turma, com a finalidade de levantar o conhecimento prévio dos alunos. Os discentes foram indagados com os seguintes questionamentos: Alguém sabe cozinhar? Alguém sabe os tipos de panelas que podemos usar na cozinha? Qual a diferença entre elas? Em geral, como é a estrutura de uma panela de pressão? A indagação aos alunos também abordou conceitos-chaves para o desenvolvimento da sequência didática como: temperatura, calor, pressão, transmissão de calor, propriedades de um gás, teoria cinética molecular, primeira lei da termodinâmica e transformações gasosas. Durante esta primeira etapa, foi percebido uma dificuldade por parte dos alunos em identificar determinadas relações entre as grandezas físicas, assim como também em conceituá-las e diferenciá-las. Inicialmente muitos alunos ficaram apreensivos. Aproveitamos a situação para explicar a importância do conhecimento prévio dos discentes no processo de ensino-aprendizagem.

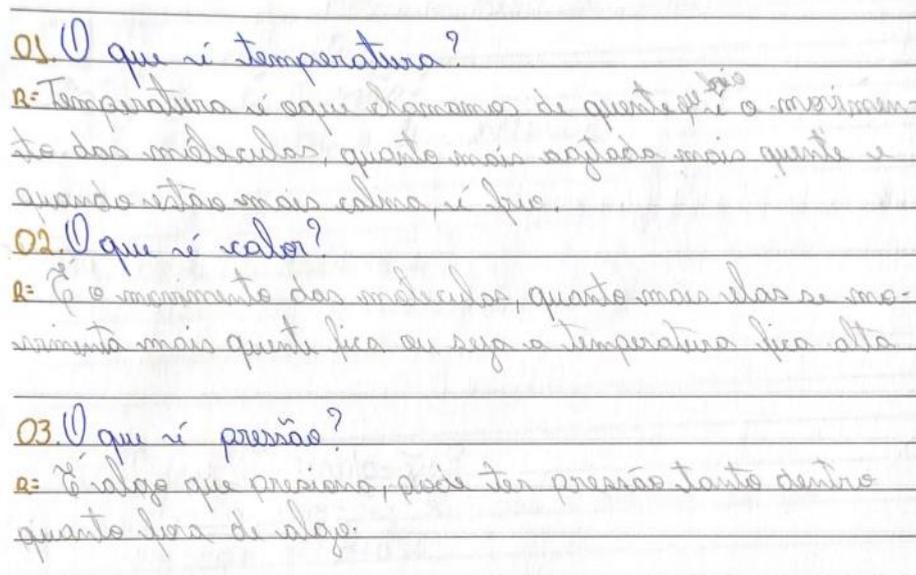
Figura 16: abordagem inicial



Fonte: imagem do autor

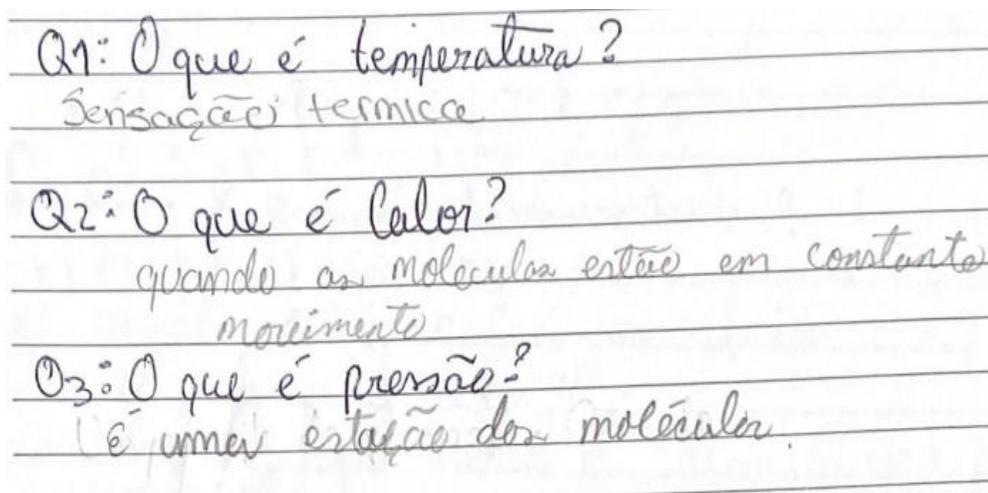
Destacamos alguns comentários dos alunos nesta abordagem inicial: “temperatura é quando alguma coisa está quente ou fria”; “temperatura é calor”; “calor é quando queima”; “calor é o que vem do sol”. “pressão é uma força”; “pressão é quando empurramos algo”; “gases são vapores”; “transformações gasosas acontece quando o gás aquece ou resfria”. Também se torna interessante destacar que durante o levantamento dos questionamentos, e após algumas respostas, o debate não ficou fixo apenas entre o professor e alunos, mas se disseminou entre os próprios alunos. Com isso, após a análise das devolutivas dos alunos e os resultados das discussões em sala de aula, conseguimos dimensionar os conhecimentos prévios dos alunos antes de iniciarmos o desenvolvimento da sequência didática. Além disso, também solicitamos que respondessem alguns questionamentos, individualmente em uma folha de papel, referentes a conceitos sobre temperatura, calor e pressão. Podemos observar algumas devolutivas nas imagens das respostas sobre conceitos da termodinâmica (1) e (2) abaixo.

Figura 17: respostas sobre conceitos da termodinâmica (1)



Fonte: imagem do autor

Figura 18: repostas sobre conceitos da termodinâmica (2)



Fonte: imagem do autor

Nesse primeiro momento de aplicação dessa UEPS, de acordo com MOREIRA (2005), buscamos definir o tópico específico a ser abordado, identificando seus aspectos declarativos e procedimentais tais como aceitos no contexto do objeto alvo de ensino na qual se insere esse tópico;

## Segunda aula – Leitura de informativo técnico sobre panela de pressão e Princípios de funcionamento.

Esta aula foi desenvolvida a partir de uma organização do conteúdo de forma sequencial e progressiva, com a perspectiva de uma estruturação do conteúdo em uma sequência lógica que permita a construção gradual do conhecimento, partindo do simples para o complexo. Sendo assim, iniciamos essa etapa com um breve experimento, envolvendo porções de água com temperaturas diferentes, além de corante, com a finalidade de retomar, organizar e relacionar conceitos da aula inicial. Durante a realização deste experimento foi adicionado água a uma temperatura próxima de 100 °c em um frasco de vidro e em outro frasco, também de vidro, foi adicionado água a uma temperatura próxima de 20 °c, e em ambos os recipientes adicionou-se corante, com a finalidade de perceber o comportamento das moléculas, conforme se percebe na imagem do experimento sobre o comportamento molecular abaixo.

Figura 19: experimento sobre o comportamento molecular



Fonte: imagem do autor

Os alunos conseguiram perceber que na porção de água com maior temperatura, o corante adicionado se disseminou com maior rapidez, comparado com a porção de água de menor temperatura, em seguida foram questionados porque isto ocorria, e a maioria dos alunos comentaram que tal situação acontecia devido as

moléculas estarem mais agitadas na porção de água de maior temperatura, enquanto que na água a 20 °c comentaram que o corante demorou para se espalhar, devido ao fato de as moléculas de água possuírem menor agitação molecular. Também foram questionados sobre a influência da agitação molecular em relação a pressão em um recipiente fechado, como por exemplo a própria panela de pressão, metade da turma se silenciou, enquanto que os demais responderam: “quanto mais as moléculas se movimentam, mais forte a panela é empurrada de dentro para fora”. Em seguida, as respostas foram ponderadas e debatidas em sala, afim de que atingisse um potencial de cognição da turma sobre grandezas termodinâmicas fundamentais.

Ainda nesta aula, a turma foi dividida em 3 grupos, cada grupo com 5 alunos, onde cada grupo recebeu uma apostila que se caracterizava por ser um informativo técnico sobre a panela de pressão (disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1isva3Vxjeic5EOAJqWgvjs4wKqgJ136v/view?usp=sharing>). Após a leitura, foi realizado um debate interno de cada grupo, para uma maior socialização entre os grupos, ocorrendo na aula posterior, os grupos tiveram também que responder algumas perguntas fixadas na apostila. A primeira pergunta era sobre qual tipo de panela está mais associada ao risco de acidente? E por quê? A segunda questão perguntava por que é importante observar se a panela de pressão possui o selo do INMETRO? . Na questão três, os alunos tiveram que responder quais os alimentos que normalmente são cozinhados com auxílio da panela de pressão? E por quê? Na questão quatro foi perguntado se a panela de pressão pode explodir e por quê? Já na última questão, que foi exposta no quadro, foi perguntado sobre quais grandezas físicas estavam presentes no uso da panela de pressão? E qual relação entre elas?

Esse encontro está vinculado a etapa de uma UEPS onde deve-se propor situação(ções) aos discentes, como discussão, questionário, mapa conceitual, mapa mental, situação-problema, dentre outras, que leve(m) o aluno a externalizar seu conhecimento prévio, aceito ou não-aceito no contexto do objeto alvo de ensino, supostamente relevante para a aprendizagem significativa do tópico em pauta.

**Terceira aula – Respostas das perguntas do informativo técnico e debate entre os grupos.**

Para uma melhor análise vamos definir os três grupos, como grupo **A**, grupo **B** e grupo **C**. Na primeira pergunta, que abordava sobre qual tipo de panela está mais associada ao risco de acidente? E por quê? A resposta de todos os grupos foi: “a panela mais fácil de ter acidentes é a panela de pressão, devido a sua pressão estar alta”. A segunda questão, que perguntava por que é importante observar se a panela de pressão possui o selo do INMETRO? É interessante ressaltar que nesse momento os alunos questionaram o que viria a ser o INMETRO, pois desconheciam sobre, e após algumas observações e orientações do docente sobre este órgão, todos os grupos responderam que ele é de fundamental importância para evitar acidentes. Na questão três, os alunos tiveram que responder quais os alimentos que normalmente são cozinhados com auxílio da panela de pressão? E por quê? Na resposta dos grupos, os alimentos comentados foram feijão, carne, macaxeira e frango. E os grupos **A** e **B**, também comentaram: “que esses alimentos, para seu cozimento, tinham que usar a panela de pressão, porque eram mais fácil para amolecerem”. Já na última questão foi perguntado se a panela de pressão pode explodir e por quê? Os grupos **A**, **B** e **C** em concordância afirmaram que sim, justificando que ao decorrer do tempo, em detrimento do cozimento de determinado alimento, a pressão no interior da panela iria se elevando, até atingir um ponto em que a panela não suportaria um certo valor de pressão.

Figura 20: debate sobre o informativo técnico



Fonte: imagem do autor

Foi salientado pelo docente, ao término da aula, que uma panela de pressão pode explodir por diversas razões, mas geralmente isso acontece devido a falhas no dispositivo de segurança, como a válvula de pressão (principal), válvula de segurança ou o anel de vedação, onde muito das vezes ocorre por obstruções de alimentos nessas regiões, evitando seu correto funcionamento, por tanto a higienização adequada deste dispositivo sempre dar-se-á necessária, afim de se ter maior segurança no seu manuseio. Quando a pressão dentro da panela não é liberada adequadamente, ela pode acumular-se a níveis perigosos, levando à explosão da panela. Outras causas podem incluir o uso incorreto da panela, como sobrecarregá-la ou abrir antes que a pressão tenha sido completamente liberada. É extremamente importante seguir as instruções de uso da panela de pressão para garantir a segurança durante o cozimento. Ao utilizar uma panela de pressão, é essencial tomar certos cuidados para garantir a segurança. Foram destacadas algumas precauções importantes:

1. **Leia o manual:** Antes de usar a panela de pressão, leia atentamente o manual de instruções para entender seu funcionamento e quaisquer precauções específicas.
2. **Não sobrecarregue:** Não encha a panela de pressão até a borda. Deixe espaço suficiente para que os alimentos possam expandir durante o cozimento sob pressão.
3. **Use líquido suficiente:** Certifique-se de adicionar líquido suficiente (como água, caldo, etc.) para gerar vapor e criar pressão. Não cozinhe alimentos secos na panela de pressão, pois isso pode causar superaquecimento.
4. **Verifique a vedação:** Antes de usar, verifique se a vedação da panela e a válvula de segurança estão em boas condições. Se houver sinais de desgaste ou danos, substitua-os imediatamente.
5. **Posicione corretamente:** Certifique-se de que a tampa esteja corretamente posicionada e travada antes de ligar o fogão.
6. **Use a quantidade correta de calor:** Use apenas a quantidade de calor necessária para manter a pressão. Reduza o calor se a pressão aumentar muito rapidamente.

7. **Mantenha a ventilação limpa:** Verifique regularmente e limpe quaisquer obstruções na válvula de pressão e na válvula de segurança para garantir que elas funcionem corretamente.
8. **Não force a abertura:** Não force a abertura da panela enquanto estiver sob pressão. Espere até que toda a pressão seja liberada naturalmente antes de tentar abrir.
9. **Resfrie antes de abrir:** Após o cozimento, deixe a panela esfriar por alguns minutos antes de abrir a tampa para evitar queimaduras por vapor quente.
10. **Mantenha fora do alcance de crianças:** Mantenha a panela de pressão fora do alcance de crianças quando estiver em uso ou depois de ser usada, pois partes dela ainda podem estar quentes.

Salientamos que seguindo essas precauções, pode-se minimizar os riscos associados ao uso da panela de pressão e garantir uma experiência de cozimento com maior segurança.

Esse momento se baseia, em uma etapa da UEPS, em propor situações-problema, em nível bem introdutório, levando em conta o conhecimento prévio do aluno, que preparem o terreno para a introdução do conhecimento (declarativo ou procedimental) que se pretende ensinar, estas situações problema podem envolver, desde já, o tópico em pauta, mas não para começar a ensiná-lo; tais situações-problema podem funcionar como organizador prévio, são as situações que dão sentido aos novos conhecimentos, mas, para isso, o aluno deve percebê-las como problemas e deve ser capaz de modelá-las mentalmente. Estas situações-problema iniciais podem ser propostas através de simulações computacionais, demonstrações, vídeos, problemas do cotidiano, representações veiculadas pela mídia, problemas clássicos da matéria de ensino, etc., mas sempre de modo acessível e problemático, não como exercício de aplicação rotineira de algum algoritmo.

#### **Quarta aula – Nova situação-problema, em um nível de maior grau de complexidade.**

Neste encontro apresentamos a turma uma nova situação-problema, em nível mais alta de complexidade, sendo iniciado com uma breve revisão do que foi discutido

na aula anterior, salientando todos os cuidados e medidas que devem ser adotados para a segurança de todos. Na sequência, os mesmos grupos (**A**, **B** e **C**) da aula anterior, foram novamente formados, propondo para estes, de que forma podem proceder e se organizarem para realizar o cozimento de 400 gramas de feijão, utilizando apenas 25 minutos de gás de cozinha, sendo proporcionando a cada grupo, uma panela de pressão, um fogão, uma tábua, talheres, fornecimento de gás de cozinha e diversos temperos para o preparo, onde a turma foi instigada a escolher tais temperos, optando por: tomate, cebola, pimentinha, cheiro verde, páprica doce, colorau, pimenta-do-reino, couve, açafrão, sal, abóbora, charque, calabresa, bacon, folha de louro, cominho, azeite de oliva e cebolinha.

Também é importante salientar que o feijão utilizado( feijão carioca), ficou imerso em água durante um tempo de 4 horas, antes do cozimento, sendo que tal sugestão foi feita pelos próprios discentes. Dessa forma, abordamos que deixar o feijão de molho(imerso em água) antes do cozimento oferece várias vantagens, como a redução do tempo de cozimento, pois o feijão seco pode levar bastante tempo para cozinhar completamente. Ao deixá-lo de molho, ocorre uma reidratação dos grãos, o que reduz significativamente o tempo necessário para o cozimento. Facilita a digestão, devido ao processo de molho ajuda a quebrar e remover alguns dos oligossacarídeos complexos presentes no feijão, esses compostos podem ser difíceis de digerir e podem causar desconforto gastrointestinal, como gases e inchaço. Deixar o feijão de molho ajuda a torná-lo mais fácil de digerir. Redução de fatores antinutricionais, pois o feijão contém alguns fatores antinutricionais, como fitatos e lectinas, que podem interferir na absorção de nutrientes pelo corpo, deixá-lo imerso na água ajuda a reduzir a quantidade desses compostos, tornando os nutrientes do feijão mais disponíveis para absorção. Melhora a textura, porque ajuda a garantir que os grãos cozinhem de maneira uniforme, resultando em uma textura mais macia e agradável.

Sendo assim, após ressaltar inúmeras vezes todos os cuidados, no manuseio de talheres, na utilização do fogão, no uso da própria panela de pressão, no planejamento e organização que cada grupo deve ter no momento do preparo do feijão, além de observarem em uma perspectiva científica, relações entre grandezas termodinâmicas, como temperatura, pressão, calor, energia interna e volume específico da substância. Assim, foi apresentado à turma, pelo corpo docente, aspectos gerais da termodinâmica e suas aplicações, e as transformações gasosas envolvendo suas principais

característica. Finalizamos esta quarta etapa organizando e preparando todos os materiais para os grupos utilizarem na etapa seguinte, como se pode perceber na imagem da organização dos materiais pelos docentes Diego Lima e Emanuel Sampaio.

Figura 21: organização dos materiais



Fonte: imagem do autor

Esse encontro está associado a etapa de uma UEPS, onde uma vez trabalhadas as situações iniciais, deve-se apresentar o conhecimento a ser ensinado/aprendido, levando em conta a diferenciação progressiva, começando com aspectos mais gerais, inclusivos, dando uma visão inicial do todo, do que é mais importante na unidade de ensino, mas logo exemplificando, abordando aspectos específicos.

#### **Quinta aula – Preparo do feijão em uma perspectiva científica. Observando grandezas termodinâmicas envolvidas e suas relações.**

Os alunos estavam muito ansiosos para a realização desta etapa, pois é nela onde se percebeu maior evidência em sua protagonização no processo de ensino-aprendizagem. Inicialmente os alunos, em seus respectivos grupos (**A**, **B** e **C**), foram novamente orientados sobre todas as cautelas que deveriam possuir nos procedimentos durante o preparo do feijão, a fim de se obter um ambiente de maior segurança, em seguida cada grupo recebeu os itens, descritos na quarta etapa, para realizar tal preparo, ainda lembramos que eles tinham um determinado tempo para

entregar o feijão cozido (25 minutos de cozimento acrescidos de 10 minutos de organização, higienização e corte dos diversos temperos).

Após as devidas ponderações, os discente iniciaram a prática experimental. Observou-se de início que todas as equipes dividiram seus membros para realizar cada etapa do processo, com a finalidade de otimizar o preparo do alimento em detrimento do tempo disposto. Foi perceptível que duas equipes (grupos **A** e **B**) estavam realizando as etapas do processo de maneira semelhante, pois ambas começaram higienizando e cortando os temperos, para em seguida adicioná-los juntamente com o feijão na panela de pressão, com o intuito de refogá-los, posteriormente adicionaram uma porção de água e vedaram a panela de pressão com sua tampa. Enquanto isso, o grupo restante ( grupo **C**), adotou uma estratégia diferente, pois na medida em que alguns integrantes da equipe realizavam a higienização e corte dos temperos, outro componente da equipe já estava colocando uma porção de água na panela de pressão para aquecê-la, agilizando o processo. Podemos perceber os discentes em ação na sequência de imagens a seguir, que são de organização das equipes, do corte dos temperos e do preparo de feijão.

Figura 22: organização das equipes



Fonte: imagem do autor

Figura 23: corte dos temperos



Fonte: imagem do autor

Figura 24: preparo do feijão



Fonte: imagem do autor

Durante a prática experimental, principalmente no período da espera do cozimento do feijão, as equipes foram indagadas sobre algumas propriedades termodinâmicas envolvidas no processo, questionando-as da seguinte forma: Por que a panela de pressão é diferente das demais? Qual função da válvula principal e a

válvula de segurança da panela? Qual a temperatura de ebulição da água em condições normais (1 ATM), e qual a temperatura de ebulição da água no interior da panela de pressão, durante seu manuseio? Qual relação percebe-se entre temperatura e pressão? Explique a diferença entre vapor de água e gás de Água? O que acontece com a pressão no interior da panela, antes e após a saída de vapor pela válvula principal? Qual a vantagem de se reduzir a intensidade da chama do fogão, no momento que se inicia a saída do vapor? Por que, após determinado tempo de cozimento do feijão, não se consegue remover a tampa da panela de pressão, imediatamente após a sua retirada da chama do fogão? Por que ao molhar a panela, posicionando-a embaixo da torneira, se torna mais fácil a remoção da tampa?

A imagem da indagação sobre conceitos e relações termodinâmicas durante a prática experimental, abaixo, mostra o momento dessa interação com os alunos.

Figura 25: indagação sobre conceitos e relações termodinâmicas durante a prática experimental



Fonte: imagem do autor

Vamos relatar então as respostas dos grupos, em relação as perguntas acima. No questionamento inicial, sobre por que a panela de pressão é diferente das demais, todos os grupos responderam que se deve a grandeza pressão, por ser mas elevada que nas demais panelas, facilitando o processo de cozimento. Enquanto sobre o questionamento da finalidade da válvula principal e da válvula de segurança, o grupos **A**, **B** e **C** responderam que elas possuem o objetivo de limitar a pressão interna da panela, ainda nessa análise, o grupo **C** concluiu dizendo que sempre é importante

realizar a devida higienização da panela, para evitar que tais válvulas fiquem obstruídas por restos alimentares, o que poderia torná-las ineficientes, potencializando um acidente no seu manuseio. Já com relação a temperatura de ebulição da água, os grupos **A** e **C** responderam que em condições normais a água entra em ebulição à 100 °C, porém dentro da panela comentaram que a ebulição ocorre em um valor maior que 100 °C, mas não sabiam à qual valor de temperatura isso ocorria. O grupo **B** também respondeu que a temperatura de ebulição da água em condições normais é de 100 °C, e que no interior da panela, no momento que inicia a saída de vapor pe válvula, a ebulição da água ocorre à 120 °C.

No que tange a relação entre temperatura e pressão, todos os grupos responderam em concordância, pois disseram que com o aumento da temperatura, a pressão também se elevava. Nesse momento foram feitas algumas intervenções, comentando sobre a influência da pressão na temperatura de ebulição da água, assim como também sobre a influência da altitude na pressão atmosférica, e que na relação entre pressão e temperatura no interior da panela de pressão, relatada pelos discentes, ocorria na fase em que antecedia o acionamento da válvula principal, mantendo dessa forma o volume do gás constante.

Em relação à diferença entre vapor de água e gás de água, os três grupos afirmaram que a distinção deve-se ao fato de o vapor de água possuir maior temperatura, aproveitamos esse momento para comentar sobre as características de um gás ideal, onde foi mencionado que é um modelo teórico usado para descrever o comportamento dos gases sob condições ideais, tendo como características de um gás ideal a ausência de volume das moléculas (as moléculas de um gás ideal são consideradas pontos sem volume, isso significa que toda a massa do gás está concentrada em pontos sem dimensões espaciais); a ausência de forças de atração entre moléculas (no modelo do gás ideal, presume-se que não há forças de atração entre as moléculas de gás, exceto durante colisões, isso implica que as moléculas se movem livremente e não interagem significativamente umas com as outras); as colisões perfeitamente elásticas (as colisões entre as moléculas de um gás ideal e as paredes do recipiente que o contém são consideradas perfeitamente elásticas, o que significa que não há perda de energia cinética durante as colisões, após a colisão, as moléculas continuam se movendo com a mesma energia cinética que tinham antes da colisão); a relação Linear entre Variáveis (as variáveis de estado de um gás ideal,

pressão, volume, temperatura e quantidade de substância, estão relacionadas pela equação dos gases ideais, que é  $PV = nRT$ ).

Sobre essa perspectiva, enfatizamos sobre as leis dos gases, descrevendo assim seu comportamento e de como suas variáveis de estado estão relacionadas entre si. Foi importante ressaltar que o modelo do gás ideal é uma simplificação e que nenhum gás real se comporta exatamente como um gás ideal em todas as condições. Dessa forma, mencionamos que apesar de estarmos trabalhando com vapor, usufruir do modelo do gás ideal é extremamente útil para compreender e prever o seu comportamento em diversas situações. Com relação ao comportamento do gás antes da saída de vapor pela válvula, todos os grupos responderam que nesse momento a pressão interna se eleva, já no momento em que se inicia a saída de vapor, o grupo **A** respondeu que a pressão diminui, enquanto os grupos **B** e **C** responderam que a pressão se reduz. Nesse momento intervimos, realizando uma analogia dessa etapa da prática experimental (saída vapor pela válvula), com a termodinâmica do balão de ar quente, explicando a relação proporcional entre temperatura e volume, demonstrando que seu volume se altera na medida que varia sua temperatura, porém permanecendo constante a pressão do gás.

No questionamento sobre a redução da chama, após a saída de vapor pela válvula, o grupo **A** argumentou que nesse momento a temperatura interna reduzia, o grupo **B** respondeu que a temperatura permanecia constante, enquanto o grupo **C** além de afirmar que a temperatura permanecia fixa, também concluíram que esse fato favorecia a economia do gás de cozinha. Sobre a dificuldade da retirada da tampa da panela de pressão, no momento em que se apaga a chama do fogão, todos os grupos comentaram que não conseguiram retirar a tampa da panela de pressão, pelo fato da pressão interna está maior que a pressão externa, por isso a necessidade de acionar a válvula principal da panela, para retirada de uma grande parcela do vapor, reduzindo assim a pressão no interior da panela, permitindo dessa forma a retirada da tampa. Já o fato de colocar a panela embaixo de água corrente, para a retirada da tampa da panela sem acionar a válvula, todos os grupos responderam que ocorre devido a diminuição da temperatura, proporcionando também a redução da pressão interna da panela.

Concluindo essa etapa da sequência didática, comentamos sobre o gás de cozinha, também conhecido como gás liquefeito de petróleo (GLP), tratando-se de

uma fonte de energia amplamente utilizada em residências e estabelecimentos comerciais para cozinhar e aquecer. O gás de cozinha é uma mistura de hidrocarbonetos, predominantemente compostos por propano ( $C_3H_8$ ) e butano ( $C_4H_{10}$ ). Esses hidrocarbonetos são gases em condições normais de pressão e temperatura, mas são liquefeitos sob elevação da pressão (possuindo uma pressão interna entre  $4 \text{ kgf/cm}^2$  e  $7 \text{ kgf/cm}^2$ , independente de sua capacidade), para facilitar o armazenamento e transporte. Aproveitamos para falar da expansão adiabática que ocorre no botijão, durante a liberação de gás de cozinha, proporcionando uma redução de sua temperatura, mesmo não ocorrendo trocas de calor com o meio. Também salientamos que o uso de gás de cozinha pode ter impactos ambientais, especialmente se houver vazamentos de gás, que contribuem para o aquecimento global e podem representar riscos para a saúde humana. No entanto, quando usado corretamente, o gás de cozinha é considerado uma fonte de energia relativamente limpa em comparação com outras opções, como carvão ou lenha.

Após essas considerações e análises, os grupos foram averiguar se o alimento já estava propício para o consumo, onde podemos notar tal etapa na imagem de alívio de pressão a seguir.

Figura 26: alívio da pressão



Fonte: imagem do autor

E por fim, ocorreu a degustação do feijão por todos, como podemos observar na imagem abaixo.

