

FRANCISCO LEONARDO LOPES DA SILVA
GABRIEL ALVES MENDES

FÍSICA DOS BALÕES DE AR QUENTE



**UMA SEQUÊNCIA
DIDÁTICA PARA A
APRENDIZAGEM
SIGNIFICATIVA
DOS CONCEITOS
DE TERMOLOGIA**



EDUFMA

FÍSICA DOS BALÕES DE AR QUENTE

UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DOS CONCEITOS DE TERMOLOGIA



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO – UFMA

Reitor Prof. Dr. Fernando Carvalho Silva
Vice-Reitor Prof. Dr. Leonardo Silva Soares



EDUFMA EDITORA DA UFMA

Coordenadora Dra. Suênia Oliveira Mendes
Conselho Editorial Prof. Dr. José Carlos Aragão Silva
Prof. Dr. Luis Henrique Serra
Prof^ª. Dra. Ana Caroline Amorim Oliveira
Prof. Dr. Márcio José Celeri
Prof^ª. Dra. Raimunda Ramos Marinho
Prof^ª. Dra. Débora Batista Pinheiro Sousa
Prof. Dr. Edson Ferreira da Costa
Prof. Dr. Marcos Nicolau Santos da Silva
Prof. Dr. Carlos Delano Rodrigues
Prof. Dr. Felipe Barbosa Ribeiro
Prof^ª. Dra. Maria Aurea Lira Feitosa
Prof. Dr. Flávio Luiz de Castro Freitas
Prof. Dr. José Ribamar Ferreira Junior
Bibliotecária Iole Costa Pinheiro



Associação Brasileira das Editoras Universitárias



All the contents of this work, except where otherwise noted, is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International license.

Todo o conteúdo deste trabalho, exceto quando houver ressalva, é publicado sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0.

Todo el contenido de esta obra, excepto donde se indique lo contrario, está bajo licencia de la licencia Creative Commons Reconocimiento 4.0.

FRANCISCO LEONARDO LOPES DA SILVA
GABRIEL ALVES MENDES

FÍSICA DOS BALÕES DE AR QUENTE

UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DOS CONCEITOS DE TERMOLOGIA

São Luís



EDUFMA

2025

Copyright © 2025 by EDUFMA

Projeto Gráfico, Diagramação e Capa
Revisão

Francisco Leonardo Lopes da Silva
Gabriel Alves Mendes
Edson Firmino Viana de Carvalho

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Silva, Francisco Leonardo Lopes da

Física dos balões de ar quente: uma sequência didática para a aprendizagem significativa dos conceitos de termologia [recurso eletrônico] / Francisco Leonardo Lopes da Silva, Gabriel Alves Mendes; [organização de Edson Firmino Viana de Carvalho]. — São Luís: EDUFMA, 2025.

E-book (105 p.) il.

Inclui Bibliografia

ISBN: 978-65-5363-445-9

Livro disponível em formato digital

Livro digital da Editora EDUFMA

Modo de Acesso:

1. Termologia. 2. Balões de ar quente. 3. Proposta pedagógica. I. Mendes, Gabriel Alves. II. Carvalho, Edson Firmino Viana de. III. Título.

CDD: 536

CDU 536.41

Bibliotecária: Rosivalda Pereira – CRB 13/423

CRIADO NO BRASIL [2025]

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte deste livro pode ser reproduzida, armazenada em um sistema de recuperação ou transmitida de qualquer forma ou por qualquer meio, eletrônico, mecânico, fotocópia, microfilmagem, gravação ou outro, sem permissão do autor.

| EDUFMA | EDITORA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO

Av. dos Portugueses, 1966 | Vila Bacanga CEP: 65080-805 |

São Luís | MA | Brasil Telefone: (98) 3272-8157

www.edufma.ufma.br | edufma@ufma.br

AGRADECIMENTOS

Ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF)
À Universidade Federal do Maranhão (UFMA)
Ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da UFMA (PROFIS)
À Superintendência de Tecnologias na Educação (STED) da UFMA
O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de
Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

"... o aluno já possui seu ponto de ancoragem e, por isso, tudo se torna fácil e significativo".

David Ausubel

Apresentação

Este **recurso educacional** é abordado na dissertação de mestrado de Francisco Leonardo Lopes da Silva, orientada pelo Prof. Dr. Gabriel Alves Mendes. A dissertação foi apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física - Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, oferecido pela Sociedade Brasileira de Física em parceria com a Universidade Federal do Maranhão (Polo 47). O material inclui uma breve revisão dos conceitos de Termologia e apresenta, de forma detalhada, a construção de um balão de ar quente. Além disso, oferece sugestões para o desenvolvimento de uma sequência didática voltada para a aprendizagem desses conceitos, direcionada especialmente a professores do Ensino Médio, em particular do segundo ano.

Guias gerais do E-book:

- ✓ A descrição de oito encontros listando estratégias, recursos e atividades a serem desenvolvidas em cada momento através da abordagem teórica, exercícios, experimentos, dinâmica com questões conceituais, apresentação multimídia e um vídeo sobre temperatura e calor, além de proposição de desafios e sugestões de tarefas de casa;
- ✓ Orientações gerais tendo em vista os elementos-chave das teorias empregadas;
- ✓ Guia para montagem de um balão de ar quente;
- ✓ Links de vídeos do Youtube com a confecção de balões de ar quente;
- ✓ Sugestões de leituras;
- ✓ Link para materiais extras (“slides”) disponível no Google Drive.

Esta sequência didática aborda os conteúdos de Termologia e está organizada em 16 aulas, seguindo a estrutura do livro didático. O objetivo é enriquecer a metodologia do professor com elementos da Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel. A construção da sequência segue a ordem dos capítulos 1, 2, 3, 4, 5 e 6 do livro *Física, vol. 2: termologia, ondulatória, óptica*, de Newton Villas Bôas, Ricardo Helou Doca e Gualter José Biscuola (3. ed. - São Paulo: Saraiva, 2016).

Entretanto, essa sequência pode ser aplicada com qualquer livro didático, desde que o professor verifique a ordem dos conteúdos em sua obra e utilize problemas compatíveis com os aqui propostos. Os conteúdos sugeridos estão alinhados com a BNCC, as matrizes do Enem e as diretrizes estabelecidas pela Secretaria de Educação do Estado do Piauí (SEDUC-PI).

Francisco Leonardo Lopes da Silva

Lista de elementos pedagógicos



Site ou arquivo



Vídeo no Youtube



Simulação no Phet¹



Colaboração



Pensamento crítico



Exemplo resolvido



Comunicação



Lista de materiais

¹ PhET oferece simulações de matemática e ciências divertidas, interativas, grátis, baseadas em pesquisas. As simulações são escritas em Java, Flash ou HTML5, e podem ser executadas on-line ou copiadas para seu computador. Todas as simulações são de código aberto. Vários patrocinadores apoiam o projeto PhET, permitindo que estes recursos sejam livres para todos os estudantes e professores.

Lista de figuras

Figura 1 – Teste de voo de um balão de ar quente construído pelos alunos.	4
Figura 2 – Exemplos de flutuabilidade dos balões com a variação da temperatura..	7
Figura 3 – Se o termômetro está em equilíbrio térmico com o objeto A, e B está em equilíbrio térmico com A, então A está em equilíbrio térmico com o termômetro.	8
Figura 4 – Misturando água quente com água fria em um mesmo recipiente, após um certo tempo obtém-se o equilíbrio térmico (água morna).....	9
Figura 5 – Experimentando as sensações térmicas (é importante que ao realizar esse experimento a água não esteja muito quente, para evitar queimar as mãos.).....	10
Figura 6 – (A) A molécula monoatômica (He) possui energia de translação e de rotação. Em geral, para um gás ideal, contamos apenas a contribuição da energia translacional. (B) Além do movimento de translação e de rotação, moléculas com dois ou mais átomos também podem vibrar.	10
Figura 7 – Exemplo de um termômetro a álcool.....	13
Figura 8 – Algumas temperaturas encontradas no Universo.....	14
Figura 9 – Comparação entre as escalas termométricas.	15
Figura 10 – Várias situações que presenciamos o calor (transferências de energia térmica).....	18
Figura 11 – Um ar condicionado deve ser instalado na parte superior, onde a evaporadora suga o ar quente que sobe por convecção e sopra ar frio (mais denso) que desce.	21
Figura 12 – Ilustração dos estados físicos da água com as transições de fases....	26
Figura 13 – Diagrama de fase da maioria das substâncias (a); Diagrama de fase da água (b).....	27
Figura 14 – Ilustração comparativas das leis de Boyle, Charles e Gay-Lussac.....	35
Figura 15 – Representação gráfica das transformações: isotérmica (A), isovolumétrica (B) e isobárica (C).....	37
Figura 16 – Lista de materiais necessários.....	40
Figura 17 – Soprador térmico (secador de cabelos).	47
Figura 18 – Verificando experimentalmente a condutibilidade térmica.....	54

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Número de graus de liberdade f para partículas monoatômicas e diatômicas (moléculas lineares), divididas em várias formas de movimento.	12
Tabela 2 – Condutibilidade térmica de alguns materiais, veja que o alumínio e o cobre tem um coeficiente muito maior que os demais.	20
Tabela 3 – Capacidade térmica de alguns materiais (por porção de 100 g), pode-se observar que a água tem capacidade térmica bem maior que os demais materiais.	23
Tabela 4 – Calor específico de alguns materiais (a água tem calor específico 1, bem maior que todos os outros materiais).	24
Tabela 5 – Processos de mudanças de fase da matéria.	28
Tabela 6 – Calor latente e temperatura de fusão e vaporização de alguns materiais sólidos e líquidos.	29
Tabela 7 – Coeficiente de dilatação linear de alguns sólidos.	83
Tabela 8 – Coeficiente de dilatação volumétrica de alguns materiais líquidos.	85
Tabela 9 – Algumas constantes físicas.	89
Tabela 10 – Prefixos para potências de dez.	90

Lista de Diagramas

Diagrama 1 – Fazendo os painéis de seda.....	43
Diagrama 2 – Dobrando e cortando os painéis.....	44
Diagrama 3 – Colando os painéis.....	45
Diagrama 4 – Acabamentos e saia do balão.	46

Sumário

INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 1 – Balões de ar quente e a compreensão da Termologia	4
1.1. A história dos balões de ar quente	4
1.2. Compreendendo o voo dos balões e os conceitos de Termologia	6
1.2.1. Equilíbrio térmico e temperatura	7
1.2.2. Medindo a temperatura - termômetros e escalas termométricas.....	13
1.2.3. A definição de calor	18
1.2.3.1. Formas de propagação do calor	19
1.2.4. Capacidade térmica	22
1.2.5. Calor específico ou calor sensível.....	23
1.2.6. Sistema físico termicamente isolado	25
1.2.7. Estados físicos da matéria	26
1.2.7.1. Diagrama de fases.....	27
1.2.8. Calor latente	28
1.2.9. Dilatação térmica dos sólidos e líquidos	29
1.2.10. Estudo dos gases perfeitos.....	32
2.2.13. Relacionando Termologia com os balões de ar quente.....	38
CAPÍTULO 2 – GUIA DE CONSTRUÇÃO DE UM BALÃO DE AR QUENTE	40
2.1. Passo a passo para a construção do balão	40
2.2. Materiais necessários	40
Passo 01 - Fazendo os painéis de seda	41
Passo 02 – Colando os painéis.....	41
Passo 03 – Dobrando os painéis	42
Passo 04 – Acabamentos e saia do balão	42
Passo 05 – Avestando o balão.....	47
CAPÍTULO 3 – A SEQUÊNCIA DIDÁTICA	48
3.1. Introdução.....	48
3.2. Estrutura das aulas e materiais de apoio ao professor.....	50
3.3.2. Segundo encontro.....	53
3.3.3. Terceiro encontro.....	55
3.3.4. Quarto encontro	57
3.3.5. Quinto encontro	59
3.3.6. Sexto encontro.....	62

3.3.7. Sétimo encontro.....	65
3.3.8. Oitavo encontro	66
CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	69
REFERÊNCIAS	70
APÊNDICE A – Questões da avaliação diagnóstica	72
APÊNDICE B – Fio metálico e condução de calor	73
APÊNDICE C – Pesquisa e debate – Seminário ou Mesa redonda	74
APÊNDICE D – Questões da primeira prova escrita.....	75
APÊNDICE E – Questões da segunda prova escrita	79
APÊNDICE F – Coeficiente de dilatação linear de alguns sólidos.....	83
APÊNDICE G – Experimento: o funcionamento de lâminas bimetálicas	84
APÊNDICE H – Tabela com coeficientes de dilatação volumétrica.....	85
APÊNDICE I – Comprovando a dilatação volumétrica	86
APÊNDICE J – Enchendo um balão com gás a partir de uma reação química	87
APÊNDICE K – Unidades do Sistema Internacional de Unidades.....	88
APÊNDICE L – Algumas Constantes físicas.....	89
APÊNDICE M – Tabelas com prefixo de potências de dez	90
APÊNDICE N – Algumas conversões importantes.....	91

Introdução

A Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel possibilita o desenvolvimento e aplicação de uma sequência didática que pode tornar as aulas de Física mais atrativas e agradáveis. Possibilitando a integração entre teoria e prática, com a participação efetiva dos alunos, estabelecendo uma nova prática na relação ensino e aprendizagem. Na abertura do livro *Psicologia Educacional*, Ausubel enfatiza que “o fator isolado mais importante que influencia o aprendizado é aquilo que o aprendiz já conhece” (AUSUBEL, 2000).

Um aspecto que podemos destacar é que a ênfase de Ausubel ela se dá na aquisição, no armazenamento e na organização das ideias no cérebro do indivíduo. Portanto, optamos por elaborar uma sequência didática baseada na ideia dos organizadores prévios. Para Ausubel a principal função do organizador prévio é servir de ponte entre o que o aprendiz já sabe e o que ele deve saber. Sendo assim, usaremos uma oficina de construção de balões de ar quente como elemento motivador (organizador prévio).

Nesta proposta serão trabalhados os conteúdos de Termologia partindo dos conceitos de temperatura e calor até estudos dos gases, o que conforme o currículo de algumas escolas compreende um bimestre (nesse caso, o primeiro bimestre). Dependendo das especificidades locais de cada escola, um bimestre pode ter cerca de 16 a 20 aulas, esse trabalho foi desenvolvido para ser aplicado em 16 aulas de 50 minutos, sendo que na escola onde foi aplicado essas aulas acontecem aos pares, portanto, realizamos oito encontros de 100 minutos.

Cada encontro foi organizado de modo que pudéssemos ofertar aos discentes um conjunto de atividades que englobam os aspectos históricos, teóricos-conceituais, contextualização com o cotidiano e a prática experimental. Para tal, além da descrição das atividades, fornecemos um conjunto de textos, “slides”, vídeos e experimentos para serem trabalhados, tanto na sala de aula, quanto como atividades extraclasse.

“Na medida em que se passa a planejar experimentos com essa orientação, ultrapassando a preocupação de adequá-los apenas ao conteúdo ou ao conceito de interesse, pode-se ajudar a abalar atitudes de inércia, de desatenção, de apatia, de pouco esforço, servindo esses experimentos, inclusive, de elo incentivador para que os estudantes se dediquem de uma forma mais efetiva às



tarefas subsequentes mais árduas e menos prazerosas". (LABURU, 2006, p. 384).

A elaboração dessa oficina de construção de balões de ar quente considera alguns aspectos: um deles é a possibilidade do uso de materiais de baixo custo e de fácil obtenção, de tal maneira que essa oficina pôde ser realizada com um custo médio de R\$ 0,75 (setenta e cinco centavos) por aluno; experimento relacionado com a prática cotidiana; e, a capacidade de reprodução desse experimento por parte dos alunos.

Esses aspectos são fundamentais, dado que o público alvo é formado, em sua maioria, por jovens de baixa renda, impossibilitando atividades que demandem custos elevados.

A motivação para a escolha desse tema foi o fato dos balões de ar quente, desde sua invenção, despertarem o fascínio em muitas pessoas (até hoje, em vários locais, pelo mundo, temos eventos com balões). Um segundo fator que motivou a escolha considera que os balões foram objeto de estudo de Charles (1746) e Gay-Lussac (1788), quando esses enunciaram as leis dos gases, que levam seus nomes.

Seguindo a ideia de custos da oficina, os experimentos feitos em sala de aula e os que foram propostos aos alunos para realizarem em casa, foram organizados ou adaptados para ser possível a reprodução dos mesmos. Tais experimentos são fáceis de montar ou executar, seguidos de uma lista de questionamentos e indagações que guiam o discente a compreensão dos fenômenos propostos. São elaborados para abarcar os conteúdos básicos e estruturantes de física do currículo da Secretária de Educação do Estado do Piauí – SEDUC e da Unidade Escolar Luís Teixeira, onde a sequência didática foi aplicada.

Acreditamos que, desse modo, um organizador prévio (balões de ar quente) inserido dentro de uma sequência estruturada de atividades e de valiosas ferramentas de ensino, possa constituir um ambiente de aprendizagem significativa. Despertando a atenção e contribuindo para a construção mais sólida dos conceitos de Termologia, visto que os experimentos se caracterizam pela capacidade de potencializar a motivação, melhorar o engajamento no conteúdo e, conseqüentemente, aguçar a curiosidade e criatividade do discente.

A organização foi feita em quatro capítulos, no primeiro apresentamos de maneira sucinta os principais conceitos de Termologia que devem ser trabalhados. No capítulo dois temos, um guia de construção de balões de ar quente, onde é disponibilizado uma lista de materiais, um passo a passo textual e em diagramas, mostrando cada etapa detalhadamente, de modo que o professor e os alunos

possam reproduzir. Além disso, também, é disponibilizado essas etapas em seleção de vídeos do Youtube.

O capítulo três é destinado ao desenvolvimento da sequência didática. Descrevendo detalhadamente os oito encontros e todos os materiais e recursos que devem ser utilizados para aplicação da mesma, sendo que, sempre, são realizadas sugestões de adaptações pelos professores, para que a proposta se ajuste a realidade da turma em que se esteja trabalhando. O último capítulo é dedicado às considerações finais daquilo que obtivemos com a aplicação e o que pode ser melhorado.

Capítulo 1 – Balões de ar quente e a compreensão da Termologia

Neste capítulo conheceremos um pouco da história dos balões de ar quente e a física envolvida no voo dos balões. Também, serão abordados os conceitos, as ideias e as proposições dos conteúdos de Termologia que serão usados no desenvolvimento da sequência didática, ao nível de Ensino Médio. Inicialmente, observa-se a figura 1, onde temos uma amostra dos resultados do nosso trabalho.

Figura 1 - Teste de voo de um balão de ar quente construído pelos alunos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

1.1. A história dos balões de ar quente

O homem pensou que poderia sair do chão imitando o pássaro. Ele estava errado. Por mais que ele colasse penas no corpo e agitasse fortemente seus braços, ele não podia voar. Ele precisava encontrar uma maneira - como a invenção da roda que lhe permitirá ir mais rápido na Terra - quando nenhum exemplo visível existia na natureza. Ele precisava de uma verdadeira invenção: e este era o balão de ar quente. (SONHO DE ÍCARO).

O balão de ar quente, de acordo com fontes históricas, foi criado pelo militar Zhuge Liang (181-234 d.C.), que era chamado Zhuge Kongming. Esses balões foram construídos de papel, sendo a estrutura construída de bambu, onde havia um dispositivo que mantinha o fogo aceso no balão. Os registros históricos, conforme os relatos tradicionais, mostram que o objetivo militar dos balões, lançados comumente a noite, era assustar os inimigos, ou realizar sinalização. Em homenagem ao seu inventor, esses dispositivos se tornaram conhecidos como “luzes de Kongming” (BIZERRA, 2008, p. 5).

Para relatar os principais acontecimentos na história dos balões, seguiremos uma ordem cronológica, baseados em relatos da empresa de balonismo Virgin Balloon Flights.

Tudo começa com o cientista francês Jean-François Pilâtre de Rozier, que no ano de 1783, lançou o famoso balão de ar quente com um pato, uma ovelha e um galo. O balão é levantado pelo ar quente, mas também possui um compartimento de gás “mais leve que o ar” - como hélio ou hidrogênio - na parte superior do balão. O voo dura 15 minutos. Nesse mesmo ano acontece o primeiro voo tripulado, Pilâtre de Rozier e François Laurent d’Arlandes voam de Paris em um genuíno balão de ar quente criado com tecidos forrados de papel pelos irmãos e fabricantes de papel Jacques Étienne e Joseph Michel Montgolfier.

Já no ano de 1784 é a vez do Reino Unido construir seu próprio balão. O aviador escocês James Tytler se torna o primeiro britânico a pilotar um balão de ar quente fazendo um voo sobre Edimburgo. No entanto, ele é ofuscado, logo depois, pelo diplomata italiano e “ousado diabo” Vincenzo Lunardi, que completa o primeiro voo de balão na Inglaterra. Lançando seu balão de gás hidrogênio na frente de 200.000 espectadores no Artillery Ground de Londres, ele voa com um cachorro, um gato e um pombo enjaulado por 39 quilômetros em Hertfordshire. Ele se tornou famoso e ajudou a construir o romance dos balões ainda presentes hoje.

Em 1785 acontece a primeira travessia de balão do canal inglês. O aeronauta francês Jean-Pierre Blanchard e o americano John Jeffries voam com sucesso pelo Canal. Eles carregam e entregam uma carta - agora é isso que você chama de “Correio Aéreo”.

Somente no ano de 1793 é realizado o primeiro voo de balão na América. Jean-Pierre Blanchard completa o primeiro voo de balão na América do Norte, voando da Filadélfia para o Condado de Gloucester, Nova Jersey.

Em 1836 tem-se o primeiro voo de balão de longa distância. O Grande Balão de Nassau (85.000 pés cúbicos de tamanho) é pilotado pelo entusiasta britânico de balões Charles Green a 800 km de Londres a



Weilburg na Alemanha em 18 horas. Seu recorde não é quebrado por muitos anos.

Outra novidade na história dos balões de ar quente, quando eles são usados para observação militar durante a Guerra Franco-Prussiana em 1870 e um ministro francês faz uma fuga dramática de balão, no estilo James Bond, de uma Paris sitiada.

