

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO - UFMA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIAS - CCET
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA - MNPEF

FRANCISCO LEONARDO LOPES DA SILVA

**CONSTRUINDO UM BALÃO DE AR QUENTE: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA
PARA A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DOS CONCEITOS DE TERMOLOGIA**

SÃO LUÍS - MA
2021

FRANCISCO LEONARDO LOPES DA SILVA

**CONSTRUINDO UM BALÃO DE AR QUENTE: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA
PARA A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DOS CONCEITOS DE TERMOLOGIA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional Nacional em Ensino de Física (MNPEF) da Universidade Federal do Maranhão (UFMA), polo 47, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Linha de Pesquisa: Processos de ensino e aprendizagem e tecnologias de informação e comunicação no Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Gabriel Alves Mendes

SÃO LUÍS - MA
2021

FRANCISCO LEONARDO LOPES DA SILVA

CONSTRUINDO UM BALÃO DE AR QUENTE: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA
A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DOS CONCEITOS DE TERMOLOGIA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional Nacional em Ensino de Física (MNPEF) da Universidade Federal do Maranhão (UFMA), polo 47, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada em: ____/____/2021

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Gabriel Alves Mendes (orientador)
Doutor em Física
Universidade Federal do Maranhão – UFMA

Prof. Edvan Moreira
Doutor em Física
Universidade Estadual do Maranhão - UEMA

Prof. Edson Firmino Viana de Carvalho
Doutor em Física
Universidade Federal do Maranhão – UFMA

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Silva, Francisco Leonardo Lopes da.

Construindo um balão de ar quente: uma sequência didática para a aprendizagem significativa dos conceitos de Termologia / Francisco Leonardo Lopes da Silva. - 2021. 264 f.

Orientador(a): Gabriel Alves Mendes.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Rede - Ensino de Física em Rede Nacional/ccet, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2021.

1. Aprendizagem Significativa. 2. Balões de Ar Quente. 3. Ensino Remoto. 4. Sequência Didática. 5. Termologia. I. Mendes, Gabriel Alves. II. Título.

Dedico este trabalho à minha mãe, Sra. Cleudes e ao meu pai Sr. José, que estiveram sempre me apoiando. À minha esposa Lígia, que esteve presente em todos os momentos. E, às minhas filhas Ana Luíza e Ana Lívia, minhas fontes de inspiração.

Agradecimentos

Meus sinceros agradecimentos a todos que, de alguma forma, contribuíram para que a conclusão deste trabalho se tornasse possível.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Gabriel Alves Mendes, pela atenção, auxílio e disponibilidade de tempo e material. Com sabedoria e dedicação soube me conduzir a conclusão deste trabalho.

Aos meus ilustres colegas de sala, pelo companheirismo e apoio nos momentos difíceis.

Ao Prof. Dr. Edson Firmino, coordenador do programa de pós-graduação e a todos os professores do programa, que deram suas contribuições no decorrer do curso.

À equipe gestora da Unidade Escolar Luís Teixeira, pela confiança e apoio durante a execução de nossas atividades.

RESUMO

Atualmente, a metodologia para ensinar física no Ensino Médio ainda está fortemente ligada ao modelo instituído na educação básica no período colonial. Essa metodologia com o uso de livros didáticos (massivamente matemático e abstrato), quadro e giz, resulta em uma aprendizagem pouco significativa e tediosa comparada ao método de ensino de Ausubel. Neste contexto foi proposta uma metodologia fundamentada na Teoria de David Ausubel sobre Termologia, que possibilite ao discente um ambiente de Aprendizagem Significativa. Dessa forma, um produto educacional em forma de livro eletrônico foi criado com uma oficina de construção de balões de ar quente. Estes são utilizados como organizador prévio para a ancoragem dos conceitos no assunto e possibilita ofertar atividades práticas, motivar e engajar os alunos para as aulas de Física. A aplicação aconteceu na Unidade Escolar Luís Teixeira, escola de rede pública do estado do Piauí, na cidade de Luzilândia. A população amostral foram três turmas de segundo ano do Ensino Médio Regular (média de 30 alunos por turma). Os resultados e discussões foram apresentadas em detalhes e o desenvolvimento de todas as atividades propostas na sequência didática: avaliação diagnóstica; abordagem teórica; resolução de problemas contextualizados; experimentos; trabalhos de pesquisa; oficina e as avaliações escritas. A análise qualitativa da aplicação do trabalho nos permitiram observar indícios de aprendizagem significativa como foi proposto. Por fim, apresentamos as considerações finais e nossas perspectivas do produto educacional e a publicação do livro eletrônico.

Palavras-chave: Aprendizagem Significativa. Sequência Didática. Termologia. Balões de Ar Quente. Ensino Remoto.

ABSTRACT

Currently, the methodology for teaching physics in high school is still strongly linked to the model established in basic education in the colonial period. This approach with the use of textbooks (massively mathematical and abstract), blackboard and chalk, resulting in a little significant and tedious learning compared to the teaching method of Ausubel. In this context, a methodology based on the theory of David Ausubel on Thermology was proposed. It allows the student an environment of Meaningful Learning. Thus, an educational product in the form of an electronic book was created together with a workshop for building hot air balloons. These are used as a previous organizer to anchor the concepts in the subject and make it possible to offer practical activities, motivate and engage students for physics classes. The application took place at the Luís Teixeira School Unit, a public school in the state of Piauí, in the city of Luzilândia. The sample population consisted of three classes in the second year of Regular High School (average of 30 students per class). The results and discussions were presented in detail and the development of all activities proposed in the didactic sequence: diagnostic evaluation; theoretical approach; solving contextualized problems; experiments; research papers; workshop and written assessments. The qualitative analysis of the application of the work allowed us to observe signs of significant learning as proposed. Finally, we present the final considerations and our perspectives on the educational product and electronic book publication.

Keywords: Significant Learning. Didactic Sequence. Thermology. Hot air Balloons.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – A "Passarola", um aeróstato primitivo concebido pelo Padre Bartholomeu Lourenço de Gusmão, Capelão do Rei de Portugal.	31
Figura 2 – Representação artística da experiência de Bartolomeu de Gusmão, em 8 de agosto de 1709 perante D. João V (Bernardino de Souza Pereira).	32
Figura 3 – Meu Brasil, o menor dos balões esféricos.	34
Figura 4 – Representação das partes que compõem um balão de ar quente.	35
Figura 5 – Representação ilustrada da temperatura uniforme dentro e fora do balão.	36
Figura 6 – Ao introduzir uma fonte de calor (chama) algumas partículas passam a ter uma temperatura mais elevada (partículas vermelhas).	37
Figura 7 – Esquematização do processo de aquecimento dentro de um balão, as partículas de maior temperatura começam a se espalhar, diminuindo a densidade dentro do balão.	37
Figura 8 – Diferença de temperatura entre a parte interna e externa do balão, neste estágio a temperatura dentro do balão está bem mais elevada que do lado de fora. O V indica o volume do corpo, C o centro geométrico, G o centro de gravidade e FB a força de empuxo.	38
Figura 9 – Após todo o gás dentro do balão ser aquecido a densidade do ar dentro do balão diminui consideravelmente, permitindo que o mesmo possa se deslocar para cima, por um dos processos de transferência de calor, a convecção.	38
Figura 10 – Aspecto do gráfico de variação de temperatura de dois materiais diferentes, até uma certa temperatura o material M aumenta mais rápido, após esse ponto diminui em relação ao material P	48
Figura 11 – Aspecto do gráfico mostrando que a platina até certo ponto dilata menos que M e depois dilata mais.	48
Figura 12 – Representação esquematizada de um calorímetro.	54
Figura 13 – Aspecto do gráfico de valores intermediários de temperatura para o caso de variar a massa de ferro.	55
Figura 14 – Aspecto do gráfico de temperatura linear para o caso da massa de ferro ser mantida constante.	56
Figura 15 – Modelo de um Calorímetro de Bunsen.	59
Figura 16 – Aspecto do gráfico do comportamento anômalo da água, onde a temperatura cai até $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ e depois começa a subir.	64

Figura 17 – Esquemática da propagação do calor por convecção, onde uma massa de água com maior temperatura sobe, deslocando um volume de água em menor temperatura para baixo.	66
Figura 18 – Exemplificação da condução térmica entre corpos em temperaturas diferentes conectados por um material homogêneo.....	66
Figura 19 – Aspecto do gráfico de condutividade térmica de dois materiais diferentes, mostrando que a temperatura muda mais rapidamente de um material para outro.	71
Figura 20 – Gráfico representando curvas isotermas, quanto mais afastada for a curva, maior sua temperatura.....	73
Figura 21 - Aspectos da tendência gráfica de uma transformação isobárica para um gás em baixa pressão e outro em alta pressão.....	74
Figura 22 – Aspectos do gráfico de uma transformação isocórica para um volume pequeno e para um grande volume.....	75
Figura 23 – Espiriteira à gás butano com válvula de regulação e um tubo de zinco 10 cm X 70 cm usado para condução do calor entre a espiriteira e o interior do balão.	83
Figura 24 – Soprador térmico (secador de cabelos).....	84
Figura 25 – Capa do livro: "Os meus balões" de Alberto Santos Dumont, parte integrante do acervo do Senado Federal do Brasil.	86
Figura 26 – Impressão do slide 2 da apresentação "introdução_a_termologia.ppt" disponível em: http://www.encurtador.com.br/lowIL	89
Figura 27 – Relação entre altitude e pressão para o ar "frio" (fora do balão) e o ar "quente" (dentro do balão). Na ilustração do balão podemos ver as diferenças de pressão na parte de cima e de baixo, o que cria um gradiente de pressão.	90
Figura 28 – Experimentando as sensações térmicas: Misturando água "quente" com água "fria". Após um certo tempo temos o equilíbrio térmico, se as quantidades forem proporcionais teremos água morna.....	91
Figura 29 – 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.).....	92
Figura 30 – Verificando experimentalmente a condutibilidade térmica.....	95
Figura 31 – Problema 1 – Exercício resolvido do livro didático.	96
Figura 32 – Impressão do vídeo de uma aluna realizando o experimento de condução térmica.	97

Figura 33 – Recorte do Impressão do slide 4 mostrando as magnitudes das forças gravitacional e de fluatibilidade.	98
Figura 34 – Esquema representando as mudanças de fases para elevar a temperatura de um bloco de gelo de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ até $120\text{ }^{\circ}\text{C}$	103
Figura 35 – Representação gráfica das mudanças de fase na elevação da temperatura do gelo de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ até $120\text{ }^{\circ}\text{C}$	104
Figura 36 – Impressão da playlist de Termologia com conteúdo do terceiro e quarto encontro.	105
Figura 37 – Etapa de colagem dos seis painéis, para acelerar a secagem, alguns alunos levaram os painéis para expor ao Sol.....	106
Figura 38 – Alunos dobrando os painéis ao meio e empilhando um sobre o outro.	107
Figura 39 – Alunas cortando os painéis após marcações feitos com o auxílio do professor.	107
Figura 40 – Diagrama de colagem dos painéis.	108
Figura 41 – Enchendo o balão para verificar se há vazamentos.	108
Figura 42 – Impressão do vídeo de dilatação linear.	109
Figura 43 – Perguntas sobre o experimento das lâminas bimetálicas.....	110
Figura 44 – Impressão do vídeo 1 (um) sobre o estudo dos gases.....	111
Figura 45 – Impressão do vídeo 1 (um) sobre o estudo dos gases.....	113
Figura 46 – Iniciando a última parte da aplicação do produto educacional.	114
Figura 47 – Testando os balões de ar quente.	115
Figura 48 – Composição com imagens de diversos balões sendo testados.	116
Figura 49 – Definição de calor de uma aluna do 2º ano “B”, turno manhã.	119
Figura 50 – Definição de temperatura de uma aluna do 2º ano “B”, turno manhã..	119
Figura 51 – Texto, recortado do livro didático adotado pela escola. Durante a discussão desse texto trouxemos o fato do norte do Piauí ser uma região extremamente quente (temperaturas que chegam a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$) e que quando usamos roupas escuras percebemos uma variação de temperatura maior do que quando usamos roupas claras.	123
Figura 52 – Verificando experimentalmente a condutibilidade térmica.....	125
Figura 53 – Respostas dos exercícios sobre escalas termométricas de uma aluno da turma do 2º ano “A”, turno manhã.	127

Figura 54 – Respostas dos exercícios de propagação do calor.	128
Figura 55 – Balão de ar quente feito de papel de seda. Esse balão é diferente do modelo que foi feito na oficina de construção de balões.	129
Figura 56 – Modelo de balão de papel de seda construído durante a oficina.	130
Figura 57 – Balões de ar quente feitos de papel de seda e plástico, respectivamente. Balões adaptados pelos alunos.	130
Figura 58 – Notas 1 e 2 e média bimestral da de alguns alunos do 2º ano "A", turno manhã. As notas destacadas não foram obtidas a partir das atividades relatados. As notas em vermelho foram atribuídas pelo sistema da Secretaria Estadual de Educação do Piauí.	132