Figura 27: degustação do feijão



Fonte: imagem do autor

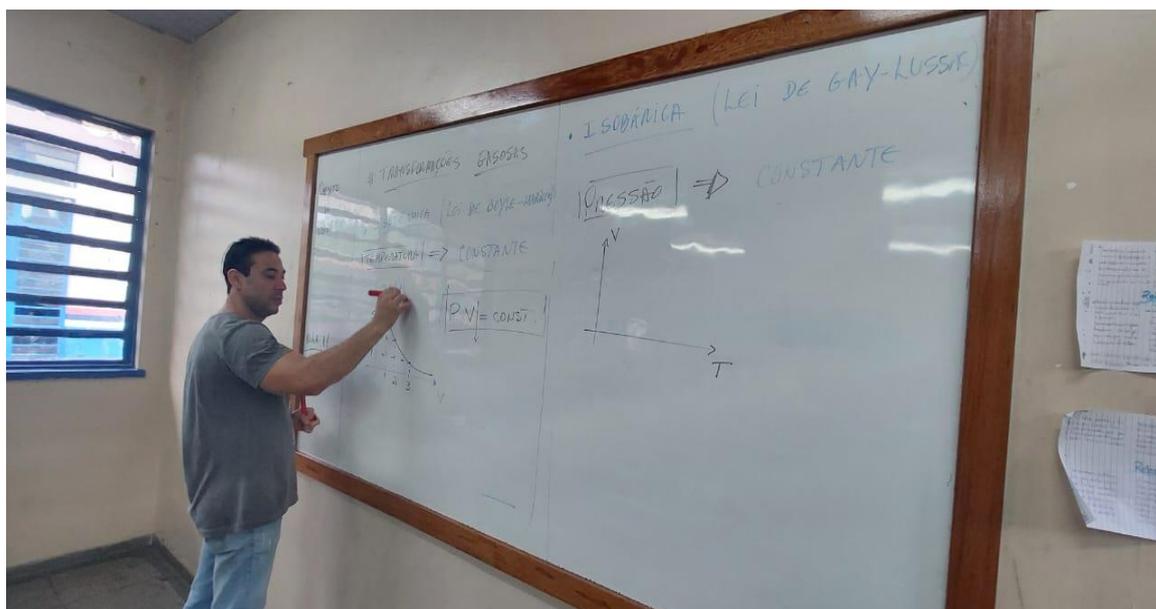
Dessa forma, adentramos na etapa da UEPS, que se caracteriza por retomar os aspectos mais gerais, estruturantes (aquilo que efetivamente se pretende ensinar), do conteúdo da unidade de ensino, em nova apresentação (que pode ser através de outra breve exposição oral, de um recurso computacional, de um texto, etc.), porém em nível mais alto de complexidade em relação à primeira apresentação. De modo que as situações-problema devem ser propostas em níveis crescentes de complexidade; dar novos exemplos, destacar semelhanças e diferenças relativamente às situações e exemplos já trabalhados, ou seja, promover a reconciliação integradora. Propondo alguma outra atividade colaborativa que leve os alunos a interagir socialmente, negociando significados, tendo o professor como mediador, esta atividade pode ser a resolução de problemas, a construção de uma mapa conceitual ou um diagrama V, um experimento de laboratório, um pequeno projeto, etc., mas deve, necessariamente, envolver negociação de significados e mediação do docente.

### **Sexta aula – Aprofundamento dos conhecimentos.**

Nesse encontro realizamos uma aula expositiva sobre transformações gasosas

(transformação isotérmica, isovolumétrica, isobárica e adiabática), com o auxílio do data show e do quadro branco, com o objetivo de entrelaçar conhecimentos difundidos durante a prática da etapa anterior da sequência, com relações entre as grandezas termodinâmicas através do ferramental matemático (equações e gráficos), identificando as características de cada transformação gasosa, afim de potencializar o processo cognitivo. Dessa forma proseguimos essa etapa (podemos observar a aplicação dessa etapa na imagem da aula expositiva), iniciando com a importância no discernimento e compreensão sobre os conceitos de tais transformações, assim como também a aplicação da lei dos gases ideais para resolver problemas relacionados a elas, além de reconhecer as características distintas de cada tipo de transformação gasosa.

Figura 28: aula expositiva



Fonte: imagem do autor

Sendo assim, foi imprescindível iniciar essa aula comentando sobre as principais características dos gases, como pode-se perceber através dos slides utilizados no apêndice B (o apêndice B está disponível em : [https://docs.google.com/presentation/d/1KcjmU23htn62yTi99f9CS3U\\_f1vNi98/edit?usp=sharing&oid=109646822905122192057&rtpof=true&sd=true](https://docs.google.com/presentation/d/1KcjmU23htn62yTi99f9CS3U_f1vNi98/edit?usp=sharing&oid=109646822905122192057&rtpof=true&sd=true)).

A primeira transformação mencionada nessa aula foi a transformação isotérmica, comentamos que é um tipo de processo termodinâmico no qual a temperatura de um sistema permanece constante enquanto ocorrem mudanças em

outras variáveis, como pressão e volume. Isso significa que, durante a transformação isotérmica, a energia interna do sistema permanece inalterada. Exemplificamos através de um processo de expansão ou compressão de um gás ideal contido em um cilindro com um pistão móvel. Durante a expansão isotérmica, o gás realiza trabalho sobre o pistão enquanto sua pressão diminui e seu volume aumenta, mantendo a temperatura constante. Da mesma forma, durante a compressão isotérmica, o trabalho é realizado sobre o gás, mas sua pressão aumenta e seu volume diminui, também mantendo a temperatura constante.

Nesse momento, também comentamos que o processo isotérmico ocorre na prática de mergulho, nesse instante um dos discentes comentou que seu tio é um mergulhador, e que o mesmo quando iniciava a subida até a superfície, a fazia lentamente para não passar mal. Dessa forma acabamos abordando em sala sobre o mal da descompressão, que é uma condição médica que pode ocorrer durante ou após mergulhos, especialmente em profundidades significativas. Durante o mergulho, ao se afastar da superfície da água, o corpo absorve nitrogênio do ar comprimido respirado. Ao retornar à superfície, a rápida redução da pressão ambiente pode fazer com que o nitrogênio se expanda e forme bolhas nos tecidos do corpo. Os sintomas incluem dor nas articulações, formigamento, dormência, dor de cabeça, confusão, podendo até mesmo levar a morte do indivíduo. A prevenção envolve seguir as tabelas de descompressão, realizar paradas de segurança e evitar mergulhos além dos limites de segurança. Sendo que durante a descida ou subida do mergulhador sua temperatura praticamente se mantém inalterada, porém a pressão atuante nele e o volume de gases em seu corpo, se alteram durante seu deslocamento vertical na água. A transformação isotérmica é descrita pela Lei de Boyle-Mariotte, que estabelece que, para um gás ideal, o produto da pressão e do volume é uma constante se a temperatura permanecer constante, em outras palavras,  $P_1V_1 = P_2V_2$ . Finalizando os comentários dessa transformação, demonstrando seu comportamento através de uma análise gráfica.

Seguimos a aula comentando sobre a transformação isobárica, onde falamos que é um processo termodinâmico no qual a pressão de um sistema permanece constante enquanto outras variáveis, como volume e temperatura, podem sofrer alterações. Durante essa transformação, o sistema pode realizar trabalho ou trocar calor com o ambiente. Na prática, a transformação isobárica pode ser observada em

diversos contextos, como em processos industriais, na expansão de gases em cilindros com êmbolos móveis ou em sistemas em que a pressão é mantida constante, como em sistemas termostáticos. Também mencionamos que esta Lei é conhecida como Lei de Charles-Gay Lussac e é frequentemente aplicada para descrever a relação entre volume e temperatura durante uma transformação isobárica. Segundo esta lei, a uma pressão constante, o volume de um gás é diretamente proporcional à sua temperatura absoluta, ou seja,  $V_1/T_1 = V_2/T_2$ . Dessa forma deixamos bem claro que compreender a transformação isobárica é fundamental em diversas áreas da ciência e da engenharia, pois permite prever e analisar o comportamento de sistemas termodinâmicos sob condições específicas de pressão constante. Finalizamos esse momento através de uma representação e análise gráfica da transformação isobárica.

Por diante, falamos sobre a transformação isovolumétrica, também conhecida como transformação isocórica, ou também isométrica, mencionando que é um processo termodinâmico no qual o volume de um sistema permanece constante enquanto outras variáveis, como pressão e temperatura, podem alterar. Durante essa transformação, como o volume não muda, o sistema não realiza trabalho mecânico. Na prática, a transformação isovolumétrica pode ser observada em sistemas onde o volume é rigidamente fixado, como em recipientes fechados que não podem se expandir ou contrair, podendo ser aplicada para descrever a relação entre pressão e temperatura durante uma transformação isovolumétrica. Segundo esta lei, para um gás ideal, a um volume constante, a pressão é diretamente proporcional à temperatura absoluta. Exemplificamos através do aquecimento de um gás em um recipiente fechado, pois ao aumentar a temperatura do gás, a pressão dentro do recipiente aumenta, pois o volume não pode mudar, tendo como aplicação prática desse processo os motores de combustão interna durante certas fases do ciclo. Finalizamos esse momento com uma análise e representação gráfica da transformação isovolumétrica.

Dando continuidade nessa abordagem, comentamos com a turma sobre a transformação adiabática. Mencionando que é um processo termodinâmico no qual não há troca de calor entre o sistema e o ambiente. Isso significa que durante a transformação, a quantidade de calor é zero. Toda a variação na energia interna do sistema é devida ao trabalho realizado pelo sistema ou sobre o sistema, tendo como características: o isolamento térmico, pois para que uma transformação adiabática

ocorra, o sistema deve estar termicamente isolado; rápida mudança, pois transformações adiabáticas podem ocorrer rapidamente, de modo que não há tempo suficiente para a troca de calor com o ambiente; relação entre variáveis, pois em uma transformação adiabática, mudanças na pressão, volume e temperatura estão inter-relacionadas de forma específica. Exemplificamos comentando que a mesma ocorre quando um gás é comprimido rapidamente em um cilindro isolado, a compressão rápida aumenta a temperatura do gás, como em motores de combustão interna. Enquanto que quando um gás se expande rapidamente e realiza trabalho sobre o ambiente, há uma diminuição na temperatura, como no ciclo de expansão em refrigeradores e motores de ciclo Otto. Finalizamos enfatizando a importância da compreensão das transformações adiabáticas, pois é crucial em várias áreas da engenharia e da física, pois permite analisar e prever o comportamento de sistemas onde a troca de calor é negligenciável ou inexistente. Este conhecimento é aplicado em motores, turbinas, processos de compressão e expansão de gases, e na climatologia.

Após a explicação das três transformações gasosas citadas anteriormente, adentramos com a primeira lei da termodinâmica e sua aplicação nas transformações gasosas ( de acordo com o que se observa no apêndice B).

Essa parte de aplicação da UEPS, se caracteriza por dar seguimento ao processo de diferenciação progressiva retomando as características mais relevantes do conteúdo em questão, porém de uma perspectiva integradora, ou seja, buscando a reconciliação integrativa; isso deve ser feito através de nova apresentação dos significados que pode ser, outra vez, uma breve exposição oral, a leitura de um texto, o uso de um recurso computacional, um áudio visual, etc.; o importante não é a estratégia, em si, mas o modo de trabalhar o conteúdo da unidade.

### **Sétima aula – Roda de conversa para debate em grande grupo.**

Nesse encontro foi realizado uma roda de conversa com a turma, para a discussão sobre como procederam e o que perceberam, durante a solução da nova situação-problema (preparo do feijão), sendo que durante o debate os alunos foram instigados sobre a possível existência de relações entre as etapas de cozimento do feijão e as transformações gasosas, assim como também em que etapa durante o

preparo do alimento podemos identificar determinada relação.

Figura 29: roda de conversa



Fonte: imagem do autor

Iniciamos perguntando a turma, em que etapa do processo de cozimento do feijão ocorre com o volume constante do gás, os discentes em sua maioria responderam que o nome dessa transformação é isovolumétrica e que acontece quando a panela de pressão é fechada e aquecida, disseram que o volume interno da panela permanece constante, pois a tampa está trancada e não permite expansão, ainda comentaram que à medida que a água dentro da panela é aquecida, a temperatura e a pressão aumentam, mas o volume do vapor permanece constante, concluímos comentando que a pressão do vapor aumenta proporcionalmente à temperatura, mantendo o volume fixo. Em seguida instigamos sobre em que momento ocorre a transformação isobárica, a maioria dos discentes respondeu que quando a válvula de segurança da panela de pressão é ativada, ela libera vapor para manter a pressão interna constante enquanto o aquecimento continua, intervimos comentando que durante o cozimento se a válvula de segurança estiver aberta, a pressão é mantida constante enquanto o volume e a temperatura do vapor podem variar.

Posteriormente também pedimos para os alunos identificarem e comentarem sobre a transformação Isotérmica durante o preparo do feijão, em sua maioria responderam que a transformação isotérmica ocorre a temperatura constante, e que durante o processo de cozimento, se a panela atinge um equilíbrio térmico, a

temperatura interna pode ser mantida constante, comentamos que para tal situação ocorrer o calor fornecido é igual ao calor perdido, ainda ponderamos dizendo que esse cenário é mais teórico, pois na prática a temperatura pode oscilar ligeiramente. No entanto, durante uma fase estável do cozimento, a panela pode operar de maneira aproximada como um sistema isotérmico. Finalizamos essa etapa questionando os discentes sobre a transformação adiabática, a resposta dos alunos retratou que ocorre no momento quando a panela de pressão é rapidamente retirada do fogo e resfriada subitamente (por exemplo, colocando-a sob água corrente), pode ocorrer uma transformação adiabática, onde há uma rápida mudança na pressão e temperatura interna sem troca de calor significativa com o ambiente. Contribuímos dizendo que o vapor dentro da panela se condensa rapidamente, reduzindo a pressão interna sem que haja tempo para troca de calor com o exterior. Isso leva a uma rápida diminuição na pressão interna, ilustrando uma transformação adiabática aproximada.

Esse momento de aplicação da proposta, baseia-se na etapa de uma UEPS, onde situações-problema devem ser resolvidas em atividades colaborativas e depois apresentadas e/ou discutidas em grande grupo, sempre com a mediação do docente.

### **Oitava aula – Avaliação somativa individual: avaliação individual através de questões envolvendo os conceitos-foco da unidade e representação gráfica das transformações gasosas.**

Nesta etapa aplicamos um questionário referente as transformações gasosas (Apêndice C), sendo o mesmo realizado pelos discentes de forma individual, com o objetivo de avaliar o desempenho e identificar áreas de dificuldade. As transformações gasosas abordadas incluem processos isotérmicos, isobáricos, isovolumétricos e adiabáticos.

Os dados foram coletados a partir das respostas dos alunos a um conjunto de questões teóricas associadas a práticas do cotidiano, incluindo problemas de conceitos primordiais das transformações termodinâmicas, relações entre as grandezas físicas presentes em cada transformação gasosa e interpretação de gráficos, assim como também tiverem que representar graficamente as transformações gasosas em papel milimetrado. Foram utilizados métodos estatísticos descritivos para analisar a média, mediana, moda, desvio padrão e distribuição das

notas dos alunos. Análises inferenciais foram empregadas para determinar correlações e significância estatística.

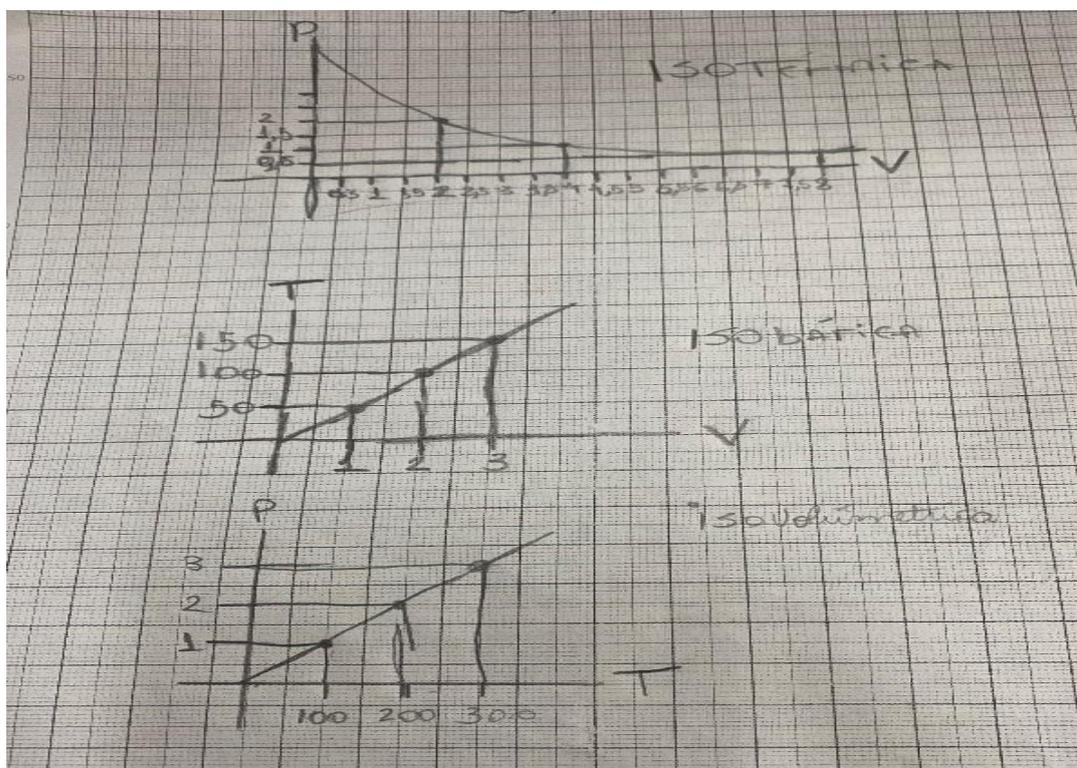
**Desempenho Geral:** A média das notas dos alunos foi de 70%, com uma mediana de 72% e um desvio padrão de 10%. A moda das notas foi 75%. **Distribuição das Notas:** A distribuição das notas seguiu aproximadamente uma curva normal, com a maioria dos alunos obtendo notas entre 60% e 80%. Apesar desses dados o estudo não é quantitativo pois o espaço amostral analisado é consideravelmente pequeno.

Os alunos apresentaram maior dificuldade em questões relacionadas à transformação isotérmica e adiabática. Questões que envolviam elaboração e interpretações de gráficos tiveram taxas de erro mais altas. Questões sobre transformações isocóricas e isobáricas foram as mais bem respondidas, indicando uma melhor compreensão dessas transformações. A familiaridade com processos isocóricos e isobáricos pode ser atribuída ao fato de que esses conceitos são introduzidos mais cedo no currículo escolar e são frequentemente ilustrados com exemplos práticos do cotidiano. As transformações adiabáticas e isotérmicas são mais abstratas e menos intuitivas, o que pode explicar a maior taxa de erro, sugere-se então um maior foco no ensino dessas transformações, utilizando métodos de ensino mais interativos e experimentos práticos. A introdução de ferramentas visuais e simulações computacionais pode ajudar a melhorar a compreensão.

A análise estatística dos dados de desempenho dos alunos em questões sobre transformações gasosas revela uma compreensão geral adequada dos conceitos básicos, mas destaca a necessidade de reforço em áreas mais complexas como transformações adiabáticas e isotérmicas. A implementação de estratégias educacionais direcionadas pode melhorar significativamente o desempenho e a compreensão dos alunos.

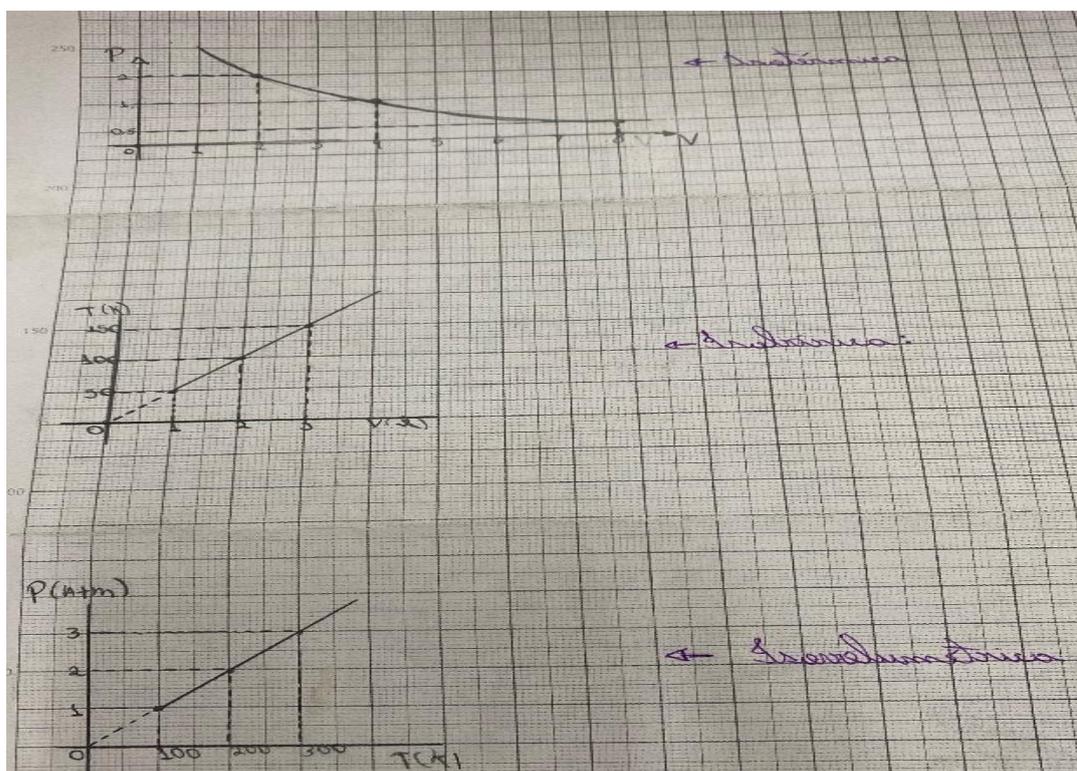
Podemos observar abaixo algumas representações gráficas, através das imagens da construção gráfica das transformações gasosas (1) e (2), feitas pelos discentes.

Figura 30: construção gráfica das transformações gasosas (1)



Fonte: imagem do autor

Figura 30: construção gráfica das transformações gasosas (2)



Fonte: imagem do autor

Percebemos, que de uma forma geral, os alunos apresentaram dificuldades em interpretar e desenhar gráficos para as diferentes transformações gasosas. Na transformações Isotérmica, os alunos confundiram frequentemente as curvas hiperbólicas das transformações isotérmicas com linhas retas, indicando uma dificuldade em compreender a relação inversa entre pressão e volume a temperatura constante. Na transformação isobárica, embora a maioria dos alunos conseguisse desenhar linhas horizontais para representar a pressão constante, alguns mostraram incerteza ao relacionar essas linhas com variações de volume e temperatura. Na transformação Isovolumétrica, houve uma confusão significativa ao representar essa transformação, com alunos desenhando linhas verticais, mas não conseguindo correlacionar corretamente com as mudanças de pressão e temperatura. Já na transformação adiabática, foi a área com maior dificuldade, onde os alunos tiveram problemas em diferenciar as curvas adiabáticas das isotérmicas, e a maioria dos alunos não conseguiu realizar sua representação gráfica no papel milimetrado.

Identificou-se que os alunos frequentemente cometem erros ao escalar os eixos dos gráficos e ao interpretar os pontos de interseção. Há também uma tendência de confundir as características de diferentes transformações, e ainda notou-se que a maioria em suas representações gráficas não atribuíram unidades às grandezas físicas relacionadas. Recomenda-se que para que ocorra um processo cognitivo de maior significância, sejam propostos exercícios guiados com feedback imediato para ajudar os alunos a corrigir erros comuns na representação gráfica.

A dificuldade dos alunos na representação gráfica das transformações gasosas é evidente e multifacetada, envolvendo tanto a compreensão teórica das transformações quanto a habilidade prática de desenhar e interpretar gráficos. Melhorar a educação visual e prática dos alunos pode reduzir significativamente essas dificuldades e aumentar a compreensão geral dos conceitos termodinâmicos.

Essa fase da implementação do produto está atrelada à etapa de uma UEPS, onde a avaliação da aprendizagem deve ser feita ao longo de sua implementação, registrando tudo que possa ser considerado evidência de aprendizagem significativa do objeto de ensino trabalhado. Além disso, deve haver uma avaliação somativa individual, na qual deverão ser propostas questões/situações que impliquem compreensão, que evidenciem captação de significados e, idealmente, alguma capacidade de transferência, e a avaliação do desempenho do aluno na UEPS deverá

estar baseada, em pé de igualdade, tanto na avaliação formativa (situações, tarefas resolvidas colaborativamente, registros do professor) como na avaliação somativa.

### **Nona aula – Aula expositiva dialogada integradora final.**

Nesse último encontro, ocorreu o retorno dos conteúdos da UEPS e das atividades. Dessa vez, iniciamos questionando sobre como as transformações termodinâmicas influenciam o seu cotidiano, com o propósito de criar um ambiente de colisão entre teoria e prática, sendo que cada estudante deu um exemplo de como essa teoria se manifesta no seu dia a dia. Muitos dos alunos em sua resposta, falaram como exemplo o uso da panela de pressão, outros comentaram sobre o botijão de gás de cozinha, outro mencionou uma bomba de ar que utiliza para inflar uma bola de futebol, um dos discentes também comentou sobre o comportamento dos gases na atmosfera do planeta, e um último aluno falou sobre a prática de mergulho. Prosseguimos lembrando cada etapa aplicada da sequência didática, enfatizando a importância da relação do ferramental matemático e da representação gráfica com as grandezas físicas envolvidas em cada transformação gasosa, destacando também a importância dos discentes desenvolverem o papel de pesquisador, pois a busca pelo conhecimento fora de sala de aula é um fator somativo crucial, no processo de complementação e consolidação dos conteúdos alvos do objeto de conhecimento.

Dessa forma aproveitamos para analisar a compreensão dos alunos sobre os conceitos abordados na UEPS; identificar as habilidades desenvolvidas e as dificuldades encontradas; avaliar a eficácia das atividades e metodologias empregadas; promover a reflexão e o feedback para melhorar futuras práticas de ensino. A avaliação dessa UEPS foi abrangente e multifacetada, contribuindo para aprimoramento do processo de ensino e aprendizagem. Percebemos que através de instrumentos diversificados e metodologias claras, é possível promover um aprendizado significativo e integrado, atendendo às necessidades e expectativas dos alunos.

Assim, o vínculo desse último momento da proposta com uma UEPS, baseia-se no fato de que uma UEPS somente será considerada exitosa se a avaliação do desempenho dos alunos fornecer evidências de aprendizagem significativa (captação de significados, compreensão, capacidade de explicar, de aplicar o conhecimento

para resolver situações problema). A aprendizagem significativa é progressiva, o domínio de um campo conceitual é progressivo, por isso, a ênfase em evidências, não em comportamentos finais.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Vale ressaltar, durante uma futura aplicação dessa proposta, que durante a construção e análise de gráficos, os discentes podem vir a demonstrar certa dificuldade, por isso o docente deve possuir bastante atenção nessa etapa da UEPS, realizando as devidas intervenções. Outro cuidado na implementação é o tempo no preparo de feijão, pois o ideal é disponibilizar duas aulas seguidas nessa etapa, para que haja tempo suficiente para cozinhar o alimento e debater os conceitos-chaves em questão, assim como também é imprescindível que cada porção de feijão destinada a cada grupo permaneça no mínimo 4 horas imerso em água, para que possa ser atingido o objetivo da prática no tempo estipulado, que é o cozimento do alimento em curto período. Além dos devidos cuidados durante a manipulação de talheres e a própria panela de pressão, durante a prática experimental.