O balão cresce como esporte. O interesse em balonismo como esporte cresce graças às corridas anuais de troféus de balão Gordon Bennett, fundadas pelo jornalista americano James Gordon Bennett quando um grupo de balões de gás hidrogênio voa de Paris, que começa em 1906, fazendo uma pausa para a Primeira Guerra Mundial e continua até hoje.

Em 1931 ocorre o primeiro voo de balão de gás para a estratosfera. O físico suíço Auguste Piccard voa para a estratosfera a 15.781 m em uma cabine de metal transportada por um balão de gás hidrogênio. No ano seguinte, ele alcançou 16.507 m.

A era moderna de balão de ar quente decola no ano de 1960. Edward Yost inventa um queimador de propano que muda de balão de gás para ar quente. Um balão de ar quente usando o queimador voa com sucesso em Nebraska, EUA.

No ano de 1978 aconteceu o primeiro voo transatlântico em balão de gás hélio. Os empresários americanos Ben Abruzzo, Max L. Anderson e Larry Newman voam um recorde de 5.000 km de distância do Maine, EUA, para Miserey, França, em 137 horas e 6 minutos.

Em 2016 temos o voo de balão solo mais rápido do mundo. O aventureiro russo (e padre) Fedor Konyukhov quebrou o recorde de voo solo de balão ao redor do mundo, completando sua jornada de 33.000 km de distância em pouco menos de 11 dias.

(VIRGIN BALLOON FLIGHTS, 2021).

1.2. Compreendendo o voo dos balões e os conceitos de Termologia

A Termologia, conforme a etimologia clara da palavra, é a “**ciência do calor**”. Essa definição implica um campo de estudo mais amplo do que parece à primeira vista, pois todo fenômeno físico envolve a dissipação de uma parte da energia na forma de calor. Além do estudo de calor e temperatura, a Termologia também inclui o estudo de expansão térmica e transmissão de energia térmica, bem como as leis da termodinâmica. A última ciência lida especificamente com as leis que governam a transformação da energia térmica em energia mecânica e vice-versa. É baseado em três princípios fundamentais que, devido à sua generalidade e profundidade, têm implicações filosóficas óbvias e permitem a

formulação de conceitos que, como a entropia e a energia, são amplamente utilizados em diversas áreas, tais como: biologia, química e engenharias.

A seguir, abordaremos de forma empírica os conceitos da Termodinâmica que venha abarcar a parte histórica, a construção desses conceitos, bem como, os mais recentes refinamentos e como são trabalhados atualmente de forma sintética.



1.2.1. Equilíbrio térmico e temperatura

Até as criancinhas possuem uma compreensão básica do que é quente e do que é frio, mas o que é temperatura? O que ela mede?

Um piloto, um balonista e um mergulhador devem ter uma boa compreensão prática sobre as temperaturas do ar e da água ao planejarem seus voos e mergulhos. Pilotos e balonistas devem estar cientes de como as variações da temperatura afetam a massa específica do ar e os padrões dos ventos (veja a figura 2). Mergulhadores sabem que variações da temperatura corporal afetam a quantidade de ar do reservatório que será necessária em um mergulho. Eles também compreendem a importância de se equalizar a pressão sobre seus corpos com a pressão do ar contido dentro dos seus corpos. Para o mergulhador, o piloto e o balonista, a importância do comportamento dos gases em função da temperatura é vital (TIPLER, 2014, p. 571).

Figura 2 - Exemplos de fluvariabilidade dos balões com a variação da temperatura. As mudanças de temperatura do ar no interior de um balão determinarão se ele sobe, desce ou se mantém estável.

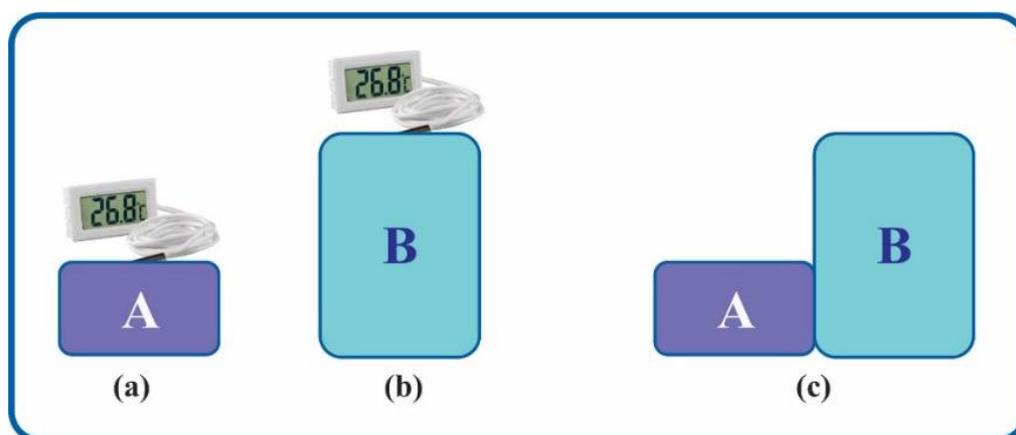


Fonte: Silva (2021).

A **Temperatura** é uma das **variáveis de estado** de um sistema, ou seja, é um dos parâmetros que usamos para definir esse sistema na totalidade. A temperatura é especialmente introduzida para a Termodinâmica e sua definição está intimamente relacionada com o conceito de **equilíbrio térmico**.

Considera-se **equilíbrio térmico** a igualdade de temperatura entre dois sistemas termodinâmicos. Para se chegar a essa igualdade de temperatura não precisamos envolver, nem mesmo, uma escala termométrica. Portanto, a igualdade de temperatura, nesse equilíbrio térmico, é totalmente independente da escala termométrica adotada, veja um exemplo esquematizado na figura 3.

Figura 3 - Se o termômetro está em equilíbrio térmico com o objeto A, e B está em equilíbrio térmico com A, então A está em equilíbrio térmico com o termômetro. Portanto, a leitura no termômetro permanece a mesma quando A se move para fazer contato com B.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Um termômetro mede sua própria temperatura. É por meio dos conceitos de equilíbrio térmico e da lei zero da termodinâmica que podemos dizer que um termômetro mede a temperatura de outro objeto (sistema) e dar sentido à afirmação de que dois objetos estão na mesma temperatura.

Exemplo: A medição da temperatura de uma criança com um termômetro clínico, coloca-se o termômetro em contato com a criança (na boca) e aguarda um certo tempo para acontecer o equilíbrio térmico, assim a medida da temperatura do termômetro será a mesma do corpo da criança.

– Sensações térmicas

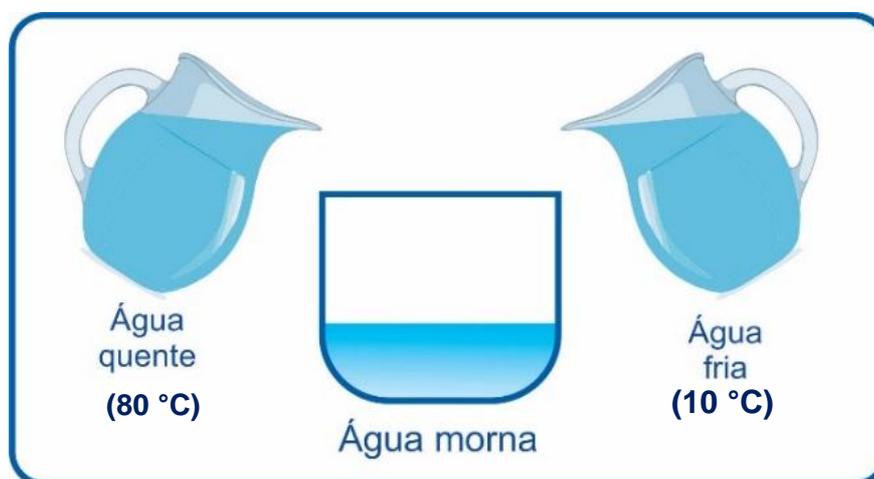
As sensações fisiológicas, que gradualmente levam do “mais quente” ao “mais frio” não possuem uma precisão na determinação do tão quente um objeto



está comparado ao outro ou tão frio. É em particular **bastante subjetivo**: o que seria qualificado como “morno” por uma pessoa, poderia ser qualificado por outras como quente ou frio: é bem conhecida a experiência de imergir as duas mãos em dois diferentes recipientes, um que contém água a baixa temperatura e outro que contém água a uma temperatura elevada (não ao ponto de queimar), subseqüentemente, mergulhando as duas mãos no mesmo recipiente contendo água morna. O último proporcionará sensações térmicas distintas nas duas mãos: uma sentirá mais quente e a outra mais fria.

Quando você mistura, por exemplo, um litro de água quente (80 °C) com um litro de água fria (10° C), depois de um certo tempo, se obterá o equilíbrio térmico e você terá dois litros de água “morna” (temperatura com um valor entre 10 °C e 80 °C). No entanto, é preciso considerar que o estado final (equilíbrio térmico) depende das massas envolvidas. Por exemplo, se você misturar um litro de água “quente” em uma banheira cheia de água “fria” (cem litros), certamente, não obterá água morna. Observe na figura 4 um esquema experimental para se obter o equilíbrio térmico.

Figura 4 – Misturando água quente com água fria em um mesmo recipiente, após um certo tempo obtém-se o equilíbrio térmico (água morna).



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Você pode testar experimentalmente algumas sensações térmicas fazendo como mostra a figura 5, lembrando de ter o cuidado de não usar água numa temperatura muito elevada, para evitar queimaduras.

Figura 5 - Experimentando as sensações térmicas (é importante que ao realizar esse experimento a água não esteja muito quente, para evitar queimar as mãos.).

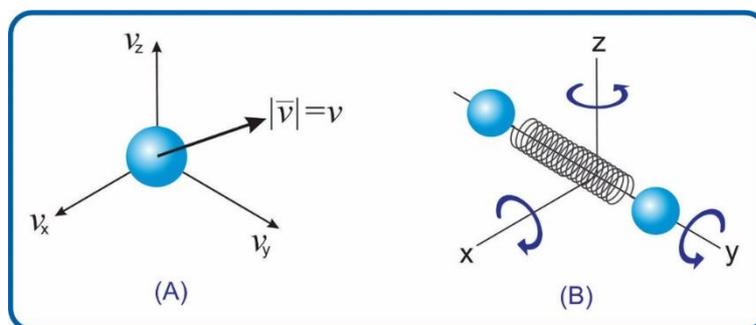


Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Uma vez compreendido a ideia de equilíbrio térmico, retornemos à temperatura. A maioria dos livros de Ensino Médio associam temperatura ao **nível de agitação das partículas**, ou seja, toda matéria é composta de moléculas e átomos. Esses átomos estão sempre em diferentes categorias de movimento (translação, rotação, vibração). Chamamos esses movimentos de graus de liberdade e todos eles contribuem para a temperatura.

Observe na figura 6 um exemplo dos movimentos de uma partícula monoatômica e uma diatômica.

Figura 6 – (A) A molécula monoatômica (He) possui energia de translação e de rotação. Em geral, para um gás ideal, contamos apenas a contribuição da energia translacional. (B) Além do movimento de translação e de rotação, moléculas com dois ou mais átomos também podem vibrar. As possibilidades de vibração (também chamadas modos normais de vibração) dependem do número de átomos e da forma da molécula. Os átomos das moléculas diatômicas só podem oscilar ao longo de seu eixo molecular, portanto, têm apenas um grau de liberdade vibracional (um modo normal de vibração).



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

“Graus de liberdade” descreve o número mínimo de variáveis que devem ser fixadas para definir uma condição particular do sistema.

Cada grau de liberdade contribui com $\frac{1}{2}k_B T$ para a energia de um sistema, em que possíveis graus de liberdade são aqueles associados à translação, rotação e vibração das moléculas (Teorema da Equipartição da Energia).

Assim, a energia total em função dos graus de liberdade é dada por:

$$E_{\text{int}} = K_{\text{translacional}} + E_{\text{rotacional}} + E_{\text{vibracional}}. \quad [1.01]$$

Para o movimento translacional, a molécula tem três graus de liberdade (ao longo do eixo x , ao longo do eixo y e ao longo do eixo z), consequentemente:

$$K_{\text{trans total}} = \frac{1}{2}mv_x^2 + \frac{1}{2}mv_y^2 + \frac{1}{2}mv_z^2 = \frac{3}{2}k_B T. \quad [1.02]$$

Para o movimento rotacional, ela tem dois graus de liberdade ao longo do seu centro de massa (sentido horário e anti-horário).

$$K_{\text{rot total}} = \frac{1}{2}k_B T + \frac{1}{2}k_B T. \quad [1.03]$$

No caso específico de um gás monoatômico, para o movimento vibracional, existe apenas um grau de liberdade correspondente ao movimento para frente e para trás.

$$K_{\text{vib total}} = \frac{1}{2}k_B T + \frac{1}{2}k_B T, \quad [1.04]$$

onde k é constante de Boltzmann ($k = 1,38 \cdot 10^{23} \text{ J/K}$).

Um modelo que inclui todas as três categorias de movimento prevê um total de energia interna de:

$$E_{\text{int}} = 3N \left(\frac{1}{2}k_B T \right) + 2N \left(\frac{1}{2}k_B T \right) + 2N \left(\frac{1}{2}k_B T \right) = \frac{7}{2}Nk_B T = \frac{7}{2}nRT, \quad [1.05]$$

Na tabela 1 você pode observar os graus de liberdades de duas categorias de partículas e como se dividem nos vários movimentos.

No caso mais simples, o de um gás ideal monoatômico, ou seja, um gás contendo um átomo por molécula, como o hélio, neônio ou argônio. Quando



energia é adicionada a um gás monoatômico em um recipiente de volume fixo, toda a energia adicionada vai para o aumento da energia cinética translacional dos átomos. Não há outra maneira de armazenar a energia em um gás monoatômico (JEWETT; SERWAY, 2011). Portanto, a partir da Equação [1.05], vemos que a energia interna das moléculas E_{int} de N moléculas (ou n mols) de um gás monoatômico ideal é:

$$E_{\text{int}} = K_{\text{trans total}} = \frac{3}{2} Nk_B T = \frac{3}{2} nRT, \quad [1.06]$$

Tabela 1 – Número de graus de liberdade f para partículas monoatômicas e diatômicas (moléculas lineares), divididas em várias formas de movimento.

Tipo de partícula	Translação f_{trans}	Rotação f_{rot}	Vibração f_{vib}	Total f
Monoatômica	3	0	0(x2)	3
Diatômica	3	2	1(x2)	7

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Todos esses aspectos, aqui abordamos, ilustram de uma maneira substantiva o conceito de temperatura. Um estudo mais aprofundado pode ser realizado no conteúdo: **Teoria cinética dos gases (Física para Cientistas e Engenheiros: Oscilações, Ondas e Termodinâmica**. JEWETT; SERWAY, 2011) ou pelo link: <https://www.youtube.com/watch?v=yNeCKLI32xg>.

A temperatura é proporcional a energia cinética média por partícula (no caso particular de um gás ideal monoatômico).

$$T \propto \frac{1}{2} m \bar{v}^2 \quad [1.07]$$



Testando os conhecimentos: Dois objetos, com tamanhos, massas e temperaturas diferentes, são colocados em contato térmico. Em que direção viaja a energia? a) A energia flui do maior objeto para o menor objeto. b) A energia flui do objeto com mais massa para o objeto com menos massa. c) A energia flui do objeto com temperatura mais alta para o objeto com temperatura mais baixa.

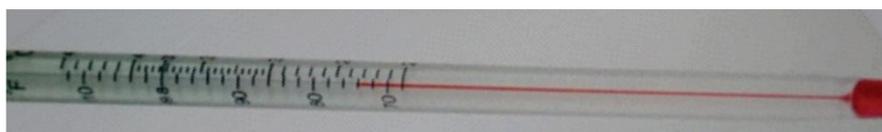


1.2.2. Medindo a temperatura - termômetros e escalas termométricas

Qualquer propriedade física que dependa consistentemente e reproduzível da temperatura pode ser usada como base de um termômetro, por exemplo, o volume aumenta com a temperatura para a maioria das substâncias, essa propriedade é a base para o termômetro de álcool comum e os termômetros de mercúrio, originais. Outras propriedades usadas para medir a temperatura incluem resistência elétrica, cor e emissão de radiação infravermelha.

Os termômetros (ver figura 7) quantificam a temperatura de acordo com escalas de medição bem definidas. As três escalas de temperatura mais comuns são Fahrenheit, Celsius e Kelvin. A calibração dos termômetros pode ser feita colocando-o em contato térmico com um sistema natural que permanece à temperatura constante. Um desses sistemas é a mistura de água e gelo em equilíbrio térmico à pressão atmosférica. Na escala Celsius de temperatura, essa mistura tem temperatura de zero grau Celsius: 0°C ; é chamada ponto de congelamento da água. Outro sistema frequentemente usado é uma mistura de água e vapor em equilíbrio térmico à pressão atmosférica; sua temperatura é definida como 100°C , que é o ponto de vaporização da água. Visto que os níveis de líquido foram estabelecidos nesses dois pontos do termômetro, o comprimento da coluna do líquido entre os dois pontos é dividido em 100 segmentos iguais para criar a escala Celsius. Portanto, cada segmento denota uma mudança em temperatura de um grau Celsius.

Figura 7 – Exemplo de um termômetro a álcool.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Na **escala Celsius**, o ponto de congelamento da água é 0°C e o ponto de ebulição é 100°C . A unidade de temperatura nesta escala é o grau Celsius ($^{\circ}\text{C}$). A **escala Fahrenheit** tem o ponto de congelamento da água em 32°F e o ponto de ebulição em 212°F . Sua unidade é o grau Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$). Você pode observar que 100 graus Celsius abrangem o mesmo intervalo que 180 *graus Fahrenheit*. Assim, uma diferença de temperatura de um grau na escala Celsius é 1,8 vezes maior que uma diferença de um grau na escala Fahrenheit, ou:

$$\Delta T_F = \frac{9}{5} \Delta T_C, \quad [1.07]$$

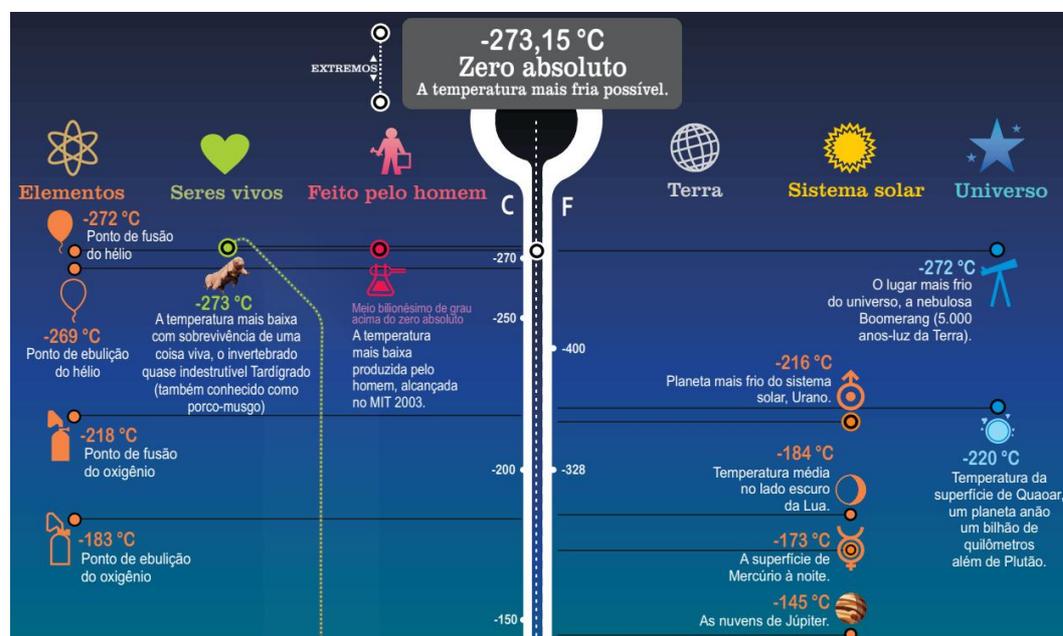
onde ΔT_F é a variação da temperatura Fahrenheit e ΔT_C a variação da temperatura Celsius.

Não é interessante falar de energia cinética média das moléculas.

Um questionamento comum que surge quando se discute sobre temperatura é se existe um valor máximo e um valor mínimo, a resposta para essa indagação é que existe somente um limite inferior para a Temperatura. Uma escala de temperatura absoluta é aquela cujo ponto zero é o **zero absoluto**. Essas escalas são convenientes na ciência porque várias quantidades físicas, como o volume de um gás ideal, estão diretamente relacionadas à temperatura absoluta.

A **escala Kelvin** é a escala de temperatura absoluta comumente usada na ciência. A unidade de temperatura no **SI** é o **kelvin**, abreviado como **K** (não acompanhado por um sinal de grau). Portanto, 0 K é o que chamamos zero absoluto (observe a figura 8).

Figura 8 – Algumas temperaturas encontradas no Universo.



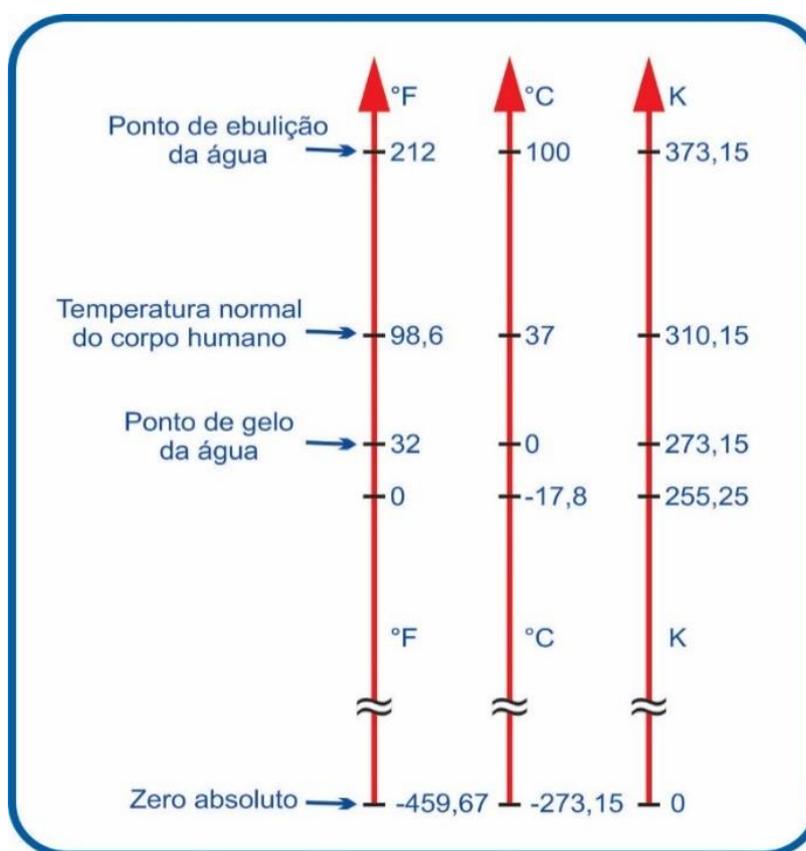
Fonte: Site aberto até de madrugada (2021). Disponível em: <https://abertoatedemadrugada.com/2015/01/a-escala-da-temperatura-do-zero.html>. Acesso em: 16 ago. 2021.