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Coeficiente de dilatação térmica de alguns materiais.	62
Tabela 2 - Condutividade térmica de alguns materiais.	68

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA	22
2.1 Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel	22
2.1.1 Organizador prévio	24
2.2 Aprendizagem Significativa em Literatura	24
2.3 As características da aprendizagem significativa	25
2.4 Métodos de avaliação na aprendizagem significativa	26
3 OS BALÕES DE AR QUENTE E A COMPREENSÃO DA TERMOLOGIA	29
3.1 Balões de ar quente	29
3.1.1 A história dos balões de ar quente	29
3.1.1.1 A “Passarola” de Bartholomeu de Gusmão	30
3.1.1.2 O balão de ar quente de Bartholomeu de Gusmão	32
3.1.1.3 Os balões de ar quente pela Europa	33
3.1.1.3 Os meus balões – Alberto Santos Dumont.....	34
3.1.2 Como os balões voam? A física dos balões de ar quente.....	35
3.2 Compreendendo os conceitos da Termologia	39
3.2.1 A evolução dos conceitos de calor e temperatura	39
3.2.2 Conceito empírico de temperatura	42
3.2.3 Termômetro a gás e as escalas termométricas.....	49
3.2.4 Conceito empírico de calor	51
3.2.5 As leis da calorimetria	53
3.2.6 Calor de transformação e o calorímetro de gelo de Bunsen	58
3.2.7 Dilatação de corpos.....	61
3.2.8 Propagação do calor	65
3.2.9 Lei geral dos gases e suas aplicações	71
4 DESENVOLVIMENTO DA PROPOSTA	79
4.1 Idealização do produto educacional	79
4.1.1 Definindo os objetivos do produto educacional	80
4.1.2 Elaboração do produto educacional	80
4.1.2.1 Escolhendo o organizador prévio	81
4.1.2.2 Problemas enfrentados.....	82
4.1.2.3 Revisando a literatura – a história dos balões de ar quente	85

4.2 Aplicação do produto educacional.....	87
4.2.1 População amostral.....	87
4.2.2 Etapas da aplicação - Encontros.....	88
4.2.2.1 Primeiro encontro – Introdução a Termologia	88
4.2.2.2 Segundo encontro – Balões de ar quente e calor	93
4.2.2.3 Terceiro encontro – Convecção e radiação.....	97
4.2.2.4 Quarto encontro – Seminário e estudo dos estados físicos	101
4.2.2.5 Quinto encontro – Oficina e Dilatação térmica	105
4.2.2.6 Sexto encontro – Dilatação térmica e Estudo dos gases.	110
4.2.2.7 Sétimo encontro – Estudo dos gases.....	112
4.2.2.8 Oitavo encontro – Estudo dos gases e teste dos balões.....	114
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	118
5.1 Avaliação diagnóstica.....	118
5.2 Contexto histórico, textos e cotidiano	122
5.3 Atividades experimentais.....	124
5.3.1 Experimentando as percepções sensoriais	124
5.3.2 Comprovando a condutibilidade térmica	124
5.3.3 Experimentos das lâminas bimetálicas.....	126
5.3.4 Enchendo um balão com gás a partir de uma reação química.....	126
5.4 Problemas e exercícios propostos	126
5.5 Oficina de balões de ar quente.....	128
5.5 Avaliações escritas.....	131
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	134
REFERÊNCIAS.....	136
APÊNDICE A – Questionário pré-teste feito e coletado no Google forms	139
APÊNDICE B – Termo de consentimento de participação dos alunos	140
APÊNDICE C – Termo de consentimento da escola	141
APÊNDICE D – Produto Educacional	142
ANEXO A1 – Lista de exercícios do segundo encontro	143
ANEXO A2 – Lista de exercícios do terceiro encontro.....	145
ANEXO A3 – Lista de exercícios do quarto encontro	150
ANEXO A4 – Lista de exercícios do quinto encontro.....	152
ANEXO A5 – Lista de exercícios do sétimo encontro	154
ANEXO B1 – Questões da primeira prova escrita	156
ANEXO B2 – Questões da segunda prova escrita.....	161

1 INTRODUÇÃO

Neste trabalho tratamos do desenvolvimento e aplicação de um produto educacional, que versa sobre uma oficina de construção de balões de ar quente e uma sequência didática para o ensino dos conceitos de Termologia. Para apresentação optamos por montar um livro eletrônico (Apêndice D), contendo todos os elementos, necessários para a reprodução e aplicação das atividades propostas.

Ofereceremos aos professores de Física, em especial, do Ensino Médio, um produto educacional com um elemento motivador (balões de ar quente) que potencializa o engajamento dos alunos. Visando assim, uma aprendizagem significativa dos conceitos de Termologia.

Sendo que este foi fundamentado na Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel. Teoria, esta, bastante difundida por diversos autores, dentre eles: Joseph D. Novak, Marco Antônio Moreira e David H. Jonassen. Onde temos como características de um ambiente de aprendizagem que facilita a construção significativa do conhecimento aqueles em que se tem a possibilidade de “aprender de maneira ativa, construtiva, intencional, autêntica e colaborativa” (JONASSEN et al. 2007, p. 56).

Ausubel sugere que uma maneira de analisar se a aprendizagem significativa existiu é a de sugerir uma tarefa de aprendizagem ao aluno, em sequência, que dependa de outra, sendo que a compreensão da tarefa anterior seja necessária para executar a próxima. (AUSUBEL, 2000).

Esses aspectos da teoria de Ausubel são interessantes para o ensino dos conceitos básicos de Termologia, em especial, temperatura e calor. Na Termologia, lidamos com diversas grandezas físicas tais como: a energia interna e trabalho, diante disso, para que o discente entenda essas grandezas deve ter havido aprendizagem significativa de temperatura e calor.

Após aprender esses conceitos os alunos conseguirão compreender e relacionar diversos fenômenos do seu dia a dia com a Termologia. É o caso da aferição de temperatura, usada na pandemia da Covid-19, efetuada com um termômetro de infravermelho (em forma de pistola). Todo corpo possui energia interna e o corpo humano está propagando calor através da radiação térmica, essa radiação quando capturada pelo aparelho mostra um número (temperatura) que está

relacionado com o nível de agitação das partículas. Outra situação é o caso da variação no consumo de combustível dos automóveis quando usados em temperaturas diferentes (em uma temperatura mais elevada o consumo será menor).

A compreensão destes conceitos pode ser um grande desafio. Embora haja fórmulas que possam se mostrar fáceis, dependendo do domínio de competências matemáticas do aluno, na aplicação de princípios correlacionados às situações físicas diversas, pode ser problemático. Em particular, quando não são necessárias as contas, mas sim uma análise conceitual do fenômeno (exemplo: como os balões de ar quente voam?).

“Dentre as principais causas, podemos apontar o método como esse conteúdo é apresentado aos alunos. Muitas vezes, o ensino da Física acaba sendo puramente tradicional, isto é, com excessivas aulas expositivas, listas de exercícios e provas”. (GOBARA; GARCIA, 2007, p. 519).

Diante de uma necessidade de integração entre a teoria e a prática do ensino da sala de aula com o cotidiano dos discentes, a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel facilita o desenvolvimento e aplicação de uma sequência didática que pode tornar as aulas de Física mais atrativas e agradáveis. Com a participação efetiva dos alunos, estabelecemos 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).

Assim usamos a ideia do organizador prévio (oficina de construção de balões de ar quente) como suporte para ancorar os novos conceitos de Termologia, oferecidos em uma variedade de experiências e atividades práticas, de forma que esse organizador prévio se torne um subsunçor.

A elaboração da referida oficina considera alguns aspectos: primeiro, 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 foi o fato dos balões de ar quente serem objetos de estudo de Charles (1746) e Gay-Lussac (1788), quando esses enunciaram as leis dos gases, que levam seus nomes (BRITANNICA, 2021); e, outro aspecto, extremamente relevante, é a possibilidade do uso de materiais de baixo custo e de fácil obtenção, de tal modo que essa oficina pôde ser realizada com um custo médio

de R\$ 0,75 (setenta e cinco centavos) por aluno.

Seguindo a ideia de custos da oficina, os experimentos feitos em sala de aula e os que sugerimos aos alunos para realizarem em casa, foram organizados ou adaptados de forma que fossem possíveis de serem realizados. Esses experimentos são fáceis de montar ou executar. São acompanhados de uma lista de questionamentos com indagações que guiam o discente para compreensão dos fenômenos propostos.

Sua elaboração visa 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 numa sequência estruturada de atividades e de valiosas ferramentas de ensino, possa propiciar um ambiente de aprendizagem significativa. Despertando a atenção e contribuindo para a construção mais sólida de conceitos de Termologia, dado que os experimentos se caracterizam pela capacidade de motivação, melhorando o engajamento no conteúdo e, conseqüentemente, aguçando sua curiosidade e criatividade.

Ademais, a infraestrutura carente das escolas, no que diz respeito à laboratórios, gera uma grande deficiência para o ensino de Física. Desse modo, esta sequência didática permitirá que os professores possam desenvolver algumas atividades práticas por um custo acessível. Tem como norte a maximização do processo de ensino e aprendizagem, permitindo os discentes fazerem uma rede de conexões entre um objeto (balão de ar quente) e os conceitos de Termologia, com embasamentos científicos.

“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).

Buscando melhorar o ensino de Física em sala aula e/ou laboratório, os professores precisam entender e se conscientizarem de como o ensino e a aprendizagem está ocorrendo. Frederik e colaboradores defendem que:

“Os alunos precisam estar, constantemente, empenhados na construção de conceitos de Física ancorados ao método científico e alterar qualquer concepção prévia incorreta sobre como o mundo real funciona.” (FREDERIK; VAN DER VALK; LEITE; THOREN, 1999).

Ver-se como necessário que os discentes sejam desafiados e estimulados a romper os preconceitos, suas crenças equivocadas e certos eventos que se tornaram parte de como eles veem o mundo. “Como docentes nosso conhecimento conceitual abrange amplamente cognições individuais específicas, crenças, experiências e habilidades integradas no caráter.” (FREDERIK; VAN DER VALK; LEITE; THOREN, 1999).

Por exemplo, uma maneira dos estudantes processarem novas informações é definitivamente afetada pela configuração e o contexto social em que eles aprendem. Os alunos do século XXI adquirem conhecimentos de muitas maneiras, como por: “internet”, livro didático ou experimentalmente em laboratório. Como a informação cresce neste século, há uma necessidade não só para aprender os conceitos científicos básicos, mas também a tornar-se cada vez mais especializado.

Na graduação e durante o mestrado houve um despertar para o melhor entendimento conceitual da Física, onde foi plausível e perceptível tal agregação de conhecimentos dos fenômenos físicos em conceitos, teorias, contradições, etc., isso foi bem visível e em particular na Terminologia. As tarefas aparentemente simples revelaram-se com falhas para concretização do entendimento científico de alguns conteúdos, ou seja, muitos são as vítimas desses equívocos e tendências ao erro.

Com tudo isso revela-se que a Física não é e nunca será uma mera disciplina robusta de cálculos, mas que se substancia de diversos fenômenos que podem ser elencados e abordados de forma dinâmica e adequada conceitualmente. Em suma, é essencial e imprescindível conhecer de maneira apropriada a física, realizando quebra de paradigmas equivocados e refletindo, motivando e contribuindo para um maior interesse para o estudo dessa referida ciência, valorizando-a com mais entusiasmo. Neste caso, fenômenos físicos ainda que relativamente simples, poderão revelar problemas sérios e questionamentos diversos para concretização dos conteúdos para os alunos.

“O mal-entendido dos alunos sobre conceitos termodinâmicos básicos é analisado em bases históricas. A persistência de algumas ideias do modelo

calórico é reforçada por nomes de magnitudes e definições de unidades que foram levantadas nos estágios iniciais do desenvolvimento termodinâmico. A falha de muitos livros populares em fazer uma distinção clara entre energia interna e calor também é explorada e relacionada às dificuldades de aprendizagem dos alunos.” (COTIGNOLA; BORDOGNA; PUNTE, 2002).

A motivação para desenvolver este trabalho surge de um interesse natural em conceitos de Termologia e das experiências positivas obtidas com a aplicação da metodologia de aprendizagem significativa de David Ausubel. A exemplo dos métodos de avaliação, incorporados na teoria por Joseph D. Novak, onde o autor sugere a aplicação de diversos métodos para medir a aprendizagem. Isso se faz necessário visto que o ensino desse conteúdo é diversificado.

Neste trabalho são propostas várias formas introduzir esses assuntos: realizar um apanhado histórico, definir empiricamente determinado conceito, contextualização com o cotidiano e experimentos. Então, para conseguir medir a aprendizagem, não se deve usar de uma única ferramenta, por exemplo, para verificar a aprendizagem de um experimento usaremos um método avaliativo mais qualitativo. Já no caso de uma lista de exercícios, podemos optar por uma ferramenta quantitativa.