Também percebemos a infrequência dos discentes, mas o problema da assiduidade, que antes era considerável, foi minimizado significativamente a ponto dos alunos comentarem que só vieram aquele dia à escola por causa da nossa aula. Eles participaram ativamente nas discussões das situações de aprendizagem propostas o que contribuiu para o desenvolvimento de suas estratégias argumentativas na sustentação de sugestões de solução que, em algumas ocasiões, eram bem diferentes, propiciando o exercício da crítica, um dos objetivos da educação científica. Portanto, podemos dizer que as transposições didáticas dos conteúdos conceituais da sequência foram concebidas com grande potencial cognitivo. No gráfico abaixo (gráfico 1) podemos observar, em grande parte da turma, a falta de compreensão dos discentes de conceitos básicos termodinâmicos, onde tal percepção foi analisada através de questionamentos na aula inicial.

O teste inicial teve a relevância de diagnosticar o nível de conhecimento prévio dos alunos sobre o objeto de ensino-alvo, contribuindo na adaptação do conteúdo e nas estratégias de ensino às necessidades e dificuldades dos discentes. Também foi útil como referência para comparar com resultados obtidos no pós-teste, permitindo avaliar e analisar o progresso, identificando lacunas, que precisaram ser preenchidas, reforçadas e revisadas.

Gráfico 1 - Resultado da avaliação da aula inicial, através de conceitos termodinâmicos



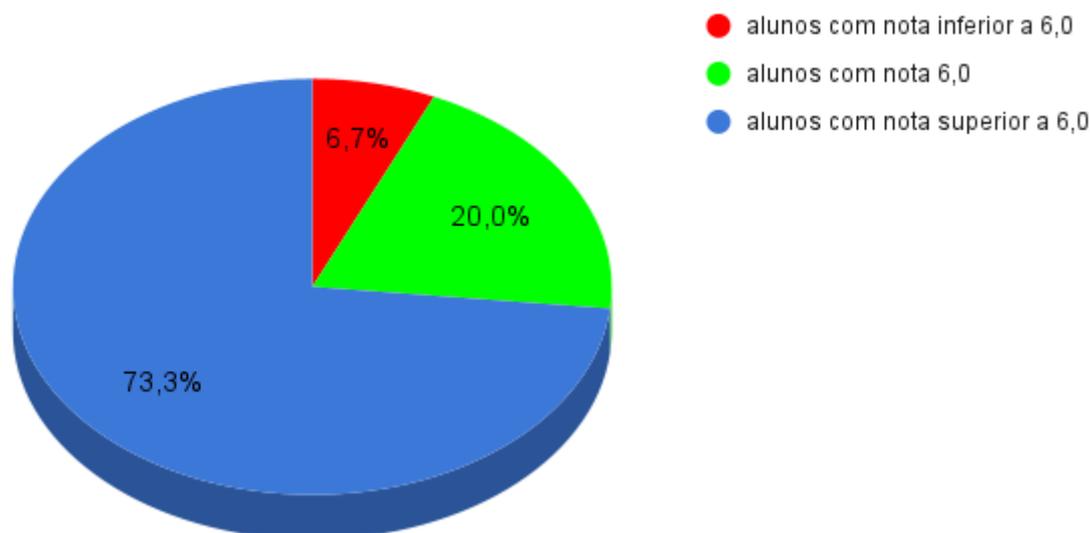
**Fonte: Autoria própria, 2024.**

O novo ensino médio traz consigo alguns obstáculos, dentre eles a baixa carga horária na área de ciências da natureza (física, química e biologia), o que dificulta a análise do objeto de conhecimento dentro de sala de aula, dificultando assim o processo cognitivo. Esse é um dos fatores que contribuem para o baixo desempenho, que percebemos no gráfico 1. Um outro fator mencionado pela turma é a abstração, pois comentaram, no primeiro encontro, que não entendiam em que iriam utilizar conceitos de física em seu cotidiano, já que não seriam físicos. E por último atrelaram a maior dificuldade no ensino de física ao ferramental matemático, pois a turma em sua maioria afirmou que compreendia boa parte dos conceitos, mas ao ser inseridos equações e gráficos dentro da análise do objeto de conhecimento, acabavam que a partir desse ponto não compreendia mais nada. Por tais motivos, essa UEPS traz consigo uma proposta de minimizar tais implicações, e podemos observar seus efeitos no gráfico 2.

Enquanto que o pré-teste foi importante para entender o ponto de partida, o pós-teste foi fundamental para avaliar o impacto no ganho de aprendizado, na eficácia da implementação da proposta, no feedback para aprimoramento da própria UEPS, além de identificar áreas específicas do objeto de ensino, onde os alunos tiveram maior dificuldade durante o processo de ensino-aprendizagem.

Gráfico 2 - Resultado da avaliação após a aplicação da UEPS

### Resultado do teste proposto após a aplicação da UEPS



Fonte: Autoria própria, 2024.

Notamos que no gráfico 2 houve um aumento significativo dos alunos em relação a cognição de conceitos termodinâmicos, mas não apenas isso, pois também desenvolveram ao decorrer do processo relações fundamentais entre essas grandezas, assim como também aplicações práticas e identificação de modelos (transformações gasosas).

Os alunos em sua maioria afirmaram ter apreciado bastante a proposta aplicada, pois comentaram ser mais interessante visualizar algo prático, para que possam atribuir, retificar ou consolidar determinados conceitos e relações. Por fim, no que tange essa proposta, percebemos uma ampla aceitação e participação da turma, além de verificarmos e acreditarmos que ocorreu uma contribuição significativa no processo de ensino aprendizagem.

O itinerário formativo pode ser uma excelente ferramenta para estudar física de forma mais abrangente, especialmente ao explorar a multidisciplinaridade e conectar o conteúdo da física com outras áreas do conhecimento. No contexto da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), é uma forma de aprofundamento e flexibilização dos estudos, permitindo que os estudantes façam escolhas baseadas em interesses específicos e combinem diferentes áreas do saber. No que tange a física e a química, as duas ciências são fortemente conectadas, especialmente em áreas como

termodinâmica e eletromagnetismo. Um itinerário que aborde a interação entre partículas em reações químicas e seus efeitos energéticos (como entropia e energia livre) é útil para entender fenômenos físicos em sistemas químicos, assim como também o estudo do comportamento dos gases, como foi abordado no presente trabalho, ou ainda estudar física em relação ao meio ambiente, é importante para entender fenômenos como aquecimento global, mudanças climáticas e o impacto da energia renovável. Um itinerário formativo voltado à sustentabilidade pode explorar tópicos como energia solar, eólica e o ciclo da água.

O itinerário formativo oferece uma oportunidade para estudar física de forma mais ampla e conectada com outras disciplinas, permitindo que o aprendizado seja mais contextualizado e significativo. A abordagem multidisciplinar não apenas facilita a compreensão de conceitos físicos, mas também amplia a capacidade de aplicar esse conhecimento em diversas áreas da vida real.

Dessa forma percebemos que os discentes após a implementação dessa UEPS, desenvolveram conteúdos procedimentais, como relacionar pressão, volume e temperatura, identificar situações cotidianas envolvendo transformações gasosas, assim como também caracterizar uma panela de pressão, além de conteúdos conceituais, como temperatura, calor, pressão, fluido, condutibilidade térmica, equilíbrio térmico, mudanças de estado físico, transformações gasosas, 1º lei da termodinâmica e suas aplicações. E por fim, também desenvolveram conteúdos atitudinais, como o trabalho em equipe, o hábito da pesquisa científica, o debate entre grupos e o respeito à opinião dos demais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZEVEDO, J. S.; JÚNIOR, F.N.M. **Aprendizagem significativa crítica: Atividades contextualizadas e interdisciplinares no ensino da termodinâmica.** A Física na Escola, v. 18, n. 1, p. 42 – 45, 2020.

BARBOSA, R. S. **Uma proposta para vivenciar, no ensino médio, os conceitos iniciais de termodinâmica por meio de uma unidade de ensino potencialmente significativa.** 2016. Dissertação (Mestrado) - - Curso de Física, Programa de Pósgraduação, Instituto Federal do Espírito Santo, Cariacica – ES, 2016.

BRASIL. **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional.** LEI Nº. 9.394, de 20 de dezembro de 1996. D.O. U. de 23 de dezembro de 1996.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular.** Brasília, 2018.

CHAVES, L, T.; EVANGELISTA. F. L. **Da sucata à física: Uma perspectiva ativa para o ensino da termodinâmica.** A Física na Escola, v. 19, n. 1, p. 3 – 11, 2021.

CHAGAS, Jardel Francisco Bonfim et al.. **Usando a panela de pressão para aprender ciências.** Anais do V CONAPESC... Campina Grande: Realize Editora, 2020. Disponível em: <<https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/73028>>.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; KRANE, K. S. **Fundamentos de Física.** 8. ed., Rio de Janeiro: LTC, 2010, v. 2

JESUS, R. T. **Proposta de uma UEPS para ensinar física de partículas através de jogos de cartas.** 2018. Dissertação (Mestrado) - - Curso de Física, Programa de Pósgraduação, Universidade de Brasília, Brasília - DF, 2018.

JULIANA. Quais foram os piores acidentes domésticos envolvendo panelas de pressão já noticiados? Disponível em: <https://www.sitedecuriosidades.com/curiosidade/quais-foram-os-piores-acidentes-domesticos-envolvendo-panelas-de-pressao-ja-noticiados.html>.

LIMA, J. **Sequência didática para o ensino da termodinâmica.** 2016. Dissertação (Mestrado) - - Curso de Física, Programa de Pósgraduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão - PR, 2016.

MINAYO, Maria Cecília de Souza. **Análise qualitativa: teoria, passos e fidedignidade.** Ciência & Saúde Coletiva, [s.l.], v. 17, n. 3, p.621-626, mar. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-81232012000300007>.

MOHR, Adriana; ARAÚJO, Magnólia F. F. de; SILVA, Marcia G. L. da (org.). **Temas de ensino e formação de professores de ciências.** Natal: EDUFRRN, 2012.

MOREIRA, M.A. (2010). **Mapas conceituais e aprendizagem significativa.** São Paulo: Cantauero.

MOREIRA, M.A.; Masini, E.A.F.S. (1982). **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel.** São Paulo, Editora Moraes.

MOREIRA, Marco Antonio. **Aprendizagem significativa**: organizadores prévios, mapas conceituais, diagramas V e unidades de ensino potencialmente significativas. Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 2013. Disponível em: <http://www.faatensino.com.br/wp-content/uploads/2014/04/Aprendizagem-significativa-Organizadores-pr%C3%A9vios-Diagramas-V-Unidades-de-ensino-potencialmente-significativas.pdf#page=41>>. Acesso em: 27 nov. 2022.

MOREIRA, Marco Antônio. **Unidades de Ensino Potencialmente Significativas** – UEPS. *Aprendizagem Significativa em Revista*, v. 1, N. 2, pp. 43-63, 2011.

MOREIRA, Marco Antônio. **Teorias de Aprendizagem**. 2 ed. São Paulo: E.P.U., 2019.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa, organizadores prévios, mapas conceituais, diagramas V e unidades de ensino potencialmente significativas – UEPS**. III Convenção Internacional e X Nacional de Professores de Ciências Naturais, Toluca, México, 15 à 18 de novembro, 2012.

Postman, Neil; Weingartner, Charles. **Teaching as a subversive activity**. New York: Dell Publishing Co, 1969.

RUMFORD, Benjamin Thompson. **An Inquiry Concerning the Source of the Heat which is Excited by Friction**. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, v. 88, p. 80-102, 1798.

Sears, Francis W.; Salinger, Gerhard L. **-Termodinâmica, Teoria Cinética e Termodinâmica Estatística** - Terceira edição - Guanabara Dois - 1979 - Rio de Janeiro - RJ

SILVA, Francisca Daniela de Jesus. **PARÓDIAS CONCEITUAIS E UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA COMO RECURSOS DIDÁTICOS PARA O ESTUDO DO MOVIMENTO ONDULATÓRIO**. 2018. 208 f. Dissertação (.Mestrado) - Curso de Física, Programa de Pós-graduação, Universidade Regional do Cariri, Juazeiro do Norte, 2018.

SILVA, R. A. **o jogo educacional como ferramenta complementar ao ensino da termodinâmica**. 2019. Dissertação (Mestrado) - - Curso de Física, Programa de Pósgraduação, Universidade Federal do Pará, Belém- PA, 2019.

WOLKE, Robert L., **O que Einstein disse a seu cozinheiro: a ciência na cozinha**, Jorge Zahar Editor, 1ª ed, Rio de Janeiro, 2003.

## **APÊNDICE A - PRO DUTO EDUCACIONAL**



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
E INSTITUTO FEDERAL DO AMAZONAS  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

### **CONSTRUÇÃO DE UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA (UEPS) PARA O ESTUDO DAS TRANSFORMAÇÕES GASOSAS NO 1º ANO DO NOVO ENSINO MÉDIO**

**DIEGO ALVINO LIMA**

Material instrucional vinculado à  
dissertação de mestrado apresentada ao  
Mestrado Nacional Profissional em Ensino  
de Física, no pólo 04, da Universidade  
Federal do Amazonas.

Orientador: Prof. Dr. . Igor Tavares Padilha.

MANAUS

2024

Autor: Diego Alvino Lima

Produto Educacional submetido ao Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF) da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), e do Instituto Federal do Amazonas (IFAM), como requisito necessário para obtenção do título de Mestre de Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Igor Tavares Padilha

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	4
2	FUDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	6
	2.1 Unidades de Ensino Potencialmente Significativas – UEPS.....	7
3	REVISÃO DO OBJETO DE CONHECIMENTO ALVO.....	9
	3.1 Sistema, meio e fronteira .....	9
	3.2 Temperatura, equilíbrio térmico, lei zero da termodinâmica, calor e energia interna.....	10
	3.3 Gás ideal....	13
	3.3.1 Transformação isocórica .....	15
	3.3.2 Transformação isobárica .....	16
	3.3.3 Transformação isotérmica .....	17
	3.4 Trabalho termodinâmico .....	18
	7.4.1 Sinais para calor e trabalho termodinâmico .....	19
	7.4.2 Processos entre estados termodinâmicos.....	19
	3.5 Energia interna .....	22
	3.6 Primeira lei da termodinâmica .....	23
	3.6.1 Alguns casos especiais da 1° lei da termodinâmica.....	23
4	PRODUTO EDUCACIONAL .....	26
	4.1 Descrição das etapas da sequência didática.....	26
	4.2 Implementando a proposta.....	28
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	48
	REFERÊNCIAS.....	50

## APRESENTAÇÃO

Cara professora, caro professor,

O presente Produto Educacional, requisito parcial para a obtenção do título de mestre no Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, no polo UFAM, foi concebido como um texto de apoio ao professor. Este produto é um manual que contribui com determinado potencial para processos cognitivos acerca de conceitos de transformações gasosas, no novo Ensino Médio, o qual foi objeto de uma pesquisa de Mestrado em Ensino de Física, obtendo evidências significativas no processo de ensino e aprendizagem com significado e crítica. Essa proposta, trabalha aspectos de transformações termodinâmicas, com foco na abordagem prática, ancorada aos conceitos, ao ferramental matemático e na construção de gráficos das referidas transformações. Dentre os conteúdos abordados, estão: transformações gasosas, trocas de calor, primeira lei da termodinâmica e aplicações da primeira lei da termodinâmica. Pelos temas abordados, estas aulas foram planejadas para serem implementadas na 1ª série do novo Ensino Médio, agregada ao itinerário formativo de projeto de vida, porém essa sequência didática também pode se aplicar diretamente na disciplina de Física. Tal abordagem prática traz os discentes como protagonistas dessa sequência didática.

As aulas são distribuídas em 9 Encontros de 48 minutos cada, das quais utiliza-se um experimento com o auxílio da panela de pressão, para o cozimento de feijão, abordando e demonstrando conceitos e relações fundamentais das transformações gasosa termodinâmicas, além disso, utiliza-se estratégias para sair do ensino tradicional, o qual tem como resultado aprendizagens mecânicas, ou seja, aprendizagens que são meras reproduções, que ficam na cabeça do aluno apenas para avaliação, que não possui um potencial significativo para a concepção do/a estudante sobre o mundo ou sua vida cotidiana. Ao contrário da aprendizagem mecânica, busca-se aqui a aprendizagem com significado, que faça sentido para o/a estudante, chamada aprendizagem significativa, além de contribuir para uma visão crítica dos estudantes, que os prepare para lidar com a sociedade atual.

Diego Alvino Lima

## 1 INTRODUÇÃO

Essa proposta de trabalho busca explorar a interseção entre a física e a utilidade prática da panela de pressão, um dispositivo culinário amplamente utilizado na cozinha. A compreensão dos princípios físicos envolvidos no funcionamento da panela de pressão não apenas enriquece nosso conhecimento científico, mas também oferece insights para melhorar sua eficiência e segurança. Também discute-se a implementação de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) no novo ensino médio, abordando como conceito alvo as transformações termodinâmicas, de forma interdisciplinar e com sua inserção no itinerário formativo de projeto de vida, utilizando-se como ferramenta pedagógica o cozimento de determinados alimentos com auxílio da panela de pressão, vídeos e a construção de gráficos. Com estas ferramentas são propostas atividades colaborativas desenvolvidas em grupo para resolução de situações-problema.

Este trabalho também é embasado teoricamente nas UEPS, segundo Moreira (2012, p.2) as Unidades de Ensino Potencialmente Significativas UEPS “são sequências de ensino fundamentadas teoricamente, voltadas para a aprendizagem significativa, não mecânica, que podem estimular a pesquisa aplicada em ensino, aquela voltada diretamente à sala de aula”. Deste modo, considerando dois pontos importantes no processo de aprendizagem significativa, para o desenvolvimento de uma UEPS, material potencialmente significativo e a pré-disposição a aprender, esta sequência surge como potencial ferramenta a ser utilizada neste processo, sendo que vídeos e simuladores, por exemplo, podem ser utilizados tanto como organizadores prévios, fazendo a ponte entre o que o aprendiz já detém e as novas informações que ele futuramente deterá, ao mesmo tempo pode despertar ou impulsionar sua participação mais ativa no processo de aprendizagem.

Sendo assim, tal proposta, visa através de uma unidade de ensino potencialmente significativa (UEPS), uma abordagem alternativa para o ensino das transformações gasosas, voltada aos alunos do ensino básico, agregado ao itinerário informativo de projeto de vida, do novo ensino médio, porém nada impede da mesma ser utilizado nas aulas da disciplina de Física. Possuindo o intuito de identificar as transformações isotérmica, isobárica, isocórica e adiabática durante a utilização da

panela de pressão no cozimento do feijão, assim como também construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e planejar intervenções científico-tecnológicas no âmbito da termodinâmica, no que tange as transformações gasosas, justificando conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Atualmente, com desafios na sociedade, Moreira aponta que apesar da escola ter incorporado alguma tecnologia, na prática ainda defende os mesmos conceitos fora de foco e agrega mais outros, tais como: informação como algo necessário e bom; associando tecnologia sempre como algo positivo; consumir muito, mesmo que desnecessariamente, desde que garanta os direitos de consumidor; a globalização da economia como algo necessário e inevitável, sendo bom para todos; e o mercado consegue lidar com tudo com qualidade, como por exemplo a educação como mercadoria (MOREIRA, 2019, p. 223-225).

Para lidar com esse descompasso entre como a sociedade funciona e o que é discutido na escola na prática, Moreira propõe uma aprendizagem significativa subversiva, com uma postura crítica para lidar com a sociedade contemporânea. Para facilitar esta aprendizagem, ele propõe alguns princípios: da interação social e do questionamento, no qual a negociação de significados deve envolver troca de questionamentos e há aprendizagem significativa crítica quando o sujeito faz perguntas relevantes e substantivas sistematicamente; da não centralidade do livro didático e da não utilização do quadro de giz, os quais versam sobre a carga simbólica de “autoridade inquestionável” que há nesses recursos, mas que, acima de tudo, traga-se caminhos novos, diversificados e menos verticais no processo de ensino-aprendizagem; do aprendiz como perceptor/representador, no qual aponta-se que há postura ativa do aluno em aprendizagem receptiva, se além de receber, ele perceber o conhecimento em sua perspectiva e representá-lo de forma particular; do conhecimento como linguagem, no qual é preciso que o sujeito entenda estas novas linguagens (da mecânica, da eletricidade, da matemática, etc.) como novas maneiras de perceber o mundo.

Também é proposto a consciência semântica, no qual é preciso ter consciência, durante a negociação de significados, que os significados estão na interpretação única que cada um faz (professor e aluno) e, não, nos livros; da desaprendizagem, no qual é preciso avaliar quando um conhecimento prévio está sendo realmente útil para compreender a nova aprendizagem (caso contrário, faz-se um “esquecimento” seletivo); e por fim, o princípio da incerteza do conhecimento, no qual é a percepção de que o conhecimento é incerto, pois a forma como é construído depende das

perguntas feitas, as definições são válidas apenas em um certo contexto, e que todo conhecimento científico construído sobre o mundo utiliza metáforas (suposições, considerações, simplificações, etc.) (MOREIRA, 2019, p. 227-239).

Moreira (2019) relembra que os aspectos mais importantes para uma aprendizagem significativa é o conhecimento prévio, mas isso não basta: é preciso uma aprendizagem significativa crítica para formar pessoas com foco na sociedade contemporânea, que a compreendam e consigam analisá-la. “Aprendizagem significativa crítica é aquela perspectiva que permite ao sujeito fazer parte de sua cultura e, ao mesmo tempo, estar fora dela” (p. 226).

## 2.1 UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA (UEPS)

A UEPS tem como coluna vertebral a Teoria de Aprendizagem Significativa (TAS) de Ausubel. A partir dela, elementos de outras teorias se encaixam para complementá-la. Para demonstrar esta articulação, estas teorias serão expressas nos próximos parágrafos de maneira reduzida mencionando apenas elementos envolvidos na UEPS, relacionados por Moreira (2011).

Seguindo os princípios mencionados, Moreira (MOHR. et al. 2012) propõe os seguintes passos para construção da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa:

1. Definir o tópico específico a ser abordado;
2. Propor situações que induza o estudante a externalizar seu conhecimento prévio;
3. Propor situações-problema, considerando o conhecimento prévio do estudante, em nível bem simples para que o estudante se prepare para introdução do conhecimento a ser trabalhado. É importante que o estudante perceba estas situações como problemas em sobre os quais são capazes de construir modelos mentais;
4. Apresentar o conhecimento a ser trabalhado, levando em conta a diferenciação progressiva;
5. Retomar os aspectos mais gerais do conteúdo da unidade de ensino, com uma nova apresentação em nível mais alto de complexidade em relação à primeira, de tal forma a promover a reconciliação integradora; em seguida, propor alguma outra

atividade colaborativa que leve os/as alunos/as a interagir socialmente, negociando significados, tendo o/a professor/a como mediador/a;

6. Dar seguimento ao processo de diferenciação progressiva retomando as características mais relevantes do conteúdo em questão, porém, buscando a reconciliação integrativa; seguida da proposta de novas situações-problema em níveis mais altos de complexidade em relação às anteriores, por meio de atividades colaborativas, as quais devem ser apresentadas e/ou discutidas em grande grupo com a mediação do/da docente;

7. Avaliação somativa com situações-problema, cujo resultado deve ser analisado dando igual importância a avaliação formativa durante toda a UEPS;

8. A UEPS será bem-sucedida se a avaliação do desempenho dos estudantes conter evidências de aprendizagem significativa, tais como a captação de significados, compreensão, capacidade de explicar, de aplicar o conhecimento para resolver situações-problema.

A UEPS pretende assim, através de sua estrutura, baseada nos seus princípios, superar a aprendizagem mecânica, com valores educacionais voltados para a sociedade do século XXI.

É fundamental identificar o conhecimento prévio do educando, se fosse possível isolar uma única variável como sendo a que mais influencia novas aprendizagens, esta variável seria o conhecimento prévio, os subsunçores. Porém, como alerta Moreira (2013), dizer que o conhecimento prévio é avariável que mais influencia a aprendizagem significativa de novos conhecimentos não significa dizer que é sempre uma variável facilitadora, pode, em alguns casos, ser a bloqueadora dos conhecimentos. Segundo ele, existem duas condições para a aprendizagem significativa: o material de aprendizagem deve ser potencialmente significativo e o aprendiz deve apresentar uma predisposição para aprender. A primeira condição implica que o material de aprendizagem (livros, aulas, aplicativos) tenha significado lógico (isto é, seja relacionável de maneira não-arbitrária e não-literal a uma estrutura cognitiva apropriada e relevante) e a segunda que o aprendiz tenha em sua estrutura cognitiva idéias-âncora relevantes com as quais esse material possa ser relacionado. Quer dizer, o material deve ser relacionável à estrutura cognitiva e o aprendiz deve ter o conhecimento prévio necessário para fazer esse relacionamento de forma não-arbitrária e não-literal (MOREIRA, 2013 p. 11).

### 3 REVISÃO DO OBJETO DE CONHECIMENTO ALVO

#### 3.1 SISTEMAS, MEIO E FRONTEIRA

As definições a seguir farão parte de nosso vocabulário no transcorrer de nossa proposta, logo serão expostos de forma bem resumida.

**Sistemas Termodinâmicos:** Compreende certa quantidade de matéria ou especificada região, não necessariamente de volume constante, onde concentramos nossa atenção para as transferências de energia e/ou de massa. O termo sistema, como é usado em termodinâmica, se refere a uma certa porção do universo incluída em alguma superfície fechada chamada de fronteira do sistema. A fronteira pode incluir um sólido, um líquido ou um gás, ou uma coleção de dipolos magnéticos, ou mesmo uma porção de energia radiante ou fótons em vácuo. A fronteira pode ser real como a superfície interna de um tanque contendo um gás comprimido, ou pode ser imaginária, como a superfície que limita uma certa massa de fluido escoando ao longo de uma canalização e acompanhada na imaginação enquanto ele progride. A fronteira não é necessariamente fixa nem em forma nem em volume, assim quando um fluido se expande contra um êmbolo, o volume incluído pela fronteira aumenta. As propriedades de um sistema em um dado estado, proporcionais a massa do sistema, são chamadas extensivas, exemplos são o volume total e a energia total de um sistema. As propriedades independentes da massa são chamadas intensivas, Temperatura, pressão e densidade são exemplos de propriedades intensivas.

**Fronteira:** O invólucro ou superfície real ou imaginária que envolve o sistema é a fronteira do sistema.

**Meio ou vizinhança:** Região que está situada fora do sistema. Portanto, a fronteira é o limite que separa o sistema do meio.

**Sistema Fechado:** Uma região de massa constante em que só é permitida a passagem de energia através de sua fronteira. Pode haver movimento da fronteira em relação ao observador. Um sistema fechado é isolado se não é permitida a troca de energia com o meio. Nesta situação ele é forçado a manter fixos dentro de sua fronteira massa e energia.

Sistema Aberto: Uma região que troca massa com o exterior (meio) além de poder trocar energia. Às vezes é denominado de volume de controle. Neste caso a fronteira é denominada de “superfície de controle”.

### 3.2 TEMPERATURA, EQUILÍBRIO TÉRMICO, LEI ZERO DA TERMODINÂMICA, CALOR E ENERGIA INTERNA

Antes de relacionar-mos determinadas grandezas físicas, se torna indispensável abordarmos inicialmente sobre temperatura, calor, energia interna e trabalho termodinâmico.