Os pontos de congelamento e ebulição da água são $273,15\text{ K}$ e $373,15\text{ K}$, respectivamente. Portanto, as diferenças de temperatura são as mesmas em

unidades de kelvins e graus Celsius, ou $\Delta T_k = \Delta T_C$ (onde ΔT_k é a variação da temperatura Kelvin e ΔT_C a variação da temperatura Celsius).

No Brasil a escala adotada é a Celsius, esta é a mais popular entre as escalas, isso porque grande parte dos países a adota e suas faixas de valores já são bem conhecidas por praticamente toda a população mundial. Já a escala Fahrenheit é adotada, atualmente, em apenas 3 países: Estados Unidos, Birmânia e Libéria. Na figura 9 é possível comparar as temperaturas nas três escalas.

Figura 9 – Comparação entre as escalas termométricas. Temos o zero absoluto, no entanto, não temos um limite superior de temperatura, alguns corpos podem ter temperatura na casa dos milhões de graus (explosão de uma estrela, reatores nucleares, etc.).



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

– Conversões entre escalas termométricas

As unidades são utilizadas a depender da variação que temos ao usá-la no cotidiano, por exemplo, quando saímos de casa e vamos para a escola, em geral, usamos km. Quando queremos medir o comprimento de um lápis, utilizamos o *cm*, mas o interessante entre essas unidades é que são múltiplas de

10 uma das outras. Isso nem sempre ocorre, por exemplo, o *ano-luz*, é uma unidade de medida de distância e não é um múltiplo de 10 do *cm* ou *km*. Por que usar unidades diferentes? A resposta é que as unidades facilitam nossa interpretação e intuição dos problemas físicos. Esse mesmo pensamento ocorre quando pensamos em temperaturas com escalas diferentes, ou seja, se seu amigo cientista informar a temperatura do dia em Kelvin, você perde intuitivamente a noção da temperatura, porém caso use uma conversão de escala, teremos uma melhor noção da Temperatura. Por exemplo, um fogão a gás que traga a indicação de temperatura na escala Fahrenheit, no caso do Brasil, que usamos a escala Celsius, pode gerar problemas quanto a temperatura adequada para certas receitas.

Quase sempre, é necessário fazer uma conversão entre as escalas termométricas citadas, para passarmos quaisquer valores de temperaturas de uma escala para outra. Para isso, você pode usar a seguinte equação:

$$\frac{T_C}{5} = \frac{T_F - 32}{9} = \frac{T_K - 273}{5} \quad [1.08]$$



De grau Celsius para Kelvin

Suponha que ao fazer a leitura em um termômetro o valor marcado seja 27°C , qual valor um outro termômetro que esteja na escala Kelvin marcará?

Da equação [1.08], temos que $T_K = T_C + 273$.

Substituindo a temperatura Celsius temos:

$$\begin{aligned} T_K &= 27 + 273 \\ T_K &= 300 \text{ K.} \end{aligned}$$

Essa temperatura de 300 K é, por exemplo, a temperatura média na cidade de Luzilândia-PI, no período de janeiro a junho.

De grau Celsius para Fahrenheit



Suponha um balão de festa junina sob a pressão atmosférica de 1 atm (em relação nível do mar) tenha uma temperatura interna de 120°C . Qual é o valor dessa temperatura na escala Fahrenheit?

Da equação [1.08], temos que $\frac{T_C}{5} = \frac{T_F - 32}{9}$.

Substituindo a temperatura Celsius temos:

$$\frac{120}{5} = \frac{T_F - 32}{9}$$

$$9 \cdot 24 = T_F - 32$$

$$T_F = 216 + 32$$

$$T_F = 248 \text{ } ^\circ\text{F}$$

A temperatura de $248 \text{ } ^\circ\text{F}$ é a temperatura média de vaporização da água dentro de uma panela de pressão, durante o processo de cozimento dos alimentos.



De grau Fahrenheit para Kelvin

Você pode usar a equação $\frac{T_F - 32}{9} = \frac{T_K - 273}{5}$, porém, é bastante conveniente converter a temperatura para a escala Celsius e depois usar a equação $T_K = T_C + 273$.
Veja o seguinte caso:

- A medida que subimos ao longo da atmosfera, o peso da coluna de ar diminui e, conseqüentemente, o valor da pressão atmosférica também é reduzida. Um aluno de física de uma escola dos Estados Unidos, ao fazer a medição da temperatura de uma amostra de água numa pressão de $0,5 \text{ atm}$ (aproximadamente 5 km em relação ao nível do mar) obtém $206,6 \text{ } ^\circ\text{F}$ e ele deseja saber qual é a temperatura na escala Kelvin?

1º vamos converter de Fahrenheit para Celsius usando:

$$\frac{T_C}{5} = \frac{T_F - 32}{9}$$

$$\frac{T_C}{5} = \frac{206,6 - 32}{9}$$

$$T_C = 19,4 \cdot 5$$

$$T_C = 97 \text{ } ^\circ\text{C}$$

2º vamos converter de Celsius para Kelvin usando:

$$T_K = T_C + 273$$

$$T_K = 97 + 273$$

$$T_K = 370 \text{ K}$$

A cidade de Natal-RN está localizada na altitude 0 em relação ao nível do mar (pressão de 760 mmHg) e ponto de ebulição da água em $100 \text{ } ^\circ\text{C}$. Já a cidade de Viçosa do Ceará possui altitude de 740 m em relação ao nível do mar (pressão atmosférica de 700 mmHg) e ponto de ebulição da água ocorre em $97 \text{ } ^\circ\text{C}$.

1.2.3. A definição de calor

O que é calor?

Calor é a energia térmica transferida entre sistemas ou objetos com diferentes temperaturas (fluindo do sistema de alta temperatura para o sistema de baixa temperatura). Também conhecido como energia térmica. A unidade para calor no SI é J (joule), no Brasil é comum o uso da caloria (*cal*) como unidade de calor. Fabricantes de ar condicionados, ainda, adotam uma unidade britânica para calor o *BTU* (*British Thermal Unit*). No entanto, para a aferição do consumo de energia elétrica, usamos *kWh*, onde o *W* (*watt*) é a potência. (potência x tempo = energia consumida) e 1 *watt* é equivalente a 1 J/s.

O calor pode ser definido como sendo a **energia térmica em trânsito**.

- A palavra calor é usada apenas se houver uma transferência de energia de um sistema termodinâmico para outro (observe a figura 9).
- Quando dois sistemas em temperaturas diferentes são mantidos em contato um com o outro, depois de algum tempo as temperaturas de ambos os sistemas se tornam iguais e este fenômeno pode ser descrito dizendo que a energia térmica foi transferida de um sistema para outro.
- Esse fluxo de energia de um sistema para outro devido ao gradiente de temperatura é chamado transferência de calor.
- O fluxo de calor é um modo não mecânico de transferência de energia.
- O fluxo de calor depende não apenas dos estados iniciais e da localização, mas também do caminho.

Figura 10 – Várias situações que presenciamos o calor (transferências de energia térmica).

Cama de bronzeamento	Balão de ar quente	Colher de sopa quente	Assando marshmallows
Fritadeira	Radiador	Prata quente (laboratório)	Areia quente queima os pés

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).



1.2.3.1. Formas de propagação do calor

O processo de transferência de calor em um sistema e os métodos pelos quais isso ocorre são extremamente interessantes. A transferência de calor irá acontecer sempre que houver uma diferença de temperatura entre os sistemas. A transferência de calor poderá ocorrer de maneira rápida, como através de uma barra de metal, ou de maneira lenta, como através das paredes de uma garrafa térmica. Ao escolhermos os materiais, estamos controlando as taxas de transferência de calor (como cobertores de lã grossa para períodos de frio), controlando o movimento do ar (usando a calafetagem ao redor de janelas e portas) ou escolhendo uma cor (como uma roupa branca para refletir a luz solar). Inúmeros são os processos envolvem transferência de energia térmica, de tal forma que é difícil imaginar um caso em que não ocorra transferência de energia térmica. No entanto, todo processo que envolva a transferência de calor acontecerá por apenas três métodos:

- **Condução** – A transferência por *condução* ocorre entre corpos em contato, ou entre partes do mesmo corpo que estejam em temperaturas diferentes.
- **Convecção** – A *convecção* ocorre quando um dos dois corpos afetados pela troca de calor é um fluido, e a transmissão de calor pode estar associada a uma transferência de matéria.
- **Irradiação** – Na *irradiação*, o calor é trocado por meio da emissão e absorção de radiação eletromagnética.

– Características da Condução

Quanto melhor o condutor, mais rapidamente o calor será transferido (ver tabela 2). Como vemos da tabela 2, os metais são bons condutores de calor, isso quer dizer que encostar em uma panela aquecida pode provocar graves queimaduras enquanto encostar em um plástico aquecido, percebe-se que nossa mão se aquece lentamente.

A transferência pode ser representada em uma escala atômica como uma troca de energia cinética entre partículas microscópicas – moléculas, átomos e elétrons livres –, em que partículas menos energéticas ganham energia em colisões com outras mais energéticas. Por exemplo, se você segurar uma extremidade de uma barra de metal longa e inserir a outra em uma chama, notará

que a temperatura do metal em sua mão logo aumenta. A energia chega a sua mão por meio da condução.

Chamamos fluxo calor (representado pela letra grega ϕ) a energia em forma de calor Q transferida por intervalo de tempo Δt . A taxa de fluxo de calor também é conhecida como produção de calor (“energia por unidade de tempo”), a unidade usual do fluxo de calor é a caloria por segundo (cal/s), onde $1\ cal = 4,186\ J$.

$$\phi = \frac{Q}{\Delta t}. \quad [1.09]$$

No regime estacionário (dizemos que um processo está em um estado estacionário se as variáveis ‘**chamadas variáveis de estado**’ que definem o comportamento do processo são imutáveis no tempo), o fluxo térmico depende de quatro fatores: da área (A) da secção transversal da barra, de seu comprimento (ℓ), da diferença de temperaturas (ΔT) e do material de que é feito o objeto (k), onde k é uma constante característica do material, sendo denominado coeficiente de condutibilidade térmica (observe na tabela 2 os valores de k para alguns materiais).

Matematicamente, tais grandezas são relacionadas pela equação a seguir, denominada Lei de Fourier:

$$\phi = k \frac{A|\Delta T|}{\ell}. \quad [1.10]$$

Tabela 2 - Condutibilidade térmica de alguns materiais, veja que o alumínio e o cobre tem um coeficiente muito maior que os demais.

		Material	k (em $W \cdot m/K$)
Melhores isolantes		Ar (seco)	0,026
		Fibra de vidro	0,048
		Pinho	0,110
		Hidrogênio	0,180
Melhores condutores		Vidro de janela	1,000
		Ferro	67,000
		Latão	109,000
		Alumínio	235,000
		Cobre	401,000

Fonte: HALLIDAY, D., et al. (2015).



Exemplo:

Uma barra de alumínio de 40 cm de comprimento e área de seção transversal de 8 cm² tem uma de suas extremidades em contato térmico com um recipiente contendo vapor de água em ebulição (100 °C). A outra extremidade em contato com um recipiente contendo água e gelo (0 °C). A pressão atmosférica local é normal. Sabendo que o coeficiente de condutibilidade térmica do alumínio vale 0,5 $\frac{cal}{s \cdot ^\circ C}$, calcule o fluxo de calor através da barra, depois de estabelecido o regime estacionário.

Solução:

Dados:

$$k = 0,5 \frac{cal}{s \cdot ^\circ C}$$

$$\ell = 40 \text{ cm}$$

$$A = 8 \text{ cm}^2$$

$$\Delta T = (100 - 0) = 100 \text{ }^\circ C$$

Substituindo na equação [1.09], temos:

$$\phi = k \frac{A|\Delta T|}{\ell}$$

$$\phi = 0,5 \frac{8 \cdot 100}{40} = 10 \frac{cal}{s}$$

Percebemos que no regime estacionário a fonte quente consegue fornecer 10 calorias por segundo para a fonte fria, de tal modo que se quiséssemos dobrar essa taxa bastaria reduzir o comprimento da barra para 20 cm, dado que o fluxo de calor é inversamente proporcional ao comprimento.

– Características da Convecção

A convecção ocorre quando as áreas mais quentes de um fluido sobem para áreas mais frias desse fluido. O fluido mais frio então toma o lugar das áreas mais quentes que subiram. Isso resulta em um padrão de circulação contínua. Água fervendo em uma panela é um bom exemplo dessas correntes de convecção. Outro bom exemplo de convecção está na atmosfera, a superfície da Terra é aquecida pelo sol, o ar quente sobe e o ar frio desce, a mesma situação acontece com um ar condicionado (ver figura 9).

Figura 11 – Um ar condicionado deve ser instalado na parte superior, onde a evaporadora suga o ar quente que sobe por convecção e sopra ar frio (mais denso) que desce.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

– Irradiação

Todos os corpos irradiam energia continuamente na forma de ondas eletromagnéticas produzidas por vibrações térmicas das moléculas. Nenhuma massa é trocada e nenhum meio é necessário no processo de irradiação. Exemplos de fontes de radiação: o sol, o filamento de uma lâmpada, fogo de uma vela, etc.

A taxa com a qual um corpo irradia energia é proporcional à quarta potência de sua temperatura absoluta. Conhecida com a **Lei de Stefan**, esse comportamento é expresso em forma de equação como:

$$P = \sigma AeT^4, \quad [1.11]$$

onde P é a potência em watts de ondas eletromagnéticas irradiadas da superfície do corpo; σ , uma constante igual a $5,6696 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$; A , a área da superfície do corpo em metros quadrados; e , a emissividade; e T , a temperatura da superfície em kelvins.



Como pode ser produzido o calor?

A seguir temos algumas formas de produzir calor (gerar transferência de energia térmica) no nosso cotidiano:

- Fogo (quando você tem uma fogueira, por exemplo);
- Atrito (quando você esfrega as mãos);
- Eletricidade (lâmpada, computadores, chuveiro elétrico, etc.);
- Combustível (combustíveis sólidos, como carvão; combustíveis líquidos, gasolina, óleo; e combustíveis gasosos, propano e gás natural, todos contêm energia química);
- Comida (possui diversas categorias de energia armazenada e parte dessa energia pode ser liberada como calor);
- Sol, também conhecido como reações nucleares (o sol é uma fonte natural de calor).

1.2.4. Capacidade térmica

A **capacidade térmica** (C) de um corpo indica a quantidade de calor que ele precisa receber ou ceder para que sua temperatura varie uma unidade na escala térmica adotada (usada).

Definimos **capacidade térmica** (C) ou **capacidade calorífica** desse corpo como:

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \quad [1.12]$$

A unidade, normalmente usada no Brasil, de capacidade térmica é a **caloria por grau Celsius** ($\text{cal}/^\circ\text{C}$). A capacidade térmica específica de um material é uma propriedade física.

– Exemplo de capacidade térmica

A água tem uma capacidade térmica específica de $4,18 \text{ J}/^\circ\text{C}$ (ou $1 \text{ cal}/^\circ\text{C}$). Este é um valor muito mais alto do que a maioria de outras substâncias, o que torna a água excepcionalmente boa para regular a temperatura de um sistema, como é o caso do planeta Terra, com grande parte da superfície coberta por água. Em contraste, o cobre tem uma capacidade de calor específica de $0,39 \text{ J}/^\circ\text{C}$ (ou $0,09 \text{ cal}/^\circ\text{C}$), na tabela 3 temos uma tabela comparativa da capacidade térmica de certos materiais.

Tabela 3 – Capacidade térmica de alguns materiais (por porção de 100 g), pode-se observar que a água tem capacidade térmica bem maior que os demais materiais.

Material	($\text{cal}/^\circ\text{C}$ por porção de 100 g)
Ouro	3,071
Mercúrio	3,300
Cobre	9,166
Ferro	48,333
Alumínio	21,476
Gelo	55,000
Água	99,976

Fonte: Halliday, D.; Resnick, R. (2013).

1.2.5. Calor específico ou calor sensível

O **calor específico ou calor sensível** (c) indica a quantidade de calor que cada unidade de massa do corpo precisa receber ou ceder para que sua temperatura varie uma unidade na escala térmica adotada.

$$c = \frac{C}{m} = \frac{Q}{m\Delta T}. \quad [1.13]$$

Uma unidade usual bastante utilizada para calores específicos é $cal/g^{\circ}C$. (Caloria por grama e por grau Celsius). Na tabela 4 você encontra alguns materiais e seus respectivos calores específicos.

Tabela 4 – Calor específico de alguns materiais – a água tem calor específico 1, bem maior que todos os outros materiais (o calor específico varia com a temperatura, como por exemplo, a água sólida (gelo) é 0,550), enquanto que líquida é 1,000.

Material	(em $cal/g \cdot ^{\circ}C$)
Alumínio	0,219
Ar	0,240
Água	1,000
Álcool	0,590
Cobre	0,093
Ferro	0,119
Gelo	0,550
Mercúrio	0,033
Ouro	0,031
Prata	0,056
Vidro	0,160

Fonte: YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. (2016).

O calor específico da água é $1 cal/g^{\circ}C = 4,2 J/g^{\circ}C$, assim como a capacidade térmica é mais alto do que qualquer outra substância comum.



Exemplo:

Para aquecer 1300 g de ar dentro de um balão (aproximadamente 1 m³) de 10 °C para 40 °C, foram utilizadas $9,3 \cdot 10^3 cal$. Determine a capacidade térmica e o calor específico do alumínio:

Solução:

Dados:

$$m = 1300g.$$

$$Q = 9,3 \cdot 10^3 cal.$$

$$\Delta T = (40 - 10) = 30^{\circ}C.$$

Para a capacidade térmica usamos:

$$C = \frac{Q}{\Delta T}$$

$$C = \frac{9,3 \cdot 10^3}{30} = 310 \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}}$$

$$Q = mc\Delta T \therefore c = \frac{Q}{m\Delta T}$$

$$c = \frac{9,3 \cdot 10^3}{1300 \cdot 30}$$

$$c = 0,240 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}$$

Para o calor específico substituímos na equação:

Resposta: $C = 310 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}$ e $c = 0,240 \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}}$.

Esse resultado mostra que para aumentar em 30°C a temperatura de um balão de 1 m^3 são necessário 9300 calorias. De forma prática, podemos estimar o consumo energético para outros tamanhos de balões, bastando multiplicar o volume por 9300.

1.2.6. Sistema físico termicamente isolado

Um sistema físico é **termicamente isolado** quando não existe troca de calor entre seus componentes e o meio externo.

$$\left| \sum Q_{\text{cedido}} \right| = \left| \sum Q_{\text{recebido}} \right| \quad [1.14]$$

Como não há troca de calor com o meio externo, dizemos que todo o calor cedido por um corpo (temperatura mais elevado) será recebido pelo outro corpo (temperatura mais baixa).

Exemplo:



Para verificar a temperatura de uma massa de 250 g de água, utilizou-se um termômetro de 70 g de massa e calor específico sensível igual a $0,25 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$. Inicialmente, a leitura do termômetro mostrava a temperatura ambiente, 22°C . Após algum tempo, colocado em contato térmico com a água, o termômetro passa a mostrar 85°C . Supondo que não houve perdas de calor, determine a temperatura da água no estado inicial. **Dado:** calor específico da água = $1,0 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$:

Solução:

$$Q_{\text{cedido}} + Q_{\text{recebido}} = 0$$

$$(m c \Delta T)_{\text{água}} + (m c \Delta T)_{\text{termômetro}} = 0$$

$$250 \cdot 1 \cdot (85 - T_i) + 70 \cdot 0,25 \cdot (85 - 22) = 0$$

$$21250 + 250T_i + 1102,5 = 0$$

$$250T_i = 22352,5$$

$$T_i = \frac{22352,5}{250} = 89,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Observamos que pelo fato da massa e calor específico da água ser maior que do termômetro, a água sofre uma variação pequena de temperatura, se comparada a variação do termômetro.

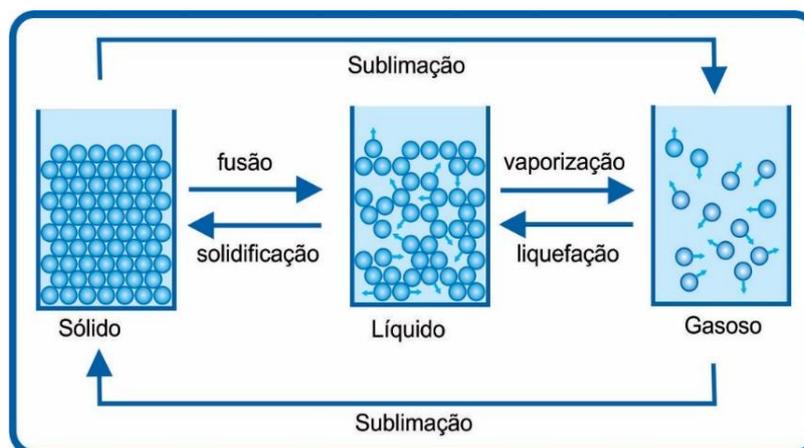


1.2.7. Estados físicos da matéria

Os **Estados físicos** da matéria são um conjunto de configurações que objetos macroscópicos podem apresentar. Essas configurações estão relacionadas a estrutura organizacional das moléculas. Conforme os meios em que foram estudados, são quatro estados considerados: **sólido, líquido, gasoso e plasma**, porém, vale ressaltar que existem outras fases da matéria, como, o Condensado de Bose-Einstein, a Água superiônica, Supersólido e Superfluidez, sendo essas fases estudadas em cursos avançados de Física. Cada substância possui diferentes características de estado físico e, em geral, essas características são determinadas para pressão e a temperatura em que ela se encontra. Na figura 10 temos uma ilustração representando três desses estados, perceba que o arranjo dos átomos, além de mudar o estado da substância, também muda suas características (densidade, vibração, volume, temperatura, etc.).