Visando atingir este objetivo, este trabalho será dividido em quatro partes, cada uma das quais tem seus próprios objetivos. Estes objetivos são os seguintes:

- I. Descobrir e descrever os conhecimentos prévios dos alunos e o raciocínio relacionado aos conceitos de Termologia;
- II. Discutir com os alunos, através de aula expositiva, os conceitos de Termologia, enfatizando os aspectos históricos e todo o processo de construção desses conceitos, bem como abordar os equívocos e informações imprecisas, efetuando as devidas correções.
- III. Desenvolver uma oficina de construção de balões de ar quente, onde os discentes poderão aprender sobre a física dos balões e relacionar os conceitos de Termologia com o voo dos balões;
- IV. Avaliar os resultados da aplicação do produto educacional, através de diversas ferramentas: participação, interação, questionários, avaliação escrita, etc.

Os itens I e II dos objetivos são formulados para avaliar a necessidade de ensinar, o que deve ser melhorado e o que precisa ser corrigido nas concepções dos

alunos. Os resultados relacionados a esses objetivos, combinados com resultados de pesquisas anteriores, é que guia o grau de intervenção de ensino através da oficina de construção de balões de ar quente (objetivo III), que visa melhor compreensão conceitual dos mesmos. Enquanto, o objetivo IV aborda as concepções dos alunos durante e após a intervenção de modo que o impacto da intervenção possa ser avaliado.

O capítulo número um foi dedicado à introdução. Já o capítulo dois apresentamos a fundamentação teórica que dá sustentação a esse trabalho, nesse caso a Teoria de Aprendizagem Significativa de David Ausubel, uma revisão de literatura relacionada aos métodos avaliativos dessa teoria de ensino e as sequências didáticas. No capítulo três tratamos da parte da Física envolvida, bem como da física dos balões de ar quente. O capítulo quatro descreve desenvolvimento do produto educacional e sua aplicação, o contexto em que foi trabalhado e a organização da sequência didática. No capítulo cinco realizamos uma discussão e análise dos resultados. Encerramos com o capítulo seis, onde efetuamos nossas considerações finais e uma síntese do que foi descrito ao longo texto.

2 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Neste capítulo realizaremos uma descrição da Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, pontuações sobre alguns teóricos relacionados a essa teoria e uma abordagem sobre os métodos de avaliação usados na aprendizagem significativa.

2.1 Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel

“Para manipular deliberadamente a estrutura cognitiva, a fim de minimizar obstáculos cognitivos, são utilizados materiais introdutórios apropriadamente relevantes e inclusivos (os organizadores) que são extremamente claros e estáveis. Esses organizadores são introduzidos antes do mesmo material de aprendizagem e em um nível mais alto de abstração, generalidade e abrangência... A função do organizador é fornecer uma estrutura conceitual para incorporação e fixação estáveis do material mais detalhado e diferenciado que vem do novo aprendizado e aumenta a discriminação entre esse último material e ideias semelhantes e claramente contrastantes da estrutura cognitiva.” (AUSUBEL, 1987).

O texto foi retirado do clássico de David Ausubel: “Educação e processos cognitivos”, desenvolvido em um momento em que, especialmente, nos Estados Unidos, foram aplicadas teorias comportamentais, com base em modelos psicológicos que não podiam elaborar hipóteses sobre o pensamento. Elas só podiam racionalizar os resultados objetivos em testes e experimentos, como aqueles sobre comportamento observável em ratos que buscam uma saída do labirinto. Muitos pesquisadores concordam com a utilidade didática dos organizadores prévios, resultante também de verificações experimentais.

David Ausubel define as categorias de aprendizado em quantitativo e qualitativo, entendidos como a quantidade e a qualidade das aquisições lógicas que determinam os pré-requisitos, um fator que cada professor deve considerar principalmente, porque é considerado o mais importante para a influência do aprendizado. Portanto, determina uma taxonomia que identifica as tipologias da mais simples à mais complexa, classificando-as em:

- ✓ Aprendendo para recepção mecânica (por exemplo: aprendendo um poema de cor e adquirindo informações de fora);

- ✓ Aprendizagem por descoberta mecânica (por exemplo: descoberta de conceitos elementares através da intuição);
- ✓ Aprendizado para recepção de um tipo significativo (por exemplo: aprendizado escolar, em que o aluno percebe a importância dos conceitos sem possuir domínio sobre o assunto).

Aprendizagem por descoberta de um tipo significativo (intuição intelectual por parte do aluno que lhe permite chegar a soluções inovadoras). Um aspecto que podemos destacar é que a ênfase de Ausubel se dá na aquisição, no armazenamento e na organização das ideias no cérebro do indivíduo.

Para aprender de maneira significativa, os indivíduos devem conseguir vincular as novas informações aos conceitos e proposições relevantes já existentes. O conhecimento ocorre através da elaboração do significado: o aluno atribui um significado psicológico ao material de aprendizagem. Que é seu!

No aprendizado mecânico, por outro lado, o conteúdo já está definido em seu significado e o aluno precisa apenas imprimi-lo em sua mente. Outra distinção fundamental colocada pelo autor é entre aprender para receber e aprender para descobrir (AUSUBEL, 2000).

Aprendizagem significativa é a categoria de aprendizagem que permite compreender o conhecimento, permitindo a integração de novas informações com as que já existem e o uso em diferentes contextos e situações, desenvolvendo habilidades de resolução de problemas, pensando crítica, meta-reflexão e transformação do conhecimento em habilidades reais.

Segundo a pedagogia contemporânea, a aprendizagem significativa, baseada em teorias construtivistas, tem como principal objetivo tornar o sujeito autônomo em seus próprios caminhos cognitivos. É diametralmente oposta ao aprendizado mecânico que usa a memorização para produzir conhecimento “inerte”.

No aprendizado mecânico, baseado em teorias comportamentais, a recepção da informação é transmitida pelo professor, a informação é final, abstrata e genérica e não pode ser modificada pelo aprendiz para integrá-la a informações anteriores ou negociar socialmente seu significado.

Para ter uma aprendizagem significativa, o conhecimento deve:

- ✓ Ser produto de uma construção ativa do sujeito;
- ✓ Está, intimamente, ligado à situação concreta em que a aprendizagem ocorre;
- ✓ Ter nascido da colaboração social e da comunicação interpessoal.

2.1.1 Organizador prévio

Às vezes nos deparamos com situações onde o aluno não tem os subsunçores adequados ou é necessário trabalhar com um grupo grande de sujeitos, onde os subsunçores são variados, impossibilitando um trabalho individualizado. Nesse caso o que poderia servir como base para ancorar novos conhecimentos? Nessa situação, precisamos criar um subsunçor e Ausubel propõe outro conceito que é muito importante na origem dos subsunçores, que o de organizadores prévios.

“Organizador prévio é um recurso instrucional apresentado em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade em relação ao material de aprendizagem. Não é uma visão geral, um sumário ou um resumo que geralmente estão no mesmo nível de abstração do material a ser aprendido.” (MOREIRA, 2012, p.11).

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. Que sirvam de âncora e levem a construção de subsunçores subsequentes (AUSUBEL, 2000).

Nesse trabalho propomos empregar o uso dos balões de ar quente nesse contexto, como um organizador prévio, que ao ser trabalhado possa se tornar algo relevante na estrutura cognitiva dos indivíduos, tornando-se um subsunçor.

2.2 Aprendizagem Significativa em Literatura

Muitos autores têm sido cognitivistas e construtivistas em suas relações com a aprendizagem significativa.

Carl Rogers coloca a motivação para aprender e a necessidade de o professor reconsiderar seu papel no centro da aprendizagem significativa, tomando o cuidado de facilitar a aprendizagem através do envolvimento e motivação do aluno; é

necessário, de fato, que o aluno seja confrontado com um problema que considerou real (ROGERS, 1986).

Ausubel, na década de 1960, identifica aprendizado significativo e aprendizado mecânico (memorização) como os extremos de um contínuo. Também elabora o conceito de aprendizagem significativa, deslocando a atenção dos métodos de ensino para as condições que o tornam possível. O que uma pessoa consegue construir está, de fato, relacionado aos métodos de ensino oferecidos a ela ou às estratégias que ela mesma adota (AUSUBEL, 1968).

Novak define a metodologia de mapas conceituais como uma ferramenta para gerar aprendizado significativo. Para aprender, segue-se o processo de formação e criação de conhecimento, com um método que se refere à estrutura do conhecimento humano (NOVAK, 2000).

Jonassen reconhece uma pluralidade de fatores importantes (contextuais, sociais, metodológicos e instrumentais) para gerar aprendizado significativo: “também será possível fazer as pessoas aprenderem o que queremos, mas no futuro elas se lembrarão e usarão apenas o que lhes faz sentido”. Também desenvolve uma abordagem didática baseada em tecnologias e no conceito de aprendizagem significativa e intencional (JONASSEN, 2007).

2.3 As características da aprendizagem significativa

As características de um ambiente de aprendizagem que facilita a construção significativa do conhecimento são aquelas em que se tem a possibilidade de “aprender de maneira ativa, construtiva, intencional, autêntica e colaborativa” (JONASSEN et al. 2007, p. 56).

- ✓ É ATIVO: requer um esforço concreto do aprendiz na construção de seu conhecimento em contextos significativos através da manipulação de objetos, observação e interpretação dos resultados de suas intervenções. Dessa maneira, o princípio de “aprender fazendo” é verificado.
- ✓ É CONSTRUTIVO: requer que você articule o que foi realizado e reflita sobre suas atividades e observações. Novos conhecimentos criam discrepâncias

entre o que é observado e o que é entendido. É isso que permite que os alunos avancem integrando conhecimentos antigos com novos.

- ✓ É COOPERATIVO: fornece uma dimensão de conversação e colaboração para promover a compreensão, que ocorre sempre através de confronto, intercâmbio, diálogo e negociação com outras pessoas.
- ✓ É AUTÊNTICO: porque é caracterizado pela complexidade e é fortemente contextualizado. É baseado em problemas complexos da realidade para incentivar o envolvimento prático dos alunos em contextos concretos.
- ✓ É INTENCIONAL: é o aluno que se justifica ao compromisso de buscar e atingir uma meta (meta direcionada). É tarefa do professor criar a motivação para o comprometimento e conseqüente aprendizado.

2.4 Métodos de avaliação na aprendizagem significativa

Gilmar Ferreira de Aquino Filho, Jonatas Teixeira Machado e Luiz Henrique Amaral (2015), argumentam que:

“O professor ao ensinar apresenta aos alunos os significados que foram aceitos por um grupo de pessoas, num certo período da história humana e que constituem os conhecimentos tidos como válidos, num determinado contexto”. (FILHO; MACHADO; AMARAL, 2015).

De início a Teoria da Aprendizagem Significativa não tratava da avaliação, ela surge com Novak (1980) que a coloca na teoria como um dos elementos do ensino e 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.

Para considerarmos a aprendizagem como significativa deve ser possível transferi-la para outras aprendizagens. Como é o caso proposto nesse trabalho, onde lidamos com o ensino dos conceitos de Termologia sendo necessário que o aluno consiga relacioná-los com outros conceitos e diversos fenômenos. Tal relação pode ser observada no capítulo três onde tratamos da construção desses conceitos.

Gilmar Ferreira de Aquino Filho, Jonatas Teixeira Machado e Luiz Henrique Amaral afirmam, ainda, que “a avaliação da aprendizagem requer evidências de aprendizagem significativa. O ensino, o currículo e o conteúdo devem ser avaliados” (FILHO; MACHADO; AMARAL, 2015).

Novak afirma que “Mapas Conceituais e diagramas “V” podem ser efetivos instrumentos de avaliação da aprendizagem” (NOVAK, 1998).

Novak (1998) tem a avaliação do ensino e aprendizagem como uma ferramenta crucial e defende que mapas conceituais sejam usados na avaliação do discente, mas ressalta, que essa ferramenta não seja a única, pois a aprendizagem do ser humano apresenta uma realidade de dimensões plurais. O próprio ensino da Física, em particular, da Termologia exige que o professor aborde de várias vertentes os conteúdos (teoria, a parte histórica, aulas práticas, etc.), dessa forma, cada abordagem deve ser avaliada de maneira diferente.

Barreto e Nádia (2014) dizem que “para a aprendizagem ser considerada substantiva, o que tiver sido aprendido desta forma pelo indivíduo, este conseguirá explicá-lo com as suas próprias palavras” (BARRETO; NÁDIA, 2014).

Novak (1998) sugere que a preocupação central relacionada à avaliação da aprendizagem cognitiva. Esta deveria estar ligada quanto à capacidade que a ferramenta tem para avaliar os blocos conceituais e proposicionais que o indivíduo possui ou até onde podemos dizer que o conhecimento foi aprendido de maneira substantiva ou não arbitrária, sendo o caso da aprendizagem significativa (NOVAK, 1998, p. 182).

Para Ausubel (2000), “a melhor maneira de evitar a simulação da aprendizagem significativa é formular questões e problemas de uma maneira nova e não familiar que requeira máxima transformação do conhecimento adquirido” (AUSUBEL, 2000).

Para ele, testes de compreensão devem, no mínimo, ser escritos de maneira diferente e apresentados em um contexto, de certa forma, diferente daquele, originalmente, encontrado no material instrucional.