Toda matéria – sólida, líquida ou gasosa – é composta por átomos ou moléculas em constante agitação, em virtude desse movimento aleatório, os átomos ou moléculas da matéria possuem energia cinética. A temperatura está relacionada ao movimento aleatório dos átomos ou moléculas de uma substância, mais especificamente, a temperatura é proporcional à energia cinética média “translacional” do movimento molecular (pelo qual as moléculas se movimentam de um lugar a outro). As moléculas podem também rodar e vibrar, com energia cinética rotacional e vibracional correspondentemente associadas – mas esses movimentos não são de translação, e não definem temperatura.

A temperatura é uma medida da energia cinética translacional média (e não a energia cinética média total) das moléculas de uma substância, por exemplo, existe duas vezes mais energia cinética molecular em 2 litros de água fervendo do que em 1 litro nas mesmas condições – mas as temperaturas das duas porções de água são iguais, pois a energia cinética translacional média por molécula é a mesma. O efeito da energia cinética translacional versus a energia cinética rotacional e vibracional é verificado drasticamente em um forno de micro-ondas. As micro-ondas que bombardeiam sua comida fazem com que determinadas moléculas da comida, principalmente as de água, oscilem invertendo sua orientação de um sentido para o outro, com uma energia cinética rotacional considerável. Porém, as moléculas que oscilam não cozinham de fato a comida. O que eleva a temperatura e cozinha efetivamente a comida é a energia cinética translacional comunicada às moléculas vizinhas, que ricocheteiam nas moléculas oscilantes de água. Se as moléculas vizinhas não interagissem com as moléculas oscilantes da água, a temperatura da comida não seria diferente do que era antes do forno de ser ligado (HEWITT, 2015).

Vamos analisar agora o estado de equilíbrio térmico. Se dois corpos em contato estão em equilíbrio, então suas temperaturas são iguais por definição. Inversamente, se as temperaturas de dois corpos são iguais, eles estarão em equilíbrio térmico quando postos em contato. Um estado de equilíbrio térmico pode ser descrito como aquele em que a temperatura do sistema é a mesma em todos os pontos, estado esse em que as propriedades mensuráveis dos corpos deixam de sofrer mudanças observáveis. Esse conceito se torna extremamente importante quando analisamos a lei zero da termodinâmica, que se refere quando dois corpos quaisquer estão separadamente em equilíbrio térmico com um terceiro, eles também estão em equilíbrio térmico entre si. Assim, se queremos saber se dois jarros de água estão à mesma temperatura, é desnecessário colocá-los em contato e ver se suas propriedades variam com o tempo. Podemos mergulhar um termômetro (corpo A) em um dos jarros de água (corpo B) e aguardamos que alguma propriedade do termômetro, como o comprimento da coluna de mercúrio em um capilar de vidro, se torne constante, Então, por definição, o termômetro possui a mesma temperatura que a água deste jarro. Em seguida, repetimos o procedimento com o outro jarro de água (corpo C). Se os comprimentos das colunas de mercúrio são os mesmos, as temperaturas de B e C são iguais, e a experiência mostra que, se os dois jarros são postos em contato, não se dá mudança alguma em suas propriedades.

Temos que possuir cautela ao conceituar e difundir os termos temperatura e calor, pois no senso comum tais percepções são normalmente confundidas. Como já abordamos sobre temperatura, agora vamos salientar uma modalidade de energia transferida de uma região para outra por causa de uma diferença de temperatura entre elas, que é chamada de calor. A transferência de calor ocorre através da fronteira do sistema, em virtude de uma diferença de temperatura ou da existência do gradiente térmico entre o sistema e o meio (o gradiente térmico é uma medida da variação da temperatura em uma determinada direção ao longo de um espaço, em termos simples, ele descreve como a temperatura muda ao mover-se de um ponto para outro em um determinado meio, seja ele sólido, líquido ou gasoso). O sentido da transferência espontânea dessa energia é sempre da região de alta temperatura para um vizinho de menor temperatura, é importante observar que a matéria não contém calor, isso foi descoberto por Rumford em seus experimentos entediantes com canhões.

Rumford, e pesquisadores que seguiram seus passos, perceberam que a matéria contém energia cinética molecular e possivelmente energia potencial, não calor. Calor é energia em trânsito de um corpo a uma temperatura mais alta para outro a uma temperatura mais baixa, uma vez transferida, a energia deixa de ser calor. (Como analogia, o trabalho também é energia em trânsito. Um corpo não contém trabalho, ele realiza trabalho ou trabalho é realizado sobre ele). Enquanto que a energia interna é a soma total de todas as energias no interior de uma substância, além da energia cinética translacional da agitação molecular em uma substância, existe energia em outras formas, existe a energia cinética rotacional das moléculas e a energia cinética devido ao movimento interno dos átomos dentro das moléculas, existe também a energia potencial devido às forças entre as moléculas, de modo que uma substância não contém calor, ela contém energia interna.

Quando uma substância absorve ou cede calor, a sua energia interna, correspondentemente, aumenta ou diminui, em alguns casos, como quando o gelo se derrete, o calor absorvido de fato não aumenta a energia cinética molecular, mas transforma-se em outras formas de energia. Neste caso, a substância sofre uma mudança de fase. Para dois objetos em contato térmico, o calor flui de uma substância a uma temperatura mais alta para outra a uma temperatura mais baixa, mas não necessariamente flui de uma substância com mais energia interna para outra com menor energia interna.

Existe mais energia interna em uma tigela de água morna do que em uma tachinha incandescente, se ela for imersa em água, o fluxo de calor não ocorrerá da água morna para a tachinha, pelo contrário, o calor fluirá da tachinha quente (maior temperatura), para a água mais fria (menor temperatura). O calor jamais flui espontaneamente de uma substância a uma temperatura mais baixa para outra substância a uma temperatura mais alta. Quanto flui de calor depende não apenas da diferença entre as temperaturas das substâncias, mas também da quantidade de material que existe. Por exemplo, um barril cheio de água quente (90 °C) transferirá mais calor para uma substância mais fria (20 °C) do que uma xícara cheia com água à mesma temperatura. Existe mais energia interna na porção de água maior. E por fim, analisando agora o trabalho termodinâmico, trata-se de uma forma de energia transferida de um sistema para o seu entorno, ou da vizinhança para o sistema, em consequência de processos que envolvem variações em determinadas propriedades

termodinâmicas, como volume, pressão, ou outras variáveis de estado. Em termos simples, é o trabalho realizado pelo ou sobre um sistema devido a mudanças em suas condições internas.

### 3.3 GÁS IDEAL

Ao se falar deste tipo de panela, é indispensável comentários sobre as propriedades dos gases, apesar de nesse caso trabalharmos com o vapor de água, fazemos uma aproximação com o comportamento gasoso. O objetivo é explicar as propriedades fundamentais dos gases.

Grandezas físicas como a pressão, o volume, a temperatura e a quantidade de substância descrevem as condições ou o estado no qual existe um material em particular (por exemplo, um tanque de oxigênio usado em hospitais possui um manômetro que mostra a pressão e uma indicação de volume dentro do tanque, poderíamos também usar um termômetro e colocar o tanque sobre uma balança para determinar sua massa), essas grandezas são chamadas de variáveis de estado. O volume (**V**) de uma substância geralmente é determinado por sua pressão (**P**), temperatura (**T**) e pela quantidade de substância, descrita por sua massa (**m<sub>tot</sub>**) ou pelo seu número de moles (**n**), em geral, não podemos variar uma dessas grandezas sem produzir variações nas outras (em alguns casos, há necessidade de se acrescentar propriedades para descrever completamente o estado de um sistema, e estas propriedades devem ser incluídas na equação de estado, como por exemplo a área e a tensão superficial de uma superfície líquido-vapor, a magnetização e a densidade de fluxo em um material magnético, e o estado de carga de uma célula eletrolítica). Quando, por exemplo, um tanque de oxigênio eleva a sua temperatura, a pressão em consequência aumenta, caso a temperatura do tanque continue aumentando indefinidamente, ele explode. Em alguns casos, a relação entre as variáveis de estado é tão simples que podemos expressá-la na forma de uma equação denominada equação de estado. Quando a relação for complicada demais para isso, podemos usar gráficos ou tabelas numéricas. Contudo, a relação entre essas variáveis ainda existe; nós a chamamos de equação de estado mesmo quando não conhecemos sua forma explícita.

As variáveis de estado são importantes porque descrevem o estado termodinâmico de um sistema e permitem analisar e prever seu comportamento durante processos físicos e químicos. Essas variáveis fornecem informações essenciais sobre o sistema, independentemente do caminho ou das transformações que ele sofreu para chegar a um determinado estado, além de serem fundamentais para aplicar as leis da termodinâmica. São essenciais para identificar e definir estados de equilíbrio termodinâmico, onde todas as propriedades são uniformes e não há fluxo de energia ou matéria dentro do sistema, isso é fundamental para compreender como os sistemas chegam a estados estáveis. Em aplicações práticas, as variáveis de estado são monitoradas e controladas para otimizar processos industriais, garantindo segurança, eficiência energética e qualidade do produto final, por exemplo, em reatores químicos, o controle preciso da pressão e temperatura é vital para o sucesso das reações. Em síntese, são as ferramentas principais que permitem a análise, a modelagem e o controle de sistemas termodinâmicos, sendo essenciais para a compreensão das transformações de energia e matéria, elas formam a base da termodinâmica e de muitas outras disciplinas da ciência e engenharia.

As medidas do comportamento de muitos gases conduzem a três conclusões:

1. O volume  $V$  é proporcional ao número de moles  $n$ . Quando dobramos  $n$ , mantendo a temperatura e a pressão constantes, o volume duplica.
2. O volume é inversamente proporcional à pressão absoluta  $P$ . Quando dobramos a pressão, mantendo a temperatura  $T$  e o número de moles  $n$  constante, o gás se comprime à metade do volume inicial. Em outras palavras,  $PV = \text{constante}$  quando  $n$  e  $T$  permanecem constantes.
3. A pressão é proporcional à temperatura absoluta  $T$ . Quando dobramos  $T$ , mantendo o volume e o número de moles constantes, a pressão dobra. Em outras palavras,  $P = (\text{constante}) \times T$  quando  $n$  e  $V$  são constantes. as três proporcionalidades anteriores podem ser combinadas em uma única equação, denominada equação do gás ideal:

**Equação do gás ideal:**

$$PV = nRT \quad (1)$$

Pressão do gás  
Volume de gás

Número de moles do gás  
Temperatura absoluta do gás  
Constante do gás

Um gás ideal é aquele cujo comportamento pode ser descrito com precisão pela Equação acima, em todas as pressões e temperaturas, trata-se de um modelo idealizado, que funciona melhor com pressões muito pequenas e temperaturas muito elevadas, quando as distâncias entre as moléculas são muito grandes e se deslocam com velocidades elevadas. Esse modelo funciona razoavelmente bem (com um pequeno percentual de erro) para pressões moderadas (até algumas atmosferas) e para temperaturas muito acima daquela na qual o gás se liquefaz. Poderíamos esperar que a constante de proporcionalidade **R** da equação do gás ideal apresentasse diferentes valores para gases diferentes, porém verificamos que ela tem o mesmo valor para todos os gases, pelo menos em pressões suficientemente baixas e temperaturas suficientemente elevadas. Ela é chamada de constante dos gases ideais (ou simplesmente constante dos gases). usando unidades do sistema si, no qual a unidade da pressão P é Pa (1 Pa = 1 N/m<sup>2</sup>) e a unidade de volume V é m<sup>3</sup>, o valor atual mais aproximado de **R** é

$$R = 8,3144621(75) \text{ J/mol} \cdot \text{K}$$

Para uma massa constante (ou número de moles constante), o produto nR de um gás ideal é constante, de modo que PV/T também é constante. Designando dois estados da mesma massa de um gás pelos subscritos 1 e 2, podemos escrever

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} = \text{constante (gás ideal, massa constante)} \quad (2)$$

### 3.3.1 Transformação isocórica

Uma transformação gasosa na qual a pressão P e a temperatura T variam e o volume V é mantido constantê é chamada transformação isocórica, ou transformação isométrica, ou ainda de isovolumétrica. Verifica-se experimentalmente que as pressões e temperaturas absolutas nesse processo relacionam-se pela fórmula:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \quad (3)$$

A expressão acima significa que um gás a volume constante, a pressão e a temperatura absoluta de um gás ideal são diretamente proporcionais (comumente chamada de lei de Charles para a transformação isocórica). De acordo com essa lei, a temperatura de um gás ideal a volume constante diminui à medida que se reduz sua pressão. Portanto, a temperatura mais baixa que tem significado físico corresponde a pressão nula do gás resfriado isocoricamente. Essa temperatura é 273,15 °C (que se costuma aproximar para -273 °C) ou 0 K (zero kelvin, também denominado de zero absoluto). Graficamente, se representarmos a pressão  $P$  em ordenadas e a temperatura  $T$  absoluta em abscissas, obtemos uma reta que passa pela origem. Trata-se de uma função linear, isto é, a pressão é diretamente proporcional à temperatura absoluta, podendo ser observado no gráfico da transformação isocórica 1-a. Enquanto que na figura 1-b, indica a mesma transformação quando se representa em abscissas a temperatura expressa em °C.

**Figura 1: gráficos da transformação isocórica**



Fonte: Ramalho, Nicolau e Toledo, 2004.

Pode-se observar que a reta não atinge os valores de 0 K ou de -273 °C, pois esses valores (zero absoluto), é inatingível.

### 3.3.2. Transformação isobárica

Uma transformação gasosa na qual o volume  $V$  e a temperatura  $T$  variam e a pressão  $P$  é mantida constante é chamada transformação isobárica. Verifica-se experimentalmente que o volume e temperaturas absolutas nesse processo relacionam-se pela fórmula:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad (4)$$

A expressão acima significa que um gás a pressão constante, o volume e a temperatura absoluta de um gás ideal são diretamente proporcionais. Gráficamente, se representarmos o volume  $V$  em ordenadas e a temperatura  $T$  absoluta em abscissas, obtemos uma reta que passa pela origem. Trata-se de uma função linear, isto é, o volume é diretamente proporcional à temperatura absoluta, podendo ser observado no gráfico da transformação isobárica 2-a. Enquanto que na figura 2-b, indica a mesma transformação quando se representa em abscissas a temperatura expressa em  $^{\circ}\text{C}$ .

**Figura 2: gráficos da transformação isobárica**



Fonte: Ramalho, Nicolau e Toledo, 2004.

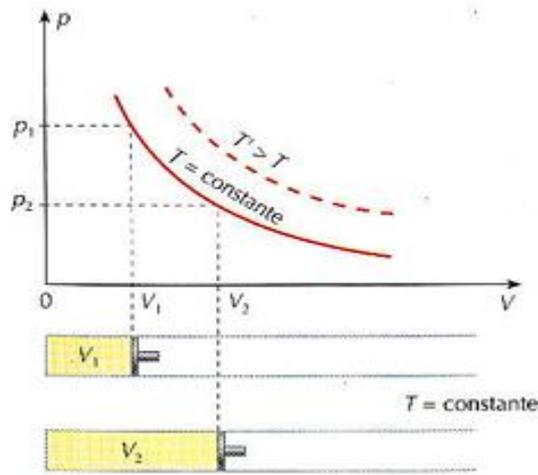
### 3.3.3 Transformação isotérmica

Uma transformação gasosa na qual a pressão  $P$  e volume  $V$  variam e a temperatura  $T$  é mantida constante é chamada transformação. Verifica-se experimentalmente que as pressões e os volumes nesse processo relacionam-se pela fórmula:

$$P_1V_1 = P_2V_2 \quad (5)$$

A expressão acima significa que um gás a temperatura constante, o volume e a pressão absoluta de um gás ideal são inversamente proporcionais. Essa relação é chamada de lei de Boyle. Se representarmos a pressão  $P$  em ordenadas e o volume  $V$  em abscissas, o gráfico que expressa a lei de Boyle é uma curva denominada isoterma, correspondente a um ramo de hipérbole equilátera, conforme mostra a figura do gráfico da transformação isotérmica abaixo.

Figura 4: gráfico da transformação isotérmica



Fonte: Ramalho, Nicolau e Toledo, 2004.

### 3.4 TRABALHO TERMODINÂMICO

“Uma força aplicada em um corpo realiza um trabalho quando produz um deslocamento no corpo”. Para uma força constante aplicada no mesmo sentido do deslocamento temos:

$$W = Fd \quad (6)$$

Onde,  $F$  é a força constante medida em newtons,  $d$  é o deslocamento medido em metros e  $W$  é o trabalho medido em joules. Essa expressão pode ser escrita nos termos da grandeza pressão e volume, que estão associadas as transformações gasosas. Como a pressão  $p$  é obtida pela razão entre o módulo da força  $F$  e a área  $A$ , ou seja

$$P = \frac{F}{A} \quad (7)$$

Onde,  $F$  é a força constante medida em newtons,  $A$  é a área medida em metro quadrado e  $P$  é a pressão medida em newton por metro quadrado. Assim podemos reescrever a isolando a força.

$$F = PA \quad (8)$$

Consideramos que força e deslocamento tem a mesma direção e sentido e que a área( $A$ ) x deslocamento( $d$ ) do êmbolo = Variação do volume ( $\Delta V$ ),  $A \cdot d = \Delta V$ , assim temos:

$$W = PAd = P\Delta V$$

Logo,

$$W = P(V_{final} - V_{inicial}) \quad (9)$$

A equação (9) acima se refere a um modelo de transformação isobárica.

### 3.4.1 Sinais Para o Calor e o Trabalho na Termodinâmica

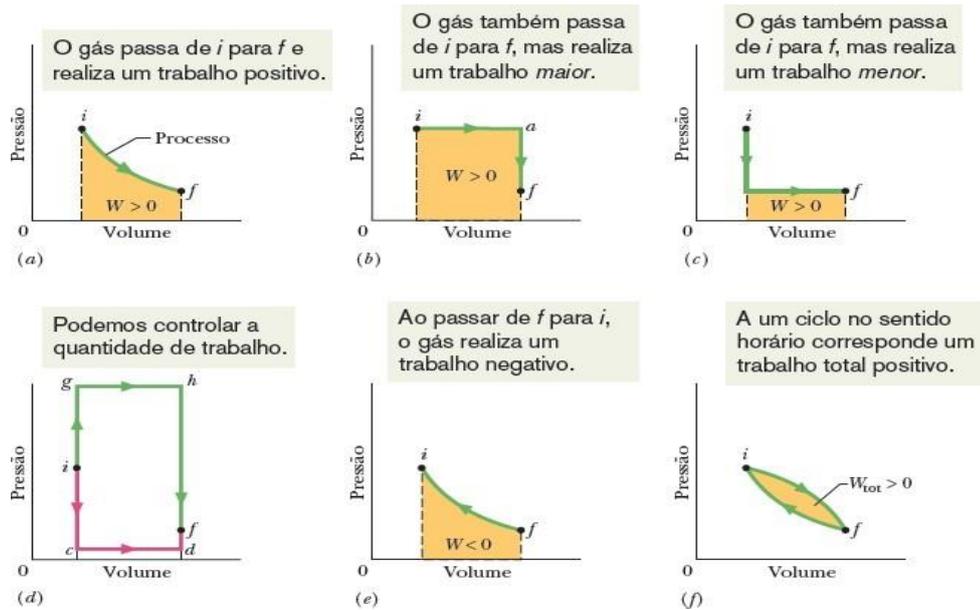
Descrevemos relações de energia em muitos processos termodinâmicos em termos da quantidade de calor  $Q$  fornecida para o sistema e o trabalho  $W$  realizado pelo sistema. Os valores de  $Q$  e de  $W$  podem ser positivos, negativos ou nulos, um valor de  $Q$  positivo significa uma transferência de calor para dentro do sistema, com um fluxo de energia correspondente para o interior do sistema,  $Q$  negativo significa uma transferência de calor para fora do sistema, um valor de  $W$  positivo significa um trabalho realizado pelo sistema sobre suas vizinhanças, como o trabalho realizado por um gás que se expande e, portanto, corresponde a uma transferência de energia para fora do sistema, enquanto que um valor de  $W$  negativo, como o trabalho realizado durante a compressão de um gás, significa um trabalho realizado sobre o gás pelas suas vizinhanças e, portanto, corresponde a uma transferência de energia para dentro do sistema.

### 3.4.2 Processos Entre Estados Termodinâmicos

Na prática, existem muitas formas de levar o gás do estado  $i$  para o estado  $f$ . Uma delas é mostrada na Figura caminhos entre estados termodinâmico, que são representações gráficas da pressão do gás em função do volume, conhecido como diagrama  $P$ - $V$ . Em (a), a curva mostra que a pressão diminui com o aumento do volume. A integral da equação do trabalho (e, portanto, o trabalho  $W$  realizado pelo gás) é representada pela área sombreada sob a

curva entre os pontos  $i$  e  $f$ . Independentemente do que fizermos exatamente para levar o gás do ponto  $i$  ao ponto  $f$ , esse trabalho será sempre positivo, já que o gás só pode aumentar de volume, ou seja, realizando trabalho sobre o meio.

Figura 5 : Caminhos entre estados termodinâmico



Fonte: Halliday, 2010

Analisando os gráficos acima, referente aos possíveis caminhos para a realização do trabalho termodinâmico, nota-se que em (a), a área sombreada representa o trabalho ( $W$ ) realizado por um sistema ao passar de um estado inicial  $i$  para um estado final  $f$ , o trabalho  $W$  é positivo porque o volume do sistema aumenta. Em (b)  $W$  continua a ser positivo, mas agora é maior, em (c)  $W$  continua a ser positivo, mas agora é menor, em (d)  $W$  pode ser ainda menor (trajetória  $icdf$ ) ou ainda maior (trajetória  $ighf$ ). No caso (e), o sistema vai do estado  $f$  para o estado  $i$  quando o gás é comprimido por uma força externa e o volume diminui; o trabalho  $W$  realizado pelo sistema é negativo, enquanto que em (f) O trabalho total  $W_{tot}$  realizado pelo sistema durante um ciclo completo é representado pela área sombreada. Outra forma de levar o gás do estado  $i$  para o estado  $f$  é mostrada na em (b), nesse caso, a mudança acontece em duas etapas: do estado  $i$  para o estado  $a$  e do estado  $a$  para o estado  $f$ .

A etapa **ia** deste processo acontece a uma pressão constante. O aumento do volume (de  $V_i$  para  $V_f$ ) é conseguido aumentando lentamente a temperatura do gás até um valor mais elevado  $T_a$ . Durante essa etapa, a expansão do gás realiza um trabalho positivo e calor é absorvido pelo sistema, esse calor é positivo porque é fornecido ao sistema.

A etapa **af** do processo da acontece a volume constante. A pressão do gás diminui de  $p_a$  para o valor final  $p_f$ . Durante essa etapa, o sistema cede calor.

Para o processo global **iaf**, o trabalho  $W$ , que é positivo e ocorre apenas durante o processo **ia**, é representado pela área sombreada sob a curva. A energia é transferida na forma de calor nas etapas **ia** e **af**, com uma transferência de energia líquida  $Q$  (energia líquida é um termo que se refere ao balanço de energia resultante após considerar todas as entradas e saídas de energia em um sistema, ela representa a energia disponível após as perdas e ganhos ocorridos durante um processo).

Em (c), mostra um processo no qual os dois processos anteriores ocorrem em ordem inversa. O trabalho  $W$  nesse caso é menor que (b) e o mesmo acontece com o calor total absorvido. Em (d) mostra que é possível tornar o trabalho realizado pelo gás tão pequeno quanto se deseja (seguindo uma trajetória como *icdf*) ou tão grande quanto se deseja (seguindo uma trajetória como *ighf*).

O gráfico (e) mostra um exemplo no qual um trabalho negativo é realizado por um sistema, quando uma força externa comprime o sistema, reduzindo o volume, o valor absoluto do trabalho continua a ser igual à área sob a curva, mas, como o gás foi comprimido, o trabalho realizado pelo gás é negativo.

O gráfico (f) mostra um ciclo termodinâmico no qual o sistema é levado de um estado inicial **i** para um outro estado **f** e depois levado de volta para **i**. O trabalho total realizado pelo sistema durante o ciclo é a soma do trabalho positivo realizado durante a expansão com o trabalho negativo realizado durante a compressão. O trabalho total é positivo porque a área sob a curva de expansão (de **i** a **f**) é maior do que a área sob a curva de compressão (de **f** a **i**) (HALLIDAY, 2010, p. 439-442).

Em resumo, um sistema pode ser levado de um estado inicial para um estado final de um número infinito de formas e, em geral, o trabalho  $W$  e o calor  $Q$

têm valores diferentes em diferentes processos. Dizemos que o calor e o trabalho são grandezas que dependem da trajetória. Conclui-se que o trabalho realizado pelo sistema depende não somente dos estados inicial e final, mas também dos estados intermediários, ou seja, depende do caminho.

### 3.5 ENERGIA INTERNA

A energia interna do sistema relaciona-se. Num gás correspondente às parcelas: energia térmica, que se associa ao movimento de agitação térmica das moléculas; a energia potencial de configuração, associada às forças internas conservativas; energias cinéticas atômico-moleculares, ligadas à rotação das moléculas, às vibrações intramoleculares e aos movimentos intra-atômicos das partículas elementares.

Não se mede diretamente a energia interna  $U$  de um sistema. No entanto, é importante conhecer a variação da energia interna  $\Delta U$  do sistema durante um processo termodinâmico. Para os gases ideais monoatômicos, essa variação é determinada somente pela variação da energia cinética de translação das moléculas que constituem o sistema.

Para os gases ideais, a variação da energia interna de determinada massa gasosa é função única e exclusiva de sua temperatura (lei de Joule para os gases perfeitos), conforme podemos observar na equação a seguir

$$\Delta U = \frac{3}{2} nR\Delta T \quad (10)$$

Dessa forma podemos relacionar a temperatura termodinâmica de um gás ideal e sua energia interna conforme a figura 6, abaixo:

**Figura 6: relação entre temperatura e energia interna para um gás ideal**

Situações possíveis	Energia interna
$T_2 > T_1 \Rightarrow \Delta T > 0 \Rightarrow \Delta U > 0$	aumenta
$T_2 < T_1 \Rightarrow \Delta T < 0 \Rightarrow \Delta U < 0$	diminui
$T_2 = T_1 \Rightarrow \Delta T = 0 \Rightarrow \Delta U = 0$	não varia

### 3.6 PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

A energia não pode ser criada nem destruída, pode apenas ser transformada de uma forma em outra, e sua quantidade total permanece constante. A primeira lei da termodinâmica expressa o princípio de conservação de energia de um sistema considerando três formas diferentes de energia: o trabalho, a variação da energia interna e o calor. Considere um sistema recebendo calor ( $Q$ ). O calor recebido será transformado integralmente em trabalho ( $w$ ) ou integralmente em energia interna ( $\Delta U$ ) ou ainda uma parte do calor recebido será transformado em trabalho e o restante em energia interna. Por tanto podemos escrever

$$\Delta U = Q - W \quad (11)$$

#### 3.6.1 Alguns Casos Especiais da Primeira Lei da Termodinâmica

Vamos agora examinar quatro processos termodinâmicos diferentes para verificar o que acontece quando aplicamos a esses processos a primeira lei da termodinâmica.

**1. Processos adiabáticos.** Processo adiabático é aquele que acontece tão depressa ou em um sistema tão bem isolado que não há trocas de calor entre o sistema e o ambiente. Fazendo  $Q = 0$  na primeira lei, obtemos

$$\Delta U = -W$$

Se o sistema realiza trabalho sobre o ambiente (ou seja, se  $W$  é positivo), a energia interna do sistema diminui de um valor igual ao do trabalho realizado. Se, por outro lado, o ambiente realiza trabalho sobre o sistema (ou seja, se  $W$  é negativo), a energia interna do sistema aumenta de um valor igual ao trabalho realizado.