Figura 12 – Ilustração dos estados físicos da água com as transições de fases.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).



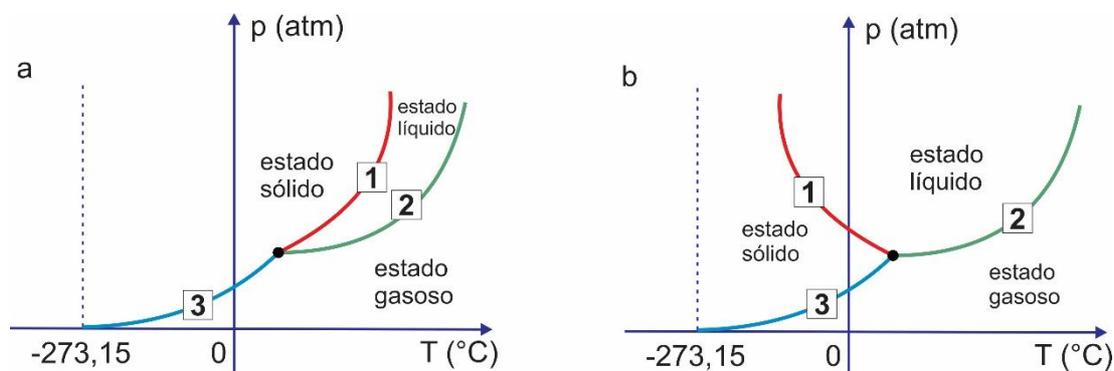
1.2.7.1. Diagrama de fases

Considerando o diagrama de pressão (p) x temperatura (T), cada ponto dele representa uma situação, em que a substância pode estar representada por um par de valores de pressão e temperatura. A região do gráfico onde estão todas as situações possíveis para a substância é limitada pela temperatura de $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ (zero absoluto) limite inferior.

Esse diagrama constitui o diagrama de fases da substância, pois todas as fases da substância estão nele representadas. Para cada par de valores (p ; T) corresponderá um estado ou fase da substância.

Em decorrência, há muitos pontos no diagrama, cada um deles representados pelo par de valores: pressão e temperatura. O diagrama está dividido em três regiões: uma corresponde ao estado sólido, outra ao estado líquido e outra ao estado gasoso. Desse modo são traçadas três curvas que as separam. Essas curvas representam a mudança de estado. A maioria das substâncias tem o diagrama de fase semelhante ao mostrado na figura 13a. No entanto, a água e mais três substâncias têm o diagrama semelhante ao da figura 13b.

Figura 13 – Diagrama de fase da maioria das substâncias (a); Diagrama de fase da água (b).



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A água é uma substância que possui muitas propriedades interessantes que influenciam suas mudanças de fase. A maioria das pessoas aprende desde criança que a água derrete a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (mudando de gelo para água) e entra em ebulição a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (de líquido para gasoso); no entanto, isso não é válido em todas as circunstâncias. A pressão afeta esses pontos de transição, portanto, para a água, o ponto de ebulição realmente diminui à medida que a pressão diminui.

A água também tem certas forças intermoleculares que governam as temperaturas nas quais essas transições ocorrem. Essa diferença no ponto de ebulição explica porque é difícil cozinhar em grandes altitudes.

A seguir temos uma tabela mostrando os principais processos de transição de fases, lembrando que esses processos são reversíveis.

Tabela 5 - Processos de transição de fases da matéria.

Nome do processo	Descrição
Fusão	Mudança do estado sólido para o líquido. - Existem dois tipos de fusão: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Gelatinosa - derrete todo por igual; por exemplo o plástico. ▪ Cristalina - derrete de fora para dentro; por exemplo o gelo.
Vaporização	Mudança do estado líquido para o gasoso. - Existem três tipos de vaporização: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Evaporação - as moléculas da superfície do líquido mais energéticas tornam-se gás em qualquer temperatura. ▪ Ebulição - o líquido está na temperatura de ebulição e fica borbulhando, recebendo calor e tornando-se gás. ▪ Calefação - o líquido recebe uma grande quantidade de calor em período curto e se torna gás rapidamente.
Condensação	Mudança de estado gasoso para líquido (inverso da Vaporização).
Solidificação	Mudança de estado líquido para o estado sólido (inverso da Fusão).
Sublimação	Um corpo pode ainda passar diretamente do estado sólido para o gasoso.
Ressublimação	Mudança direta do estado gasoso para o sólido (inverso da Sublimação).

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

1.2.8. Calor latente

Calor latente é a energia térmica que se transforma em energia potencial de agregação. Essa transformação pode alterar o arranjo físico das partículas do sistema e provocar uma mudança de estado, sem, no entanto, alterar a temperatura.

$$\frac{Q}{m} = L \Rightarrow Q = mL. \quad [1.15]$$

Usamos essa equação sempre que há uma mudança de fase, a tabela 6 mostra os respectivos valores de calor latente de fusão e vaporização de alguns materiais.

Tabela 6 – Calor latente e temperatura de fusão e vaporização de alguns materiais sólidos e líquidos.

Material	L_F (cal/g)	T_F (°C)	L_V (cal/g)	T_V (°C)
Água (H_2O)	80	0	540	100
Ferro (Fe)	64	1535	1508	3000
Cobre (Cu)	49	1083	1288	2595
Zinco (Zn)	24	639	475	918
Mercúrio (Hg)	2,7	- 39	70	357

- L_F – calor latente de fusão, T_F – temperatura de fusão, L_V – calor latente de vaporização, T_V – temperatura de vaporização.

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

1.2.9. Dilatação térmica dos sólidos e líquidos



Geralmente, o aumento na temperatura de um corpo provoca um aumento nas suas dimensões, fenômeno denominado **dilatação térmica**. Uma diminuição de temperatura produz, geralmente, uma diminuição nas dimensões do corpo, uma **contração térmica**. Nos sólidos essa dilatação pode ser de três tipos: **linear**, **superficial** e **volumétrica**.

– Dilatação linear

A **dilatação linear** ΔL acontece quando um corpo sofre aumento ou diminuição em sua temperatura e, conseqüentemente, há uma variação na distância entre dois pontos em seu interior.

A dilatação linear poder ser representada matematicamente da seguinte forma:

$$\Delta L = L_0 \alpha \Delta T \therefore L = L_0(1 + \alpha \Delta T), \quad [1.16]$$

onde α é o coeficiente de dilatação linear do material, L o comprimento final, L_0 o comprimento inicial e ΔT a variação de temperatura. No **Apêndice F** você encontra uma tabela com os coeficientes de alguns materiais.



Exemplo:

Um trecho de trilho de uma linha férrea com comprimento de 20.000 m, quando sua temperatura mede 0,0 °C. Qual é seu comprimento quando sua temperatura aumentar até 40,0 °C?

Solução:

Usaremos a equação [1.14] e o coeficiente de dilatação linear da tabela do apêndice F.

$$L = L_0(1 + \alpha\Delta T)$$

$$L = 2 \cdot 10^4(1 + 12 \cdot 10^{-6} \cdot 40)$$

$$L = 2 \cdot 10^4 + 9,6 \cdot 10^6 \cdot 10^{-6}$$

$$L = 2 \cdot 10^4 + 9,6 = \mathbf{20.009,6\ m}$$

Perceba que para uma ferrovia de 20 km, temos um aumento de 9,6 m no seu comprimento, o que é um valor considerável, suficiente para deformar a ferrovia, caso não haja juntas de dilatação entre as barras dos trilhos.

- Dilatação superficial

A **dilatação Superficial** ΔA acontece quando há uma variação da área de um corpo compreendendo duas dimensões: largura e comprimento (vale ressaltar que nem todos os materiais essa dilatação superficial é uniforme).

Podemos calcular dilatação superficial com a seguinte equação:

$$\Delta A = A_0\beta\Delta T \therefore A = A_0(1 + \alpha\Delta T), \quad [1.17]$$

onde ΔA é a variação da área, A_0 o comprimento inicial, β é o coeficiente de dilatação superficial do material e ΔT a variação de temperatura. Lembrando que β é duas vezes maior que alfa (2α).



Exemplo:

Uma chapa de alumínio em forma de retângulo tem uma área superficial de 6 m² e encontra-se na temperatura ambiente 38 °C, quando essa chapa é exposta à luz do sol a sua temperatura aumenta para 80 °C. Sabendo que o coeficiente de dilatação superficial do alumínio é igual a $44 \cdot 10^{-6} \text{ °C}^{-1}$, qual será a variação da área dessa chapa em m²?

Solução:

Usaremos a equação [1.15] e o coeficiente de dilatação linear da tabela do apêndice F ($\beta = 2\alpha$).

$$\Delta A = A_0 \beta \Delta T$$

$$\Delta A = 6 \cdot 44 \cdot 10^{-6} \cdot (80 - 38)$$

$$\Delta A = 264 \cdot 10^{-6} \cdot 42$$

$$\Delta A = 11088 \cdot 10^{-6} = \mathbf{0,11 \text{ m}^2}$$

Devido a dilatação superficial são colocadas nas calçadas de concreto juntas de dilatação, geralmente, separando áreas de 1 m^2 , para evitar rachaduras.

- Dilatação volumétrica

Já a **dilatação volumétrica** ΔV acontece quando há uma variação do volume de um corpo compreendendo as três dimensões: largura e comprimento e profundidade, calculada da seguinte forma:

$$\Delta V = V_0 \gamma \Delta T \quad \therefore V = V_0(1 + \alpha \Delta T), \quad [1.18]$$

onde ΔV é a variação de volume, V_0 o volume inicial, γ é o coeficiente de dilatação volumétrica do material e ΔT a variação de temperatura. Sendo que γ vale três vezes alfa ($\gamma = 3\alpha$).

Nota: A **dilatação sofrida pelos líquidos** que nos interessa será sempre a volumétrica, sendo a mesma regida pela equação de dilatação volumétrica dos sólidos: $\Delta V = V_0 \gamma \Delta T$.

Assim, a dilatação real do líquido corresponde à variação da capacidade do frasco mais o volume do líquido extravasado:

$$\Delta V_{real} = \Delta V_{frasco} + \Delta V_{aparente}. \quad [1.19]$$



Exemplo:

Em um dia de calor em Teresina, Piauí, o motorista de uma transportadora carregou um caminhão-tanque com 40.000 l de óleo diesel. Ao chegar em Curitiba, Paraná, onde a temperatura estava $15 \text{ }^\circ\text{C}$ abaixo da temperatura de Teresina, e onde entregou toda a carga. Quantos litros foram entregues? O coeficiente de dilatação volumétrica do óleo diesel é $9,50 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, e o coeficiente de dilatação linear do aço de que é feito o tanque do caminhão é $11 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

Solução:

Usaremos a equação [1.17] para calcular a ΔV_{real} e em seguida subtraímos do Volume inicial.

$$\begin{aligned}\Delta V_{real} &= \Delta V_{tanque} + \Delta V_{aparente} \\ \Delta V_{real} &= (V_0 \gamma \Delta T)_{tanque} + (V_0 \gamma \Delta T)_{aparente} \\ \Delta V_{real} &= (4 \cdot 10^4 \cdot 3 \cdot 11 \cdot 10^{-6} \cdot 15)_{tanque} + (4 \cdot 10^4 \cdot 9,50 \cdot 10^{-4} \cdot 15)_{aparente} \\ V_{real} &= 19,80 + 5,70 \\ V_{real} &= 25,50 \ell \\ V_{descarregado} &= 40.000 - 25,5 = \mathbf{39.974,50 \ell} .\end{aligned}$$

Perceba que devido à variação da temperatura houve uma redução de 25,5 ℓ no volume do combustível descarregado.

1.2.10. Estudo dos gases perfeitos

Dentre as várias substâncias, os gases são as que têm o comportamento termodinâmico mais simples. Assim como para qualquer fluido homogêneo, um estado de equilíbrio termodinâmico fica inteiramente caracterizado por qualquer par das três variáveis (P, V, T), o mesmo vale para os gases. Ou seja, a terceira variável será dada em função das outras duas, dessa forma, dizemos que existe uma relação funcional do tipo $f(P, V, T) = 0$, que chamamos **equação de estado do fluido**.

Essa equação de estado assume uma forma simples para um gás ideal (gás perfeito). O gás ideal ou gás perfeito, é um modelo teórico, uma idealização de um gás real.

– Modelo de um gás ideal ou gás perfeito

Um gás ideal deve ter as seguintes características:

- As moléculas possuem massa, porém com volume desprezível (limite de rarefação extrema);
- As moléculas sempre estão em movimentação desordenada e, ao se chocar com outra molécula ou colidir com as paredes do recipiente, permanecem com movimento retilíneo e uniforme;
- A interação entre as moléculas somente ocorre nas colisões;
- Todas as colisões são perfeitamente elásticas e a duração desprezível;
- O volume total das moléculas quando comparado ao volume do recipiente é desprezível.

No caso dos gases reais, quando esses são mantidos em condições de altas temperaturas e baixas pressões, em particular, os gases monoatômicos, possuem um comportamento similar ao dos gases ideais (observação: essas características não são exclusivas dos gases monoatômicos).

– Lei de Avogadro

O físico e químico italiano Amadeo Avogadro (1811) enunciou uma hipótese que conhecemos, hoje em dia, como Lei de Avogadro:

Volumes iguais, de quaisquer gases, nas mesmas condições de pressão e temperatura, apresentam a mesma quantidade de substância em mol (moléculas).

Experimentalmente a lei de Avogadro confirma que:

1 mol de qualquer gás ($n = 1 \text{ mol}$) à temperatura de 0°C e à pressão de 1 atm ocupa um volume de $22,4 \text{ L}$.

A quantidade de moléculas contidas em um 1 mol de matéria é $6,02 \cdot 10^{23}$. Normalmente representamos esse número por N_0 , que chamamos **número de Avogadro**.

Podemos obter o número de mol de um determinado gás dividindo a massa m do gás pela massa molar M ou ainda dividindo o número de moléculas N desse gás pelo número de Avogadro N_0 . Dessa forma:

$$n = \frac{m}{M} \text{ ou } n = \frac{N}{N_0} \quad [1.20]$$

– Equação de estado do gás ideal

Podemos descrever de forma simples o estado e o comportamento de um gás ideal partindo de três variáveis, que chamamos **variáveis de estado do gás**. São elas:

- Pressão p (a pressão está associada com as colisões das moléculas com as paredes do recipiente);
- Volume V (o gás sempre ocupa todo o recipiente, nesse caso o volume desse recipiente será o volume do gás);
- Temperatura absoluta T (está ligada com o grau de agitação das partículas, deve ser sempre medida em Kelvin).

Clapeyron (1834), juntando as leis de Boyle-Mariotte, Charles e Gay-Lussac e a lei de Avogadro chegou à conclusão de que a relação $\frac{pV}{T}$ é diretamente proporcional a quantidade de matéria n do gás. Podemos escrever matematicamente da seguinte maneira: $\frac{pV}{T} \propto \text{constante} \cdot n$.

A constante de proporcionalidade representaremos por R (constante universal dos gases perfeitos), sendo que ela assume o mesmo valor para todos os gases, ou seja, não depende das condições (pressão, temperatura e volume), nem da massa ou do gás.

Dessa forma os comportamentos dos gases ideais são regidos por esta equação:

$$pV = nRT, \quad [1.21]$$

onde p é a pressão do gás; V o volume; n é o número de mols do gás e T a temperatura do gás. Esta expressão é conhecida como **equação de estado do gás ideal** ou **equação de Clapeyron**.

Podemos calcular o valor da constante universal dos gases R adotando o seguinte critério: 1 mol de qualquer gás à temperatura de 0°C (273K) e à pressão de 1 atm ocupando o volume de 22,4 L, temos:

$$1 \text{ atm} \cdot 22,4 \text{ L} = 1 \text{ mol} \cdot R \cdot 273\text{K}.$$

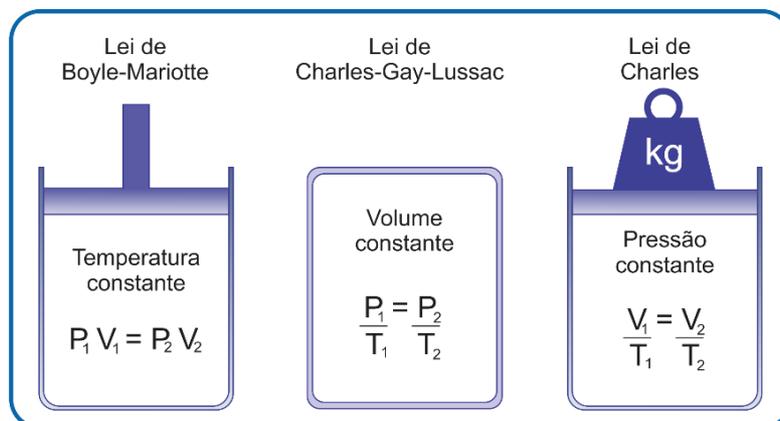
$$R = \frac{1 \cdot 22,4 \text{ atm} \cdot \text{L}}{1 \cdot 273 \text{ mol} \cdot \text{K}}.$$

$$\text{Assim: } R = 0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \text{ ou no SI } R = 8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}.$$

– Lei geral dos gases perfeitos

Consideraremos certa quantidade de gás, confinada em um recipiente, e definiremos que está, inicialmente no estado 1 (p_1, V_1, T_1). Se esse gás sofre uma transformação, de modo que não haja variação de sua massa, ele passará para o estado 2 (p_2, V_2, T_2), como mostra a figura 10.

Figura 14 - Ilustração comparativas das leis de Boyle, Charles e Gay-Lussac.



Fonte: O Autor (2021).

A partir da equação de Clapeyron, teremos a seguinte relação: $\frac{p_1V_1}{T_1} = n_1R$ (estado 1) e $\frac{p_2V_2}{T_2} = n_2R$ (estado 2), como não houve variação na massa, temos ($n_1 = n_2$), podendo assim igualarmos os quocientes $\frac{pV}{T}$ dos estados inicial e final e, assim, obtermos a **lei geral dos gases perfeitos**.

$$\frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{p_2V_2}{T_2}. \quad [1.22]$$

Dependendo de como ocorrem, poderemos ter três casos particulares de Transformações gasosas:

Lei de Boyle-Mariotte

Se durante uma transformação gasosa a temperatura for mantida constante essa será chamada **transformação isotérmica**. Essa transformação foi enunciada no ano de 1662 pelo cientista francês Edme Mariotte (1620-1684) e pelo cientista inglês Robert Boyle (1627-1691), onde se estabelece que:

Sob temperatura absoluta constante, a pressão e o volume de uma dada massa de gás ideal são grandezas inversamente proporcionais:

$$p \propto \frac{1}{V}. \quad [1.23]$$



Exemplo:

Certa quantidade de gás (ar atmosférico dentro de um balão, por exemplo) ocupa um recipiente de 8 L à pressão de 2,5 atm. Esse gás é transferido para outro recipiente com volume de 18 L, nesse processo a temperatura é mantida constante. Qual é a nova pressão desse gás?

Solução:

Pela Lei de Boyle:

$$p_1V_1 = p_2V_2$$

$$2,5 \cdot 8 = p_2 \cdot 18$$

$$20 = p_2 \cdot 18 \Rightarrow p_2 = \frac{20}{18} = 1,11 \text{ atm.}$$

Percebemos aqui que a medida que o volume aumenta, temos uma diminuição na pressão, já que temos a mesma quantidade de moléculas desse gás ocupando um volume maior.

Lei de Charles

Se durante uma transformação gasosa a pressão for mantida constante essa será chamada **transformação isobárica**. Essa transformação foi enunciada no ano de 1787 pelo físico francês Jacques Charles (1746-1823), onde se estabelece que:

Sob volume constante, a pressão e a temperatura de uma dada massa de gás ideal são grandezas diretamente proporcionais:

$$p \propto T. \quad [1.24]$$



Exemplo:

Imagine um sistema gasoso com uma temperatura de 80 °C, ocupando o volume de 4 ℓ. Se a temperatura aumenta para 180 °C qual será o volume final desse gás?

Solução:

Pela Lei de Charles (obs. Converta a temperatura de Celsius para Kelvin).

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

$$\frac{4}{353} = \frac{V_2}{453}$$

$$V_2 = \frac{1812}{353} = 5,13 \text{ l.}$$

Nessa situação vemos que o aumento da temperatura provoca uma expansão do gás, fazendo o volume aumentar. Consequentemente, isso diminui a densidade do gás. É o que acontece com o ar dentro de um balão de ar quente e que permite que o balão por convecção.

Lei de Gay-Lussac

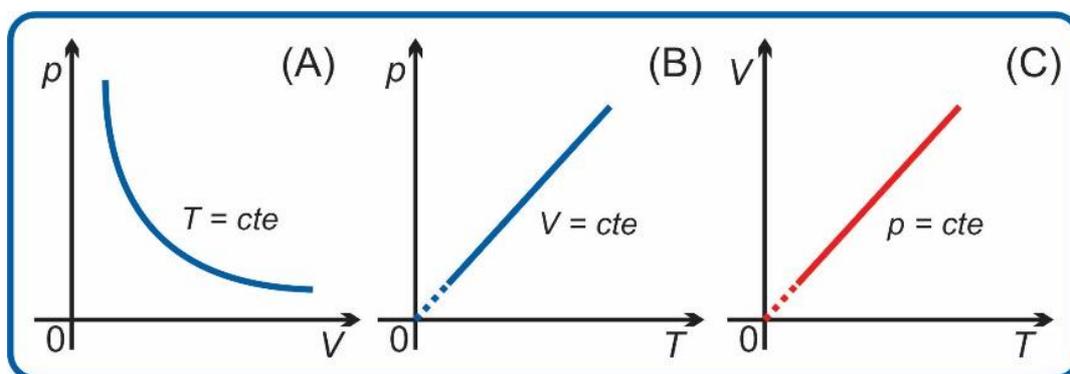
Se durante uma transformação gasosa o volume for mantido constante essa será chamada **transformação isovolumétrica**. Essa transformação foi enunciada no ano de 1809 pelo físico francês Joseph Gay-Lussac (1778-1850), onde se estabelece que:

Sob pressão constante, o volume e a temperatura de uma dada massa de gás ideal são grandezas diretamente proporcionais:

$$p \propto T. \quad [1.25]$$

Essas três leis podem ser representadas graficamente como é mostrado na figura 13.