Segundo Ausubel, outra maneira de analisar se a aprendizagem significativa existiu é a de sugerir uma tarefa de aprendizagem ao aluno, em sequência, que dependa de outra. Sendo que a compreensão da tarefa anterior seja necessária para executar a próxima. O que é o caso do produto educacional descrito no capítulo quatro (uma sequência didática para o ensino de conceitos de Termologia com o auxílio dos balões de ar quente), portanto, o que se está fazendo aqui é avaliando a aprendizagem significativa da tarefa anterior.

“A avaliação da aprendizagem significativa deve buscar evidências, pois essa aprendizagem é em espiral, não linear, e acontece na zona cinza do contínuo,

aprendizagem mecânica x aprendizagem significativa. Esta é a zona do erro e este deve ser aproveitado, ao invés de ser, simplesmente, punido, porque é normal utilizar o erro para aprender. Fazemos isso, constantemente, mas na escola a aprendizagem pelo erro não elevada em conta”. (FILHO; MACHADO; AMARAL, 2015).

Conforme os autores as situações novas tem sua importância, porém deve ser sugerida de maneira gradual. Essas primeiras situações são as que dão sentido aos conceitos, portanto, devem ser baseadas no entorno do aluno (FILHO; MACHADO; AMARAL, 2015).

Seguindo deste ponto, as demais situações deverão ser sugeridas em grau crescente de dificuldade, de modo que se chegue, em casos abstratos, totalmente fora do contexto do discente, ou seja, no início, tudo deve ser contextualizado e, progressivamente, faz-se uma descontextualização.

Afinal o objetivo de ensinar é tirar o aluno de onde ele está e apresentar-lhes novas possibilidades. De acordo com Moreira (2015), na prática, é melhor que proceda a avaliação como:

“Busca de evidências (a aprendizagem significativa é progressiva, não linear); trabalhar na zona cinza do contínuo aprendizagem mecânica – aprendizagem significativa. Recursividade (permitir ao aluno refazer as atividades avaliativas, aproveitar o erro). Situações novas introduzidas progressivamente (o aluno não está acostumado a lidar com situações novas).” (MOREIRA, 2015).

Moreira, ainda, diz que na avaliação da aprendizagem significativa não podemos considerar, somente o aspecto somativo (nota final); devemos, também, tratar do fator formativo (durante o processo) e do aspecto recursivo onde podemos aproveitar os erros, dando a possibilidade de o aluno refazer as tarefas de aprendizagem (MOREIRA, 2015).

Fazer uma avaliação baseando-se apenas nas respostas corretas propostas com as ferramentas de medida é comportamentalista. Medir não é sinônimo de avaliar.

3 OS BALÕES DE AR QUENTE E A COMPREENSÃO DA TERMOLOGIA

Neste capítulo faremos um apanhado da história dos balões de ar quente e o seu papel no desenvolvimento de alguns trabalhos ligados a Termologia, como os experimentos de Charles e Gay-Lussac no século XVIII. Descreveremos a física envolvida nos voos dos balões e trataremos, detalhadamente, os principais conceitos físicos usados nesse trabalho.

3.1 Balões de ar quente

Muitas pessoas descrevem voar em um balão de ar quente como uma das atividades mais serenas e agradáveis que já experimentaram. Os balões de ar quente são baseados em princípios básicos de Termologia, dentre os quais podemos dizer: o ar mais quente sobe no ar mais frio. Essencialmente, o ar quente é mais leve que o ar frio, porque possui menos massa por unidade de volume. Um metro cúbico de ar pesa, cerca de, 1,3 kg. Se você aquecer esse ar a 38 °C, pesa, cerca de, 325 gramas a menos. Portanto, cada metro cúbico de ar contido em um balão de ar quente pode levantar, cerca de, 325 gramas. 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 uns 3000 metros cúbicos de ar quente.

Procuramos, nesse tópico, elaborar um levantamento histórico sobre os balões de ar quente e mostrar os principais conceitos de Termologia envolvidos na física dos balões e como correlacioná-los com a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel.

3.1.1 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 o militar Zhuge Liang (181 – 234), 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 interior do balão.

Os registros históricos, conforme os relatos tradicionais, o objetivo militar dos balões, que eram lançados durante 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).

Seguiremos uma ordem cronológica para relatar os principais acontecimentos na história dos balões.

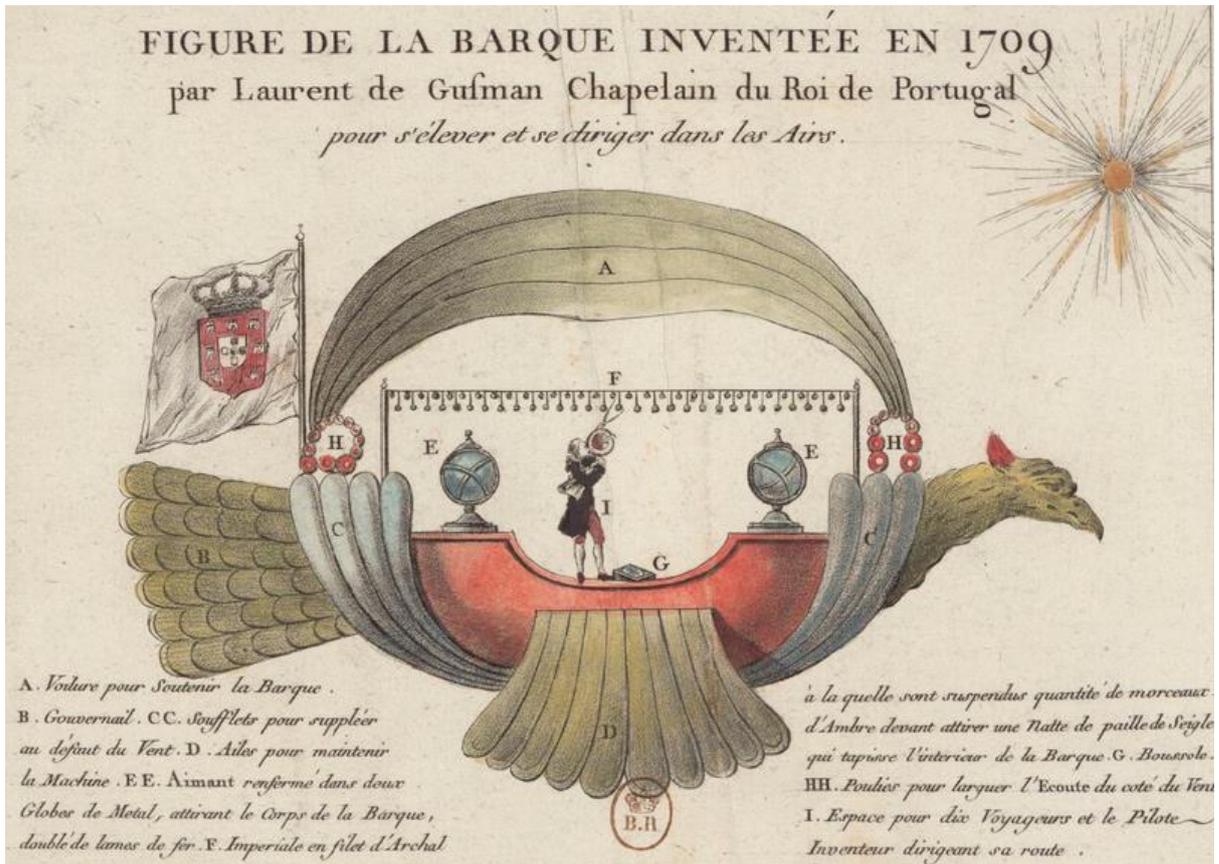
Iniciamos falando de um brasileiro, Bartholomeu Lourenço de Gusmão (1685 – 1724), um padre jesuíta, nascido no Brasil. A contribuição de Bartholomeu de Gusmão possui dois pontos relevante e cheio de conflitos. De fato, existem documento mostrando um veículo aéreo projetado por Gusmão intitulado “Passarola”, porém uma análise física do projeto mostra que é, totalmente, inviável. No entanto, há documentação mostrando que foram feitas demonstrações públicas de um balão de ar quente no início do século XVIII.

3.1.1.1 A “Passarola” de Bartholomeu de Gusmão

Erivelton Alves Bizerra relata que “a primeira notícia impressa sobre os experimentos de Gusmão foi publica em 1759, na obra Raridades da natureza e da arte, de Pedro Norberto de Aucourt e Padilha. Após se referir a algumas tentativas antigas de voar, ele comentou: “O padre Bartholomeu Lourenço de Gusmão trabalhou no mesmo projecto e com efeito em huma máquina de papelam se elevou na presença do Senhor Rey D. Joam V”. Não havia mais detalhes nessa fonte”. (BIZERRA, 2008).

Na figura 01 temos o desenho da “Passarola” de Gusmão, publicada em 1774 em Portugal, cujo título diz: “Maquina aerostática que pela primeira vez se vio na Europa, inventada pelo celebre Bartholomeu Lourenço, por antonomásia o Voador, Irman do insigne Alexandre de Gusmão. Lançada ao ar no Castello de S. Jorge de Lisboa; donde o author desceo nella ao Terreiro do Paço em 20 de Abril de 1709”.

Figura 1 – A "Passarola", um aeróstato primitivo concebido pelo Padre Bartholomeu Lourenço de Gusmão, Capelão do Rei de Portugal.



Fonte: Bibliothèque nationale de France. Link:
<https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b85095492.r=portugal.langPT>

A tradução da descrição, impressa na imagem, sugere que as duas esferas representadas pelo E seriam responsáveis pela flutuabilidade (magnética) dessa embarcação aérea.

E – “Apontam as figuras esféricas, em que está o seguro atrativo; são feitas de metal: servem de cobertura para se não corromper a pedra de cevar, que por dentro do pé, que é oco, atrairá si continuamente a barca, cujo corpo é de madeira forrado de chapas de ferro, e pela parte inferior forrada de estreitas tábuas de palha de centeio para comodidade da gente, que levará até dez homens, e com seu inventor, onze” (NAPOLEÃO & LACOMBE, op. Cit., p. 79).

A descrição desse aparelho mostra que o mesmo jamais poderia voar, fosse por atração magnética, o que violaria a lei de ação e reação, de Newton ou por qualquer gás que houvesse nas esferas, visto que o volume era muito pequeno.

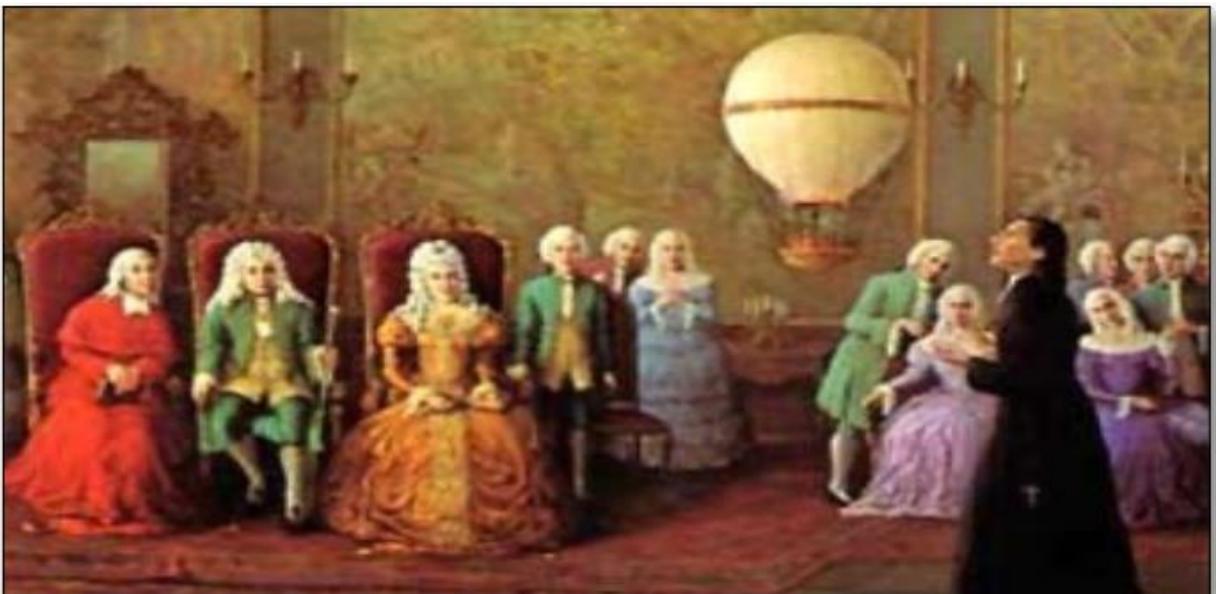
3.1.1.2 O balão de ar quente de Bartholomeu de Gusmão

Diversos documentos do século XVIII descrevem experimentos realizados por Gusmão, em Lisboa. Como mostra um relato de Manuel Bezerra Barreto Reale:

“1º – Em 3 de agosto de 1709, quis fazer exame ou experiência, do invento de voar – para isso foi à casa que fica debaixo das embaixadas, na Sala de Audiências – que não surtiu efeito, sem que o balão se elevasse;
 2º – Em 5 de agosto de 1709, na Sala das Embaixadas, com um meio globo de madeira delgado, e dentro trazia um globo de papel grosso, mantendo-lhe no fundo uma tigela com fogo material; o qual subiu 20 palmos e como o fogo ia bem aceso, começou a arder o papel subindo, sendo destruído pelos criados da Casa Real, receosos da propagação de um incêndio, assistindo a tudo Sua Majestade com toda a Casa Real e várias pessoas;
 3º – Em 8 de agosto de 1709, no pátio da Casa da Índia diante de Sua Majestade e com muita fidalguia seu balão subiu suavemente à altura da sala das embaixadas e, do mesmo modo, desceu suavemente, caindo no Terreiro do Paço;
 4º – Em 3 de outubro de 1709, no pátio da Casa da Índia, com o instrumento de voar que tendo subido a bastante altura, desceu em seguida sem problema”. (MANUEL BEZERRA BARRETO REALE, 2009).