**2. Processos a volume constante.** Se o volume de um sistema (um gás, em geral) é mantido constante, o sistema não pode realizar trabalho. Fazendo  $W=0$  na primeira lei, obtemos

$$\Delta U = Q$$

Assim, se o sistema recebe calor (ou seja, se  $Q$  é positivo), a energia interna do sistema aumenta. Se, por outro lado, o sistema cede calor (ou seja, se  $Q$  é negativo), a energia interna do sistema diminui.

**3. Processos cíclicos.** Existem processos nos quais, após certas trocas de calor e de trabalho, o sistema volta ao estado inicial. Nesse caso, nenhuma propriedade intrínseca do sistema (incluindo a energia interna) pode variar. Fazendo  $\Delta U = 0$  na primeira lei, obtemos

$$Q = W$$

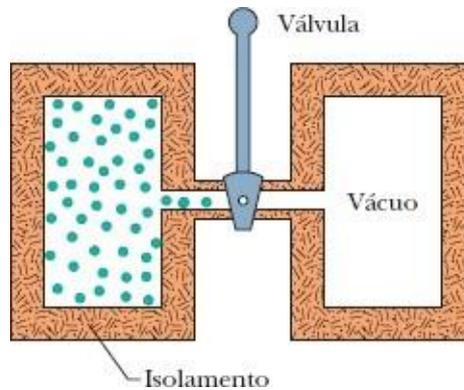
Assim, o trabalho total realizado durante o processo é exatamente igual à quantidade de energia transferida na forma de calor; a energia interna do sistema permanece a mesma. Os processos cíclicos representam uma trajetória fechada no diagrama  $p$ - $V$ .

**4. Expansões livres.** São processos nos quais não há troca de calor com o ambiente e nenhum trabalho é realizado. Assim,  $Q = W = 0$  e, de acordo com a primeira lei,

$$\Delta U = 0$$

A Figura expansão livre abaixo, mostra de que forma esse tipo de expansão pode ocorrer. Um gás, cujas moléculas se encontram em equilíbrio térmico, está inicialmente confinado por uma válvula fechada em uma das duas câmaras que compõem um sistema isolado; a outra câmara está vazia. A válvula é aberta e o gás se expande livremente até ocupar as duas câmaras. Nenhum calor é transferido do ambiente para o gás ou do gás para o ambiente por causa do isolamento. Nenhum trabalho é realizado pelo gás porque ele se desloca para uma região vazia e, portanto, não encontra nenhuma resistência (pressão) na segunda câmara.

Figura 14: expansão livre



Fonte: Halliday, 2010

Uma expansão livre é diferente dos outros processos porque não pode ser realizada lentamente, de forma controlada. Em consequência, durante a expansão abrupta, o gás não está em equilíbrio térmico e a pressão não é uniforme. Assim, embora os estados inicial e final possam ser mostrados em um diagrama  $p$ - $V$ , não podemos desenhar a trajetória da expansão. (HALLIDAY, 2010, p. 443-444).

## 4 PRODUTO EDUCACIONAL

### 4.1 DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Quadro 1 – Síntese do planejamento da sequência didática

(continua)

Número da aula	Descrição do desenvolvimento da etapa	Materiais e métodos utilizados
Aula 1	<p><i>Situação inicial:</i> No primeiro encontro teremos a introdução do conceito alvo, apresentando os conteúdos a serem estudados. Inicialmente quatro perguntas simples serão feitas a turma, expondo-as no quadro branco:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Alguém sabe cozinhar?</li> <li>2. Alguém sabe os tipos de panelas que podemos usar na cozinha?</li> <li>3. Qual a diferença entre elas?</li> <li>4. Em geral, como é a estrutura de uma panela de pressão?</li> <li>5. Qual sua percepção sobre as grandezas de calor, pressão, temperatura e volume.</li> </ol> <p>A partir das devolutivas dos alunos, levando em consideração os conhecimentos prévios de cada um, faremos uma discussão acerca dos conceitos de temperatura, calor e pressão.</p>	Aula expositiva e utilização do quadro branco.
Aula 2	<p><i>Abordagem experimental, para relembrar conceitos da aula anterior.</i></p> <p><i>Posteriormente apresentamos a classe uma situação-problema:</i> dividimos a sala em grupos (com 5 alunos), e propomos a leitura do informativo técnico da coordenadoria de alimentação escolar da prefeitura de São Paulo (ANEXO 1). Após a leitura, os grupos são instigados a responder alguns questionamentos inerentes à utilização da panela de pressão e seus potenciais riscos.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Qual o tipo de panela é mais associado ao risco de acidentes? Por quê?</li> <li>2. Por que é importante verificar se a panela tem o selo do Inmetro?</li> <li>3. Que tipos de alimentos são preparados com o auxílio da panela de pressão?</li> <li>4. É verdade que ela pode explodir? Você sabe explicar como isso ocorre?</li> </ol>	Apostila sobre cautelas na utilização da panela de pressão. (ANEXO 1)

	5. Quais grandezas físicas estão presentes no uso da panela de pressão? E qual relação entre elas?	
Aula 3	Deve-se retomar as principais ideias discutebatidas nas aulas iniciais, para que em seguida cada grupo possa realizar a socialização das ideias com toda a turma, referente às situações-problema propostas na aula 2. Durante as discussões deve ocorrer a mediação do docente, para orientar a condução da atividade.	Aula expositiva e orientação do docente durante a discussão dos grupos.
Aula 4	<i>Nova situação-problema, em nível mais alta de complexidade:</i> Este encontro, deve ser iniciado com uma breve revisão do que foi discutido na aula anterior, salientando todos os cuidados e medidas que devem ser adotados para a segurança de todos. Na sequência os mesmos grupos da aula anterior devem ser formados, propondo para estes, de que forma podem proceder e se organizarem para realizar o cozimento de 400 gramas de feijão, utilizando apenas 25 minutos de gás de cozinha, sendo proporcionando a cada grupo, uma panela de pressão, um fogão, uma tábua, talheres, fornecimento de gás de cozinha e diversos temperos para o preparo.	Aula expositiva e orientação do docente.
Aula 5	Início do preparo do feijão, ressaltando que é de extrema importância a orientação, e se necessário, pequenas intervenções do professor em cada grupo durante o preparo do alimento, para evitar algum tipo de acidente, adotando-se como cautela uma consulta prévia à escola e a própria brigada de incêndio da instituição.	Botijão de gás de cozinha, feijão, tábua de cozinha, talheres, tomate, cebola, pimentinha, cheiro verde, charque, folha de louro, bacon, calabresa, abóbora, maxixe, páprica doce, pimenta do reino e sal.
Aula 6	<i>Aprofundamento dos conhecimentos:</i> Aula expositiva sobre transformações gasosas, através de slides e do quadro branco.	Uso do data-show e quadro branco.
Aula 7	Será realizada uma roda de conversa com a turma, para a discussão sobre como procederam e o que perceberam, durante a solução da nova situação-problema (preparo do feijão), sendo que durante o debate os alunos serão instigados sobre a possível existência de relações entre as etapas de cozimento do feijão e as transformações gasosas, assim como também em que etapa durante o preparo do alimento podemos identificar determinada relação.	Roda de conversa, para debate em grande grupo.
Aula 8		Questões expostas no quadro branco.

	<i>Avaliação somativa individual:</i> será realizada uma avaliação individual através de questões abertas envolvendo os conceitos-foco da unidade.	
Aula 9	<i>Aula expositiva dialogada integradora final:</i> na seguinte aula terá o retorno dos conteúdos da UEPS e as atividades. Dessa vez, será questionado sobre como as transformações termodinâmicas influenciam o seu cotidiano, sendo que, cada estudante poderá dar um exemplo de como essa teoria se manifesta no seu dia a dia. Com o propósito de criar um ambiente de colisão entre teoria e prática.	Aula expositiva.

Avaliação da aprendizagem na UEPS: deverá estar baseada nos trabalhos feitos pelos alunos (participação no cozimento do feijão), nas observações feitas em sala de aula e na avaliação somativa individual, cujo peso não deverá ser superior a 50%.

Avaliação da própria UEPS: deverá ser feita em função dos resultados de aprendizagem obtidos. Reformular algumas atividades, se necessário.

**Total de horas-aula:** 9 horas

## 4.2 IMPLEMENTANDO A PROPOSTA

### **Primeira aula - Apresentação da sequência didática e análise de conhecimentos prévios**

A aula deve ser comentando sobre a proposta de trabalho, salientando a importância da participação e empenho da turma para alcançar seus objetivos. Neste primeiro passo, deve-se sondar e diagnosticar qual é a compreensão do/a estudante sobre o tema a se abordar, assim, buscando esse conhecimento prévio, que vamos possuir um alicerce para analisar qual o nível de complexidade utilizar nas próximas aulas. Para isso, é importante que as perguntas sejam simples e em consonância com os referenciais teóricos, deve-se utilizar questionamentos pertinentes aos conceitos alvos, onde tais questões devem ser expostas no quadro branco, para a análise da turma, com a finalidade de levantar o conhecimento prévio dos alunos. Os discentes devem ser indagados com os seguintes questionamentos:

**1º: Alguém sabe cozinhar ?** (Nesse momento, após as devolutivas e para maior interação, é interessante perguntar também quais os tipos de comida sabem preparar).

**2º: Alguém sabe os tipos de panelas que podemos usar na cozinha ?** (Faça uma lista no quadro com os tipos de panelas que comentarem e questione sobre os materiais usados nas panelas e sua condutibilidade térmica).

**3º: Qual a diferença entre elas ?** (Nesse momento, além de brevemente retomar sobre características dos materiais que constituem os diversos tipos de panelas, é extremamente importante que o docente conduza o debate a respeito do uso da panela de pressão no preparo de determinados alimentos ao invés de um outro tipo de panela).

**4º: Em geral, como é a estrutura de uma panela de pressão ?** (Após as devolutivas, é importante que o docente comente sobre a válvula principal e a válvula de segurança da panela de pressão).

A indagação aos alunos também deve abordar conceitos-chaves, que devem ser respondidos individualmente em uma folha de papel e entregue ao término da aula ao docente, para o desenvolvimento da sequência didática como:

**1º: Qual a sua percepção sobre a grandeza física temperatura ?**

**2º: Qual a sua percepção sobre a grandeza física pressão ?**

**3º: Qual a sua percepção sobre os processos que envolvem a transmissão de calor ?**

**4º: Qual a sua percepção sobre as propriedades de um gás?**

**5º: Qual a sua percepção sobre as transformações gasosas ?**

**6º: Qual a sua percepção sobre a teoria cinética molecular ?**

**7º: Qual a sua percepção sobre a primeira lei da termodinâmica ?**

Durante essa etapa, se torna interessante explicar a importância do conhecimento prévio dos discentes no processo de ensino-aprendizagem, para que os mesmos não fiquem muito apreensivos. Uma analogia que pode ser adotada nesse momento seria a semelhança com uma consulta médica, pois é preciso fazer um diagnóstico do paciente antes de prescrever um remédio para ele. Já pensou você ir ao hospital com dor no braço e antes de você falar nada, o médico te prescreve um remédio

para verme? Seria trágico! Mas infelizmente, esta é uma realidade comum do nosso ensino. Da mesma forma, antes de começar a “ensinar” determinado aspecto (prescrever o remédio), é preciso compreender o que o/a estudante sabe do assunto (ouvir, fazer exame, fazer um diagnóstico), para só então falar o que é preciso para aquele/a estudante, naquele momento (passar o remédio na dosagem certa!).

### **Segunda aula – Leitura de informativo técnico sobre panela de pressão e Princípios de funcionamento.**

Esta aula deve ser desenvolvida a partir de um breve experimento, envolvendo porções de água com temperaturas diferentes, além de corante, com a finalidade de retomar, organizar e relacionar conceitos da aula inicial. Durante a realização deste experimento adiciona-se água a uma temperatura próxima de 100 °c (água fervendo) em um frasco de vidro e em outro frasco, também de vidro, deve se adicionar água a uma temperatura próxima de 20 °c (água da torneira), e em ambos os recipientes adiciona-se corante, com a finalidade de perceber o comportamento das moléculas, no qual os alunos devem perceber que na porção de água com maior temperatura, o corante adicionado se dissemina com maior rapidez, comparado com a porção de água de menor temperatura.

Em seguida os alunos devem ser questionados porque isto ocorre. Posteriormente também devem ser questionados sobre a influência da agitação molecular em relação a pressão em um recipiente fechado, como por exemplo a própria panela de pressão. As respostas devem ser ponderadas, pelo docente, e debatidas em sala, afim de que se atinja um potencial de cognição da turma sobre grandezas termodinâmicas fundamentais. Ainda nesta aula, a turma deve ser dividida em grupos, cada grupo, preferencialmente com 5 alunos, devem receber um informativo técnico sobre a panela de pressão, anexo 1 (disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1isva3Vxjeic5EOAJqWgvjs4wKqgJ136v/view?usp=sharing>).

Após a leitura, realize um debate interno de cada grupo, para uma maior socialização entre os próprios grupos, que deve ocorrer na aula posterior, além disso os grupos também devem responder algumas perguntas fixadas na apostila. É

essencial que o professor realize observações, assim como os comentários dos grupos e individuais em um diário de bordo.

### **Terceira aula – Respostas das perguntas do informativo técnico e debate entre os grupos.**

Para uma melhor análise defina os grupos, como grupo **A**, grupo **B**, grupo **C** e assim por diante. Promova um debate entre os grupos, fazendo-os inicialmente ler para toda turma as respostas sobre os questionamento do informativo técnico, fornecido na aula anterior. Durante o debate é primordial a atenção do docente, para que se necessário, realizar pequenas intervenções, afim de que não se perca o foco. Também é crucial que se destaque, por mais que os grupos falem a respeito, que uma panela de pressão pode explodir por diversas razões, mas geralmente isso acontece devido a falhas no dispositivo de segurança, como a válvula de pressão (principal), válvula de segurança ou o anel de vedação, onde muito das vezes ocorre por obstruções de alimentos nessas regiões, evitando seu correto funcionamento, portanto realizar a higienização adequada deste dispositivo sempre dar-se-á necessária, afim de se ter maior segurança no seu manuseio.

Outra fala fundamental do docente nesse momento, também designada a segurança no uso da panela de pressão, é de quando a pressão dentro da panela não é liberada adequadamente, ela pode acumular-se a níveis perigosos, levando à explosão da panela, assim com outras causas podem incluir o uso incorreto da panela, como sobrecarregá-la ou abrir antes que a pressão tenha sido completamente liberada. Deve-se evidenciar para os grupos, a importância de se seguir as instruções de uso da panela de pressão para garantir a segurança durante o cozimento. Precauções importantes que devem ser destacadas:

- 1 Leia o manual:** Antes de usar a panela de pressão, leia atentamente o manual de instruções para entender seu funcionamento e quaisquer precauções específicas.
- 2 Não sobrecarregue:** Não encha a panela de pressão até a borda. Deixe espaço suficiente para que os alimentos possam expandir durante o cozimento sob pressão.

- 3 Use líquido suficiente:** Certifique-se de adicionar líquido suficiente (como água, caldo, etc.) para gerar vapor e criar pressão. Não cozinhe alimentos secos na panela de pressão, pois isso pode causar superaquecimento.
- 4 Verifique a vedação:** Antes de usar, verifique se a vedação da panela e a válvula de segurança estão em boas condições. Se houver sinais de desgaste ou danos, substitua-os imediatamente.
- 5 Posicione corretamente:** Certifique-se de que a tampa esteja corretamente posicionada e travada antes de ligar o fogão.
- 6 Use a quantidade correta de calor:** Use apenas a quantidade de calor necessária para manter a pressão. Reduza o calor se a pressão aumentar muito rapidamente.
- 7 Mantenha a ventilação limpa:** Verifique regularmente e limpe quaisquer obstruções na válvula de pressão e na válvula de segurança para garantir que elas funcionem corretamente.
- 8 Não force a abertura:** Não force a abertura da panela enquanto estiver sob pressão. Espere até que toda a pressão seja liberada naturalmente antes de tentar abrir.
- 9 Resfrie antes de abrir:** Após o cozimento, deixe a panela esfriar por alguns minutos antes de abrir a tampa para evitar queimaduras por vapor quente.
- 10 Mantenha fora do alcance de crianças:** Mantenha a panela de pressão fora do alcance de crianças quando estiver em uso ou depois de ser usada, pois partes dela ainda podem estar quentes.

Comente com a turma que seguindo essas precauções, pode-se minimizar os riscos associados ao uso da panela de pressão e garantir uma experiência de cozimento com maior segurança.

**Quarta aula – Nova situação-problema, em um nível de maior grau de complexidade.**

Neste encontro deve ser apresentado a turma uma nova situação-problema, em nível mais alta de complexidade, sendo iniciado com uma breve revisão do que foi discutido na aula anterior, ressaltando todos os cuidados e medidas que devem ser

adotados para a segurança de todos. Na sequência, os mesmos grupos (**A, B, C, e outros**) da aula anterior, devem ser novamente formados, propondo para estes, de que forma podem proceder e se organizarem para realizar o cozimento de 400 gramas de feijão, utilizando apenas 25 minutos de gás de cozinha, sendo proporcionando a cada grupo, uma panela de pressão, um fogão, uma tábua, talheres, fornecimento de gás de cozinha e diversos temperos para o preparo, tais como: tomate, cebola, pimentinha, cheiro verde, páprica doce, colorau, pimenta-do-reino, couve, açafraão, sal, abóbora, charque, calabresa, bacon, folha de louro, cominho, azeite de oliva e cebolinha.

É importante evidenciar que o feijão (carioca) antes de se utilizar, deve permanecer imerso em água durante um tempo de 4 horas, antes do cozimento. Dessa forma, aborde que deixar o feijão de molho (imerso em água) antes do cozimento é para otimizar o processo, além de oferecer várias vantagens, como a redução do tempo de cozimento, pois o feijão seco pode levar bastante tempo para cozinhar completamente. Ao deixá-lo de molho, ocorre uma reidratação dos grãos, o que reduz significativamente o tempo necessário para o cozimento. Facilita a digestão, devido ao processo de molho ajuda a quebrar e remover alguns dos oligossacarídeos complexos presentes no feijão, esses compostos podem ser difíceis de digerir e podem causar desconforto gastrointestinal, como gases e inchaço. Deixar o feijão de molho ajuda a torná-lo mais fácil de digerir. Redução de fatores antinutricionais, pois o feijão contém alguns fatores antinutricionais, como fitatos e lectinas, que podem interferir na absorção de nutrientes pelo corpo, deixá-lo imerso na água ajuda a reduzir a quantidade desses compostos, tornando os nutrientes do feijão mais disponíveis para absorção. Melhora a textura, porque ajuda a garantir que os grãos cozinhem de maneira uniforme, resultando em uma textura mais macia e agradável (faça o comentário dessas propriedades com os alunos).

Sendo assim, após ressaltar inúmeras vezes todos os cuidados, no manuseio de talheres, na utilização do fogão, no uso da própria panela de pressão, no planejamento e organização que cada grupo deve ter no momento do preparo do feijão, além de observarem em uma perspectiva científica, relações entre grandezas termodinâmicas, como temperatura, pressão, calor, energia interna e volume específico da substância, os grupos estão aptos para realizar tal prática, no próximo encontro.

**Quinta aula – Preparo do feijão em uma perspectiva científica. Observando grandezas termodinâmicas envolvidas e suas relações.**

Inicialmente os alunos, em seus respectivos grupos (**A, B, C** e outros), devem ser novamente orientados sobre todas as cautelas adotadas nos procedimentos durante o preparo do feijão, assim como também devem realizar anotações sobre propriedades físicas envolvidas e suas possíveis relações, em seguida cada grupo deve receber os itens, descritos na quarta etapa, para realizar tal preparo, também deve ser ressaltado que cada grupo possui um determinado tempo para entregar o feijão cozido (25 minutos de cozimento acrescidos de 15 minutos de organização, higienização e corte dos diversos temperos). Após as devidas ponderações, os discentes podem iniciar a prática experimental. Se torna interessante durante o experimento, que o docente responsável tenha auxílio de outro professor, preferencialmente na área da disciplina de Química, pela afinidade dos objetos de conhecimento, para que durante a prática ambos realizem pequenas intervenções, fazendo questionamentos e comentários durante a prática, o momento conveniente para isso é quando todos os ingredientes já estão na panela e a mesma encontra-se vedada com sua tampa.

Sendo assim, durante o período da espera do cozimento do feijão, as equipes devem ser indagadas sobre algumas propriedades termodinâmicas envolvidas no processo, questionando-as da seguinte forma:

**1º: Por que a panela de pressão é diferente das demais?**

**2º: Qual função da válvula principal e a válvula de segurança da panela?** (nesse momento, após as devolutivas, o docente deve ressaltar a importância da devida higienização da panela, para evitar que resíduos alimentares possam vir a atrapalhar seu funcionamento normal).

**3º: Qual a temperatura de ebulição da água em condições normais? e qual a temperatura de ebulição da água no interior da panela de pressão, durante seu manuseio?**

**4º: Qual relação percebe-se entre temperatura e pressão?** (Nesse momento, após as devolutivas, é interessante que professor comente sobre a influência da altitude na pressão atmosférica, assim como também a influência da pressão na temperatura de ebulição e fusão da água).

**5º: Explique a diferença entre vapor de água e gás de Água?** (Nessa etapa, deve ser mencionado que apesar de estar trabalhando com vapor, usufruir do modelo do gás ideal é extremamente útil para compreender e prever o seu comportamento em diversas situações. Nesse momento outro comentário indispensável, é sobre as variáveis de estado de um gás ideal, pressão, volume, temperatura e quantidade de substância, que estão relacionadas pela equação dos gases ideais, que é  $PV=nRT$ . Sobre essa perspectiva, enfatize sobre as lei dos gases e as principais características das transformações gasosas, sem adentrar no ferramental matemático, descrevendo assim seu comportamento e de como suas variáveis de estado estão relacionadas entre si).

**6º: O que acontece com a pressão no interior da panela, antes e após a saída de vapor pela válvula principal?** (Nesse etapa, após as devolutivas, é importante ressaltar que antes da saída de vapor, durante determinado momento o volume de vapor de água não se altera, permanecendo assim constante, enquanto que ao decorrer da saída de vapor, a pressão interna não se altera, permanece assim constante).

**7º: Qual a vantagem de se diminuir a intensidade da chama do fogão, no momento que se inicia a saída do vapor?** ( Nesse momento, após as devolutivas, comente que a prática de reuzir a chama, faz com que a temperatura interna da panela permaneça constante, além de proporcionar economia do gás de cozinha).

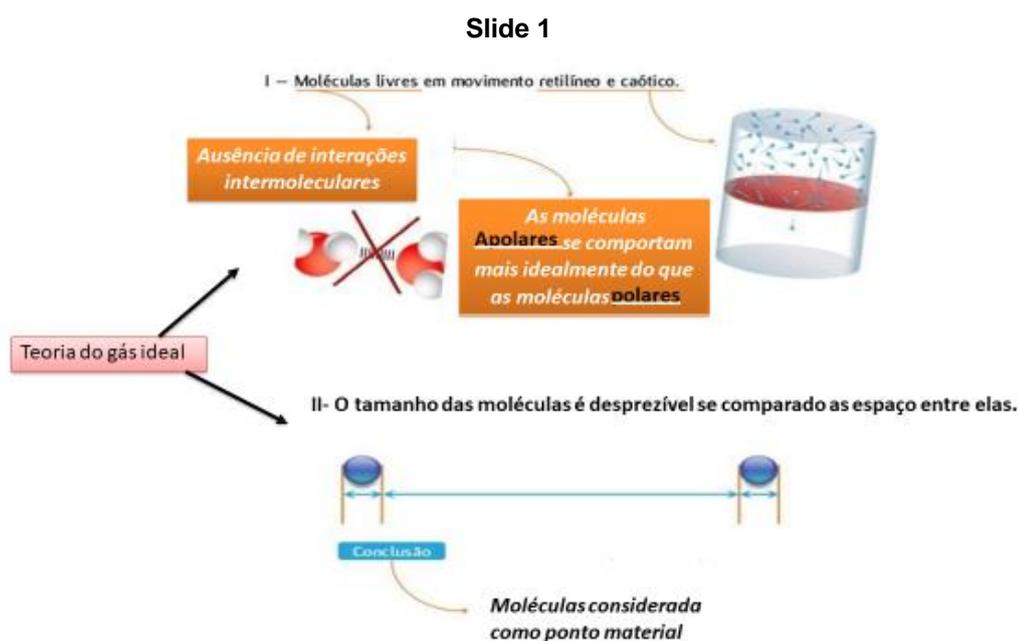
**8º: Por que, após determinado tempo de cozimento do feijão, não se consegue remover a tampa da panela de pressão, imediatamente após a sua retirada da chama do fogão?** (Após as devolutivas, comente sobre a relação entre as grandezas Físicas Temperatura e Pressão).

**9º: Por que ao molhar a panela, posicionando-a embaixo da torneira, se torna mais fácil a remoção da tampa?** (Mesma observação do item anterior, aproveite esse item final para falar da expansão adiabática que ocorre no botijão, durante a liberação de gás de cozinha, proporcionando uma redução de sua temperatura, mesmo não ocorrendo trocas de calor com o meio).

Nessa prática experimental, é interessante que o docente destine um tempo de aplicação um pouco maior do que nas etapas anteriores. Um intervalo de tempo apropriada para essa etapa é de 60 minutos à 90 minutos.

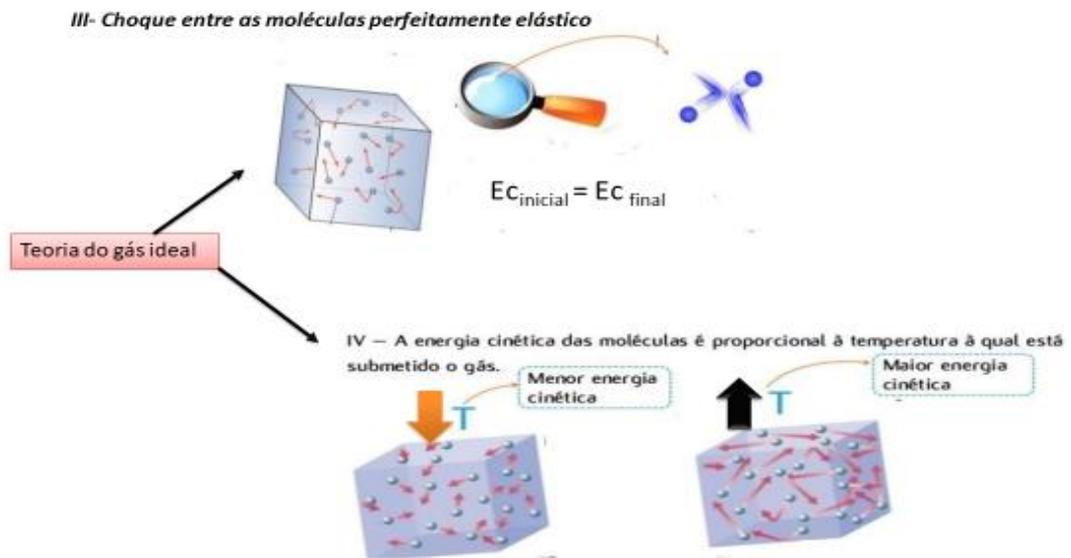
## Sexta aula – Aprofundamente dos conhecimentos.