Figura 15 - Representação gráfica das transformações: isotérmica (A), isovolumétrica (B) e isobárica (C).



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).



Exemplo:

Se a pressão exercida pelo gás vale $2,5 \text{ atm}$ e sua temperatura $27 \text{ }^\circ\text{C}$, o volume se mantém constante, qual será a temperatura se a pressão aumentar para $5,0 \text{ atm}$?

Solução:

Pela Lei de Gay-Lussac:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

$$\frac{2,5}{300 \text{ K}} = \frac{5,0}{T_2}$$

$$2,5T_2 = 1500\text{K}$$

$$T_2 = \frac{1500\text{K}}{2,5} = 600 \text{ K ou } 54 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Esse exemplo nos permite confirmar a relação de direta proporcionalidade entre a temperatura e a pressão, ou seja, se dobramos a pressão a temperatura, também, dobra.

2.2.13. Relacionando os conceitos de Termologia com os balões de ar quente



Muitos dos conceitos de Termologia têm relação direta com o voo dos balões de ar quente, enfatizaremos aqui os principais:

- **Temperatura:** a variação de temperatura do gás contido no balão determina a flutuabilidade dos balões, se aumentar a temperatura, o balão sobe, se diminuir, o balão desce.
- **Transferência de calor por radiação:** uma fonte de calor, uma espiriteira a gás, por exemplo, usada para aquecer o ar dentro do balão, no processo de combustão irá irradiar energia térmica que irá aumentar a energia das partículas.
- **Transferência de calor por condução:** o processo de aquecimento do ar quente é feito por condução.
- **Transferência de calor por convecção:** quando a temperatura dentro do balão estiver mais elevada que o ar fora do balão, por convecção uma massa de ar quente tende a subir.
- **Equilíbrio térmico:** como dois corpos em contato, sempre, tendem a atingir

o equilíbrio térmico, é necessário um fluxo de calor contínuo, de modo que a temperatura do ar no interior do balão seja mantida mais elevada (para subir) ou mais baixa (para descer).

- **Flutuabilidade:** é uma força ascendente exercida por um fluido que se opõe ao peso de um objeto. A flutuabilidade ocorre, pois, um fluido tem um gradiente de pressão. A pressão na parte de cima do balão é menor que na parte de baixo, causando uma força para cima. Esse gradiente de pressão ocorre por o fluido é afetado pela aceleração gravitacional da Terra.
- **Volume:** um metro cúbico de ar pesa aproximadamente $1,3\text{ kg}$. Se você aquecer esse ar a $38\text{ }^\circ\text{C}$, pesa cerca de 325 g a menos. Portanto, cada metro cúbico de ar contido em um balão de ar quente pode levantar cerca de 325 g . Isso não é muito, e é por isso que os balões de ar quente são tão grandes - para elevar 1.000 kg , você precisa de cerca de 3000 m^3 de ar quente.

Diversos outros conceitos abordados, dentro do conteúdo, não precisam ser relacionados diretamente com os balões, pois esses são característica e/ou estão ligados a outros conceitos que já foram ancorados aos balões, como é o caso da dilatação térmica.

A dilatação térmica dos sólidos e líquidos é uma propriedade dos materiais que está intimamente ligada a variação de temperatura.

Conceitos como calor específico, calor sensível, calor latente, mudanças de fases, estado sólido, estado líquido e estado gasoso são características ligadas ao calor e/ou temperatura.

Capítulo 2 – Guia de construção de um balão de ar quente

2.1. Passo a passo para a construção do balão

Mostraremos os materiais necessários para a construção de um balão de ar quente, além da instrução textual e em forma de vídeo. Caso o leitor deseje criar balões maiores que o sugerido na explicação abaixo, basta modificar a proporção dos materiais sugeridos pelo autor.

2.2. Materiais necessários

Figura 16 – Lista de materiais necessários.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

- Papel de seda (18 folhas) 48cm x 60cm;
- Cola;
- Fita métrica / régua;
- Transferidor;
- Tesouras;
- Clipes de papel;
- Modelo de boca (saia do balão);
- Secador de cabelos (recomendado 2000 W);

Passo 01 - Fazendo os painéis de seda

Cole junto três folhas de papel de seda que medem $48\text{ cm} \times 60\text{ cm}$ ou duas folhas de papel de seda que sejam $51\text{ cm} \times 76\text{ cm}$ pelo lado mais longo com cerca de 2 cm de sobreposição onde é colado. Isso formará um painel longo de $48\text{ cm} \times 176\text{ cm}$ ou $51\text{ cm} \times 150\text{ cm}$, dependendo do tamanho do papel de seda usado, (observe o diagrama 01). Você precisará fazer isso SEIS VEZES para que você acabe com SEIS PAINÉIS DE SEDA LONGOS. Coloque todos os seis painéis em cima um do outro. Certifique-se de que as partes superiores estejam todas alinhadas e meça para baixo a partir da parte superior de 150 cm . Corte o excesso. (Você precisará guardar o excesso para remendar o balão mais tarde).

Fazendo os painéis de seda:

<https://abre.ai/baloes-de-ar-quente>.



Passo 02 – Colando os painéis

Dobre os painéis no meio, um de cada vez, ao longo de uma linha reta no meio (em relação à vertical). No canto superior (onde está a dobra) meça um ângulo de 30° da dobra, marque uma linha da dobra de canto até a borda do painel e corte o excesso de papel de seda (observe o diagrama 02).

Na parte inferior, meça 6 cm da dobra e marque um ângulo de 60° da dobra, marque uma linha até a borda do papel e corte (Observe diagrama 02).

Dobrando e cortando os painéis:

<https://abre.ai/baloes-de-ar-quente>.



Passo 03 – Dobrando os painéis

Desdobre os painéis e cole as longas bordas dos lados uns aos outros para formar um cilindro grande. Use uma sobreposição de cola de 2 cm. (Observe diagrama 03).

Nota: Cuidado para não colar as bordas do mesmo painel, assista o vídeo e observe em detalhes esse procedimento.

Colando os painéis:

<https://abre.ai/baloes-de-ar-quente>.



Passo 04 – Acabamentos e saia do balão

Em seguida, cole os ângulos superiores uns aos outros para ele ser completamente fechado (veja diagrama 04). Logo depois, cole os ângulos inferiores juntos (não cole a borda plana inferior).

Você deve acabar com uma grande abertura na parte inferior. Ao redor da abertura na parte inferior do balão, COLE UMA TIRA DE 5 CM DE LARGURA DE PAPEL MADEIRA (pode ser usado outro material) por todo o caminho (isso é chamado saia do balão).

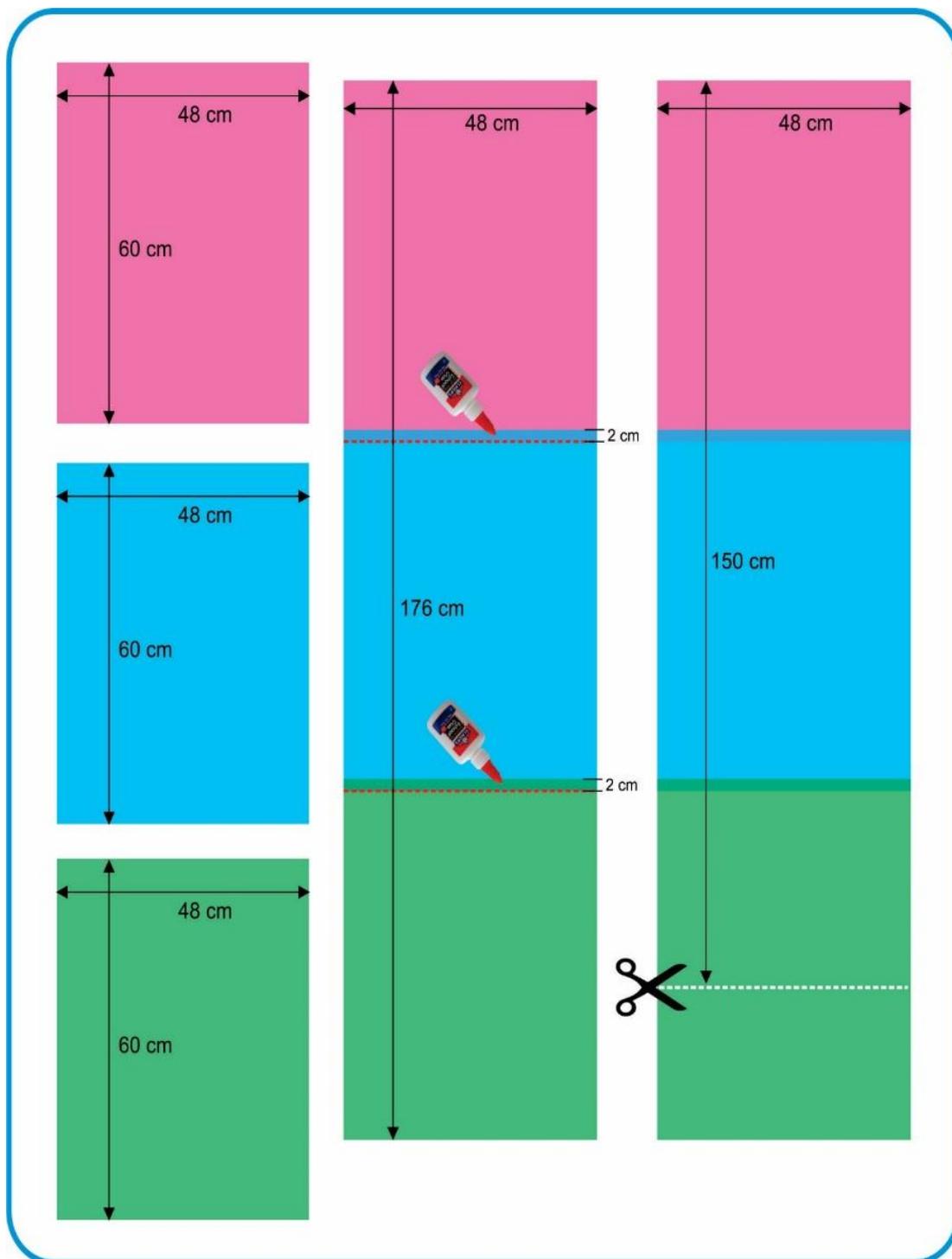
É importante que a saia tenha um pouco de peso para descolar o centro de gravidade para baixo e evitar o balão girar.

Acabamentos e saia do balão:

<https://abre.ai/baloes-de-ar-quente>.



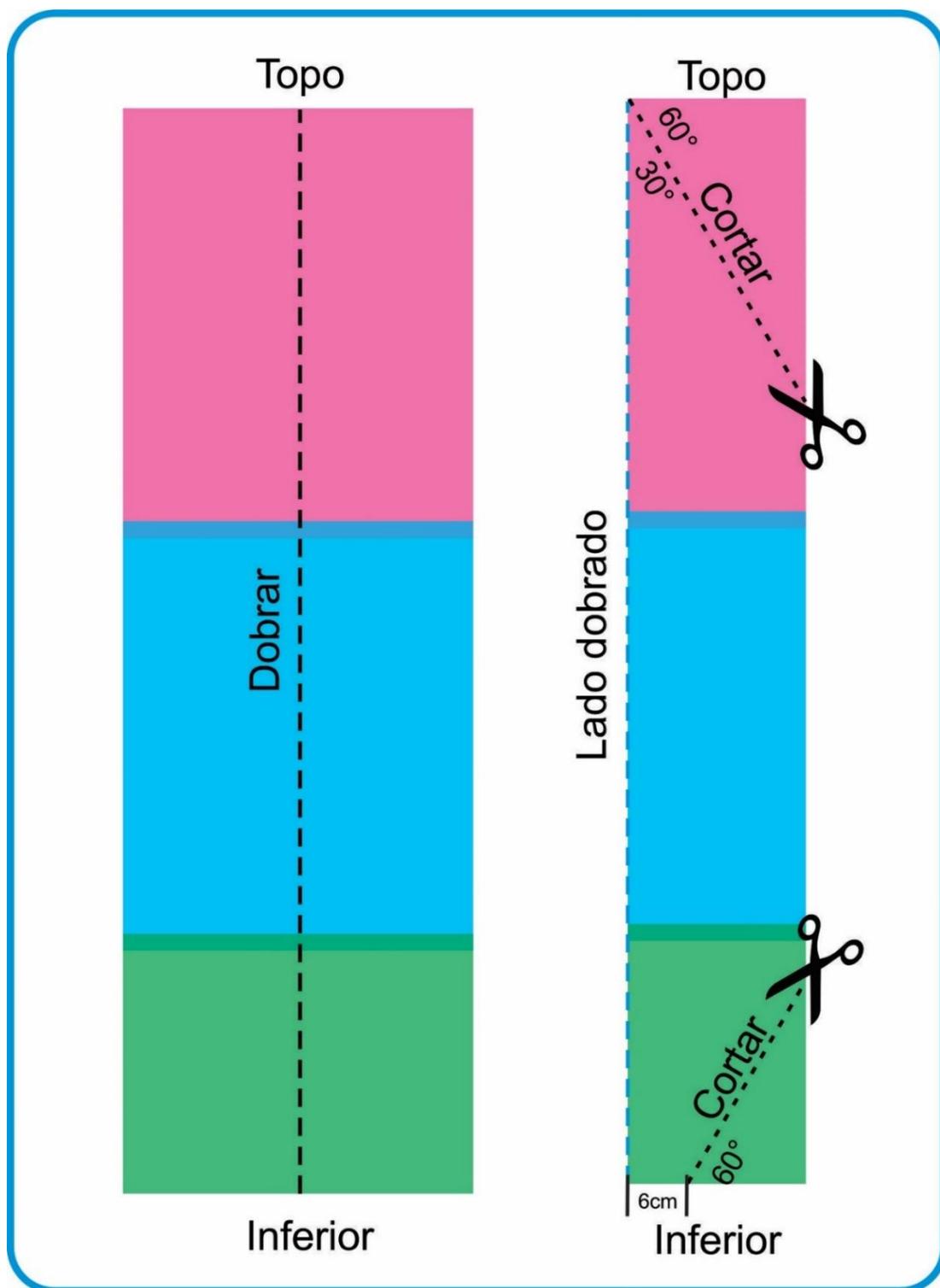
Diagrama 1 - Fazendo os painéis de seda.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Nota: Você deve fazer 06 (seis) painéis medindo 48cm x 150cm.

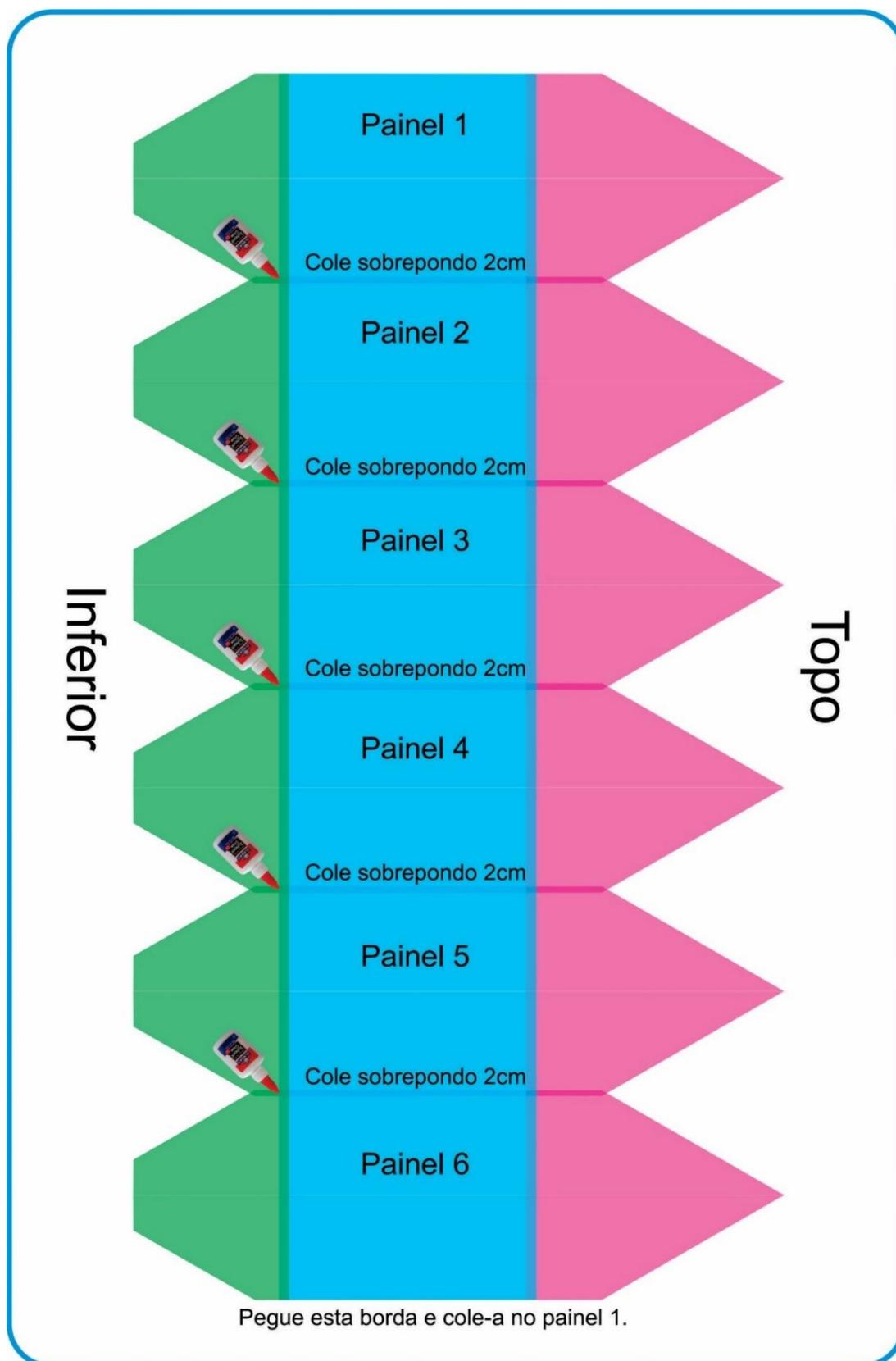
Diagrama 2 - Dobrando e cortando os painéis.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

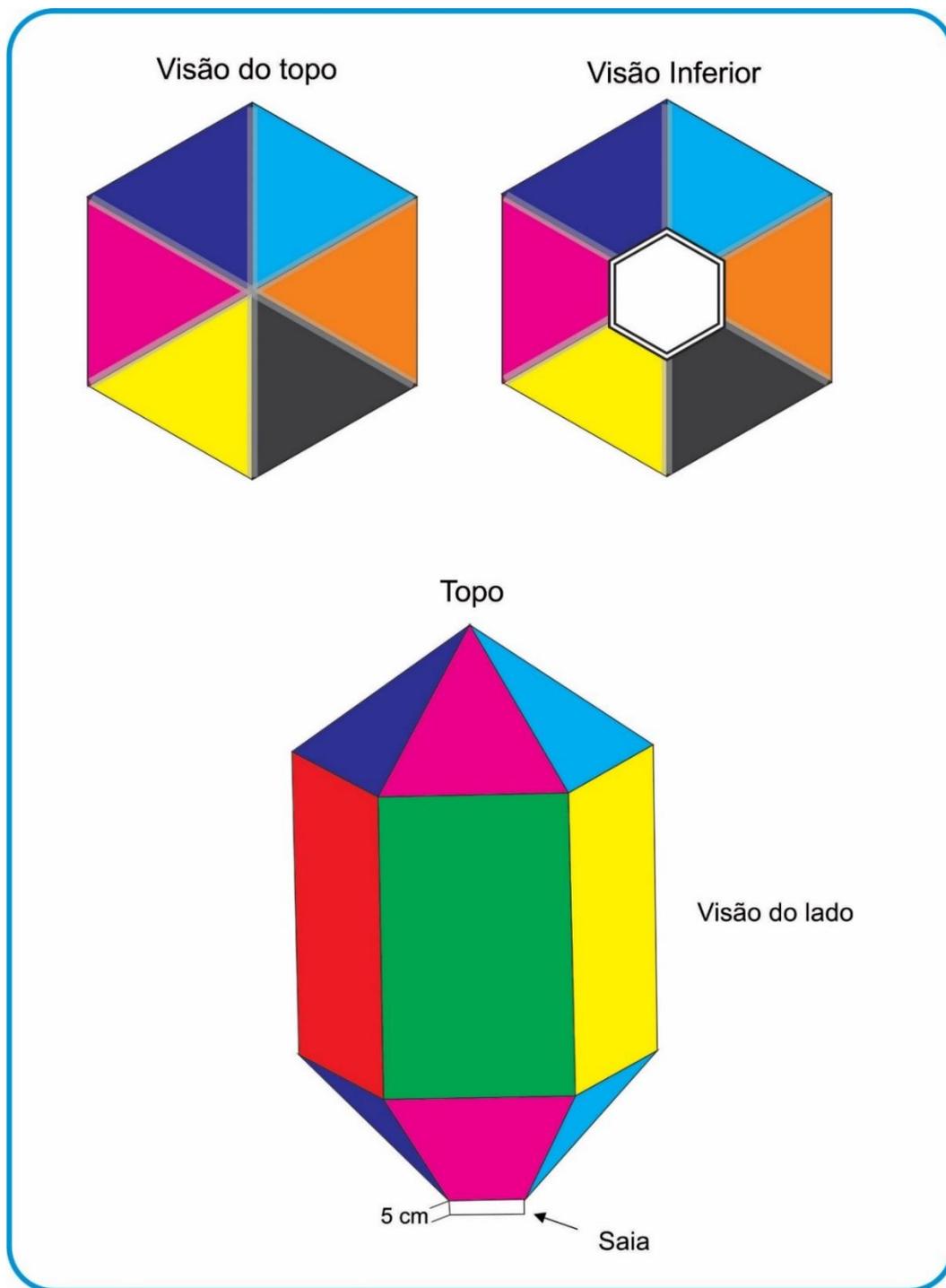
Nota: Esse tipo de corte vai gerar uma forma hexagonal, porém pode-se fazer cortes arredondados, alterando a forma do balão.