Muitas homenagens foram feitas a Bartholomeu de Gusmão, como um monumento e um dos candelabros, na Praça Rui Barbosa, em Santos. Assim como uma pintura (figura 2) exposta no Museu Paulista.

Figura 2 – Representação artística da experiência de Bartolomeu de Gusmão, em 8 de agosto de 1709 perante D. João V (Bernardino de Souza Pereira).



Fonte: Coleção do Museu Paulista.

3.1.1.3 Os balões de ar quente pela Europa

Ainda no século XVIII vários outros cientistas e inventores tentaram conseguir o grande feito de voar, como mostraremos em relatos da “Virgin Balloon Flights”, uma das maiores empresas de balonismo profissional do mundo:

- “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 24 milhas em Hertfordshire. Ele se tornou famoso e ajuda 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 15.781m em uma cabine de metal transportada por um balão de gás hidrogênio. No ano seguinte, ele alcançou 16.507m.
- 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.
- 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 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 em pouco menos de 11 dias”. (VIRGIN BALLOON FLIGHTS, 2021).

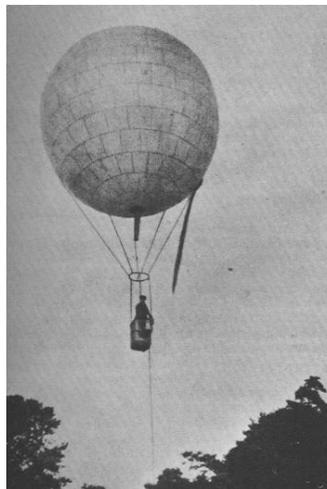
3.1.1.3 Os meus balões – Alberto Santos Dumont

Abrimos esse tópico para descrevermos a participação de outro brasileiro, o aeronauta e inventor, Alberto Santos Dumont. No livro “Os meus balões”, Santos Dumont utiliza abundantemente diversos conceitos físicos, assim como o conhecimento das várias experiências já realizadas na área dos balões, como podemos observar na seguinte passagem:

“O velho sorriu, e sentenciou convicto: – O que sonha é impossível... – O grande balão que você idealiza existe já desde 1783. Infelizmente, porém, posto que capaz de levantar um ou mais homens, não pode ser dirigido. Está à mercê do mais leve sopro da brisa. Em 1852, um engenheiro francês chamado Giffard experimentou uma derrota gloriosa com a sua tentativa de balão dirigível munido de um motor e de um propulsor”. (ALBERTO SANTOS DUMONT, 2016, p. 22-23).

Coube ao brasileiro Santos Dumont solucionar o problema da dirigibilidade dos balões. Foi no ano de 1898 que começou a dedicar-se ao balonismo. Em 23 de maio desse ano ele realizou seu primeiro voo em um balão e continuou fazendo vários voos no mesmo ano. Ainda, nesse ano ele mandou construir um balão que o chamou “Brasil” (figura 3). No mesmo ano ele construiu seu primeiro dirigível.

Figura 3 – Meu Brasil, o menor dos balões esféricos. Foi o primeiro balão de Santos-Dumont.



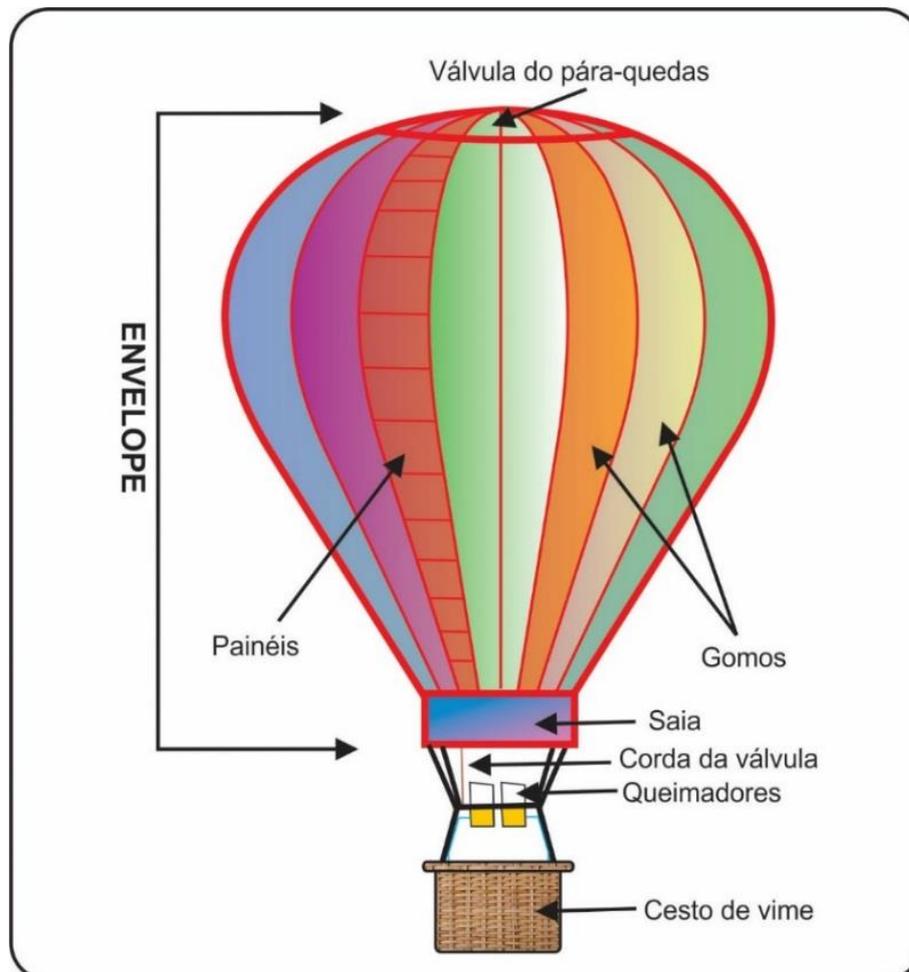
Fonte: Os meus balões - Alberto Santos Dumont, 2016, p. 48.

3.1.2 Como os balões voam? A física dos balões de ar quente.

Os balões de ar quente flutuam devido ao ar aquecido no interior do envelope ter uma densidade menor do que o ar mais frio do lado de fora. Da mesma maneira que um barco é sustentado pela água no oceano, é o ar frio sustentando um balão de ar quente, ou seja, nesse processo temos um conceito físico envolvido, o empuxo, que na área de balonismo, é comumente chamado flutuabilidade.

A operação de um balão de ar quente requer conhecimento e habilidade especializados. Um piloto deve ter uma compreensão das direções do vento em uma altitude diferente, pois o único método para dirigir é capturando esses ventos direcionais. Ao controlar a quantidade de ar quente no balão, um piloto pode mudar a direção vertical para cima ou para baixo. Na figura 4 temos uma ilustração que mostra as principais partes de um balão de ar quente.

Figura 4 – Representação das partes que compõem um balão de ar quente.

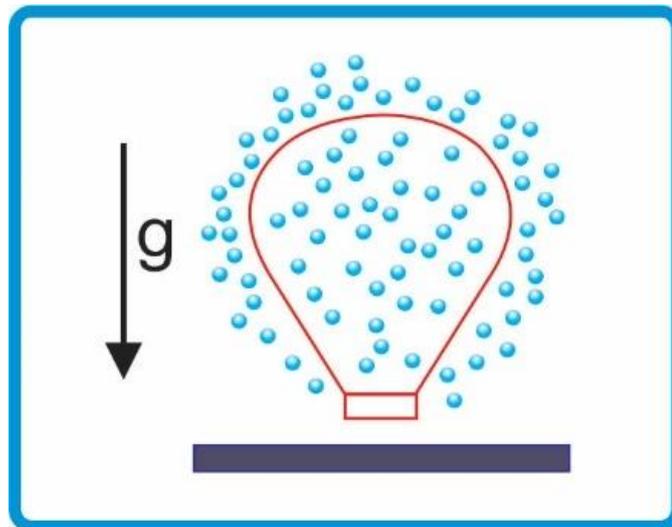


Fonte: O Autor (2021).

Para que a embarcação seja movida para cima, o piloto aciona um queimador de gás propano e pode alterar a velocidade da subida controlando a força da chama. No topo do balão está uma aba auto selante que pode ser controlada pelo piloto por um longo acorde. Esse mecanismo permite que o piloto deixe o ar quente escapar a uma velocidade constante para diminuir a subida ou fazer com que o balão comece a descer de volta para o chão. Ao mover o balão para cima e para baixo, é possível que o piloto pegue ventos diferentes se movendo em direções diferentes para navegar pelos céus.

Usaremos um modelo simples de balão de ar quente para entender a física do seu voo. Um dos conceitos fundamentais da Termologia, a temperatura, está diretamente relacionada com o voo dos balões de ar quente. Na figura 5 temos uma situação de temperatura uniforme. Sem chama, as moléculas de ar dentro e fora do envelope têm a mesma temperatura. Dessa forma o balão permanecerá na superfície.

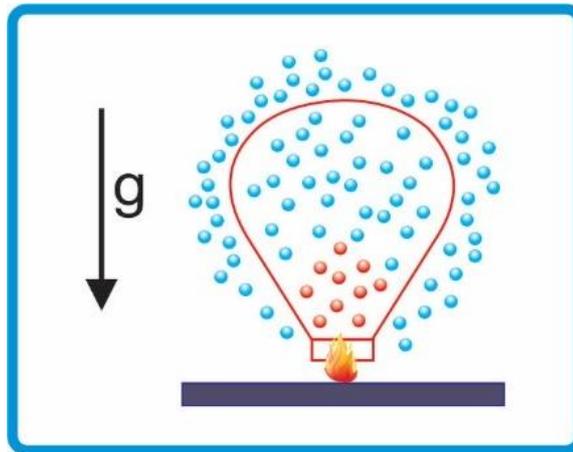
Figura 5 – Representação ilustrada da temperatura uniforme dentro e fora do balão.



Fonte: O Autor (2021).

Já na figura 6 ilustramos o processo de adição de uma fonte de calor, sendo que esse é outro conceito que estudamos na área de física térmica e que, também, se relaciona com o voo dos balões de ar quente. Quando o queimador é aceso no envelope, a energia térmica extraída do combustível é transferida na forma de calor para as moléculas de ar no interior do balão.

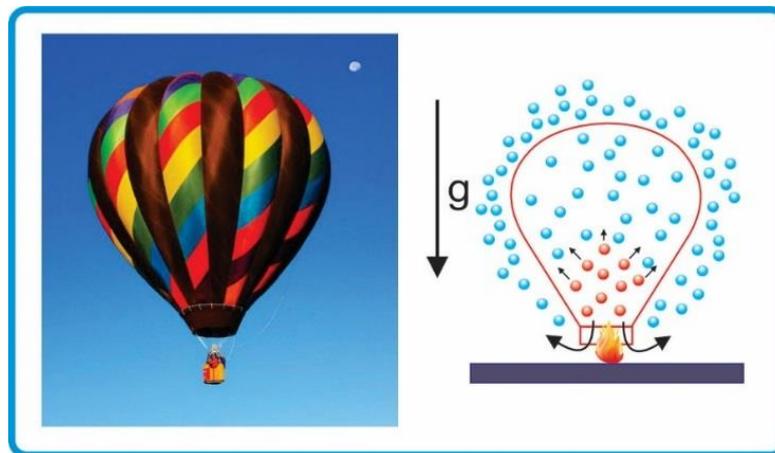
Figura 6 – Ao introduzir uma fonte de calor (chama) algumas partículas passam a ter uma temperatura mais elevada (partículas vermelhas).



Fonte: O Autor (2021).

A figura 7 mostra as moléculas de ar quente se espalhando rapidamente, deslocando as moléculas de ar frio que são: aquecidas ou ejetadas, diminuindo, assim, sua quantidade no interior do balão.