Nesse encontro, deve se realizar uma aula expositiva sobre transformações gasosas (transformação isotérmica, isovolumétrica, isobárica e adiabática), com o auxílio do data show, para otimizar o tempo de aula e com o objetivo de entrelaçar conhecimentos difundidos durante a prática da etapa anterior da sequência, com relações entre as grandezas termodinâmicas através do ferramental matemático (equações e gráficos), identificando as características de cada transformação gasosa, afim de potencializar o processo cognitivo. Proceda essa etapa evidenciando a importância no discernimento e compreensão sobre os conceitos de tais transformações, assim como também a aplicação da lei dos gases ideais para resolver problemas relacionados a elas, além de reconhecer as características distintas de cada tipo de transformação gasosa. Sendo assim é imprescindível iniciar essa aula comentando sobre as principais características dos gases, pode-se adotar como exemplo o esquema abaixo, para a elaboração dos slides, abordando aspectos gerais dos gases (os slids estão disponíveis em: [https://docs.google.com/presentation/d/1KcjwmU23htn62yTi99f9CS3U\\_f1vNi98/edit#slide=id.p1](https://docs.google.com/presentation/d/1KcjwmU23htn62yTi99f9CS3U_f1vNi98/edit#slide=id.p1)).



Fonte: próprio autor

## Slide 2



Fonte: próprio autor

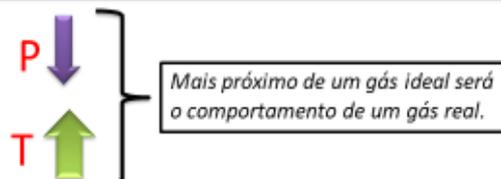
## Slide 3

► Esse modelo de comportamento proposto pela teoria cinética do gás ideal afasta-se sensivelmente daquele observado na prática para um gás "real" em condições de pressão muito alta e/ou temperatura muito baixa.

Assim concluímos que:

Gás ideal é aquele que obedece à teoria cinética dos gases, ou seja, é um modelo teórico de gás perfeito.

Na prática, os gases reais tem um comportamento diferente, que pode se aproximar desse modelo teórico em certas condições de temperatura e pressão:



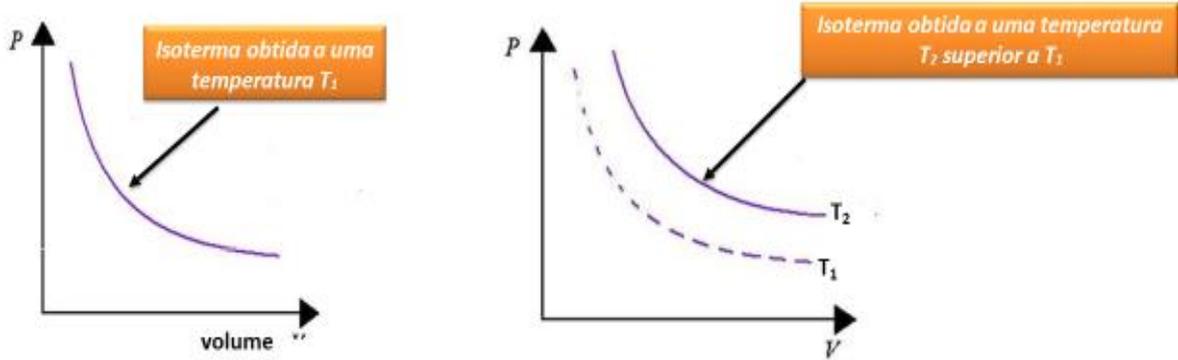
**Gás ideal x gás Real**

Fonte: próprio autor

Slide 4

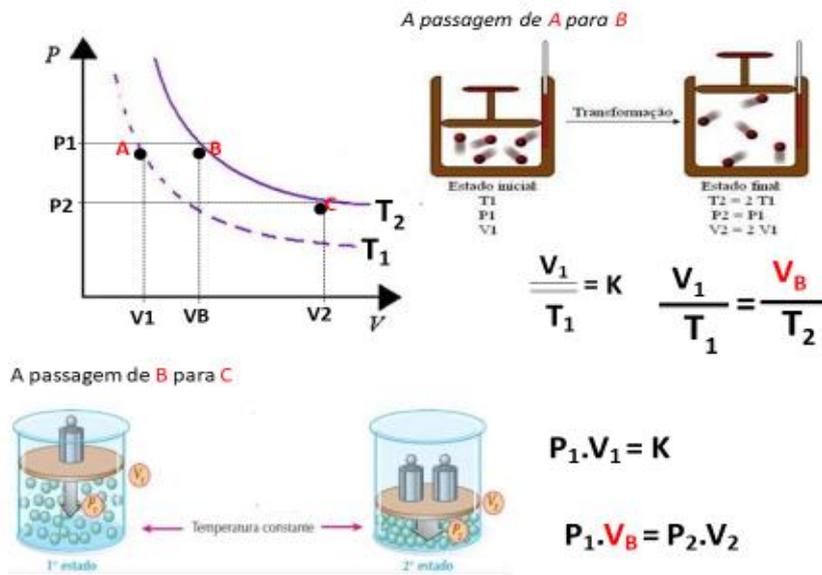
*Equação geral dos gases*

Dado o gráfico abaixo



Fonte: próprio autor

Slide 5



Fonte: próprio autor

## Slide 6

Isolando  $V_B$  na primeira equação e substituindo na segunda teremos:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_B}{T_2} \quad V_B = \frac{V_1 \cdot T_2}{T_1}$$

$$P_1 \cdot V_B = P_2 \cdot V_2 \quad P_1 \cdot \frac{V_1 \cdot T_2}{T_1} = P_2 \cdot V_2$$

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2}$$

Equação geral dos gases

Fonte: próprio autor

## Slide 7

► O físico **Clapeyron** estabeleceu uma equação que relaciona as 3 variáveis de estado de um gás e a quantidade de matéria  $n$  ( $n$  mols de partículas: átomos ou moléculas, descrevendo o comportamento de um gás ideal).

Considere a equação geral dos gases

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2} \quad \text{Ou} \quad \frac{P \cdot V}{T} = \text{constante} \quad \text{Constante} = R$$

$$V = n \frac{R \cdot T}{P}$$

1mol de um gás ocupa um volume  $V$   
 2mol de um gás ocupa um volume  $2V$   
 3mol de um gás ocupa um volume  $3V$

$V = \frac{R \cdot T}{P}$   
 $V = K \cdot n$

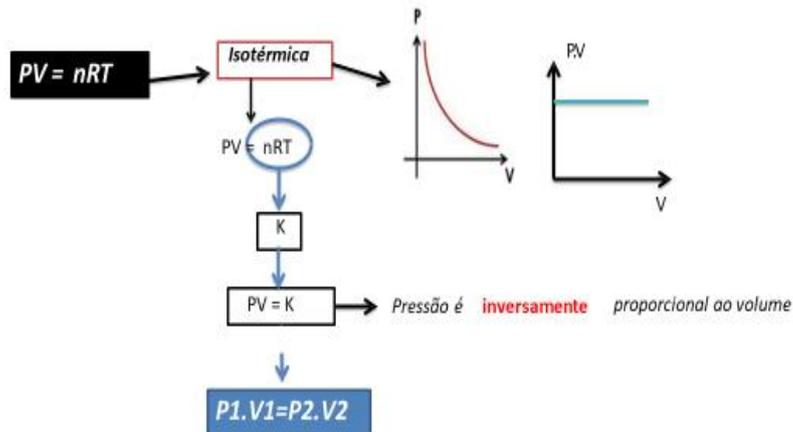
$PV = nRT$

Fonte: próprio autor

Na primeira transformação mencionada, a transformação isotérmica, comente sobre suas principais características, destacando sua relação na equação geral dos gases, a relação de suas grandezas em uma análise gráfica, e também mencione alguns exemplos (como a prática de mergulho). Pode-se adotar como referência, o esquema abaixo para a elaboração do slide, abordando aspectos da Lei de Boyle-Mariotte,

## Slide 8

As transformações gasosas.

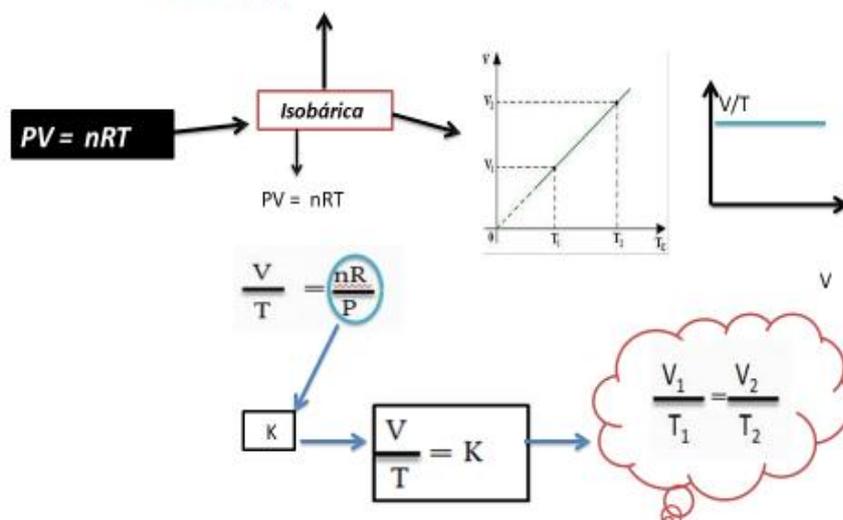


Fonte: próprio autor

Na segunda transformação mencionada, a transformação isobárica, comente sobre suas principais características, destacando sua relação na equação geral dos gases, a relação de suas grandezas em uma análise gráfica, e também mencione alguns exemplos (como processos industriais, expansão de gases em cilindros com êmbolos móveis ou em sistemas termostáticos). Pode-se adotar como referência, o esquema abaixo para a elaboração do slide, abordando aspectos da Lei de Charles,

## Slide 9

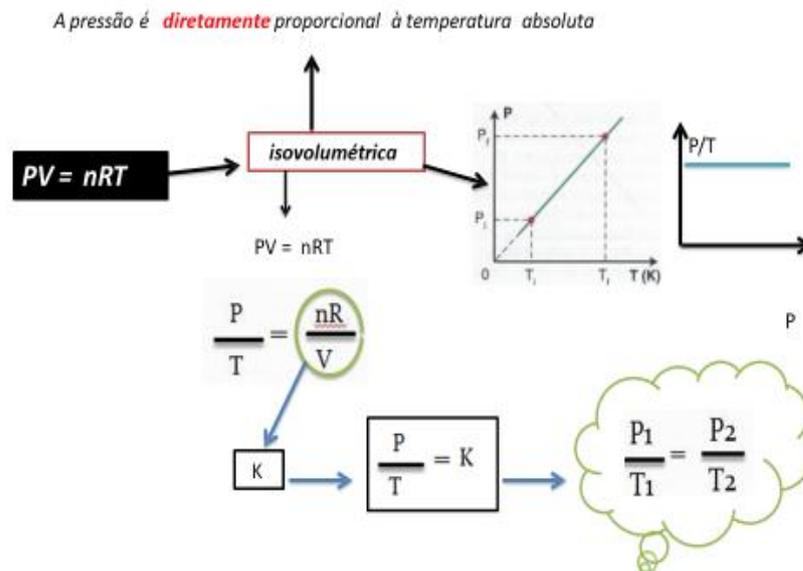
O volume é **diretamente** proporcional à temperatura absoluta



Fonte: próprio autor

Na terceira transformação mencionada, a transformação isovolumétrica, comente sobre suas principais características, destacando sua relação na equação geral dos gases, a relação de suas grandezas em uma análise gráfica, e também mencione alguns exemplos (como os motores de combustão interna durante certas fases do ciclo). Pode-se adotar como referência, o esquema abaixo para a elaboração do slide, abordando aspectos da Lei de Charles-Gay Lussac,

### Slide 10

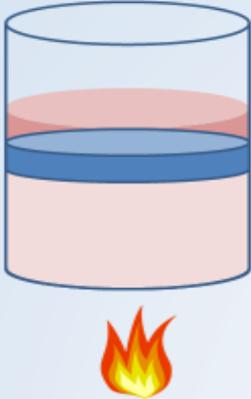


Fonte: próprio autor

Após a explicação das três transformações gasosas citadas anteriormente, adentre com a primeira lei da termodinâmica e sua aplicação nas transformações, sendo que além das três já comentadas, também deve ser acrescentada a transformação adiabática. Pode-se adotar como referência, o esquema abaixo para a elaboração dos slides,

## Slide 11

## 1ª LEI DA TERMODINÂMICA



Ao ser aquecido, o gás se expande empurrando o êmbolo para cima.

Notamos que o calor fornecido ao gás produziu trabalho, ao mover o êmbolo, e fez aumentar a temperatura do gás. Isso demonstra que a energia se conservou. A energia na forma de calor transformou-se em outros tipos de energia.

A primeira lei da Termodinâmica corresponde, na verdade, ao princípio da conservação da energia. Assim, o calor fornecido ou retirado ( $Q$ ) de um sistema resultará na realização de trabalho ( $W$ ) e na variação da energia interna do sistema ( $\Delta U$ ).

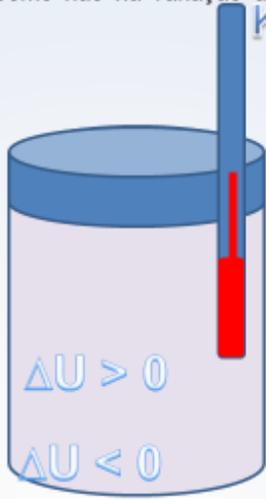
$$Q = W + \Delta U$$

Fonte: próprio autor

## Slide 12

Numa **transformação isovolumétrica**, todo calor recebido ou cedido ( $Q$ ) pelo gás será transformado em variação da sua energia interna ( $\Delta U$ ). Como não há variação de volume, também não há realização de trabalho ( $W$ ).

$$Q = \cancel{W} + \Delta U$$

$$Q = \Delta U$$


Calor recebido

Calor cedido

$\Delta U > 0$

$\Delta U < 0$

Fonte: próprio autor

## Slide 13

Numa **transformação isotérmica**, todo calor trocado pelo gás ( $Q$ ), recebido ou cedido, resultará em trabalho ( $W$ ). Uma vez que **não há variação de temperatura**, também não há variação de energia interna ( $\Delta U$ ).

$Q = W + \cancel{\Delta U}$

$Q = W$

Calor cedido

Calor Recebido

$w < 0$

$w > 0$

K

Fonte: próprio autor

## Slide 14

Numa **transformação adiabática**, não ocorre troca de calor ( $Q$ ) do gás com seu entorno. Assim, todo trabalho ( $W$ ) realizado pelo gás ( $W > 0$ ) ou sobre o gás ( $W < 0$ ) resultará na variação de energia interna ( $\Delta U$ ).

$\cancel{Q} = W + \Delta U$

$W = -\Delta U$

Quando o trabalho é positivo (realizado pelo gás) observamos uma diminuição da temperatura. Quando o trabalho é negativo (realizado sobre o gás) observamos um aumento na temperatura.

$w > 0$

$w < 0$

K

Fonte: próprio autor

Não esqueça de comentar sobre as principais características da transformação adiabática: o isolamento térmico, pois para que uma transformação adiabática ocorra, o sistema deve estar termicamente isolado; rápida mudança, pois transformações adiabáticas podem ocorrer rapidamente, de modo que não há tempo suficiente para a

troca de calor com o ambiente; relação entre variáveis, pois em uma transformação adiabática, mudanças na pressão, volume e temperatura estão inter-relacionadas de forma específica. Exemplifique comentando que a mesma ocorre quando um gás é comprimido rapidamente em um cilindro isolado, a compressão rápida aumenta a temperatura do gás, como em motores de combustão interna. Enquanto que quando um gás se expande rapidamente e realiza trabalho sobre o ambiente, há uma diminuição na temperatura, como no ciclo de expansão em refrigeradores e motores de ciclo Otto. Finalize enfatizando a importância da compreensão das transformações adiabáticas, pois é crucial em várias áreas da engenharia e da física, pois permite analisar e prever o comportamento de sistemas onde a troca de calor é negligenciável ou inexistente. Comente também que este conhecimento é aplicado em motores, turbinas, processos de compressão e expansão de gases, e na climatologia.

### **Sétima aula – Roda de conversa, para debate em grande grupo.**

Nesse encontro deve ser realizado uma roda de conversa com a turma, para a discussão sobre como procederam e o que perceberam durante a solução da nova situação-problema (preparo do feijão), sendo que durante o debate os alunos devem ser instigados sobre a possível existência de relações entre as etapas de cozimento do feijão e as transformações gasosas, assim como também em que etapa durante o preparo do alimento podemos identificar determinada relação.

Inicie perguntando a turma sobre em que etapa do processo de cozimento do feijão ocorre com o volume constante do gás (aguarde a devolução dos discentes, e faça as devidas ponderações), instigue também sobre a nomenclatura dessa transformação, e o que acontece quando a panela de pressão é fechada e aquecida, de acordo com a Lei de Charles-Gay Lussac e do ponto de vista termodinâmico (nesse momento peça que os alunos também comentem sobre a variação da energia interna e o trabalho termodinâmico, durante a troca de calor), dê sequência questionando-os sobre a relação entre temperatura e a pressão (realize determinadas intervenções, para ponderações das respostas, caso haja necessidade), conclua esse momento inicial comentando que a pressão do vapor aumenta proporcionalmente à temperatura, mantendo o volume fixo (se torna interessante que o docente aproveite esse instante para mencionar que a troca de calor está ocasionando um aumento da

energia interna, mas que não há trabalho termodinâmico), e lembre-os de que essa parte do processo ocorre sem a saída de vapor da panela de pressão.

Em seguida questione a turma sobre em qual etapa ocorre a transformação isobárica (aguarde a devolução dos discentes, e faça as devidas ponderações), instigue também sobre características dessa transformação, e o que acontece, de acordo com a Lei de Charles e do ponto de vista termodinâmico, no momento em que o vapor é liberado pela válvula da panela de pressão, dê sequência solicitando que os discentes abordem a relação entre a temperatura e o volume do vapor, que sai pela válvula (nessa etapa realize determinadas intervenções, para ponderações das respostas, caso haja necessidade, também é relevante que o docente deixe bem claro aos alunos, que o volume do gás que se expande é o que foi expulso da panela através da válvula, permitindo assim que a pressão se mantenha constante), conclua esse momento comentando que o volume de vapor que sai pela válvula e que se expande pelo ambiente é proporcional à temperatura, e lembre-os que essa etapa do processo ocorre quando há a saída de vapor (se torna interessante que o docente aproveite esse instante para mencionar que nessa transformação, a troca de calor está ocasionando mudança na energia interna e a realização de trabalho termodinâmico).

Posteriormente peça aos os alunos para identificarem e comentarem sobre em que momento, durante o preparo do feijão, a temperatura se manteve constante (aguarde a devolução dos discentes, e faça as devidas ponderações), instigue também sobre a nomenclatura dessa transformação, e o que acontece do ponto de vista termodinâmico com as variáveis de estado (nesse etapa peça que os alunos comentem sobre a variação da energia interna e o trabalho termodinâmico, durante a troca de calor), dê sequência questionando-os sobre a relação entre volume e pressão, de acordo com a lei de Boyle-Mariotte (realize determinadas intervenções, para ponderações das respostas, caso haja necessidade).

Durante a explanação da lei de Boyle, siga comentando que a pressão do vapor é inversamente proporcional ao seu volume, mantendo a temperatura fixa (se torna interessante que o docente aproveite esse instante para mencionar que nessa transformação a troca de calor não ocasiona alteração da energia interna, mas apenas a realização de trabalho termodinâmico, e que para tal situação ocorrer o calor fornecido é igual ao calor perdido, ainda pondere dizendo que esse cenário é mais teórico, pois na prática a temperatura pode oscilar ligeiramente, mas que durante uma

fase estável do cozimento, a panela pode operar de maneira aproximada como um sistema isotérmico).

Finalize essa etapa questionando os discentes sobre a transformação adiabática, instigando-os se tal transformação ocorreu em alguma etapa, e o que acontece do ponto de vista termodinâmico (aguarde a devolução dos discentes, e faça as devidas ponderações), em sequência comente que no momento que a panela de pressão é rapidamente retirada do fogo e resfriada subitamente (por exemplo, colocando-a sob água corrente), pode ocorrer uma transformação adiabática, onde há uma rápida mudança na pressão e temperatura interna sem troca de calor significativa com o ambiente, ainda contribua argumentando que o vapor dentro da panela se condensa rapidamente, reduzindo a pressão interna sem que haja tempo para troca de calor com o exterior, o que leva a uma rápida diminuição na pressão interna, ilustrando uma transformação adiabática aproximada. Conclua enfatizando as características de uma expansão adiabática e compressão adiabática.

**Oitava aula – Avaliação somativa individual: avaliação individual através de questões envolvendo os conceitos-foco da unidade e representação gráfica das transformações gasosas.**

Nesta etapa deve-se aplicar um questionário referente as transformações gasosas (Apêndice B), sendo o mesmo realizado pelos discentes de forma individual, com o objetivo de avaliar o desempenho e identificar áreas de dificuldade. As transformações gasosas abordadas incluem processos isotérmicos, isobáricos, isovolumétricos e adiabáticos.

Os dados, que deverão ser coletados, irão advir das respostas dos alunos a um conjunto de questões teóricas associadas a práticas do cotidiano, incluindo problemas de conceitos primordiais das transformações termodinâmicas, relações entre as grandezas físicas presentes em cada transformação gasosa e interpretação de gráficos, assim como também o docente deve solicitar que os alunos representem graficamente as transformações gasosas em papel milimetrado. Utilize nessa etapa métodos estatísticos descritivos, para analisar a média, mediana, moda, desvio padrão e distribuição das notas dos alunos.

Análises inferenciais devem ser empregadas para determinar correlações e significância estatística.

### **Nona aula – Aula expositiva dialogada integradora final.**

Nesse último encontro, deve ocorrer o retorno dos conteúdos da UEPS e das atividades. Dessa vez, inicie questionando os discentes sobre como as transformações termodinâmicas influenciam o seu cotidiano, com o propósito de criar um ambiente de colisão entre teoria e prática, sendo que cada estudante deve contribuir com um exemplo de como essa teoria se manifesta no seu dia a dia (aguarde a devolução dos alunos, e realize as devidas ponderações, caso haja necessidade). Prossiga lembrando cada etapa aplicada da sequência didática, enfatizando a importância da relação do ferramental matemático e da representação gráfica com as grandezas físicas envolvidas em cada transformação gasosa, destacando também a importância dos discentes desenvolverem o papel de pesquisador, pois a busca pelo conhecimento fora de sala de aula é um fator somativo crucial, no processo de complementação e consolidação dos conteúdos alvos do objeto de conhecimento.

Dessa forma aproveite para analisar a compreensão dos alunos sobre os conceitos abordados na UEPS; identificar as habilidades desenvolvidas e as dificuldades encontradas; avalie a eficácia das atividades e metodologias empregadas; promova a reflexão e o feedback para melhorar futuras práticas de ensino. A avaliação dessa UEPS deve ser abrangente e multifacetada, com o potencial de contribuir para o aprimoramento do processo de ensino e aprendizagem, com o intuito de promover um aprendizado significativo e integrado.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Vale ressaltar que durante a construção e análise de gráficos, os discentes podem vir a demonstrar certa dificuldade, por isso o docente deve possuir bastante atenção nessa etapa da UEPS, realizando as devidas intervenções. Outro cuidado na implementação, é o tempo no preparo de feijão, pois o ideal é disponibilizar duas aulas seguidas nessa etapa, para que haja tempo suficiente para cozinhar o alimento e debater os conceitos-chaves em questão, assim como também é imprescindível, que cada porção de feijão destinada a cada grupo, permaneça no mínimo 4 horas imerso em água, para que possa ser atingido o objetivo da prática no tempo estipulado, que é o cozimento do alimento em curto período.

Dessa forma o novo ensino médio traz consigo alguns obstáculos, dentre eles a baixa carga horária na área de ciências da natureza (física, química e biologia), o que dificulta a análise do objeto de conhecimento dentro de sala de aula, dificultando assim o processo cognitivo. Esse é um dos fatores que contribuem para o baixo desempenho dos alunos, um outro fator é a abstração, pois em sua grande maioria, não há compreensão, por parte dos discentes, em que iriã utilizar conceitos de física em seu cotidiano. Muitos, também atrelam a maior dificuldade no ensino de física ao ferramental matemático, pois afirmam até que compreendem boa parte dos conceitos, mas ao ser inseridos equações e gráficos dentro da análise do objeto de conhecimento, acabam que a partir desse ponto não compreendem mais nada. Por tais motivos, essa UEPS traz consigo uma proposta de minimizar tais implicações.

O itinerário formativo pode ser uma excelente ferramenta para estudar física de forma mais abrangente, especialmente ao explorar a multidisciplinaridade e conectar o conteúdo da física com outras áreas do conhecimento. No contexto da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), é uma forma de aprofundamento e flexibilização dos estudos, permitindo que os estudantes façam escolhas baseadas em interesses específicos e combinem diferentes áreas do saber. No que tange a física e a química, as duas ciências são fortemente conectadas, especialmente em áreas como termodinâmica e eletromagnetismo. Um itinerário que aborde a interação entre partículas em reações químicas e seus efeitos energéticos (como entropia e energia livre) é útil para entender fenômenos físicos em sistemas químicos, assim como

também o estudo do comportamento dos gases, como foi abordado no presente trabalho, ou ainda estudar física em relação ao meio ambiente, é importante para entender fenômenos como aquecimento global, mudanças climáticas e o impacto da energia renovável. Um itinerário formativo voltado à sustentabilidade pode explorar tópicos como energia solar, eólica e o ciclo da água.

O itinerário formativo oferece uma oportunidade para estudar física de forma mais ampla e conectada com outras disciplinas, permitindo que o aprendizado seja mais contextualizado e significativo. A abordagem multidisciplinar não apenas facilita a compreensão de conceitos físicos, mas também amplia a capacidade de aplicar esse conhecimento em diversas áreas da vida real.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZEVEDO, J. S.; JÚNIOR, F.N.M. **Aprendizagem significativa crítica: Atividades contextualizadas e interdisciplinares no ensino da termodinâmica.** A Física na Escola, v. 18, n. 1, p. 42 – 45, 2020.

BARBOSA, R. S. **Uma proposta para vivenciar, no ensino médio, os conceitos iniciais de termodinâmica por meio de uma unidade de ensino potencialmente significativa.** 2016. Dissertação (Mestrado) - - Curso de Física, Programa de Pósgraduação, Instituto Federal do Espírito Santo, Cariacica – ES, 2016.

BRASIL. **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional.** LEI Nº. 9.394, de 20 de dezembro de 1996. D.O. U. de 23 de dezembro de 1996.

CHAVES, L, T.; EVANGELISTA. F. L. **Da sucata à física: Uma perspectiva ativa para o ensino da termodinâmica.** A Física na Escola, v. 19, n. 1, p. 3 – 11, 2021.

CHAGAS, Jardel Francisco Bonfim et al.. **Usando a panela de pressão para aprender ciências.** Anais do V CONAPESC... Campina Grande: Realize Editora, 2020. Disponível em: <<https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/73028>>.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; KRANE, K. S. **Fundamentos de Física.** 8. ed., Rio de Janeiro: LTC, 2010, v. 2

JESUS, R. T. **Proposta de uma UEPS para ensinar física de partículas através de jogos de cartas.** 2018. Dissertação (Mestrado) - - Curso de Física, Programa de Pósgraduação, Universidade de Brasília, Brasília - DF, 2018.

JULIANA. Quais foram os piores acidentes domésticos envolvendo panelas de pressão já noticiados? Disponível em: <https://www.sitedecuriosidades.com/curiosidade/quais-foram-os-piores-acidentes-domesticos-envolvendo-panelas-de-pressao-ja-noticiados.html>.