Diagrama 3 - Colando os painéis.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Diagrama 4 - Acabamentos e saia do balão.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Nota: Para a estabilidade do balão (posição vertical), o centro de gravidade do balão deve estar no ÚLTIMO QUARTO do balão, para isso pode-se construir um pequeno cesto de vime ou usar um material mais pesado que a seda para fazer a saia do balão.

Passo 05 – A vessando o balão

Nessa etapa você deve avessar o balão, para que as costuras (parte colada) fiquem com um bom acabamento. Esse procedimento é minucioso, pois o balão pode rasgar facilmente. Assista ao vídeo abaixo para ver com mais detalhes essa etapa.

A vessando o balão: <https://abre.ai/baloes-de-ar-quente>.

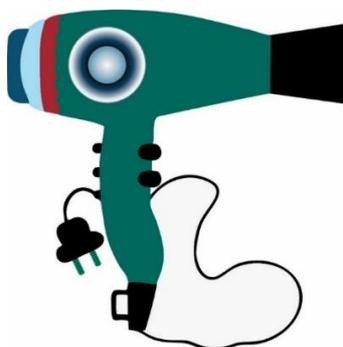


Passo 06 – Etapa final – testes dos balões

Agora com os balões prontos, infle o balão com um ventilador para verificar a existência de furos.

Em seguida, aqueça o ar contido no balão através de um soprador térmico (secador de cabelo). Esse processo diminuirá a densidade do balão e ele subirá através do processo de convecção.

Figura 17 - Soprador térmico (secador de cabelos).



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Etapa final – Testes dos balões: <https://abre.ai/baloes-de-ar-quente>.



Capítulo 3 – A sequência didática

Recorreu-se a utilização da sequência didática de modo a atender às demandas dos docentes e discentes, ofertando um conjunto de atividades encadeadas, possibilitando a fixação dos conteúdos abordados no tema e a verificação da aprendizagem.

A avaliação do conhecimento permite que o professor observe o que o aluno aprendeu, para isso solicita-se que este demonstre o que assimilou (através de exercícios, experimentos, seminários, etc.).

3.1. Introdução

Na elaboração de uma Sequência Didática, o professor deve ter bem definido seus objetivos, o que se pretende explorar, qual seu público alvo, quais instrumentos e métodos serão abordados, o tempo que será destinado à atividade, enfim, tudo o que for necessário para que se estabeleça uma relação de diálogo entre professor e alunos com a efetiva participação de todos (RESQUETTI, 2012).

Quando o professor tiver planejado as etapas que trabalhará com os alunos considerando os conhecimentos prévios, o professor poderá promover um debate dando espaço e liberdade intelectual a cada um, para contextualizar as atividades e promover a construção do conhecimento (RESQUETTI, 2012).

A participação e envolvimento dos alunos nessa proposta de ensino é fundamental e o professor deve conseguir motivá-los. Gerando curiosidade, o gosto pela ciência e a busca pela investigação. Levando o aluno a entender que a Física está presente no seu cotidiano e essa pode ajudá-lo a compreender melhor o mundo em que está inserido e suas modernidades.

Os pilares deste trabalho partem dos pressupostos da Teoria da Aprendizagem Significativa, de David Ausubel sendo aplicado na Unidade Escolar Luís Teixeira, localizado na cidade de Luzilândia, estado do Piauí. A sequência didática foi trabalhada em três turmas de segundo ano do Ensino Médio, turnos: manhã e tarde, com média de 30 (trinta) alunos por turma. A escolha das referidas turmas ocorreu de maneira intencional, visto que o currículo do segundo ano do ensino médio contemplar os conteúdos de Termologia.

Como objeto experimental e motivacional foi utilizada uma oficina de construção de balões de ar quente, onde os alunos puderam aplicar e relacionar os conceitos de Termologia discutidos no primeiro capítulo.

A referida oficina e as discussões propostas possibilitam fazer analogias e a compreender os fenômenos físicos estudados em Termologia. Possibilitando que os alunos se familiarizassem com os conceitos, leis e princípios fundamentais desse ramo da Física. Garantindo o entendimento dos seus significados, ou seja, a compreensão das ideias que estão por trás desses conceitos, leis e princípios. Dessa forma, os alunos terão subsídios para desenvolverem habilidades de manipular essas ideias e aplicá-las nas situações concretas do cotidiano, resultando numa aprendizagem significativa.

Inicialmente, sugerimos que o professor realize uma avaliação diagnóstica, para adequar a profundidade dos conceitos de Termologia (**Apêndice A**) a serem abordados. Em seguida revisamos o conceito de energia e sua conservação e apresentamos os conceitos de temperatura e equilíbrio térmico.

É recomendamos que esta sequência didática seja aplicada no primeiro bimestre do ano letivo em turmas do segundo ano do Ensino Médio. A mesma foi dividida em 16 (dezesesseis) aulas, cada uma com duração de 50 (cinquenta) minutos (podendo ser adaptada conforme a realidade local do professor).

Os métodos avaliativos adotados para esta sequência didática foram compostos dos seguintes tipos de avaliação:

- **Avaliação diagnóstica**, que segundo Hadji (2001) “tem como objetivo identificar os pontos positivos e negativos da aprendizagem, para que assim aconteçam os ajustes dos instrumentos avaliativos usados na metodologia de ensino, de modo que favoreça o processo de ensino e aprendizagem”;
- **A avaliação mediadora**, que de acordo com Hoffmann e Esteban (2004), “tem como característica a observação individual de cada aluno, visando a construção do conhecimento no processo de ensino e aprendizagem”.
- **A avaliação formativa**, que para Hadji (2001) “se trata de levantar informações úteis para que ocorra um aperfeiçoamento no processo de ensino e aprendizagem”;
- **Avaliação somativa**, que acontece através da nota obtida pelo aluno que ao final de cada semestre ou ano letivo o classifica como aprovado ou reprovado.

Sugerimos que no decorrer da aplicação da proposta sejam realizadas duas avaliações, (geralmente, previstas no currículo escolar), uma prova escrita no final

de cada mês (50% da nota) e uma avaliação qualitativa, paralela aos trabalhos (50% da nota).

No caso da primeira avaliação, além da verificação dos critérios estabelecidos pela escola, tais como: participação, assiduidade, produção textual e seminário. Deve ser norteadada pelo método da observação, pelo fato desse método ser aplicável para a apreensão de comportamentos e ocorrências no momento em que eles são produzidos, sem intervenção de fatores externos. Enquanto a observação cuidadosa dos detalhes coloca o observador no cenário de maneira que ele possa perceber o comportamento dos alunos diante dos novos conceitos, o que propicia uma interlocução mais competente (ZANELLI, 2002).

O desenvolvimento da proposta seguirá uma estratégia de delimitação balizada por critérios coerentes com o objetivo do trabalho, estabelecendo relação entre um balão de ar quente e os conceitos de Termologia, para a compreensão de diversos fenômenos estudados em Física. Portanto, o método de análise de dados consistirá na observação e descrição da postura dos alunos diante dos conteúdos apresentados nas aulas, dos questionários aplicados, dos vídeos exibidos, da oficina de construção de balões realizada e das discussões que se seguirão após cada atividade.

3.2. Estrutura das aulas e materiais de apoio ao professor

A seguir será apresentado a sequência de todas as aulas, bem como o material de apoio: “slides” prontos para as aulas, textos em PDF para os alunos fazerem a leitura em casa, link para vídeos no Youtube e comentários das intervenções apresentadas aos alunos.

O guia de construção de balões de ar quente descrito no capítulo pode ser impresso e entregue aos alunos. É sugerido que a oficina ocorra no final do primeiro mês de aula (quinto encontro).

No apêndice desse material se encontram as atividades experimentais propostas no decorrer da sequência didática, bem como uma lista de *links* para os materiais extras (sites, textos, apresentações de “slides”, vídeos, simuladores, etc.).

No caso da falta de equipamentos ou recursos para o uso dos materiais sugeridos o professor pode fazer adaptações, como, por exemplo: imprimir os “slides” ou na falta de internet na escola fazer o “download” dos materiais com antecedência, para uso “off-line”.

3.2.1. Primeiro encontro



Conteúdo: Introdução a Termologia: abordagem introdutória dos principais conceitos, aspectos históricos e a contextualização do tema com o cotidiano. Aplicação da avaliação diagnóstica.

Tempo previsto: Duas aulas de 50 minutos.



– Termos e conceitos que não podem faltar:

- Temperatura;
- Equilíbrio térmico;
- Medição de temperatura;
- Escalas termométricas;
- **Atividades.**

– **Objetivo:** Compreender a importância da Termologia. Aprender como essa parte da ciência vai nos ajudar a entender algumas situações que fazem parte do nosso cotidiano.

– Materiais necessários:

- Quadro, pincel e apagador;
- Projetor de imagens com “notebook”;
- 03 recipientes para água de 1 litro cada;
- 01 litros de água quente (50 °C) e um litro de água fria (0 °C).

– Metodologia (dinâmica da aula):

Com o auxílio do “notebook”, conectado à “internet”, apresentar os “slides” dessa aula: [introdução a termologia.ppt](#). Em alguns “slides” pode-se realizar uma intervenção dialogada. Em outros “slides” têm-se vídeos de curta duração para ser apresentado e debatido com os alunos.

Parte 1 – Inicialmente, é interessante o professor despertar a atenção dos alunos em relação ao objeto de estudo da Termologia. Isso pode ser realizado com a exibição de algumas imagens durante a chamada. Ao iniciar a aula o professor poderá discutir as imagens, acrescentando diversos exemplos relacionados a Termologia.

Parte 2 – Após a discussão inicial, propõe-se trabalhar a definição de Termologia e seu campo de atuação. O professor pode tratar um pouco do contexto histórico, falando desde a descoberta do fogo, pelo homem, até os dias atuais.

Sugestão: Antes de explicar o conceito de temperatura peça aos alunos que destacarem uma folha de papel. Em seguida peça para eles escreverem o que eles entendem por temperatura e calor. Após alguns minutos recolher as respostas e seguir com a aula.

Parte 3 – Em seguida é a vez do conceito de TEMPERATURA, tratado aqui com o nível de agitação das partículas. O professor pode fazer um paralelo do mundo microscópico com o mundo macroscópico, para que os alunos consigam compreender fisicamente a ideia de temperatura.

Parte 4 – Junto a temperatura pode-se trabalhar o conceito de equilíbrio térmico. Falando dos termos “quente”, “frio”, “morno” e outras sensações térmicas. Para enriquecer esse momento o professor poderá realizar algumas experiências e convidar os alunos para participarem.



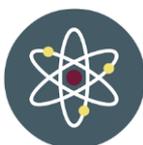
O experimento sugerido foi descrito no tópico **1.2.1**, no primeiro capítulo. (Vídeo do experimento no link: <https://www.youtube.com/watch?v=pkc4XbG8A0Y>).

O professor pode fazer os procedimentos para a sala e em seguida pedir que os alunos imerjam as mãos nos recipientes contendo água quente e fria e depois retirem as mãos e imerjam no recipiente contendo água em temperatura ambiente.

Parte 5 – Dando continuidade, é hora de apresentar os meios de se medir a temperatura, podem ser exibidos vários modelos de termômetros e explicado suas especificidades, seu funcionamento, os materiais utilizados.

Parte 6 – Apresentação das escalas termométricas, como foram adotadas (contexto histórico). Principais escalas: Celsius, Fahrenheit e Kelvin. Abordagem das conversões entre as mesmas de forma matemática. Exemplos de suas utilizações em vários países e discussão da ideia de zero absoluto. (**Resolução alguns problemas de conversões de escalas, sugerindo uma discussão para os alunos**).

No final desse encontro disponibilizamos o link do texto: [Temperatura: fatos, história e definição.pdf](#), se possível pode ser entregue uma cópia impressa (link: <https://cutt.ly/3hj69qM>). Também deve ser entregue uma lista de exercícios [pré-teste](#) com questões subjetivas (**Apêndice A**), com o intuito de verificar o nível de conhecimento dos alunos com relação aos conceitos de Termologia. Nesse caso o pré-teste pode ser aplicado através de formulário eletrônico.



3.3.2. Segundo encontro

Conteúdo: Correção do questionário (pré-teste). Balões de ar quente. Calor e sua propagação.

Tempo previsto: Duas aulas de 50 minutos.

– Termos e conceitos que não podem faltar:

- Calor;
- Energia térmica;
- Condução, convecção e radiação;
- Fluxo de calor.

– **Objetivo:** Entender como os balões de ar quente voam. Aprender os conceitos de calor e energia térmica. Relacionar os conceitos de temperatura e calor com os balões de ar quente.

– Materiais necessários:

- Quadro, pincel e apagador;
- Projetor de imagens e “notebook”;
- 01 (uma) vela, 01 (um) pires, 01 (uma) caixa de fósforo ou isqueiro;
- 30 (trinta) centímetros de fio de cobre sólido e 06 (seis) tachinhas.

– Metodologia (dinâmica da aula):

É sugerido que os dez minutos iniciais desse encontro seja usado para correção do questionário (pré-teste), o professor pode ler algumas respostas dos alunos e discutir brevemente com a turma, realizando as devidas intervenções quando necessárias, para corrigir ou enriquecer as respostas dos alunos.

Parte 1 – Após a correção do questionário o professor pode usar a apresentação [2º Encontro: balões e calor.ppt](#), onde no “slide” dois tem um pequeno vídeo sobre

os balões de ar quente. Pode-se abordar os aspectos históricos dos balões de ar quente e a relação com a Termologia.

Nesse momento é sugerido apresentar a proposta de trabalho (oficina de balões de ar quente). Após explicar aos alunos que a maioria dos conceitos de termologia estão relacionados aos balões, informar que no decorrer do bimestre os alunos irão construir seus próprios balões e testá-los, confrontando, assim, a teoria com a prática.

Parte 2 – Em seguida deve-se dá continuidade falando sobre o calor e sua propagação. Começando com a definição de energia térmica, nesse caso podem ser usadas as imagens dos “slides”, porém o professor poderá apresentar diversos outros exemplos (como do livro didático) e instigar os alunos para que eles participem ativamente.

Sugestão: Dentro dessa discussão pode-se perguntar aos alunos se eles veem alguma relação do calor com os balões de ar quente, bem como a relação entre calor e temperatura.

Parte 3 – Na sequência o professor apresentará as unidades de medida de calor (joule e caloria), contextualizando com casos da vida diária dos alunos, como os alimentos, por exemplo. Iniciar a parte da propagação do calor, começando com a condução térmica. Sugere-se discutir, primariamente, os aspectos teóricos.

Logo em seguida, é sugerido trabalho o fluxo de calor e a Lei de Fourier. É interessante, nesse momento, resolver um problema básico envolvendo fluxo, para ir familiarizando os alunos com os cálculos. Apresentar a **constante de condutibilidade térmica**, mostrando uma tabela com vários materiais e seus respectivos valores ([Tabela 2](#)).

Parte 4 – Para reforçar a compreensão, o professor pode explicar o experimento de condução com fio metálico, **Apêndice B** e propor aos alunos como atividade, que reproduzam esse experimento em casa e gravem em vídeo.

Figura 18 - Verificando experimentalmente a condutibilidade térmica.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Após a entrega da atividade pode ser proposta uma discussão do experimento com os alunos realizando algumas perguntas, como, por exemplo:

1. Por que os preguinhos vão se soltando sequencialmente?
2. Como você explica esse fenômeno?
3. O processo de transmissão de calor por condução pode ocorrer no vácuo?
Por quê?

Sugestão: Essa discussão pode ser feita através de um grupo de WhatsApp ou através de um fórum. É preferível que o fórum, pois as respostas são organizadas e aninhadas, facilitando o acompanhamento.

Após a explicação do experimento pode-se fazer a relação do processo de condução térmica com os balões de ar quente, explicando para os alunos que, embora, o meio (ar no balão) não seja sólido, como o fio de cobre, o mesmo processo ocorre. Portanto, a partir de uma fonte “quente”, pela lei do fluxo de calor, após um determinado tempo, todo o ar no balão estará aquecido.

Parte 5 – A última parte desse encontro o professor poderá reservar para discutir e resolver problemas propostos no livro didático, sempre enriquecendo esses problemas com situações mais presentes na vida dos alunos e passar uma lista de questões para os alunos revolverem em casa.

Para finalizar o professor pode indicar aos alunos um link para a leitura da história dos balões, em um artigo da Wikipédia.

Link: **Balão de ar quente**. - <http://www.encurtador.com.br/ftxH8>

Avaliação: Participação, resolução dos exercícios e realização do experimento irão contribuir para os 30% da segunda nota.

3.3.3. Terceiro encontro



Conteúdo: Convecção e radiação. Calor latente e calor sensível. Calorímetro.

Tempo previsto: Duas aulas de 50 minutos.

– **Termos e conceitos que não podem faltar:**

- Capacidade térmica;
- Calor específico;
- Convecção;
- Radiação.

– **Objetivo:** Aprender os conceitos da propagação do calor. Diferenciar calor sensível de calor latente. Compreender o que é calor específico.

– **Materiais necessários:**

- Quadro, pincel e apagador;
- Projetor de imagens e “notebook”.

– **Metodologia (dinâmica da aula):**

Os primeiros 15 minutos são recomendados para a correção e discussão de alguns dos problemas propostos no encontro anterior.

Parte 1 – Os “slides” do arquivo [3º ENCONTRO convecção radiação.ppt](#) podem ser usados como apoio. Nesse encontro será dada continuidade aos processos de propagação do calor: convecção e radiação.

Parte 2 – Logo após a abordagem teórica é sugerido fazer a relação do processo de convecção com o voo dos balões de ar quente. Acrescentando os conceitos de fluabilidade (empuxo) e gravidade realizando as devidas conexões.

Parte 3 – Explicar o conceito de radiação térmica, apresentando o Sol como nossa principal fonte de radiação e que o mesmo é responsável pela vida na Terra. Pode-se mostrar outras fontes de radiação e interagir com que os alunos para darem outros exemplos. Para encerrar essa parte o professor pode explicar para os alunos que o fogo, usado para aquecer o ar nos balões, é uma fonte de radiação, mostrando que esse conceito está diretamente ligado com os balões de ar quente.

Parte 4 – Definição é de capacidade térmica: conceito físico e a representação matemática (equação), bem como a unidade de medida no sistema internacional de unidades (SI).

Parte 5 – Falando sobre o calor específico e diferenciando-o de capacidade térmica. Pode-se apresentar a equação no quadro e mostrar a tabela com vários materiais e seus respectivos valores de calores específicos (geralmente tem no livro didático).

Parte 6 – Logo em seguida faz-se a conceptualização de calor sensível. O professor poderá conduzir uma abordagem dialogada para ficar claro para o aluno e, usando o quadro e pincel mostrar a equação $Q = mc\Delta T$ realizando diversas manipulações. É sugerido a resolução de alguns problemas envolvendo calor sensível. Para esses exemplos é interessante usar os balões de ar quente.

Parte 7 – Na sequência fazer uma explanação do calor sensível em um sistema termicamente isolado, explicando que a quantidade de calor cedido é igual a de calor recebido. Mostrar isso no quadro usando a equação:

$$|\sum Q_{cedido}| = |\sum Q_{recebido}|$$

Parte 8 – A última parte do encontro pode ser a apresentação do calorímetro. Se possível, construir um calorímetro com os alunos ou apresentar um vídeo mostrando como é realizado, explicando o seu funcionamento e suas aplicações. Se houver tempo resolver alguns problemas do livro didático,gg sempre contextualizando com a realidade local.

Sugestão de avaliação: no final desse encontro pode ser proposto um trabalho de pesquisa e debate que poderá ser apresentado como seminário ou mesa redonda no 4º encontro, valendo 20% da primeira nota. Os temas para esse trabalho encontram-se no **Apêndice C**.



3.3.4. Quarto encontro

Conteúdo: Apresentação do seminário/mesa redonda e estudo dos estados físicos.

Tempo previsto: Duas aulas de 50 minutos.



– **Termos e conceitos que não podem faltar:**

- Calor latente;
- Sólido, líquido e gasoso;
- Fusão, vaporização, condensação, sublimação e solidificação.

– **Objetivo:** Apresentar o seminário/mesa redonda. Aprender sobre os estados físicos da matéria.

– **Materiais necessários:**

- Quadro, pincel e apagador;
- Projetor de imagens e “notebook”.

– **Metodologia (dinâmica da aula):**

Neste encontro necessita-se uma aula de cinquenta minutos para apresentação e discussão do trabalho proposto no encontro anterior.

Parte 1 – Após a apresentação dos trabalhos continuar com a aula: os conteúdos sobre os estados físicos da matéria.

Parte 2 – Dentro dessa abordagem é sugerido usar o quadro, pincel e apagador para explanação e discussão de calor latente.

$$\frac{Q}{m} = L \Rightarrow Q = mL.$$

Parte 3 – Pode ser apresentado os gráficos de fusão e solidificação, diferenciando o calor latente do calor sensível.

Parte 4 – Recomendamos comentar alguns exemplos, sugeridos no livro de didático.

Parte 5 – O professor pode usar a parte final do encontro para resolver e discutir questões propostas no livro. As questões remanescentes podem ser propostas para os alunos resolverem em casa.

Para finalizar:

O professor entrega uma cópia do **Guia de construção de balões de ar quente**, que se encontra no capítulo dois desse material, de preferência impresso, porém, pode ser em PDF. No guia tem uma lista de materiais necessários para a execução do mesmo. No entanto, alguns materiais a escola ou professor pode

dispor, sendo assim, deve ser avisado aos alunos quais materiais não precisam trazer.

É recomendado que a primeira parte da oficina de construção de balões seja feita em uma aula do quinto encontro, deixando os testes de voo dos balões para o último encontro.

Sugestão de avaliação: Esses quatro encontros finalizam o conteúdo para a primeira nota, que deve ser composto da seguinte maneira:

- Visto (nos cadernos), participação, assiduidade: 3,0 pontos (30% do total).
- Seminário mesa/redonda: 2,0 pontos (20% do total).
- Prova escrita com 10 (dez questões): 5,0 pontos (50% do total) ([Apêndice D](#)).