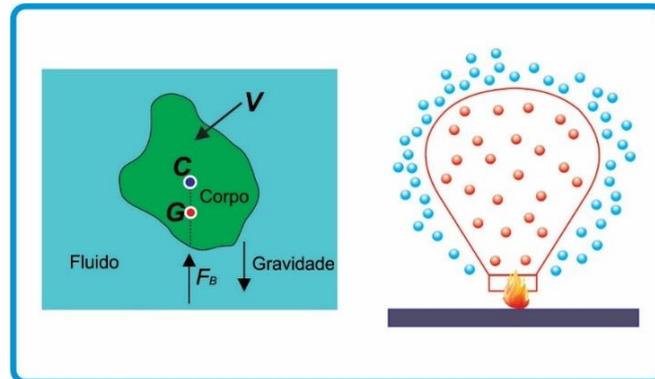
Figura 7 – Esquemática do processo de aquecimento dentro de um balão, as partículas de maior temperatura começam a se espalhar, diminuindo a densidade dentro do balão.



Fonte: O Autor (2021).

Após algum tempo a temperatura do ar no balão aumenta, criando uma pressão maior no interior do balão, visto que a energia cinética aumenta. A figura 8 mostra esquematicamente essa diferença de temperaturas e a atuação das forças de gravidade e flutuabilidade (empuxo). O fato do balão ser aberto na parte de baixo e fechado na parte de cima cria um gradiente de pressão.

Figura 8 - Diferença de temperatura entre a parte interna e externa do balão, neste estágio a temperatura dentro do balão está bem mais elevada que do lado de fora. O V indica o volume do corpo, C o centro geométrico, G o centro de gravidade e F_B a força de empuxo.

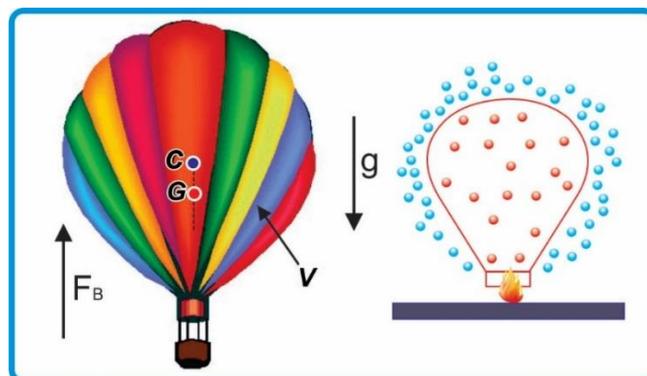


Fonte: O Autor (2021).

O balão permanece no plano quando a pressão no balão é igual à pressão externa (a pressão é definida como a força por unidade de área em uma superfície). Quando o ar no balão é aquecido, a velocidade do movimento dessas moléculas de ar aumenta e a pressão aumenta. As moléculas de ar “frio” são empurradas para fora do balão pelo volume crescente de ar quente. Após um certo tempo, teremos apenas moléculas aquecidas no balão. Depois de um tempo, o balão está completamente expandido e o voo está pronto para decolar.

O aumento da temperatura (nível de agitação das moléculas) causa a expansão do ar no balão, isso significa uma menor densidade, como pode ser observado na figura 9, o ar quente menos denso que o ar frio infla o balão e, pelo processo de convecção, faz com que ele suba.

Figura 9 – Após todo o gás dentro do balão ser aquecido a densidade do ar dentro do balão diminui consideravelmente, permitindo que o mesmo possa se deslocar para cima, por um dos processos de transferência de calor, a convecção.



Fonte: O Autor (2021).

Perceba que no voo dos balões de ar quente lidamos com os principais conceitos de Termologia, tais como: temperatura, calor, energia térmica, densidade e propagação do calor. Portanto, de certa maneira, podemos relacionar de forma prática os estudos da Termologia usando os balões de ar quente como um organizador prévio (objeto motivacional).

3.2 Compreendendo os conceitos da Termologia

“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”. (TIPLER, 2014, p. 571).

A Termologia, conforme a etimologia clara da palavra, é a “ciência do calor”. Essa definição implica um campo de estudo muito 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 energia e entropia, estão entre os mais amplamente utilizados na Física.

Trataremos, portanto, nesse tópico de uma abordagem que venha abarcar a parte histórica, a construção empírica desses conceitos, bem como, os conceitos mais refinados e como são trabalhados atualmente.

3.2.1 A evolução dos conceitos de calor e temperatura

Como visto anteriormente: temperatura, equilíbrio térmico, calor, pressão, volume, densidade, dilatação e vários outros conceitos de Termologia estão associados ao voo dos balões. Portanto, é fundamental para um balonista compreender de maneira objetiva esses conceitos. Mas afinal, o que é temperatura? O que é calor? Abordaremos agora, de maneira detalhada o processo de construção desses conceitos, iniciando com temperatura, até chegarmos na lei geral dos gases, onde veremos algumas aplicações no nosso dia a dia, além do caso dos balões.

Desde a infância, temos um conhecimento prático dos conceitos de temperatura e energia térmica. Sabemos, por exemplo, que é preciso tomar cuidado com alimentos e objetos quentes e que a carne e o peixe devem ser guardados na geladeira. Sabemos, também, que a temperatura no interior de uma casa e de um automóvel deve ser mantida dentro de certos limites e que devemos nos proteger do frio e calor excessivos (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012, p. 184).

Ao utilizar o fogo para se aquecer e cozinhar seus alimentos, o homem das cavernas foi, provavelmente, quem primeiro compreendeu o mistério do “calor”. Empédocles, Aristóteles e outros filósofos gregos dos séculos VI, V e IV a.C., acreditavam que o fogo, assim como, a água, a terra e o ar, era um dos quatro elementos que compunham a natureza. Essa ideia prevaleceu quase dois mil anos, inserindo-se nesse período os alquimistas, que acreditavam ter o fogo um poder extraordinário capaz levá-los ao encontro da pedra filosofal e do elixir da vida.

Mostraremos de forma cronológica os principais trabalhos envolvendo o estudo do calor, do ano de 1593 até o entendimento que temos atualmente.

- Em 1593 Galileo Galilei publica um trabalho onde aborda a ideia de calor: termoscópio (termômetro de ar).
- Em 1643 temos o “Experimento de Torricelli no vácuo”.
- No ano de 1665 Boyle publica o "experimento tocando frio", uma demonstração qualitativa do princípio, mais tarde, conhecido como lei de resfriamento de Newton.
- Já no ano de 1687 Newton lança seu principal trabalho o *Philosophiae naturalis principia mathematica* onde aborda o tal resfriamento de Newton.
- Em 1701 Newton, "Uma escala dos graus de calor"; o trabalho que contém a lei do resfriamento de Newton (lei exponencial do resfriamento), quantidade de calor.
- No ano de 1702 temos o trabalho de Arnontons, termômetro de ar, o conceito de zero grau absoluto.
- 1704 tem um novo trabalho de Newton sobre óptica onde trata do conceito de calor.
- 1724 temos Fahrenheit, escala de temperatura.

- Em 1740 Martine, a primeira pessoa a perceber a limitação da lei do resfriamento de Newton.
- 1742 Celsius, escala de temperatura.
- Em 1803 temos Black, palestras sobre os elementos químicos, contém um relato da lei do resfriamento de Newton.
- Em 1804 Biot, a proporcionalidade entre taxa de transferência de calor e gradiente de temperatura, a distinção entre a condutividade térmica e o coeficiente na lei de resfriamento de Newton (número de Biot).
- No ano de 1807 temos Fourier com a lei de condução de calor, derivação da equação de condução de calor transiente, aplicação da lei de Newton de resfriamento à condição de fronteira convectiva e ao problema de aleta.
- Fourier em 1820 faz a derivação da equação de energia para fluidos em movimento.
- Em 1822 temos a Teoria analítica de Fourier do calor.
- No ano de 1822, ainda, temos as Equações de Navier-Stokes.
- Em 1824 Carnal trata da força motriz do calor.
- Já no ano de 1848 Lord Kelvin traz o conceito de temperatura absoluta.
- Em 1874 tem a Analogia de Reynolds para transferência de calor turbulento.
- Ano de 1875 temos Grashof, equação para trocador de calor.
- 1879-1884 - Lei de Stefan-Boltzmann para radiação de corpo negro.
- Em 1881 Lorentz publica a teoria analítica para convecção natural.
- Em 1900 Planck e leis da radiação do corpo negro.
- Em 1901 temos Boussinesq com a primeira solução analítica para o resfriamento de um corpo aquecido por uma corrente de fluido (problema de refrigeração de Newton).
- 1904 Prandtl, teoria da camada limite.
- No ano de 1910 é publicado a Analogia Prandtl para transferência de calor turbulento; Nusselt, problema da região de entrada térmica no tubo (problema de Graetz).
- Em 1915 temos Nusselt com a lei básica da transferência de calor (número de Nusselt).
- O trabalho de 1916 é de Rayleigh, aplicação de similitude à convecção forçada.

- No ano de 1916 temos, também, o trabalho de Analogia de Taylor para transferência de calor turbulento.
- 1921 Pohlhausen, convecção forçada laminar em uma placa plana (fluxo de Blasius).
- E para finalizar, no ano de 1939 temos o trabalho de Analogia de von Karman para transferência de calor turbulento.

Joseph Black obteve o mérito de compreender o calor como uma quantidade, definindo uma unidade que até hoje é utilizada para mensurá-lo: a caloria. O mesmo introduziu conceitos importantes como os de capacidade térmica e calor específico.

A definição que possuímos atualmente de que o calor é energia nasceria com o cientista americano, radicado na Alemanha, Benjamin Thompson (1753 – 1814), que fora chamado conde de Rumford. Que, em 1799, fazendo pesquisas com a perfuração de canhões, numa fábrica de armas na Baviera, observou que o aumento da temperatura que ocorria no material perfurado só poderia vir da energia mecânica das brocas utilizadas na perfuração.

Julius Mayer (1814 – 1878) no ano de 1842 demonstrou a equivalência entre calor e energia mecânica, determinada, com mais precisão, por James Prescott Joule (1818 – 1889) em 1843. O físico alemão Rudolph Clausius (1822 – 1888) trouxe a relação definitiva da energia térmica como a energia cinética das moléculas, estabelecido em 1857.

3.2.2 Conceito empírico de temperatura

“A temperatura, com que estaremos a todo instante envolvidos, é uma variável que se apresenta sob um aspecto muito particular, mesmo na definição de seus valores numéricos. Isto se deve ao fato que é sem sentido juntar em uma única, a temperatura de dois corpos vizinhos. Dizer que a temperatura é a soma de duas outras não tem, a priori, nenhum sentido; não se pode, assim, definir o múltiplo e nem, como se faz com as demais grandezas, tomando sua razão com a unidade... Não é senão com a temperatura absoluta... que chegaremos a uma ‘medida’ de temperatura pela definição de uma razão”. (ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA, 1969).

O conceito central no estudo da Termologia é o conceito de “temperatura”. Como qualquer outra grandeza física, o conceito de temperatura nada mais é do que o esclarecimento objetivo de um conceito subjetivo imediatamente conectado às

impressões sensoriais, formado pela observação diária de um grande número de fatos empíricos.

Nesta seção, ilustraremos um esquema lógico que reflete essa evolução, em certo sentido, histórica. Dessa forma, podemos definir convenientemente uma quantidade muito precisa, suscetível de medição, que chamaremos temperatura empírica.

Veremos abaixo como em um desenvolvimento mais rigoroso, é possível definir a temperatura de maneira a subtraí-la, do ponto de vista lógico, de qualquer vínculo direto com experiências ou sistemas específicos: essa temperatura será denominada “temperatura termodinâmica absoluta”.

Para começar, concentremos nossa atenção nessas sensações fisiológicas específicas, ligadas à existência de “calor” e “frio”. Qualificadas por uma série de adjetivos como “ebulição”, “quente”, “morno”, “frio”, “congelado”, etc. As convenções linguísticas permitem estabelecer uma hierarquia entre esses adjetivos, portanto, entre as medidas a que se referem. Essa hierarquia é ilustrada pela ordem precisa em que foram listadas acima.

No entanto, essa escala de valores, que gradualmente leva do “mais quente” ao “mais frio”, não é totalmente satisfatória. É em particular:

- ✓ É bastante subjetivo: o que seria qualificado como “morno” por uma pessoa, poderia ser qualificado por outra como “quente” ou “frio”. É bem conhecida a experiência de imergir as mãos nos dois recipientes, um com água fria e outro com água quente e, subsequentemente, mergulhando duas mãos no mesmo recipiente contendo água morna. O último proporcionará sensações distintamente diferentes nas duas mãos: a primeira sentirá mais quente, a outra mais fria do que é;
- ✓ Tem uma graduação demasiada grosseira: o número de adjetivos que podem ser usados é certamente limitado. Por outro lado, nosso senso e a experiência mostram que, misturando em proporções apropriadas, por exemplo, água fervente e água gelada, você pode obter infinitas “nuances” sensoriais que estão entre os dois extremos da fervura e do congelamento, e não há adjetivos suficientes para descrevê-las.

O objetivo é, portanto, passar da descrição qualitativa, grosseira e subjetiva fornecida pelos adjetivos mencionados várias vezes, para uma descrição quantitativa refinada e objetiva. Começaremos chamando o ESTADO TÉRMICO de um corpo, a propriedade que produz as impressões sensoriais relacionadas ao “quente” e ao “frio”.