LIMA, J. **Sequência didática para o ensino da termodinâmica.** 2016. Dissertação (Mestrado) - - Curso de Física, Programa de Pósgraduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão - PR, 2016.

MINAYO, Maria Cecília de Souza. **Análise qualitativa: teoria, passos e fidedignidade.** Ciência & Saúde Coletiva, [s.l.], v. 17, n. 3, p.621-626, mar. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-81232012000300007>.

MOREIRA, M.A. (2010). **Mapas conceituais e aprendizagem significativa.** São Paulo: Cantauró.

MOREIRA, M.A.; Masini, E.A.F.S. (1982). **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel.** São Paulo, Editora Moraes.

MOREIRA, Marco Antônio. **Unidades de Ensino Potencialmente Significativas – UEPS**. Aprendizagem Significativa em Revista , v. 1, N. 2, pp. 43-63, 2011.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa, organizadores prévios, mapas conceituais, diagramas V e unidades de ensino potencialmente significativas – UEPS**. III Convenção Internacional e X Nacional de Professores de Ciências Naturais, Toluca, México, 15 à 18 de novembro, 2012.

RAMALHO, F.; NICOLAU, P.; TOLEDO, S. **Física, Volume 2**. 2. ed. São Paulo: Moderna, 2004.

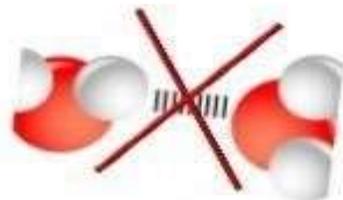
SILVA, Francisca Daniela de Jesus. **PARÓDIAS CONCEITUAIS E UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA COMO RECURSOS DIDÁTICOS PARA O ESTUDO DO MOVIMENTO ONDULATÓRIO**. 2018. 208 f. Dissertação (.Mestrado) - Curso de Física, Programa de Pós-graduação, Universidade Regional do Cariri, Juazeiro do Norte, 2018.

SILVA, R. A. **o jogo educacional como ferramenta complementar ao ensino da termodinâmica**. 2019. Dissertação (Mestrado) - - Curso de Física, Programa de Pósgraduação, Universidade Federal do Pará, Belém- PA, 2019.

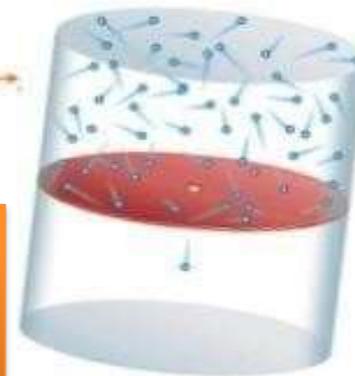
WOLKE, Robert L., O que Einstein disse a seu cozinheiro: a ciência na cozinha, Jorge Zahar Editor, 1ª ed, Rio de Janeiro,2003.

I – Moléculas livres em movimento retilíneo e caótico.

**Ausência de interações intermoleculares**



**As moléculas Apolares se comportam mais idealmente do que as moléculas polares**



Teoria do gás ideal

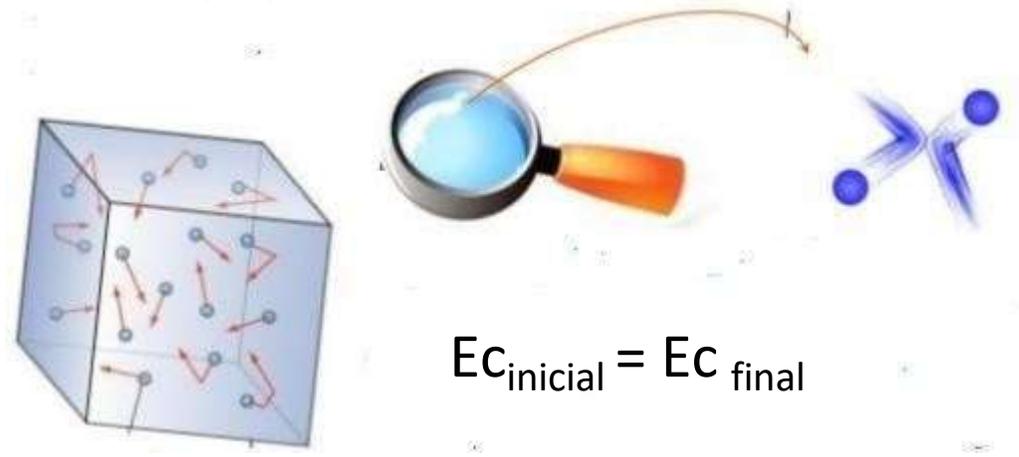
II- O tamanho das moléculas é desprezível se comparado as espaço entre elas.



Conclusão

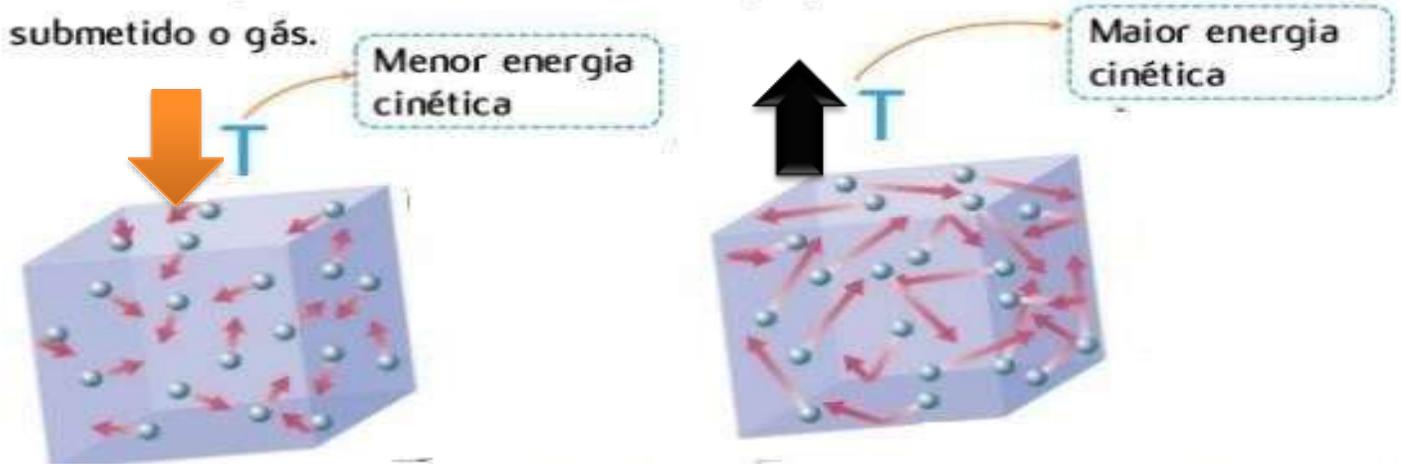
**Moléculas considerada como ponto material**

### III- Choque entre as moléculas perfeitamente elástico



Teoria do gás ideal

IV – A energia cinética das moléculas é proporcional à temperatura à qual está submetido o gás.

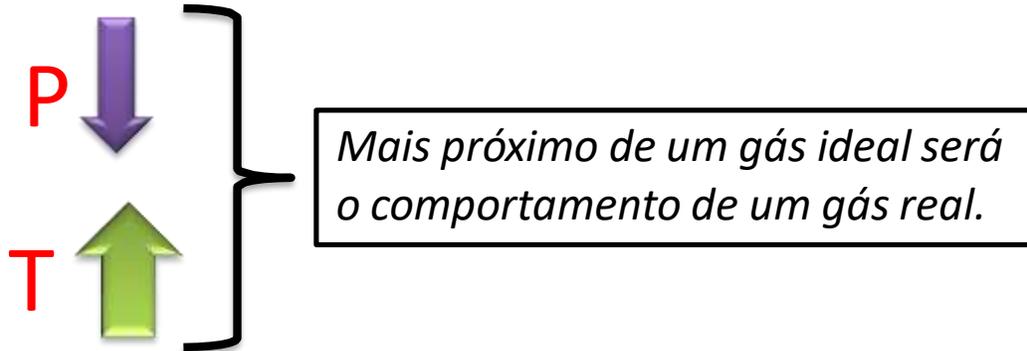


► *Esse modelo de comportamento proposto pela teoria cinética do gás ideal afasta-se sensivelmente daquele observado na prática para um gás “ real “ em condições de pressão muito alta e/ou temperatura muito baixa.*

**Assim concluímos que:**

***Gás ideal é aquele que obedece à teoria cinética dos gases, ou seja, é um modelo teórico de gás perfeito.***

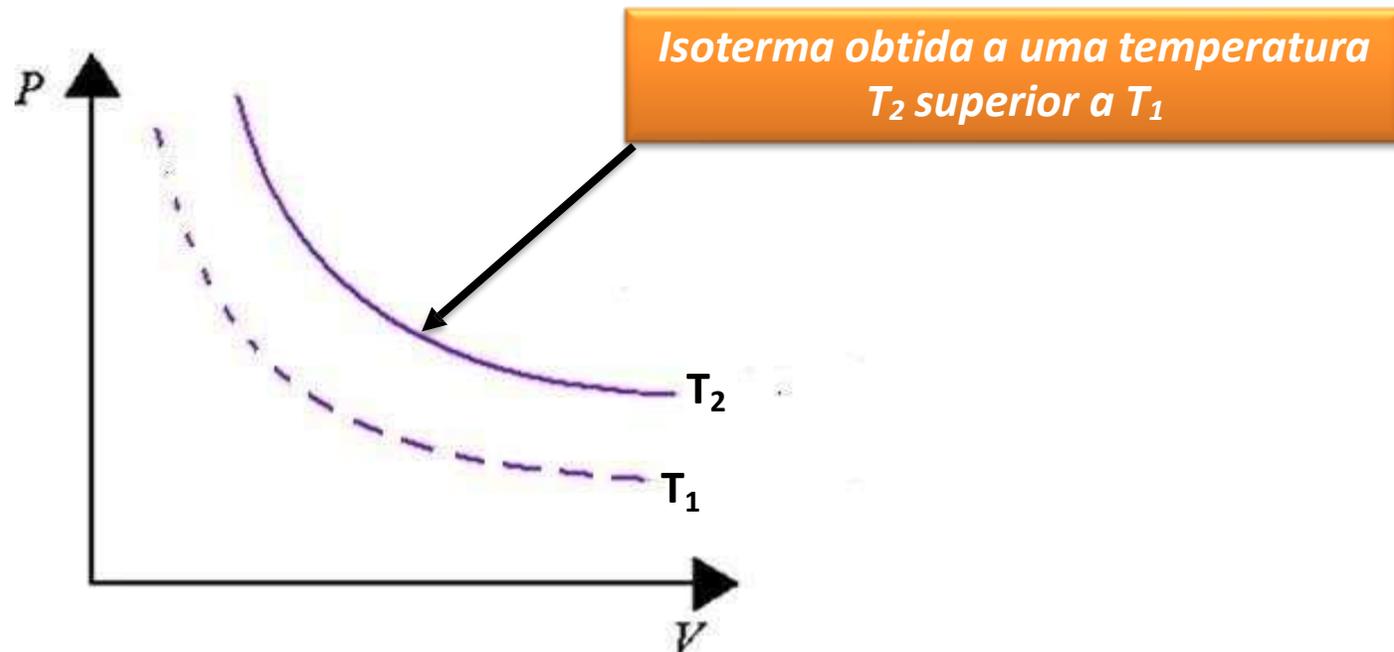
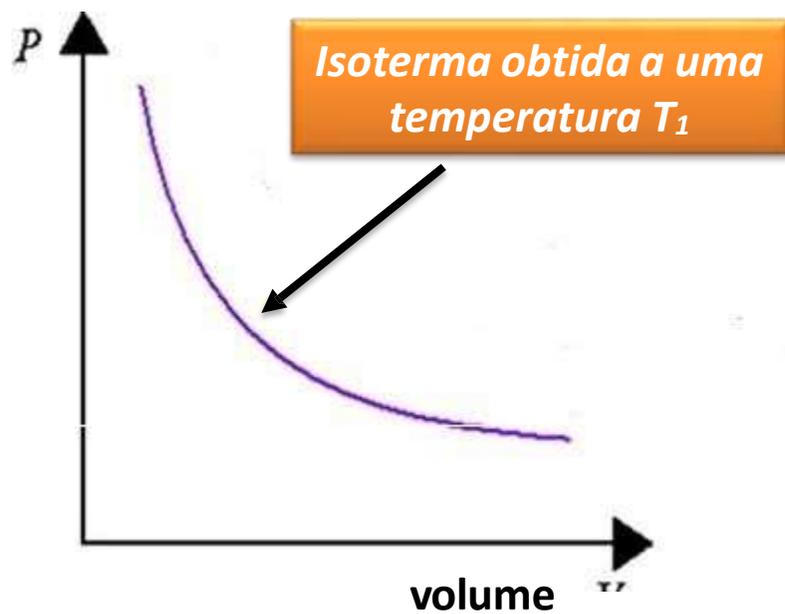
***Na prática, os gases reais tem um comportamento diferente, que pode se aproximar desse modelo teórico em certas condições de temperatura e pressão:***



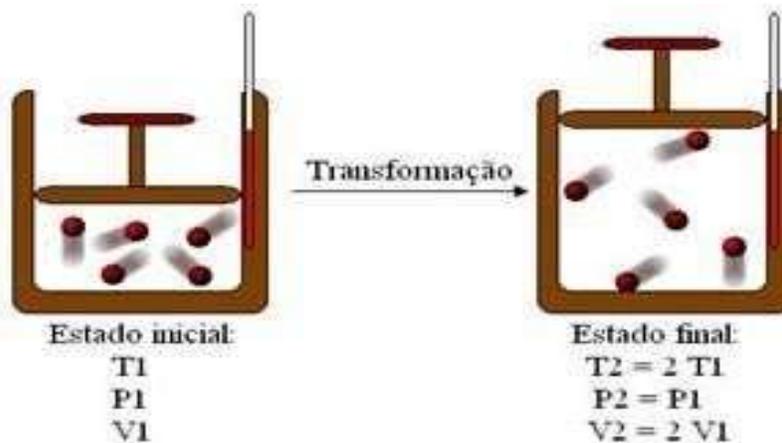
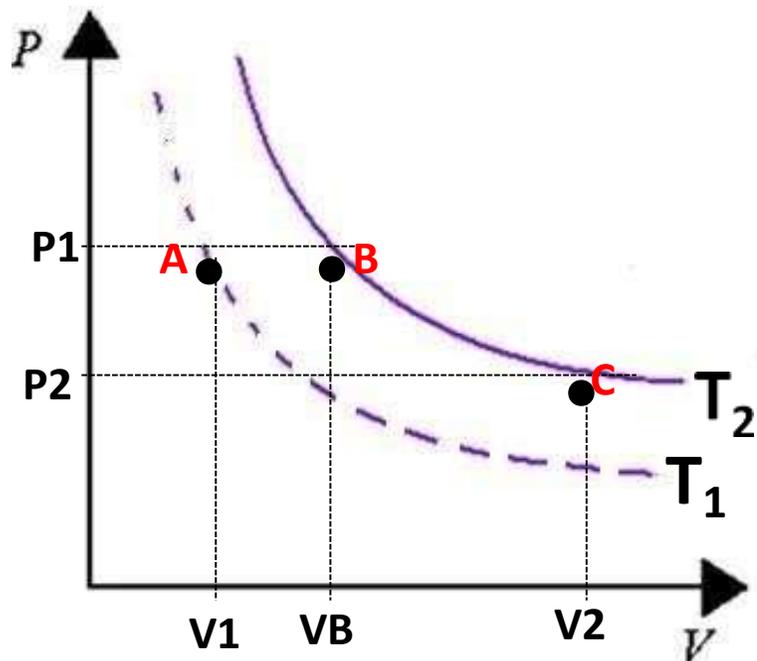
***Gás ideal x gás Real***

## *Equação geral dos gases*

Dado o gráfico abaixo



A passagem de **A** para **B**



$$\frac{V_1}{T_1} = K \quad \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_B}{T_2}$$

A passagem de **B** para **C**



$$P_1 \cdot V_1 = K$$

$$P_1 \cdot V_B = P_2 \cdot V_2$$

*Isolando VB na primeira equação e substituindo na segunda teremos:*

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_B}{T_2}$$

$$V_B = \frac{V_1 \cdot T_2}{T_1}$$

$$P_1 \cdot V_B = P_2 \cdot V_2$$

$$P_1 \frac{V_1 \cdot T_2}{T_1} = P_2 \cdot V_2$$

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2}$$

Equação geral dos gases

► O físico **Clapeyron** estabeleceu uma equação que relaciona as 3 variáveis de estado de um gás e a quantidade de matéria  $n$  ( $n$  mols de partículas: átomos ou moléculas, descrevendo o comportamento de um gás ideal).

Considere a equação geral dos gases

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2}$$

Ou  $\frac{P \cdot V}{T} = \text{constante}$

Constante = R

$$V = n \frac{R \cdot T}{P}$$

$$V = \frac{R \cdot T}{P}$$

1mol de um gás ocupa um volume V

2mol de um gás ocupa um volume 2V

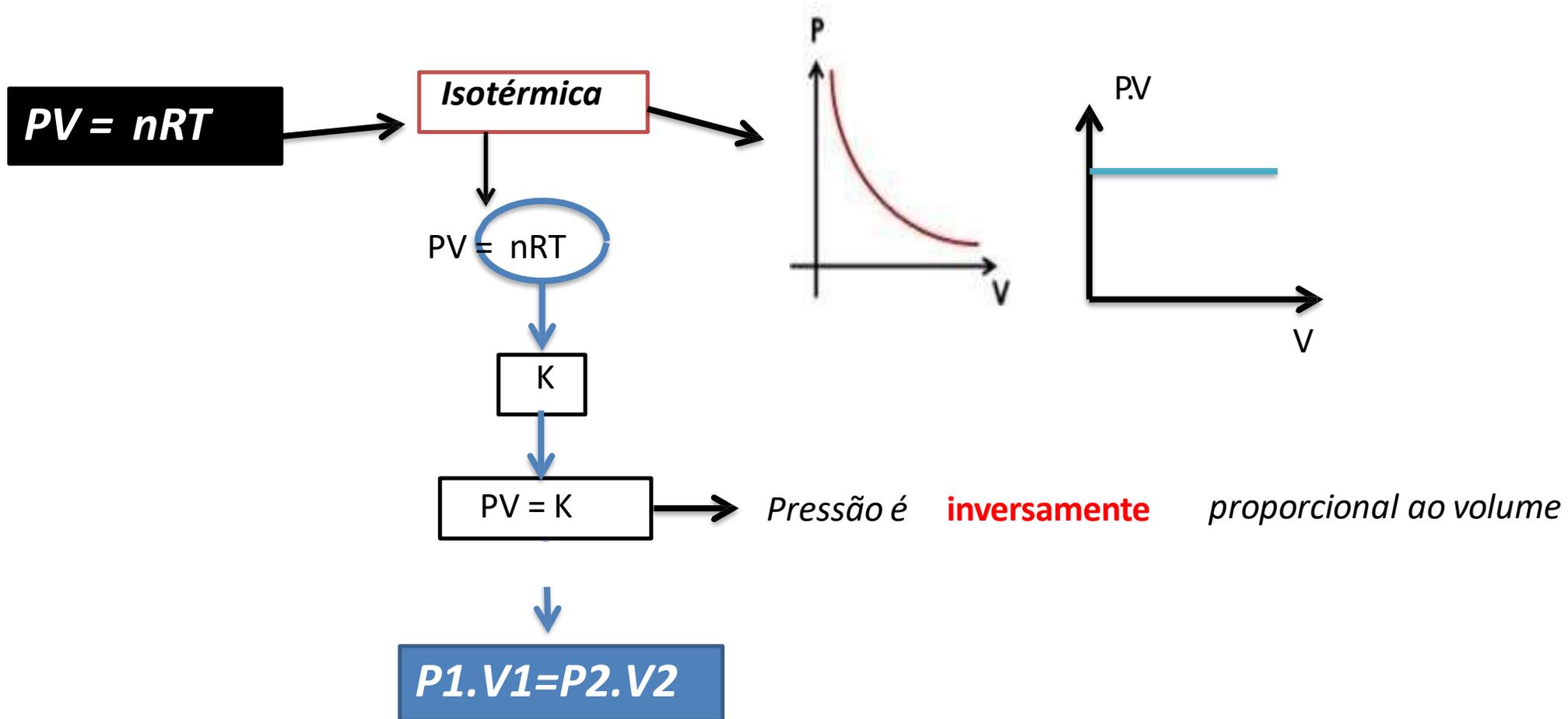
3mol de um gás ocupa um volume 3 V

n mol de um gás ocupa um volume nV

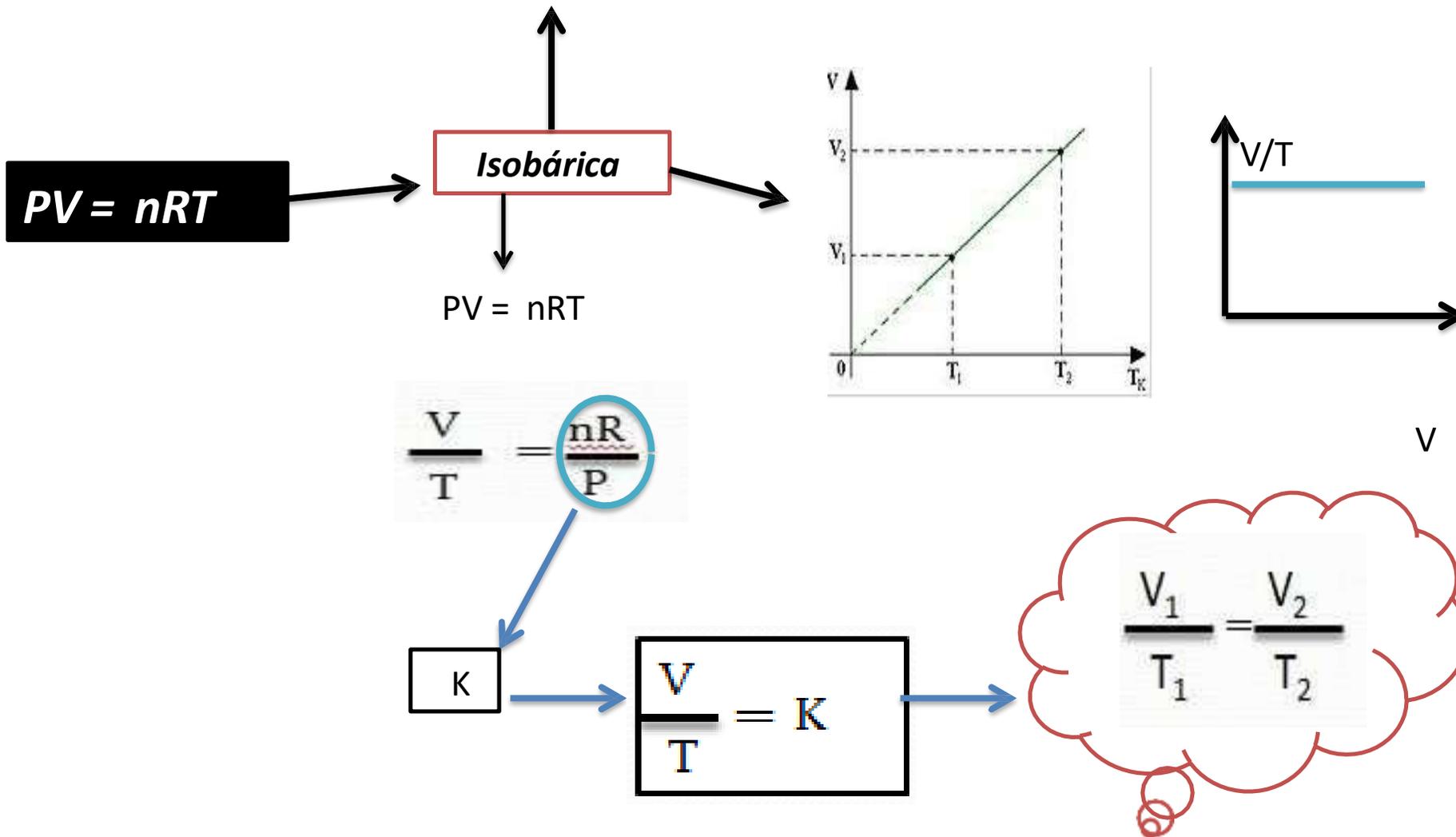
$$V = K \cdot n$$

$$PV = n RT$$

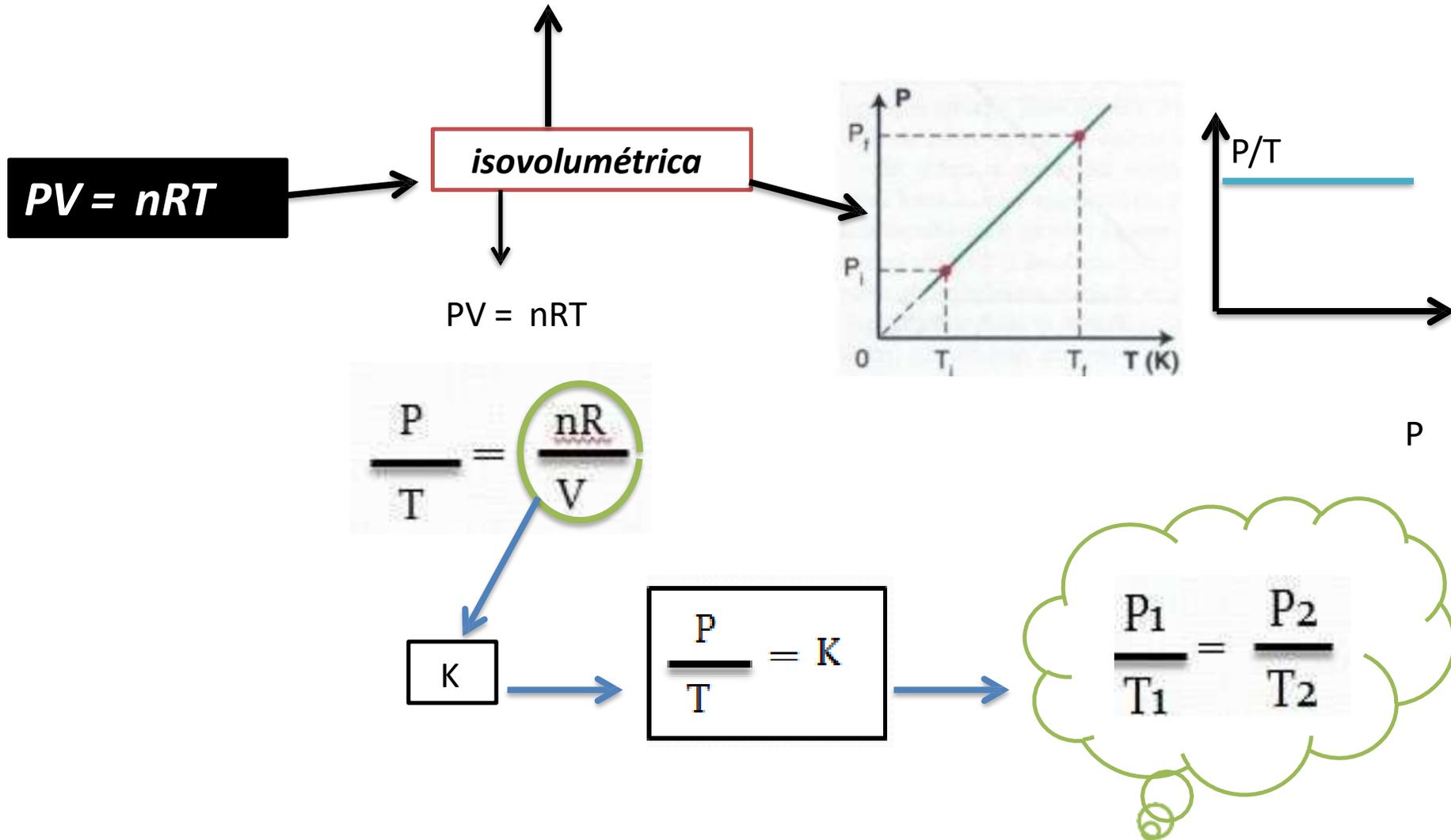
## As transformações gasosas.