OBSERVAÇÃO: essa prova escrita de 10 questões, o professor envia as questões para o coordenador da escola, a escola organiza a semana de provas e retorna ao professor uma ficha com as notas dos alunos. Portanto, não foi incluso nesta sequência didática um encontro para a realização dessa prova.

No caso de uma escola em que o professor aplique a prova no horário da sua própria aula, não haverá problema, visto que as questões estão relacionadas aos conteúdos trabalhados.

3.3.5. Quinto encontro



Conteúdo: Oficina de construção dos balões de ar quente. Dilatação térmica dos sólidos e dos líquidos.

Tempo previsto: Duas aulas de 50 minutos.

– **Termos e conceitos que não podem faltar:**

- Dilatação linear;
- Dilatação superficial;
- Dilatação volumétrica;
- Dilatação térmica dos líquidos;
- Temperatura e massa específica;
- Dilatação anômala da água;
- Oficina de balões de ar quente.

– **Objetivo:** Aprender e aplicar os conceitos da dilatação térmica dos sólidos e dos líquidos. Compreender e resolver problemas envolvendo a dilatação térmica dos sólidos e dos líquidos. Construir um balão de ar quente com papel de seda.



– **Materiais necessários:**

- Quadro;
- Pincel e apagador;
- Projetor de imagens e “notebook”;
- Guia de construção de um balão de ar quente;
- 03 folhas de papel de seda 48 cm x 68 cm (cada aluno).

– **Metodologia (dinâmica da aula):**

Pode-se dividir esse encontro em duas partes: na primeira parte pode começar com o conteúdo de dilatação térmica (dos sólidos e líquidos), seguindo as orientações abaixo. A segunda parte poderá ser usada para a oficina de construção de balões de ar quente.

Parte 1 – Para esse encontro poderá ser usado os “slides” [5º ENCONTRO dilatacao termica.ppt](#), o professor inicia um novo conteúdo: dilatação térmica dos sólidos e líquidos. É sugerido exibir e comentar algumas imagens que mostrem a dilatação térmica, de preferência de situações da própria cidade e explanando conceitualmente o que é dilatação térmica.

Parte 2 – Usando o quadro, apagador e pincel para a manipulação das equações de dilatação linear, superficial e volumétrica.

Dilatação linear

$$\Delta L = L_0 \alpha \Delta \theta \quad e \quad L = L_0 (1 + \alpha \Delta \theta)$$

Dilatação superficial

$$\Delta A = A_0 \beta \Delta \theta \quad e \quad A = A_0 (1 + \beta \Delta \theta)$$

Dilatação volumétrica

$$\Delta V = V_0 \gamma \Delta \theta \quad e \quad V = V_0 (1 + \gamma \Delta \theta)$$

Explicação da relação entre os coeficientes de dilatação α, β e γ e apresentando uma tabela com os coeficientes de dilatação de alguns materiais, pode ser a tabela do **Apêndice F**.

Parte 3 – O professor pode sugerir que os alunos realizem um pequeno experimento em casa e expliquem em vídeo os resultados desse experimento, conforme segue as orientações no **Apêndice G**.

Parte 4 – Logo depois, é a vez de abordar a dilatação dos líquidos, mostrando que a mesma segue a equação da dilatação volumétrica dos sólidos.

Dilatação volumétrica

$$\Delta V = V_0 \gamma \Delta \theta \quad e \quad V = V_0 (1 + \gamma \Delta \theta)$$

Nesse momento, também, pode ser mostrado uma tabela com os coeficientes de dilatação térmicas de alguns líquidos, como essa do **Apêndice H**.

Parte 5 – Comentado sobre a dilatação anômala da água usando um gráfico do “slide” 18 da apresentação 5º_ENCONTRO_dilatacao_termica.ppt ou gráficos que venham no livro didático.

Parte 7 – Para finalizar essa parte o professor pode passar as questões propostas no livro didático e um pequeno experimento, que deve ser feito gravado em vídeo.

Sugestão de avaliação: participação, resolução dos exercícios e realização do experimento irão contribuir para os 20% da segunda nota.

Na segunda parte desse encontro o professor realizará a oficina de construção de balões de ar quente, seguindo as orientações passo a passo do guia de construção de balões, disponível no capítulo 2.

Não é necessário testar os balões. A sugestão para a oficina é: colar os painéis; dobrar; marcar; cortar e colar. Em seguida encher os balões com auxílio de um ventilador para verificar se não há vazamentos e efetuar os devidos reparos.

Com o intuito de maximizar a possibilidade de aprendizagem significativa, os testes podem ser marcados para o final do último encontro. Assim, o professor pode sugerir que os alunos façam melhorias em seus balões ou até mesmo construam

um novo balão, onde eles possam usar diversos outros modelos, alterando assim, o tamanho e o formato.

Nesse período o professor estará sempre acompanhando e auxiliando os alunos.

Sugestão de avaliação: A participação na oficina de construção de balões de ar quente, nos testes de voo e nas discussões irão contribuir para os 30% da segunda nota.



3.3.6. Sexto encontro

Conteúdo: Exercícios de dilatação térmica e estudo dos gases.

Tempo previsto: Duas aulas de 50 minutos.

– Termos e conceitos que não podem faltar:

- Modelo macroscópico de gás perfeito.
- As variáveis de estado de um gás perfeito.
- Lei de Boyle.
- Lei de Charles e Gay-Lussac.
- Lei de Charles.
- Equação de Clapeyron.
- **Atividades.**

– **Objetivo:** Corrigir os exercícios do conteúdo de dilatação térmica. Apresentar as leis: Lei de Boyle, Lei de Charles e Gay-Lussac e Lei de Charles, que determinam o que ocorre com duas das variáveis de estado de uma certa massa de gás perfeito quando a terceira se mantém constante.



– Materiais necessários:

- Quadro, pincel e apagador;
- Projetor de imagens e “notebook” com acesso à internet;
- 1 (uma) garrafa plástica de 1 ℓ, dessas de refrigerante ou água mineral;
- 1 (uma) vasilha com água quente;
- 1 (um) balão de borracha, desses usados em festas de aniversário;
- 1 (uma) vela e isqueiro ou fósforo.

Sugestão: aqui inicia o estudo dos gases, esse conteúdo será dividido em 04 (quatro) aulas de 50 min, onde deverá ser retomada as associações com os balões de ar quente. Ao apresentar as leis, o professor deve realizar uma breve discussão do papel de Charles e Gay-Lussac no desenvolvimento dos balões e que resultaram nessas leis.

– Metodologia (dinâmica da aula):

Antes de começar o estudo dos gases, o professor pode dedicar parte desse encontro para corrigir e resolver problemas sobre a dilatação térmica dos sólidos e líquidos, visto que no encontro anterior foi conduzido apenas a abordagem teórica, devido à oficina de construção dos balões.

Iniciando o estudo dos gases.

Parte 1 – Para trabalhar esse conteúdo o professor poderá usar como auxílio os “slides” da apresentação [6º ENCONTRO estudo dos gases.ppt](#), expondo aos alunos a ideia do modelo microscópico de um gás perfeito.

Parte 2 – Na sequência apresentamos as variáveis de estado de um gás perfeito. Usando o quadro, o pincel e o apagador, efetuamos manipulações dessas variáveis, fazendo associações e enriquecendo com diversos exemplos.

Parte 3 – Na sequência pode comentar a **Lei de Boyle**, conceituando uma **transformação isotérmica** e exibindo uma representação matemática:

$$pV = K_1$$

Logo em seguida pode ser mostrada a representação gráfica de isotermas, usando o pincel, quadro apagador para pontuações importantes, de forma que fique claro para o aluno.

Parte 4 – Da mesma forma que na parte 3, o professor, agora, pode mostrar a **Lei Charles e Gay-Lussac**, conceituando uma transformação **isobárica**, exibindo a representação matemática:

$$V = K_2 T \therefore \frac{V}{T} = K$$

Mostrando a representação gráfica ($V \times T$), usa-se o pincel, quadro apagador para mostrar os destaques importantes.

Parte 5 – O professor pode conduzir o fechamento com a **Lei Charles**, conceituando uma transformação **isovolumétrica** e exibindo a representação matemática:

$$p = K_3T \therefore \frac{p}{V} = K$$

Discutir a representação gráfica ($p \times T$), usando o pincel, o quadro e apagador para realizar destaques e pontuações, de modo que o aluno não confunda os gráficos.

Parte 6 – Em seguida o professor apresenta a equação de Clapeyron. Usando o quadro, o pincel e o apagador para realizar algumas passagens, explicando a constante K até chegar na equação:

$$pV = nRT$$

Parte 7 – Exibição e comentários sobre a constante universal dos gases perfeitos (R) e seus diversos valores, que dependem das unidades envolvidas.

Parte 8 – Depois dessa abordagem teórica, o professor poderá fazer um pequeno experimento usando uma garrafa pet de 1 ℓ, um balão de festa aniversário, uma vasilha com água quente e a vela.

Parte 9 – Além desse experimento, pode-se sugerir que os alunos realizem, em grupo, o experimento do **Apêndice I**, onde temos na parte de discussão do experimento uma pesquisa sobre balonismo.

Parte 10 – Para finalizar esse encontro o professor pode usar o tempo restante para resolver e discutir alguns problemas sugeridos no livro didático e passar uma lista para casa.

Sugestão de avaliação: participação, resolução dos exercícios e realização do experimento irão contribuir para os 20% da segunda nota. Essa atividade deve ser feita em grupo, gravada em um vídeo de aproximadamente 5 minutos e enviado para o professor por formulário eletrônico.

3.3.7. Sétimo encontro



Conteúdo: Lei geral dos gases.

Tempo previsto: Duas aulas de 50 minutos.

– Termos e conceitos que não podem faltar:

- Lei Geral dos Gases.
- Mistura física de gases perfeitos.
- O modelo microscópico de gás perfeito.
- A temperatura na Teoria Cinética.
- A energia interna de um gás perfeito.
- **Atividades.**

– **Objetivo:** Estudar a lei Geral do Gases, que relaciona as variáveis de estado de uma determinada massa de gás perfeito. Compreender o estudo microscópico de um gás perfeito.

– Materiais necessários:

- Quadro, pincel e apagador;
- Projetor de imagens e “notebook”;

– Metodologia (dinâmica da aula):

Esse é o penúltimo encontro dessa sequência didática, inicialmente pode ser feito a correção de alguns dos exercícios passados para casa. O professor poderá revisar sucintamente os principais conceitos, pois esses exercícios servirão como base para a segunda prova escrita.

Parte 1 – Como recurso de apoio, a segunda parte do conteúdo de estudos dos gases está nos “slides” da apresentação 7º_ENCONTRO_lei_geral_dos_gases.ppt. Após o momento inicial realiza-se discussão da seguinte relação.

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2},$$

Expandindo para o estado três $\frac{p_3 V_3}{T_3}$, enfatizando que a relação de proporcionalidade é mantida.

Parte 2 – Logo em seguida discute-se o modelo microscópico de um gás, explicando suas principais características.

Parte 3 – Dando continuidade, o professor apresenta a temperatura na teoria cinética e usando pincel, quadro e apagador faz algumas passagens até chegar em:

$$T = \frac{M}{3R} (\bar{v})^2.$$

Usa-se essa relação para chegar na Energia interna:

$$U = \frac{3}{2} nRT$$

Além da representação matemática, o conceito de energia interna pode ser discutido de maneira substantiva, de modo que os alunos tenham uma melhor compreensão.

Parte 4 – Após essa abordagem teórica, o professor discute e resolve mais alguns exercícios, que servirão como base para a prova escrita.

Parte 4 – Para finalizar esse encontro o professor pode usar alguns minutos para falar sobre os testes dos balões de ar quente, que deverá ser realizado no próximo e último encontro. Pede que os alunos levarem um secador, se possível.

Sugestão de avaliação: Participação e resolução dos exercícios irão contribuir para os 20% da segunda nota.



3.3.8. Oitavo encontro

Conteúdo: Correção de exercícios sobre os gases e testes dos balões.

Tempo previsto: Duas aulas de 50 minutos.



– **Termos e conceitos que não podem faltar:**

- Temperatura.
- Calor e sua propagação.
- Lei dos gases.
- Densidade e fluabilidade.
- **Testes de voo dos balões de ar quente.**

– **Objetivo:** Compreender e resolver problemas envolvendo os gases perfeitos. Testar o voo dos balões construídos com papel de seda.

– **Materiais necessários:**

- Quadro, pincel e apagador;
- Balão de ar quente;
- Soprador térmico (secador de cabelos, recomendado 2000 W).

– **Metodologia (dinâmica da aula):**

Esse encontro será dividido em duas partes:

Parte 1 – O professor corrige e resolve exercícios propostos no livro didático, abordando os principais conceitos, que serão cobrados na segunda prova escrita. Em seguida leva a turma para o pátio da escola ou outro lugar, previamente definido, para os testes dos balões de ar quente.

Parte 2 – Uma vez concluída a etapa de construção dos balões de ar quente, chegou o momento dos testes dos balões. Reunindo todos os grupos no pátio da escola ou em um local adequado e usando secadores de cabelo para aquecer o ar nos balões.

Além dos testes, nesse momento, geralmente, acontecem problemas com alguns balões. Portanto, esse momento é adequado para se fazer uma discussão dos aspectos físicos estudados e que estejam relacionados com o voo dos balões. Comentando o sucesso ou a falha de alguns balões.

Sugestão de avaliação: Esses quatro encontros (5º, 6º, 7º e 8º) finalizam o conteúdo para a segunda nota, que deve ser composto da seguinte maneira:

- Visto (nos cadernos), participação, assiduidade: 2,0 pontos (20% do total).
- Oficina de construção de balões de ar quente: 3,0 pontos (30% do total).
- Prova escrita com 10 (dez) questões: 5,0 pontos (50% do total) (**Apêndice E**).

OBSERVAÇÃO: essa prova escrita de 10 questões, o professor envia as questões para o coordenador da escola, a escola organiza a semana de provas e retorna ao professor uma ficha com as notas dos alunos. Portanto, não fora incluso nesta sequência didática um encontro para a realização dessa prova.

No caso de uma escola em que o professor aplique a prova no horário da sua própria aula, não haverá problema, dado que as questões estão relacionadas aos conteúdos trabalhados.

Capítulo 4 – Considerações finais

Com as atividades propostas na sequência didática, é possível explorar a maioria dos conteúdos da unidade de Termologia voltada para o Ensino Médio. Abordando os conceitos teóricos e suas aplicações práticas no cotidiano. Permitindo o professor ofertar aos alunos um ambiente de aprendizagem significativa como uma forma atrativa e divertida se ensinar a Física.

A aplicação pode ocorrer tanto em sistema de ensino presencial como híbrido. No entanto, por se tratar de uma proposta que visa a aprendizagem significativa e tem como organizador prévio uma oficina de construção de balões de ar quente o desenvolvimento totalmente remoto não é recomendado. Visto que para atingir os objetivos da proposta é importante que alguns encontros sejam presenciais.

Este livro eletrônico foi desenvolvido com o intuito de orientar o professor na aplicação da sequência didática. É direcionado para professores de Física do segundo ano do Ensino Médio, para ser usado como apoio, ou seja, não substitui o livro didático adotado pela escola.

Os materiais de apoio indicados para as aulas podem ser modificados e/ou substituídos, caso a escola ou o professor não tenham condições de usá-los. Cabe ao professor substituí-los por recursos que torne possível abordar o conteúdo da sequência proposta.

Este produto educacional foi aplicado nos últimos três anos, permitindo assim que diversos ajustes pudessem ser feitos ao longo desse tempo. Tem sido notória a participação e o engajamento dos alunos, bem como uma melhoria na aprendizagem. O professor pode obter indicadores de desempenho dos alunos com o acompanhamento do processo checando as atividades avaliativas acessando as salas de conversação e participações nos fóruns de discussão.

Referências

- ALVARENGA, B.; MÁXIMO, A. Física. São Paulo, Scipione, 2007. Volume Único.
- AUSUBEL D. P. Educazione e processi cognitivi. Guida psicologica per gli insegnanti, Franco Angeli Editora, Milão, 1987.
- AUSUBEL, D. P. A psicologia da aprendizagem verbal significativa. Nova York: Grune & Stratton Editora, 1963.
- AUSUBEL, D.P. The acquisition and retention of knowledge: a cognitive view. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 2000. p. 212.
- HADJI, C. A Avaliação desmitificada. Porto Alegre: Artmed, 2001.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R. Fundamentos de Física. Wiley. 2013. p. 524.
- HALLIDAY, D., et al. Fundamentos de física. Gravitação, ondas e termodinâmica: LTC, 2015.
- HELOU; GUALTER; NEWTON. Física, vol. 2. São Paulo: Editora Saraiva, 2016.
- HOFFMANN, J.; ESTEBAN, M. T. (orgs.) Práticas avaliativas e aprendizagens significativas: em diferentes áreas do currículo. 3.ed. Porto Alegre: Mediação, 2004. p. 81-92.
- JONASSEN D. H., HOWLAND J., MARRA R., CRISMOND D., Meaningful Learning with technology, Pearson Education, Upper Saddle River – New Jersey – Columbus – Ohio, 2007.
- MARTINS, C. A escala da temperatura: do zero absoluto ao mais quente possível. Aberto até de madrugada, 2021. Disponível em: <https://abertoatedemadrugada.com/2015/01/a-escala-da-temperatura-do-zero.html>. Acesso em: 16 de ago. De 2021.
- MOREIRA, M. A. 2006. A teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula. Brasília: Editora da UnB. 185p. 2006.
- NOVAK J. D. Uma teoria de educação. São Paulo: Pioneira; 1982.
- NOVAK, J. D. Aprendendo a aprender. Barcelona: Marínez Roca, 1998.
- NOVAK, J. D. Aprender, criar e utilizar o conhecimento. Mapas conceituais como ferramentas de facilitação nas escolas e empresas. Lisboa: Plátano Universitária. 252p. 2000. Tradução ao português do original Learning, creating, and using knowledge. Concept maps as facilitating tools in schools and corporations.
- SILVA, F. L. L. da. Construindo um balão de ar quente: uma sequência didática para a aprendizagem significativa dos conceitos de Termologia. 2021. 264f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Rede - Ensino de Física em Rede Nacional/CCET) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2021.
- TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene, Física para Cientistas e Engenheiros - Vol. 1, 6a ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.
- VIRGIN BALLOON FLIGHTS. History of Ballooning. Disponível em: <https://www.virginballoonflights.co.uk/history-of-ballooning/>. Acesso em: 02 de janeiro de 2021.

WALKER, J. O Circo Voador da Física. 2ª Edição. LTC, 2008.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. Física II - Termodinâmica e Ondas 14 ed. São Paulo: Pearson. 2016. p. 213-214.

APÊNDICE A – Questões da avaliação diagnóstica

Link de acesso: <https://forms.gle/KLuzvYYXSdeMKcDYA>.

PRÉ-TESTE DE TERMOLOGIA

Questionário de avaliação sobre os conceitos básicos de termologia e suas relações com os balões de ar quente.

Endereço de e-mail: _____

Nome completo: _____

Turma e turno:

() 2º "A" – Manhã – () 2º "B" – Manhã - () 2º "A" - Tarde

QUESTIONÁRIO

1. Qual a definição de TEMPERATURA?
2. Escreva o que você compreende a respeito do termo "CALOR".
3. O que é o calor específico? Quais as consequências no seu dia-a-dia? Cite alguns exemplos.
4. Qual a diferença entre calor sensível e calor latente? Dê alguns exemplos que você pode observar na sua casa.
5. Que grandezas físicas, em especial, de termologia estão envolvidas no voo dos balões de ar quente? Descreva como, exatamente, cada uma delas está relacionada.
6. Descreva as formas de propagação do calor citando alguns exemplos que você pode observar diariamente.
7. O que é densidade e qual sua relação com o voo dos balões de ar quente?
8. Qual momento é melhor para voar com balões: Um dia frio pela parte da manhã ou em uma tarde ensolarada, com uma temperatura elevada? Justifique sua resposta.

APÊNDICE B – Fio metálico e condução de calor

Vamos agora realizar um experimento que consiste em verificar o processo de condução de calor através de um fio metálico.

Este experimento envolve fogo. Deve-se sempre ser realizado com a supervisão do seu professor.

– Material necessário:

- 1 pedaço de fio de cobre maciço desencapado, com comprimento em torno de 30 cm, o mais grosso possível;
- 1 vela comum e uma caixa de fósforos ou isqueiro para acender a vela;
- 5 preguinhos ou tachinhas;
- 1 alicate.

– Procedimento

- I. Acenda a vela e, com cuidado, deixe pingar parafina derretida em três pontos do fio. Espere a parafina começar a se solidificar e encoste nela os preguinhos, fixando-os um a um no fio.
- II. Segure uma das extremidades do fio com o alicate e encoste a extremidade oposta na chama da vela, que deverá estar acoplada a uma base de apoio (pode ser um pires, no qual você derramará parafina derretida para fixar a vela).
- III. Aguarde alguns instantes e você notará que, depois de derretida a parafina de fixação, o primeiro preguinho se soltará e o mesmo poderá ser observado em relação aos outros dois preguinhos, que se soltarão sequencialmente.

– Analisando o experimento

1. Por que os preguinhos vão se soltando sequencialmente?
2. Como você explica esse fenômeno?
3. O processo de transmissão de calor por condução pode ocorrer no vácuo? Por quê?

APÊNDICE C – Pesquisa e debate – Seminário ou Mesa redonda

Proposta de atividade avaliativa (30% da primeira nota. Pesquisa e debate – Apresentar na forma de seminário.

- Dividir a turma em grupos (média de 5 alunos por grupo);
- Dividir ou sortear os temas;
- Agendar a data de apresentação para o encontro seguinte;
- Definir o tempo de apresentação de cada grupo. (Em média 7 minutos).

Temas sugeridos:

1. Grupo 01

Formas de aproveitamento da energia solar;

2. Grupo 02

Aquecimento global;

3. Grupo 03

O experimento de Tyndall (esse grupo deve fazer e explicar);

Link para o pdf com as instruções: [experimento de tyndall.pdf](#).