Tal objetivo será alcançado se conseguirmos descrever o estado térmico de um corpo não mais de maneira qualitativa, mas quantitativamente.

Desta forma:

- ✓ A descrição será tão detalhada quanto necessária, em virtude da infinidade contínua de números reais;
- ✓ A hierarquia natural (ordenação) dos números reais pode refletir adequadamente a hierarquia das sensações.

Também exigiremos que o processo pelo qual um determinado estado térmico corresponda a um e apenas um número seja um processo objetivo, ou seja, não vinculado à pessoa em particular que realiza o experimento. Para tornar necessário recorrer à experiência e aceitar algumas hipóteses muito gerais.

É bom sublinhar essas hipóteses (que parecem muitas vezes muito óbvias, mas que ainda existem e podem estar sujeitas a críticas), como faremos adiante.

Como fatos experimentais fundamentais, destacamos o seguinte:

1. As propriedades físicas de qualquer corpo dependem do estado térmico em que o corpo se encontra. Em alguns casos, essa dependência é muito evidente. Este, por exemplo, é o caso dos diferentes estados de agregação de matéria: dependendo de uma certa quantidade de água estar congelando, morna ou fervendo, ela aparecerá como um corpo sólido (gelo), como líquido ou como gás (vapor).

Em outros casos, a dependência é menos evidente, no entanto, facilmente detectável, como acontece no caso da expansão térmica dos corpos: é o objeto da experiência comum que os corpos aquecidos se dilatam. Em outros casos, a dependência do estado térmico é menos visível ou, em qualquer caso, pode ser destacada, apenas com métodos mais refinados. Assim, por exemplo, a

resistência oferecida por um condutor à passagem de corrente elétrica, maior ou menor transparência, propriedades elásticas, etc., depende, para cada corpo, do estado térmico desse corpo.

2. Quando dois corpos com estados térmicos diferentes são colocados em contato, o estado térmico de cada um logo muda até que ambos estejam no mesmo estado.

Essa afirmação difere da anterior, pois enquanto a verificação experimental envolveu medições de quantidades já definidas sendo objeto de outros ramos da Física (como: módulos de elasticidade, comprimentos, viscosidade, condutividade elétrica, etc.); vice-versa, no presente caso, a afirmação está inteiramente contida no campo da Termologia com o qual estamos começando a lidar.

De fato, de um ponto de vista estritamente lógico, a verificação experimental dessa segunda afirmação pode, neste estágio, ocorrer apenas através de sensações fisiológicas e na escala grosseira da hierarquia de adjetivos qualificados “fervendo” mencionados repetidamente.

Pode-se objetivar que o uso dos fatos experimentais mencionados no ponto 1 poderia nos ajudar a resolver o problema (ou seja, quando se pensa em observar, por exemplo, as dimensões dos corpos em contato para corresponder a uma qualificação exata do estado térmico).

No entanto, isso não é logicamente permitido, pois, essa qualificação é precisamente o objetivo que almejamos. Enquanto isso, assumiremos como comprovados os fatos experimentais mencionados neste ponto 2.

Acrescentamos, por enquanto, que é possível ver, embora em escala aproximada, que o estado térmico comum aos dois corpos em contato seja sempre intermediário, entre os estados térmicos iniciais dos dois corpos individuais.

Também será o mais próximo de um dos dois, mais a massa destes prevalecerá sobre o outro: é uma questão de experiência comum que, por exemplo, um copo de água gelada apenas esfria insensivelmente uma banheira de água fervente.

Agora conseguimos construir um “termoscópio” e, conseqüentemente, definir a temperatura. Portanto, consideremos um corpo de material conhecido — por exemplo,

uma barra de platina — e sua propriedade física bem definida — no caso, seu comprimento.

Estabeleceremos que o comprimento da nossa barra constitui uma medida do estado térmico da própria barra. Em virtude do disposto no ponto 2, esse comprimento também medirá o estado térmico de qualquer outro corpo com o qual a barra esteja em contato por um tempo suficiente.

Desta forma, temos um termoscópio disponível. No entanto, deve-se notar que, com a suposição acima, realizamos implicitamente uma hipótese, a saber, que o comportamento térmico da barra, em relação à sua propriedade “comprimento”, é uniforme, ou seja, toda vez que a barra recupera um determinado estado térmico, sempre recupera o mesmo comprimento. Em outras palavras, qualquer possibilidade de histerese é excluída a “priori”. Agora sabemos que essa hipótese não é verdadeira, em geral. Muitos materiais — quando uma vez deformado pelo efeito térmico, permanece, aproximada, parcial ou definitivamente.

Podemos apenas esperar, agora, que nossa escolha de material tenha sido feliz e, no mínimo, podemos ter certeza de que não há comportamento histórico evidente.

A escolha do nosso termoscópio, e ainda mais da escala termométrica resultante, também apresenta outros pontos insatisfatórios, como veremos abaixo. No entanto, a partir de agora queremos lembrar que todas essas dificuldades são superadas com a definição rigorosa de temperatura termodinâmica absoluta. Aqui insistimos na construção empírica da medição da temperatura (continuando a enfatizar os pontos fracos), tanto para justificar o rigor quanto as complicações matemáticas que seremos posteriormente forçados a usar para definir com precisão a temperatura.

A afirmação da existência de uma correspondência individual entre o comprimento L da nossa barra e o estado térmico significa que, indicando T o parâmetro numérico que medirá o estado térmico (temperatura). Entre o comprimento L e a temperatura T , existe uma relação linear:

$$L = L_0(1 + \alpha T), \quad [3.01]$$

onde L_0 é o comprimento correspondente a um estado térmico específico ao qual queremos corresponder o valor numérico $T = 0$, e α é arbitrário, cuja escolha dependerá exclusivamente da amplitude da unidade de medida a ser adotada para a medição de T . Será suficiente definir um segundo estado térmico específico, ao qual um determinado valor numérico deve corresponder para determinar α .

Por exemplo, você pode usar o estado térmico correspondente ao gelo derretido e fazer com que ele corresponda ao valor $T = 0$, e o estado térmico correspondente à água fervente e corresponder ao valor $T = 100$. Nesse caso, deve ser:

$$L_{(\text{água em ebulição})} = L_{(\text{gelo derretendo})} \times (1 + 100\alpha), \quad [3.02]$$

a partir do qual é fácil obter α , uma vez medidos os dois comprimentos.

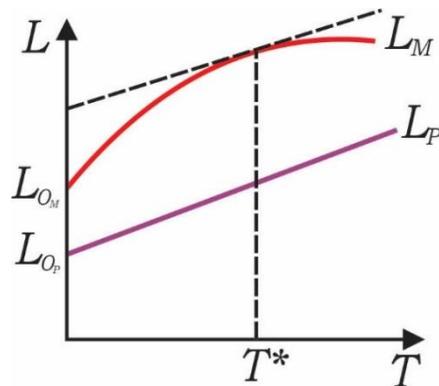
Observamos que aqui estamos introduzindo uma hipótese adicional, também não justificável, no presente, se não de maneira grosseira. Nossa escolha dos pontos fixos 0 e 100, em particular, é equivalente a afirmar que a água sempre congela ou ferve na mesma temperatura. Independentemente dessas dificuldades, agora queremos enfatizar que a escala termométrica assim definida está fortemente ligada à escolha específica de nosso termoscópio (barra de platina).

Explicamos esse fato acima de um exemplo. Tendo nos equipados com nossa barra de platina, estudaremos a expansão térmica de um determinado material genérico.

Para isso, levaremos uma barra de material M , entraremos em contato com a barra de platina e levaremos o todo a diferentes temperaturas de tempos em tempos, por exemplo, aquecendo-o em um fogão. A partir da medição do comprimento da barra de platina, obtemos o valor de T com base na equação [3.01] (com a convenção [3.02]). Ao mesmo tempo, mediremos o comprimento da barra M e reportaremos esses valores lineares em um gráfico, em função de T .

Assim, obteremos algo do tipo indicado na figura 10. Também foi relatada a tendência do comprimento assumido pela barra de platina, L_p . Obviamente, este último assume um caráter linear, cujo único significado deriva da definição de T : em outras palavras, a lei da expansão da platina parece linear.

Figura 10 - Aspecto do gráfico de variação de temperatura de dois materiais diferentes, até uma certa temperatura o material M aumenta mais rápido, após esse ponto diminui em relação ao material P .

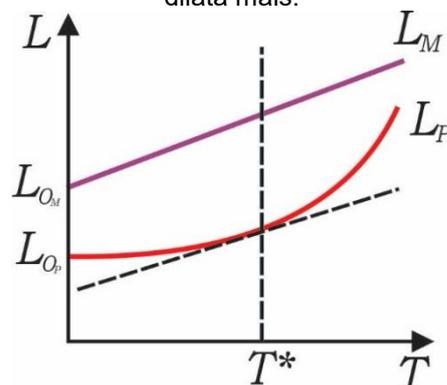


Fonte: O Autor (2021).

A lei de expansão de M , em geral, não será linear, mas esse fato também tem um significado relativo: tudo o que se pode dizer é que M inicialmente se expande mais que a platina (observe a figura 10), até uma certa temperatura T^* , então ele se expande menos. Tudo isso aparecerá ainda mais claro se trocarmos o papel desempenhado respectivamente pela platina e pelo material M .

Pensamos que escolhemos a barra reta M como termômetro e, com a ajuda dela, estudamos a expansão da platina (observe a figura 11). É claro, M , que agora apresentará uma lei linear de expansão, enquanto a exibida pela platina não será mais. Novamente, a única coisa que se pode dizer é que a platina primeiro dilata menos que M e depois dilata mais. Essa estreita dependência da escala termométrica da substância escolhida e também da propriedade particular em que a atenção é fixada justifica o nome “temperatura empírica” à temperatura definida com esse tipo de raciocínio.

Figura 11 - Aspecto do gráfico mostrando que a platina até certo ponto dilata menos que M e depois dilata mais.



Fonte: O Autor (2021).

3.2.3 Termômetro a gás e as escalas termométricas

Pelo que foi dito anteriormente, é claro que é desejável, no mínimo, escolher como substância termométrica uma substância ou uma categoria de substâncias que, por um lado, dê garantias suficientes de apresentar comportamento reprodutível e uniforme, por outro são menos particulares que um metal específico.

As experiências mostram que substâncias desse tipo são compostas de gases, quando a pressão exercida por uma quantidade fixa contida em um volume fixo é considerada um parâmetro relacionado ao estado térmico.

De fato, verifica-se que essa pressão depende fortemente do estado térmico do próprio gás. Além disso, a simplicidade estrutural de um gás (em comparação com a que pode ter um sólido mais ou menos cristalino) é garantia suficiente de um comportamento livre de histerese, como confirmado por experiências, embora grosseiro. Além do mais, e isso é ainda mais importante, o comportamento térmico de um gás não depende das espécies químicas que o constituem (e isso para uma grande classe de substâncias). Se, de fato, seguindo o procedimento indicado na seção anterior, definimos:

$$P = P_0(1 + \alpha T), \quad [3.03]$$

onde P é a pressão, suponha, de um mol de hidrogênio, P_0 a mesma pressão na temperatura selecionada que zero e α uma constante (hidrogênio sendo mantido em um volume fixo e constante V), podemos medir a temperatura através da equação [3.03] e estudar, com a ajuda de um termoscópio, a maneira de variar a pressão exercida por outros gases, à medida que a temperatura muda.

Percebemos, então, que para um bom número de substâncias gasosas, por exemplo: oxigênio, nitrogênio, hélio e argônio. Desde que você tome periodicamente um mol de cada uma delas e mantenha-a no mesmo volume V , exatamente, a mesma lei expressa em [3.03] é válida e a variação de P é linear, não apenas, mas para cada gás é obtido o mesmo valor α .

Em outras palavras, o comportamento térmico do gás não depende, como mencionado, das espécies químicas, mas aparece como uma característica geral do estado gasoso. Por esse motivo, já é evidente que um termoscópio movido a gás (ou

termômetro a partir de agora, embora seja indevidamente denominado) é preferível a um que explora uma propriedade específica de uma substância específica, como foi o caso das barras de platina ou material M .

Observe agora que a escolha de um termômetro de gás não implica necessariamente que cada termômetro seja realmente de gás. Podemos usar com segurança qualquer outra categoria de termômetro (usando, por exemplo, a expansão da platina ou a expansão do mercúrio, ou a variação da resistência elétrica de um determinado condutor, etc.), desde que calibrado com um termômetro de gás. Em outras palavras, nenhuma lei será postulada para o comportamento térmico do material escolhido, mas será detectada experimentalmente, usando um termômetro de gás para comparação. Todos os termômetros que costumamos usar são termômetros precisamente calibrados.

Na prática, existem diferentes escalas termométricas que são geralmente usadas e que diferem na escolha da temperatura à qual o valor zero é atribuído e na amplitude da unidade de medida que eles adotam (grau).