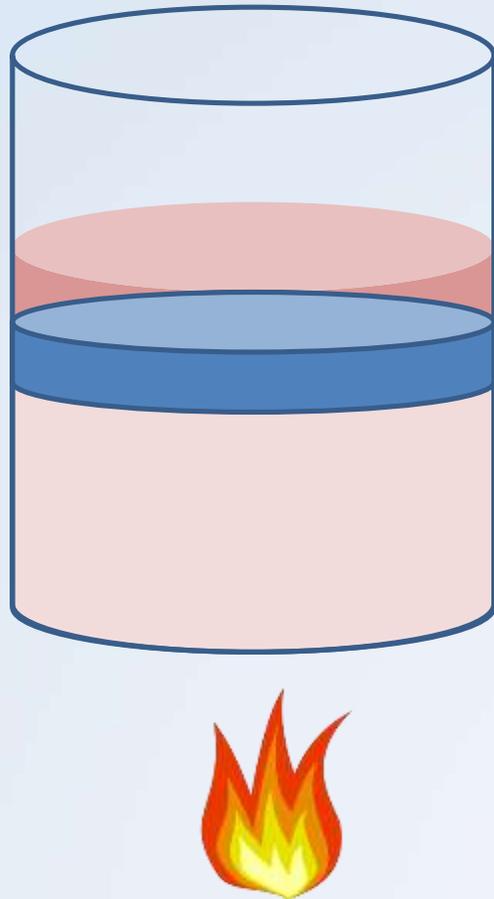
O volume é **diretamente** proporcional à temperatura absoluta



A pressão é **diretamente** proporcional à temperatura absoluta



# 1ª LEI DA TERMODINÂMICA



Ao ser aquecido, o gás se expande empurrando o **êmbolo** para cima.

Notamos que o calor fornecido ao gás produziu trabalho, ao mover o êmbolo, e fez aumentar a temperatura do gás.

Isso demonstra que a energia se conservou. A energia na forma de calor transformou-se em outros tipos de energia.

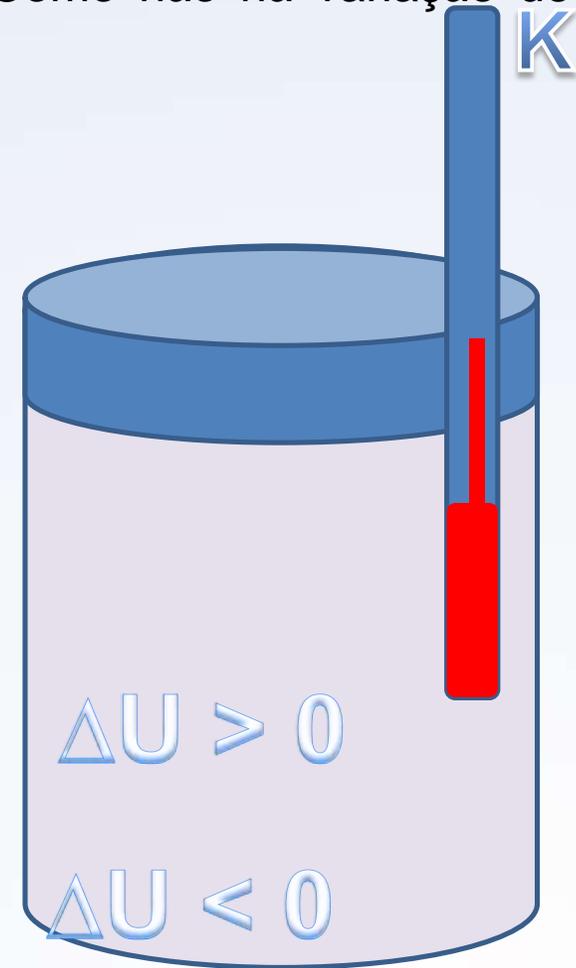
A **primeira lei da Termodinâmica** corresponde, na verdade, ao princípio da conservação da energia. Assim, o calor fornecido ou retirado ( $Q$ ) de um sistema resultará na realização de trabalho ( $W$ ) e na variação da energia interna do sistema ( $\Delta U$ ).

$$Q = W + \Delta U$$

Numa **transformação isovolumétrica**, todo calor recebido ou cedido ( $Q$ ) pelo gás será transformado em variação da sua energia interna ( $\Delta U$ ). Como não há variação de volume, também não há realização de trabalho ( $W$ ).

$$Q = \cancel{W} + \Delta U$$

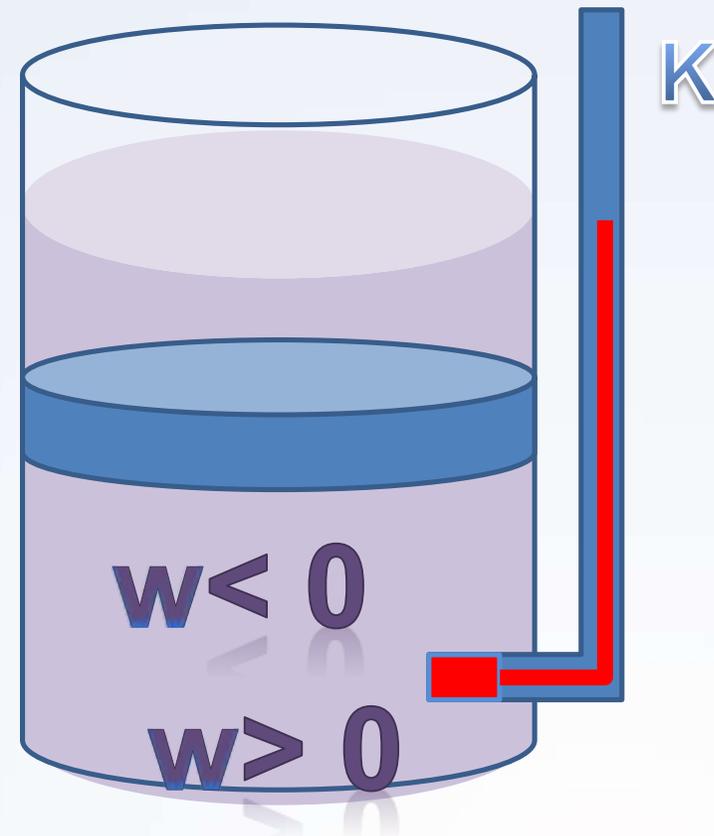
$$Q = \Delta U$$



Numa **transformação isotérmica**, todo calor trocado pelo gás ( $Q$ ), recebido ou cedido, resultará em trabalho ( $W$ ). Uma vez que **não há variação de temperatura**, também não há variação de energia interna ( $\Delta U$ ).

$$Q = W + \cancel{\Delta U}$$

$$Q = W$$

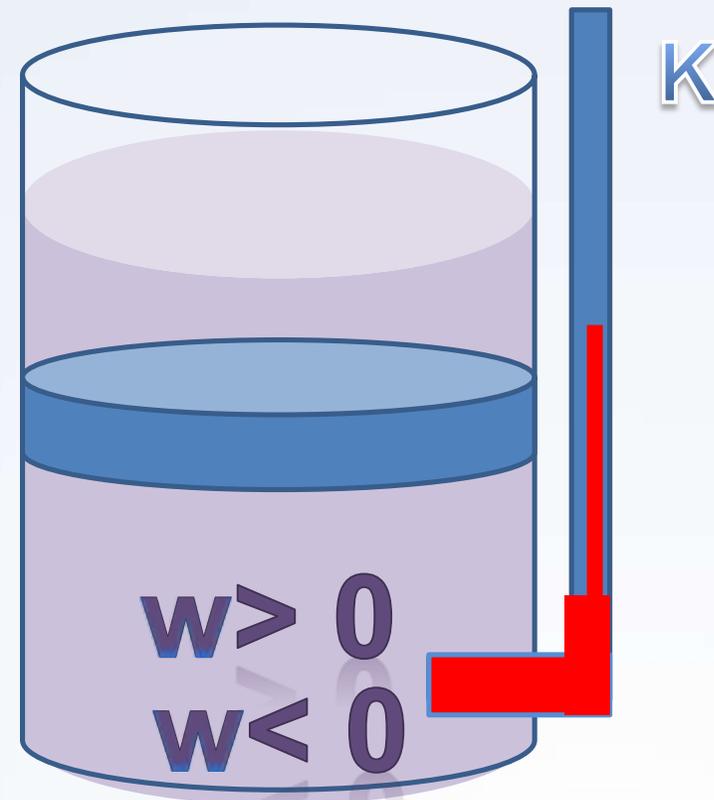


Numa **transformação adiabática**, não ocorre troca de calor ( $Q$ ) do gás com seu entorno. Assim, todo trabalho ( $W$ ) realizado pelo gás ( $W > 0$ ) ou sobre o gás ( $W < 0$ ) resultará na variação de energia interna ( $\Delta U$ ).

$$\cancel{Q} = W + \Delta U$$

$$W = -\Delta U$$

Quando o trabalho é positivo (realizado pelo gás) observamos uma diminuição da temperatura. Quando o trabalho é negativo (realizado sobre o gás) observamos um aumento na temperatura.





**Competência de área 3** – Analisar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC).

**(EM13CNT301)** - Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica

**(EM13CNT302)** - Comunicar, para públicos variados, em diversos contextos, resultados de análises, pesquisas e/ou experimentos – interpretando gráficos, tabelas, símbolos, códigos, sistemas de classificação e equações, elaborando textos e utilizando diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC) –, de modo a promover debates em torno de temas científicos e/ou tecnológicos de relevância sociocultural.

### EXERCÍCIOS

**01)** Nas panelas de pressão utilizadas para cozinhar alimentos:

- I. A temperatura dos alimentos aumenta enquanto a pressão interna se mantém constante.
- II. A temperatura dos alimentos se mantém constante enquanto a pressão interna diminui.
- III. A temperatura e a pressão do vapor interno aumentam até o vapor ser expelido pela válvula.
- IV. A válvula de segurança se abre devido à redução da pressão exercida contra as paredes pelos alimentos sólidos
- V. A temperatura de ebulição da água é maior, pois a pressão interna é maior.

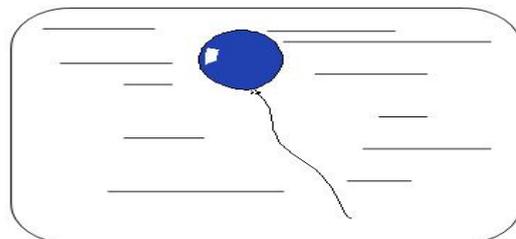
A(s) afirmativa(s) correta(s) é(ão):

- a) II e III    b) III e V    c) III    d) II e IV    e) I e IV

**02)** Nas lições iniciais de um curso de mergulho com equipamento autônomo – cilindro de ar comprimido – os alunos são instruídos a voltarem lentamente à superfície, sem prender sua respiração em hipótese alguma, a fim de permitir que ocorra a gradativa descompressão. O aprisionamento do ar nos pulmões pode ser fatal para o mergulhador durante a subida, pois, nesse caso, a transformação sofrida pelo ar nos pulmões é

- a) isobárica, com redução do volume do ar.
- b) isobárica, com aumento da temperatura do ar.
- c) isotérmica, com aumento da pressão do ar.
- d) isotérmica, com aumento do volume do ar.
- e) isovolumétrica, com diminuição da pressão do ar.

**03)** Se um balão de borracha é imerso numa piscina, podemos afirmar que a medida que aumentamos a profundidade do balão, o seu volume:



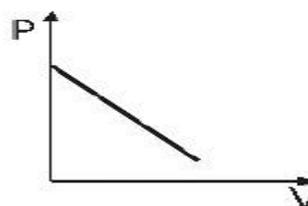
- a) aumenta devido ao aumento da pressão hidrostática
- b) diminui devido ao aumento da pressão hidrostática.
- c) aumenta devido a diminuição da pressão hidrostática.
- d) diminui devido a diminuição da pressão hidrostática.
- e) não aumenta nem diminui.

**04).** Ao se utilizar uma panela de pressão, em determinado momento a válvula principal é acionada, fazendo com que determinados gases e vapor de água sejam expelidos. Em detrimento desta situação, o que podemos afirmar:

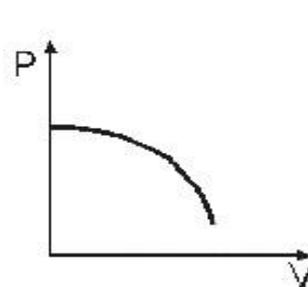
- a) A pressão se mantém constante.
- b) A temperatura se mantém estável.
- c) O volume não se altera.
- d) O alimento está pronto

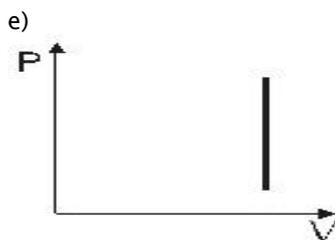
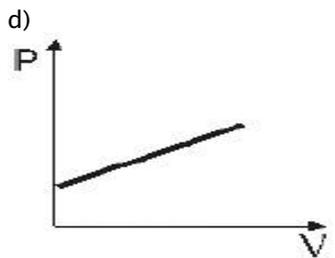
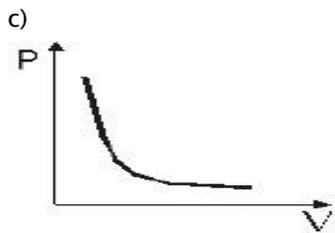
**05)** Um gás é mantido em uma panela de pressão de forma incompressível e hermeticamente fechado. Indique a alternativa que contém o gráfico que melhor representa o comportamento do gás, quando aquecido.

a)

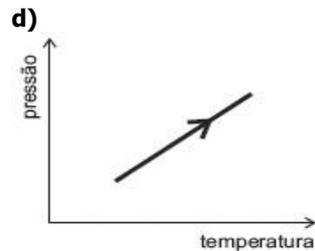
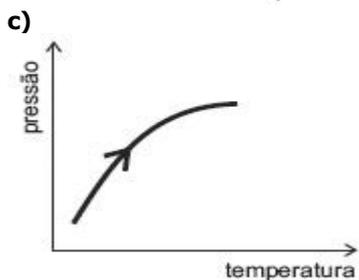
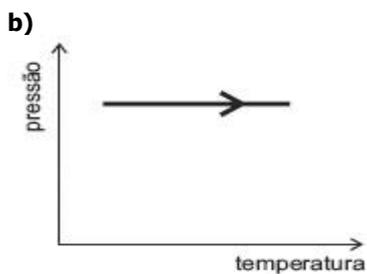
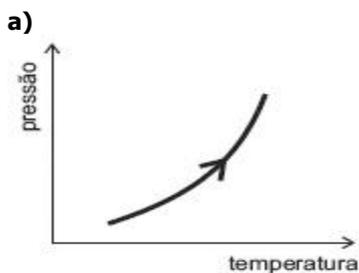


b)

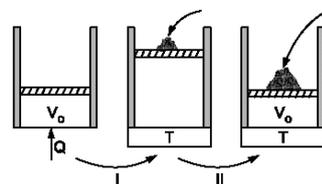




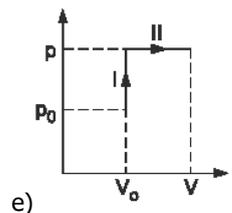
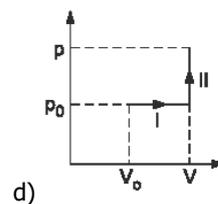
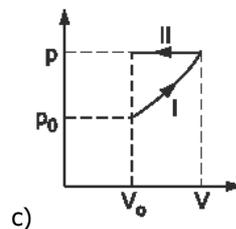
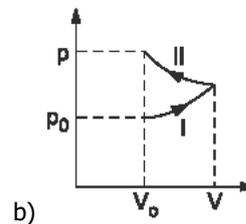
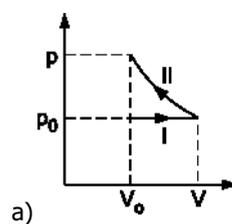
**06)** Regina estaciona seu carro, movido a gás natural, ao Sol. Considere que o gás no reservatório do carro se comporta como um gás ideal. Assinale a alternativa cujo gráfico melhor representa a pressão em função da temperatura do gás na situação descrita.



**07)** A figura ilustra duas transformações de um gás ideal contido num cilindro de paredes adiabáticas. Em I, através de uma base diatérmica (que permite a passagem do calor), o gás recebe calor e faz o êmbolo, também construído de material adiabático, subir livremente, aumentando seu volume de  $V_0$  a  $V$ , atingindo a temperatura  $T$ . Nesse estado, a fonte quente é retirada e substituída por um reservatório térmico à mesma temperatura  $T$  do gás. Em seguida, na transformação II, colocam-se grãos de areia sobre o êmbolo, lentamente, para que o gás possa manter-se em equilíbrio térmico com o reservatório. Nessas condições, o êmbolo baixa até que o gás volte a ocupar o mesmo volume  $V_0$  do início.



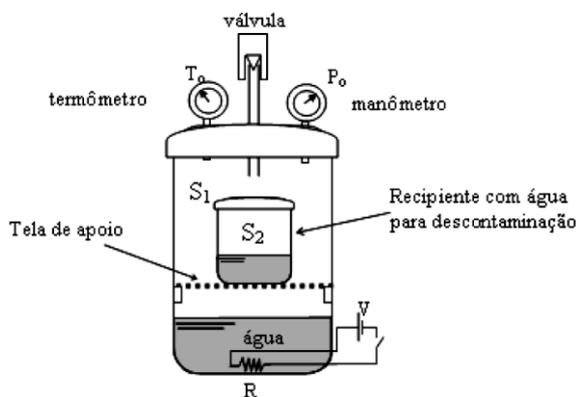
Considere desprezíveis as variações da pressão atmosférica. O diagrama  $p \times V$ , que melhor representa essas duas transformações, é o da figura:



**08)** A produção industrial em geral causa impacto ambiental. Para a confecção de uma garrafa plástica, por exemplo, são necessários os processos de destilação do petróleo e de moldagem do plástico, que são poluentes. De acordo com a Primeira Lei da Termodinâmica, o processo industrial de transformação da matéria-prima pode ser entendido como um processo de alteração da energia interna dessa matéria, o que depende do calor absorvido ou emitido e do trabalho realizado ou sofrido. Pode-se aumentar a energia interna de uma certa quantidade de matéria fazendo-se com que

- a) ceda calor quando o trabalho for nulo.
- b) ceda calor quando ela realizar trabalho.
- c) realize trabalho quando o calor absorvido e/ou emitido for nulo.
- d) absorva calor quando o trabalho for nulo.
- e) o trabalho realizado e/ou absorvido e o calor absorvido e/ou emitido sejam nulos.

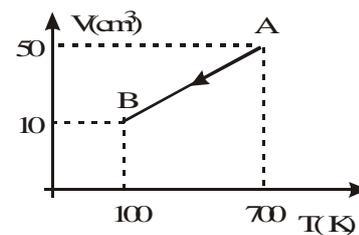
**09)** A autoclave é um equipamento geralmente utilizado para descontaminação de fungos e microorganismos não desejáveis em soluções que serão utilizadas em conservas de alimentos. Seu princípio de funcionamento é semelhante ao de uma grande panela de pressão, mas, além da válvula para controle de pressão interna, a autoclave possui dois instrumentos de medidas, o termômetro e o manômetro para controle da temperatura  $T$  e da pressão  $P$  do seu interior. Para aquecimento, existe uma resistência elétrica  $R$  imersa em água contida em seu interior. Acima do nível dessa água, existe uma tela plana que serve de apoio para recipientes com as soluções para a descontaminação. Considere que foi colocada água, no interior do recipiente, para ser descontaminada, e que, em seguida, o recipiente e a autoclave, foram vedados na temperatura  $T_0$  e na pressão  $P_0$  do ambiente, veja a figura. Depois a resistência elétrica da autoclave é ligada e todo o sistema começa a ser aquecido lentamente até que todo o interior da autoclave e o interior do recipiente atingem o equilíbrio térmico numa temperatura  $T$  maior que  $T_0$ , mas menor que a temperatura de ebulição da água. Considere o ar contido no interior da autoclave e no interior do recipiente como sistemas termodinâmicos  $S_1$  e  $S_2$ , respectivamente, e que, durante o aquecimento, o ar desses dois sistemas tem um número invariável de moléculas e se comporta como gás ideal. Com fundamentos na termodinâmica, assinale a alternativa correta.



- a) Se ambos os sistemas,  $S_1$  e  $S_2$ , estão sendo aquecidos lentamente, estão sofrendo um processo termodinâmico isotérmico.
- b) Se ambos os sistemas,  $S_1$  e  $S_2$ , estão sendo aquecidos lentamente, não está havendo transferência de calor entre o recipiente e o sistema  $S_1$ .

- c) Enquanto os sistemas  $S_1$  e  $S_2$  estão sendo aquecidos, suas energias internas aumentam devido à realização de trabalhos sobre eles.
- d) Como o recipiente é mantido sempre fechado, a pressão do sistema  $S_2$  não varia durante o aquecimento.
- e) Enquanto os sistemas  $S_1$  e  $S_2$  estão sendo aquecidos, suas energias internas aumentam e a pressão aumenta linearmente com a temperatura.

**10)** O diagrama abaixo mostra a evolução de um gás ideal sob pressão constante de  $20 \text{ N/m}^2$ . O gás está inicialmente no estado **A** e evolui para o estado **B**. Durante este processo, o gás cede  $1100 \text{ J}$  de calor para o ambiente. Determine o trabalho realizado sobre o gás ( $W$ ) e sua variação de energia interna ( $\Delta U$ ).



- a)  $W = 18.000 \text{ J}$ ;  $\Delta U = 19.100 \text{ J}$
- b)  $W = 18.000 \text{ J}$ ;  $\Delta U = 16.900 \text{ J}$
- c)  $W = 800 \text{ J}$ ;  $\Delta U = -300 \text{ J}$
- d)  $W = 800 \text{ J}$ ;  $\Delta U = 1.900 \text{ J}$
- e)  $W = 800 \text{ J}$ ;  $\Delta U = 300 \text{ J}$

### INFORMATIVO TÉCNICO SME/CODAE Nº 10/2016

**Dirigido para as Unidades:** Todas as unidades com gestão direta, mista, conveniada e terceirizada.

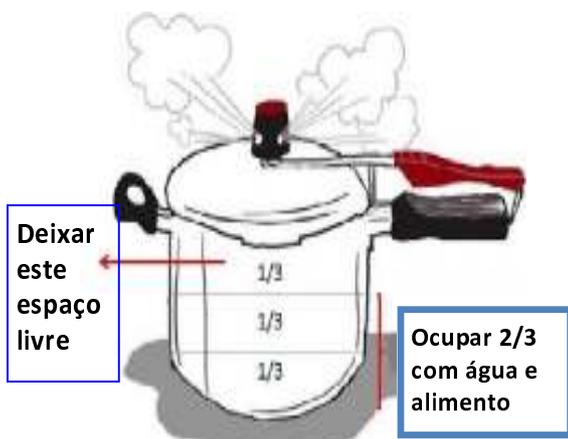
**Objetivo:** Medidas de segurança para uso da panela de pressão



A panela de pressão é um utensílio de grande utilidade na cozinha, por acelerar o cozimento de muitos alimentos, conferindo ganho de tempo e qualidade sensorial. Entretanto, há que se tomar **muito cuidado em sua utilização e manutenção**, para evitar que acidentes graves venham a ocorrer.

**Todos os itens precisam estar em perfeitas condições!**

### ALGUNS CUIDADOS GARANTIRÃO A SEGURANÇA DE TODOS!



- O nível da água não deve ultrapassar 2/3 da capacidade total da panela;
- Tampar a panela, tomando cuidado para que a borracha da tampa esteja bem colocada;
- Levar ao fogo alto até ferver;
- Quando o pino começar a chiar, abaixar o fogo, e iniciar a contagem do tempo de cozimento;
- Quando completar o tempo de cozimento, desligar o fogo e esperar sair toda a pressão da panela para, depois, abri-la cuidadosamente.

**Nota:** Diminuir a chama do fogão após o início da pressão (chiado) não afeta o tempo de cozimento e promove uma economia de gás.



**NUNCA ABRIR A PANELA SEM RETIRAR A PRESSÃO!**

## LEMBRE-SE:

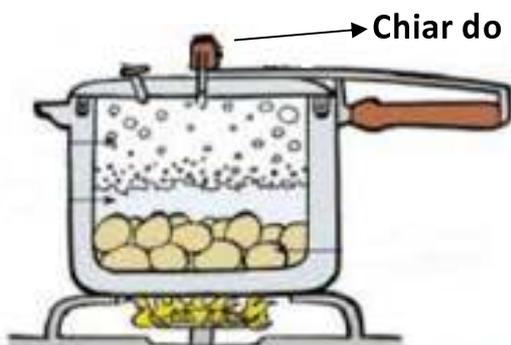


**A VÁLVULA DE SEGURANÇA É O PRINCIPAL ELEMENTO DE SEGURANÇA DA PANELA**

**CASO HAJA ENTUPIMENTO DO PINO, É ELA QUE SE ABRE PARA A SAÍDA DO VAPOR!**

Se a válvula de segurança for acionada, é recomendável levar a panela a um posto autorizado para a investigação da causa do acionamento. Pode ser que seja necessário substituir ou fazer a limpeza e/ou manutenção de algum componente.

- ⇒ Atentar que alguns alimentos (tais como: feijão e grão de bico) desprendem uma película que pode obstruir os orifícios da válvula;
- ⇒ **Nunca substituir a válvula de segurança por parafusos, porcas e/ou rebites;**
- ⇒ Nunca modificar as válvulas de segurança e demais componentes. Trocá-los apenas em representantes autorizados;
- ⇒ Não utilizar panelas que apresentem fundo abaulado, porque podem ficar instáveis no fogão e tombar;
- ⇒ Não utilizar serviços de profissionais que irão “desamassar” as panelas;
- ⇒ Levar o produto a um posto autorizado para que seja feita a análise da panela que pode ser reparada ou substituída;



**Chiar do pino parou! Perigo iminente!**

- ⇒ A panela não está funcionando corretamente!!
- ⇒ Desligar o fogo e deixar a pressão sair naturalmente;
- ⇒ Verificar se houve entupimento dos pinos da válvula



Desse modo, é importante atentar para todos os componentes da panela de pressão:



**Borracha**

- ◆ Remover a borracha de vedação a cada utilização e lavar com água e detergente



**Pino da Válvula**

- ◆ Remover o pino (ou bico) após cada utilização, e deixar passar água corrente nos orifícios



**Válvula de  
Segurança**

- ◆ Movimentar o pino para cima e depois para baixo, permitindo a limpeza interna da borrachinha

**Helena Maria Novaretti**  
Divisão de Nutrição Escolar  
SME/CODAE

**Danilo da Silveira Chausson**  
Coordenadoria de Alimentação Escolar  
SME/CODAE