4. Grupo 04

- a. Pesquise o que é o **ponto de orvalho**.
- b. Um dos maiores temores dos agricultores de certas regiões do Brasil é a geada, fenômeno meteorológico que pode destruir plantações. Explique como e quando ocorre a geada.
- c. Em dias muito quentes, é comum observarmos cães grandes e peludos com a boca aberta, a língua de fora e arfando rapidamente. Pesquise e tente explicar por que os cães arfam.

5. Grupo 05

- a. Por que os copos "transpiram"?
- b. Por que a panela de pressão cozinha mais rápido os alimentos?
- c. Por que a água permanece mais fria em moringas de barro (ou pote)?

APÊNDICE D – Questões da primeira prova escrita

Questão 01 - O Brasil é reconhecidamente um país de contrastes. Entre eles, podemos apontar a variação de temperatura das capitais brasileiras. Palmas, por exemplo, atingiu, em 1º de julho de 1998, a temperatura de $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ e, em 19 de setembro de 2013, a temperatura de $42\text{ }^{\circ}\text{C}$ (com sensação térmica de $50\text{ }^{\circ}\text{C}$). Na escala Kelvin, a variação da temperatura na capital do Tocantins, entre os dois registros realizados, corresponde a:

Questão 02 - A queima de 1000 g de gás de cozinha fornece 6000 cal . A massa de gás que deve ser queimada para elevar a temperatura de meio litro de água de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ até $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, e ainda produzir a evaporação de 100 ml de água, é:

Questão 03 – Determine a quantidade de calor necessária para levar um bloco de gelo de 1 kg de $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ até $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dados: Calor específico do gelo = $0,5\text{ cal/g }^{\circ}\text{C}$. Calor latente de fusão da água = 80 cal/g . Calor específico da água = $1\text{ cal/g }^{\circ}\text{C}$.

- a) 85 kcal
- b) 75 kcal
- c) 90 kcal
- d) 115 kcal
- e) 120 kcal

Questão 04 – Num laboratório, dois termômetros, um graduado em Celsius e outro em Fahrenheit, são colocados no interior de um freezer. Após algum tempo,

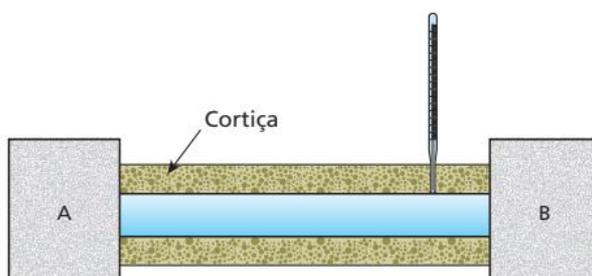
verificou-se que os valores lidos nos dois termômetros eram iguais. Qual a temperatura medida, em graus Celsius?

- a) $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$
- b) $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$
- c) $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$
- d) $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$
- e) $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$

Questão 05 – Analise as proposições e indique a verdadeira.

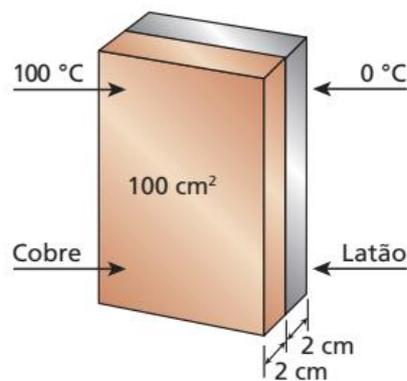
- a) Calor e energia térmica são a mesma coisa, podendo sempre ser usados tanto um termo como o outro, indiferentemente.
- b) Dois corpos estão em equilíbrio térmico quando possuem quantidades iguais de energia térmica.
- c) O calor sempre flui da região de menor temperatura para a de maior temperatura.
- d) Calor é energia térmica em trânsito, fluindo espontaneamente da região de maior temperatura para a de menor temperatura.
- a) Um corpo somente possui temperatura maior que a de um outro quando sua quantidade de energia térmica também é maior que a do outro.

Questão 06 – (UNAMA-AM) A figura a seguir apresenta uma barra de chumbo de comprimento 40 cm e área de seção transversal 10 cm^2 isolada com cortiça; um termômetro fixo na barra calibrado na escala Fahrenheit, e dois dispositivos A e $B\text{ cm}^2$ que proporcionam, nas extremidades da barra, as temperaturas correspondentes aos pontos do vapor e do gelo, sob pressão normal, respectivamente. Considerando a intensidade da corrente térmica constante ao longo da barra, determine a temperatura registrada no termômetro, sabendo que ele se encontra a 32 cm do dispositivo A . Dado: coeficiente de condutibilidade térmica do chumbo = $8,2 \cdot 10^{-2} \frac{\text{cal}\cdot\text{cm}}{\text{cm}^2\cdot^{\circ}\text{C}\cdot\text{s}}$.



- a) $35\text{ }^{\circ}\text{F}$
- b) $50\text{ }^{\circ}\text{F}$
- c) $68\text{ }^{\circ}\text{F}$
- d) $70\text{ }^{\circ}\text{F}$
- e) $78\text{ }^{\circ}\text{F}$

Questão 07 – A condutividade térmica do cobre é aproximadamente quatro vezes maior que a do latão. Duas placas, uma de cobre e outra de latão, com 100 cm^2 de área e $2,00\text{ cm}$ de espessura, são justapostas como ilustra a figura dada abaixo. Considerando-se que as faces externas do conjunto sejam mantidas a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, qual será a temperatura na interface da separação das placas quando for atingido o regime estacionário?



Questão 08 – Em cada uma das situações descritas a seguir você deve reconhecer o processo de transmissão de calor envolvido: condução, convecção ou radiação.

- I. As prateleiras de uma geladeira doméstica são grades vazadas para facilitar a ida da energia térmica até o congelador por (...).
- II. O único processo de transmissão de calor que pode ocorrer no vácuo é a (...).
- III. III. Numa garrafa térmica, é mantido vácuo entre as paredes duplas de vidro para evitar que o calor saia ou entre por (...).

Na ordem, os processos de transmissão de calor que você usou para preencher as lacunas são:

- a) condução, convecção e radiação;
- b) radiação, condução e convecção;
- c) condução, radiação e convecção;
- d) convecção, condução e radiação;
- e) convecção, radiação e condução.

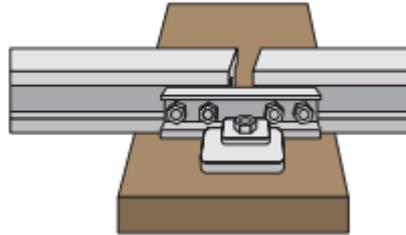
Questão 09 – (UEPA) A área total das paredes externas de uma geladeira é $4,0 \text{ m}^2$ e a diferença de temperatura entre o exterior e o interior da geladeira é $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Se a geladeira tem um revestimento de poliestireno com 25 mm de espessura, determine a quantidade de calor que flui através das paredes da geladeira durante $1,0 \text{ h}$, em watt-hora. A condutividade térmica do revestimento de poliestireno é $0,01 \text{ W}/(\text{m}^\circ\text{C})$.

- a) 20 Wh
- b) 30 Wh
- c) 40 Wh
- d) 50 Wh
- e) 60 Wh

Questão 10 – (MACKENZIE-SP) - Numa indústria têxtil, desenvolveu-se uma pesquisa com o objetivo de produzir um novo tecido com boas condições de isolamento para a condução térmica. Obteve-se, assim, um material adequado para a produção de cobertores de pequena espessura (uniforme). Ao se estabelecer, em regime estacionário, uma diferença de temperatura de $40 \text{ }^\circ\text{C}$ entre as faces opostas do cobertor, o fluxo de calor por condução é 40 cal/s para cada metro quadrado de área. Sendo $k = 0,00010 \text{ cal/s} \cdot \text{cm} \cdot ^\circ\text{C}$ o coeficiente de condutibilidade térmica desse novo material e a massa correspondente a $1,0 \text{ m}^2$ igual a $0,5 \text{ kg}$, sua densidade é:

APÊNDICE E – Questões da segunda prova escrita

Questão 01 – Os trilhos de trem, normalmente de 40 m de comprimento, são colocados de modo a manter entre duas pontas consecutivas uma pequena folga chamada junta de dilatação. Isso evita que eles se espremam, sofrendo deformações devido à ação do calor nos dias quentes.



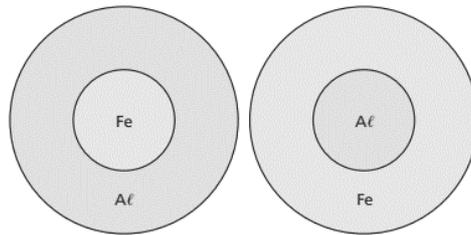
Considere que uma variação de temperatura da noite para o (meio) dia possa chegar a (aproximadamente) 25 °C, fazendo-os dilatar cerca de 5 mm. Neste caso, qual o valor do coeficiente de dilatação linear do material de que é feito o trilho?

Questão 02 – Uma barra metálica de coeficiente de dilatação linear médio de $2 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ a 20 °C é colocada no interior de um forno. Após a barra ter atingido o equilíbrio térmico, verifica-se que seu comprimento é 1% maior. Qual a temperatura do forno?

Questão 03 – Duas lâminas, feitas de materiais diferentes e soldadas longitudinalmente entre si, irão se curvar quando aquecidas, porque possuem diferentes:

- a) Coeficientes de dilatação térmica;
- b) Densidades;
- c) Pontos de fusão;
- d) Capacidades térmicas;

Questão 04 – O coeficiente de dilatação térmica do alumínio (Al) é, aproximadamente, duas vezes o coeficiente de dilatação térmica do ferro (Fe). A figura mostra duas peças em que um anel feito de um desses metais envolve um disco feito do outro. À temperatura ambiente, os discos estão presos aos anéis.

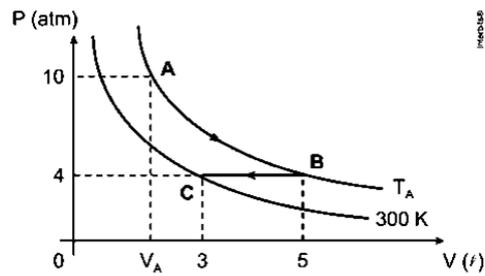


Se as duas peças forem aquecidas uniformemente, é correto afirmar que:

- a) Apenas o disco de Al se soltará do anel de Fe .
- b) Apenas o disco de Fe se soltará do anel de Al .
- c) Os dois discos se soltarão dos respectivos anéis.
- d) Os discos não se soltarão dos anéis.

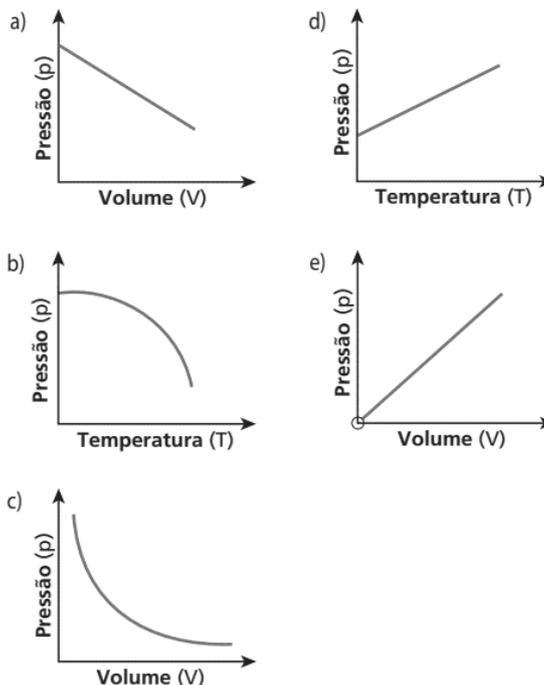
Questão 05 – Um posto recebeu 5.000 ℓ de gasolina em um dia muito frio, em que a temperatura era de $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. No dia seguinte, a temperatura aumentou para $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, situação que durou alguns dias, o suficiente para que a gasolina fosse totalmente vendida. Se o coeficiente de dilatação volumétrica da gasolina é igual a $11 \cdot 10^{-4}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, determine o lucro do proprietário do posto, em litros.

Questão 06 – A figura abaixo representa duas isotérmicas em que certa massa gasosa, inicialmente no estado 1, sofre uma transformação atingindo o estado 2 que por sua vez sofre uma transformação, atingindo o estado 3. A temperatura T_A e o volume V_A são iguais a:



- a) 200 K e 5 litros
- b) 300 K e 2 litros
- c) 400 K e 4 litros
- d) 500 K e 2 litros

Questão 07 – Um recipiente indeformável (volume interno constante) e hermeticamente fechado (não permite a entrada ou saída de gás) contém certa massa de gás perfeito à temperatura ambiente. Aquecendo-se esse gás, qual dos gráficos a seguir melhor representa o seu comportamento?



Questão 08 – Utilizados em diversas áreas de pesquisa, balões estratosféricos são lançados com seu invólucro impermeável parcialmente cheio de gás, para que possam suportar grande expansão à medida que se elevam na atmosfera. Um balão, lançado ao nível do mar, contém gás hélio à temperatura de 27°C , ocupando um volume inicial V_i . O balão sobe e atinge uma altitude superior à 35 km , onde a pressão do ar é 0,005 vezes a pressão ao nível do mar e a temperatura é -23°C . Considerando que o gás hélio se comporte como um gás

ideal, qual é, aproximadamente, a razão V_f/V_i , entre os volumes final V_f e inicial V_i ?

Questão 09 – Um pequeno balão esférico flexível, que pode aumentar ou diminuir de tamanho, contém $1,0 \ell$ de ar e está, inicialmente, submerso no oceano a uma profundidade de $10,0 \text{ m}$. Ele é lentamente levado para a superfície, a temperatura constante. O volume do balão (em *litros*), quando este atinge a superfície, é:
Dados:

$$p_{atm} = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}; \rho_{\text{água}} = 1,0 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

- a) $0,25 \ell$
- b) $2,0 \ell$
- c) $0,50 \ell$
- d) $4,0 \ell$

Questão 10 – Um gás perfeito, que tem um volume de $12,0 \ell$, encontra-se no interior de um frasco sob pressão de $3,00 \text{ atm}$ e com temperatura de 200 K . Inicialmente, o gás sofre uma transformação isotérmica, de tal forma que sua pressão passa a ser de $9,00 \text{ atm}$, a seguir, o gás sofre uma transformação segundo a lei de Gay-Lussac, atingindo uma temperatura de 500 K . Os volumes, após as duas transformações, respectivamente, são iguais a:

APÊNDICE F – Coeficiente de dilatação linear de alguns sólidos

Tabela 7 - Coeficiente de dilatação linear de alguns sólidos.

Substância	α (em $^{\circ}\text{C}^{-1}$)
Zinco	$26 \cdot 10^{-6}$
Alumínio	$22 \cdot 10^{-6}$
Prata	$19 \cdot 10^{-6}$
Cobre	$17 \cdot 10^{-6}$
Ouro	$15 \cdot 10^{-6}$
Ferro	$12 \cdot 10^{-6}$
Platina	$9 \cdot 10^{-6}$
Vidro comum	$8 \cdot 10^{-6}$
Tungstênio	$4,3 \cdot 10^{-6}$
Vidro pirex	$3 \cdot 10^{-6}$
Invar*	$1 \cdot 10^{-6}$

Fonte: O Autor (2021).

APÊNDICE G – Experimento para explicar o funcionamento das lâminas bimetálicas

Material necessário:

- 01 folha de papel uma face de alumínio e a outra de papel (algumas embalagens de bombons têm esse tipo de folha);
- 01 vela;
- 01 prendedor de roupas.

Procedimento:

- I. Recortar uma tira retangular de aproximadamente 10 cm X 1,5 cm e alisá-la de modo a ficar plana.
- II. Usar o prendedor de roupas para segurar um dos lados. Deve-se manter o lado do alumínio virado para baixo e aproximar da vela, com cuidado para não deixar a chama muito perto, para não queimar o papel.

Análise do experimento:

1. A tira se curva para cima ou para baixo?
2. Por que essa tira se curva? Isso ocorre se aquecermos uma tira de embalagem 100% alumínio?
3. Para um mesmo aquecimento, quem dilata mais: o papel ou o alumínio?
4. Se deixarmos a face do alumínio voltada para cima, corremos o risco de queimar o papel em contato com a chama da vela. No entanto, até que isso ocorra, a tira irá se curvar para cima ou para baixo?
5. Deixando a tira inicial esfriar, ela perde a curvatura? Por que isso ocorre?
6. Pesquise e descubra outras situações em que a lâmina bimetálica contribui para o funcionamento de um dispositivo de Física aplicada.

APÊNDICE H – Tabela com coeficientes de dilatação volumétrica

Tabela 8 - Coeficiente de dilatação volumétrica de alguns materiais líquidos.

Substância	γ (em °C ⁻¹)
Éter	$16,6 \cdot 10^{-4}$
Álcool etílico	$11 \cdot 10^{-4}$
Petróleo	$9 \cdot 10^{-4}$
Glicerina	$4,8 \cdot 10^{-4}$
Água*	$1,3 \cdot 10^{-4}$
Mercúrio	$1,3 \cdot 10^{-4}$

* À temperatura aproximada de 20 °C.

Fonte: O Autor (2021).

APÊNDICE I – Comprovando a dilatação volumétrica

– Material necessário:

- 01 cadeado pequeno com sua respectiva chave;
- 01 vela com um pires;
- 01 alicate;
- 01 isqueiro ou fósforo.

– Procedimento:

- I. Experimente a chave no cadeado, abrindo-o. Repita esse procedimento algumas vezes.
- II. Acenda uma vela e use um alicate para segurar a chave, em seguida coloque sobre a chama da vela para aquecer. Logo em seguida, tente colocar a chave, aquecida, no cadeado para abri-lo.

– Análise do experimento:

1. Quando você aquece a chave, o que ocorreu com as dimensões desse objeto?
2. Após o aquecimento, a chave entrou no alojamento existente no cadeado? Por quê?
3. Deixando a chave esfriar, ela voltará a entrar no alojamento existente no cadeado? Por quê?

APÊNDICE J – Enchendo um balão com gás a partir de uma reação química

– Material necessário:

- 01 garrafa de 1 L, PET, por exemplo;
- 200 mL de vinagre;
- 01 funil, pode ser feito com uma folha de papel;
- 01 colher de sopa de bicarbonato de sódio;
- 01 balão de borracha, desses de festa de aniversário.

– Procedimento:

- I. Coloque o vinagre dentro da garrafa de plástico. Depois, use o funil para colocar o bicarbonato de sódio dentro do balão.
- II. Coloque o anel da boca do balão preso ao gargalo da garrafa, sem seguida levante o balão para que o bicarbonato de sódio caia dentro da garrafa. Veja o que acontece.

– Análise do experimento:

1. A reação causada pela mistura libera uma grande quantidade de gás. Que gás é esse?
2. Por que o gás liberado pela reação química provoca a expansão do balão?
3. No final da atividade, amarre a boca do balão. Retire-o do gargalo da garrafa e coloque-o no congelador da geladeira ou freezer por 30 minutos. Retire e olhe o balão. Você sabe explicar o que aconteceu com ele?
4. Forme um grupo com seus colegas e faça uma pesquisa sobre **balonismo**. Descubram a função do ar quente na elevação dos balões.

APÊNDICE K – Unidades do Sistemas Internacional de Unidades

Tabela C1 - Unidades do SI.

Quantidade base	Símbolo	Nome
Comprimento	m	Metro
Massa	kg	Quilograma
Força	N	newton
Pressão	atm	atmosfera
Tempo	s	Segundo
Corrente elétrica	A	ampère
Temperatura	K	kelvin
Quantidade de matéria	mol	mol
Calor	J	joule

APÊNDICE L – Algumas Constantes físicas

Tabela 9 – Algumas constantes físicas.

Quantidade base	Símbolo	Nome
Número de Avogadro	N_A	$6,022 \cdot 10^{23}$ partículas/mol
Massa do elétron	m_e	$9,109 \cdot 10^{-31}$ kg
Massa do nêutron	m_n	$1,674 \cdot 10^{-27}$ kg
Massa do próton	m_p	$1,672 \cdot 10^{-27}$ kg
Carga elementar	e	$1,602 \cdot 10^{-19}$ C
Constante Universal dos gases	R	$8,314 \frac{J}{mol \cdot K}$

APÊNDICE M – Tabelas com prefixo de potências de dez

Tabela 10 – Prefixos para potências de dez.

Potência	Prefixo	abreviatura
10^{-12}	pico	<i>p</i>
10^{-9}	nano	<i>n</i>
10^{-6}	micro	μ
10^{-3}	mili	<i>m</i>
10^{-2}	centi	<i>c</i>
10^{-1}	deci	<i>d</i>
10^1	deca	<i>da</i>
10^2	hecta	<i>h</i>
10^3	kilo	<i>K</i>
10^6	mega	<i>M</i>
10^9	giga	<i>G</i>
10^{12}	tera	<i>T</i>

APÊNDICE N – Algumas conversões importantes

Conversões

Volume

$$1 \text{ m}^3 = 10^6 \text{ cm}^3 = 1000 \text{ L}$$

$$1 \text{ L} = 1000 \text{ cm}^3$$

$$1 \text{ gal} = 3,786 \text{ L}$$

Massa

$$1000 \text{ kg} = 1 \text{ t (tonelada métrica)}$$

$$1 \text{ kg} = 1000 \text{ g}$$

Pressão

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mm Hg} = 76,0 \text{ cm Hg}$$

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

Energia

$$1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}$$

$$1 \text{ J} = 0,238 \text{ cal}$$

$$1 \text{ Btu} = 252 \text{ cal} = 1054 \text{ J}$$

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$$

Realizado o Depósito legal na Biblioteca Nacional conforme a Lei nº 10.994, de 14 de dezembro de 2004.

TÍTULO	FÍSICA DOS BALÕES DE AR QUENTE: uma sequência didática para a aprendizagem significativa dos conceitos de termologia
AUTOR	Francisco Leonardo Lopes da Silva Gabriel Alves Mendes
ORGANIZAÇÃO	Edson Firmino Viana de Carvalho
PROJETO GRÁFICO E CAPA	Francisco Leonardo Lopes da Silva
ILUSTRAÇÃO DA CAPA	Francisco Leonardo Lopes da Silva
PÁGINAS	105
FORMATO	160 x 250 mm
TIPOGRAFIA	Arial CORPO Arial TÍTULOS