Aqui estão os mais comuns:

1. A escala Celsius, também conhecida como a escala centígrada, indicada com o símbolo $^{\circ}C$. É obtida ajustando a temperatura do gelo derretido em $0^{\circ}C$ e a temperatura da água em ebulição em $100^{\circ}C$. Por esse motivo, a escala é chamada centígrado. É a mais utilizada, na prática, exceto nos países anglo-saxões.
2. Escala Fahrenheit, indicada com $^{\circ}F$. Nela, a temperatura do gelo derretido é fixa em $32^{\circ}F$ e a da água em ebulição é igual a $212^{\circ}F$. Conseqüentemente, o intervalo entre esses dois pontos fixos, sendo 100 na escala centígrada, agora é igual a 180. Além disso, o zero também é deslocado. Portanto, teremos a seguinte relação.

$$x(^{\circ}F) = (x - 32) \cdot \frac{5}{9} (^{\circ}C). \quad [3.04]$$

3. Escala absoluta ou Kelvin. (Não confunda com a temperatura termodinâmica absoluta). É indicado por K . Nela a temperatura do gelo derretido é igual a $273,15K$ e água fervente a $373,15K$. Existe, portanto, uma variação entre esses

dois pontos igual a 100 graus, como no caso dos centígrados. Deste último, difere apenas na escolha de zero. Obviamente, temos:

$$x(^{\circ}C) = x + 273,15(K). \quad [3.05]$$

Usando a escala centígrada, o coeficiente α da equação [3.03] é exatamente igual a $1/273,15$, de modo que a pressão deve cair a zero na temperatura de $-273,15^{\circ}C$. Em temperaturas tão baixas, os gases logo deixam de ser, liquefazem e até solidificam, de modo que a temperatura definida pelo termômetro de gás perca seu significado. Foi essa circunstância que sugeriu a adoção da escala de Kelvin, em que a relação entre pressão e temperatura assume a forma simples:

$$P = kT \quad (T \text{ em } K), \quad [3.06]$$

onde k é uma constante que depende exclusivamente da quantidade de gás e do volume (fixo) que o contém.

3.2.4 Conceito empírico de calor

“A hipótese rival, defendida entre outros por Francis Bacon e Robert Hooke, foi assim expressa por Newton em 1704: “O calor consiste num minúsculo movimento de vibração das partículas dos corpos”. Ideias deste género podem ter sido sugeridas pela geração de calor por atrito, exemplificada pelo “método dos escoteiros” para acender uma fogueira, ou pelo aquecimento do ferro martelado numa bigorna. A teoria do calórico explicava estes efeitos dizendo que o atrito, ou o martelo do ferreiro, “espremem” o calórico para fora do material, como água absorvida numa esponja.” (NUSSENZVEIG, 2002).

Levaremos um momento de volta à consideração da experiência, descrita no tópico 3.2.2, consistindo em reunir dois corpos com estados térmicos diferentes e na conquista subsequente de um único estado térmico para ambos os corpos.

Tendo introduzido o conceito de temperatura, podemos reformular essa experiência dizendo que: quando dois corpos, com temperaturas diferentes, são colocados em contato, a temperatura de cada um deles varia até que ambos sejam iguais.

O valor final da temperatura comum aos dois corpos é sempre intermediário entre os dois valores iniciais. Esse fenômeno sugere a ideia de “algo” que pode passar

de um corpo para outro e, com sua quantidade maior ou menor, determina sua temperatura.

Já foi dito que a temperatura é a medida de uma qualidade dos corpos. De alguma forma, agora queremos encontrar uma quantidade que justifique — ou, em outras palavras — que constitua a causa da temperatura.

Várias experiências pareciam justificar essa visão. Por exemplo, quando um corpo queima, há um aumento significativo da temperatura, visto que o corpo é queimado. No entanto, ele não pode queimar uma segunda vez; perdeu ou, de alguma forma, consumiu algo que possuía ou que, entre outras coisas, permitiu elevar sua temperatura.

Os antigos chamavam essa substância hipotética de “flogisto”. Flogisto, é provavelmente o ancestral mais remoto do calor (entendido no sentido moderno, como uma quantidade quantitativa distinta da temperatura e a causa disso). Posteriormente, a ideia de “líquido calórico” ou simplesmente “caloria” foi avançada. Esse fluido hipotético é visível por todos os corpos, dos quais todos os poros permeiam.

A temperatura irá então representar a tensão sob a qual está o fluido. Em outras palavras, entre o fluido calórico e a temperatura, existe uma relação semelhante à que existe entre a quantidade de gás contido em um recipiente e a pressão.

Quanto maior a quantidade de gás, maior sua pressão; portanto, quanto mais calórico um corpo tiver, mais alta será sua temperatura. Se dois recipientes contendo gás a pressões diferentes forem colocados em comunicação, sempre acontecerá que uma certa quantidade de gás passará do recipiente onde a pressão é maior que aquela onde a pressão é menor, e esse processo continuará encadeando as pressões dos dois recipientes. Eles serão equalizados para um valor intermediário.

Desse modo, o contato térmico entre corpos em temperaturas diferentes resultará em uma passagem de calor (calor) do corpo em temperatura mais alta para aquela em temperatura mais baixa. O primeiro, ao perder calor, esfria o segundo que ganha (esquenta). O processo continuará até os dois corpos atingirem a mesma temperatura (intermediária).

Com a teoria da caloria também foi explicado o aumento da temperatura encontrado quando um corpo é submetido, por exemplo, a espancamentos: após os espancamentos, a caloria foi, por assim dizer, “espremida” no corpo, para que sua

tensão e, isto é, sua temperatura, aumentou; como se um recipiente contendo gás fosse esmagado, o volume reduzido levaria a um aumento na pressão.

A teoria das calorias, no entanto, não durou muito. Em particular, a observação de que, na produção de “calórico” com meios mecânicos, parecia haver praticamente nenhum limite, o principal atributo substancial do colapso calórico, ou seja, a conservação. Com esse mesmo calórico, perdeu toda justificativa e a teoria relacionada foi abandonada em favor de uma teoria mecânica do calor.

Uma discussão adicional sobre esse ponto não pode ser feita aqui, sem antes introduzir um certo número de conceitos. Tal discussão constituirá a essência da primeira Lei da termodinâmica, que não é objeto de estudo desse trabalho.

No que diz respeito à Termologia, com a qual estamos lidando aqui, será suficiente pensar no calor como uma quantidade que descreve uma quantidade, diferente da temperatura que descreve uma qualidade. Essa quantidade pode ser de propriedade de um corpo e trocada entre os corpos em contato. Sua presença e abundância relativa determina a temperatura do corpo, à qual está ligada por relações muito precisas. Em outras palavras, para os fins da Termologia (ou seja, ao excluir todas as situações em que o calor é produzido por processos mecânicos, químicos ou elétricos, etc.), o calor pode ser considerado como uma quantidade que não pode ser criada nem destruída, portanto, goza de características substanciais: nesse contexto, o conceito de calórico mantém, portanto, uma certa utilidade, mesmo que de tipo descritivo.

Como veremos mais adiante, o significado atribuído ao calor hoje é tal que, não pode ser possuído, mas apenas trocado por corpos: calor, isto é, aparece sempre e somente durante processos de troca, como forma particular de energia em trânsito. Somente neste caso, de fato, ele pode ser medido e, assim, receber uma definição física concreta.

3.2.5 As leis da calorimetria

Neste tópico, trataremos de quais relacionamentos conectam as quantidades de calor que dois corpos podem trocar com as consequentes variações de temperatura. Do ponto de vista lógico, essas leis na prática constituirão a melhor definição empírica possível para o próprio calor.

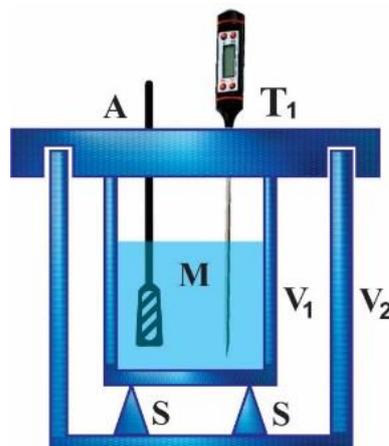
Suponha que estabeleçamos uma série de experiências, todas do mesmo tipo, durante as quais um corpo C_1 levado a uma certa temperatura T_1 é subsequentemente colocado em contato com um corpo C_2 , levado a uma temperatura $T_2 = T_1$. O resultado do experimento será a determinação do valor da temperatura final intermediária T_0 para a qual ambos os corpos transportarão.

Tomaremos o cuidado, é claro, de garantir que nenhum outro organismo entre em contato com os dois sob exame, por exemplo, fazendo a experiência acontecer no vácuo.

Para ser concreto, descrevemos brevemente um equipamento que se presta precisamente a experiências desse tipo e leva o nome de calorímetro de mistura (observe a figura 12). O vaso interno V_1 onde o fluido calorimétrico M (normalmente água) está contido, está no que lhe concerne, contido em um vaso externo V_2 , com o qual está em contato limitado apenas através dos suportes S_1, S_2 . Ambos os suportes e a tampa C , são construídos de material especial (por exemplo, cortiça, poliestireno e similares), dos quais se sabe por experiência própria que impedem um bom contato térmico entre os corpos.

Dentro do vaso V_1 normalmente existe um agitador A e um termômetro T_1 é desenhado lá. O complexo que consiste no vaso V_1 , no fluido M e nas partes imersas do termômetro e agitador forma o corpo C_1 de nossas experiências. O corpo C_2 será um objeto genérico que, à parte, teremos trazido à temperatura T e imergido no fluido M . Desta forma, o termômetro T_1 acabará nos dando o valor da temperatura final de equilíbrio T_0 , que constitui o resultado de nosso experimento.

Figura 12 – Representação esquematizada de um calorímetro.

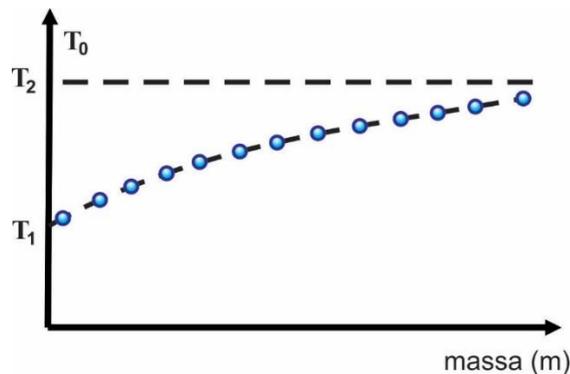


Fonte: O Autor (2021).

Vamos agora realizar a seguinte série de medições: Mantendo T_1 e M constante (ou seja, para um corpo fixo C_1 e para uma temperatura inicial fixa deles), escolhamos para C_2 um pedaço de uma substância designada (por exemplo, ferro). Também manteremos constante a temperatura T_2 à qual esse corpo será levado. Suponha que seja por exemplo: $T_2 > T_1$. De tempos em tempos, no entanto, variaremos a massa de ferro.

Se registrarmos os resultados obtidos para T_0 (ou seja, para a temperatura de equilíbrio), em função da massa de ferro utilizada e, como já foi dito, para valores constantes da temperatura T_2 do ferro e do T_1 do calorímetro) obteremos um resultado do tipo ilustrado na figura 13. Que mostra como a temperatura final de equilíbrio depende, de maneira regular e sistemática, da massa do ferro, passando continuamente por todos os valores intermediários de temperatura entre T_1 e T_2 .

Figura 13 - Aspecto do gráfico de valores intermediários de temperatura para o caso de variar a massa de ferro.



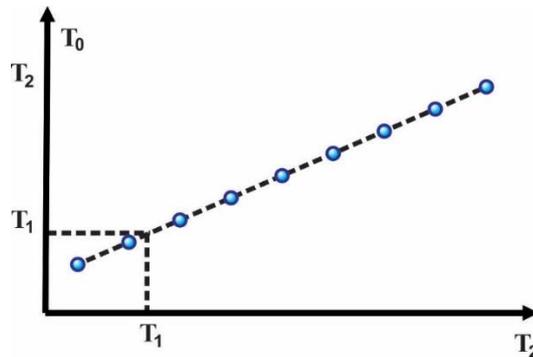
Fonte: O Autor (2021).

Agora realizamos uma nova experiência. Mantendo a massa do ferro constante, variaremos a temperatura T_2 à qual a levamos antes de a submergir no calorímetro (a massa e a temperatura delas sempre sendo constantes).

Em seguida, reportaremos as temperaturas de equilíbrio T_0 em um gráfico, em função das temperaturas iniciais do ferro. Assim, obteremos algo do tipo ilustrado na figura 14. Também é visto aqui que T_0 depende regularmente (linearmente) de T_2 , crescendo com eles. Finalmente, como um experimento adicional, podemos manter constante a massa e a temperatura inicial do corpo C_2 , enquanto faremos com que sua natureza varie de tempos em tempos. Em outras palavras, usaremos a mesma

massa de ferro, cobre, chumbo, carvão, água, vidro, benzol, ...; sempre a partir da mesma temperatura inicial T_2 .

Figura 14 - Aspecto do gráfico de temperatura linear para o caso da massa de ferro ser mantida constante.



Fonte: O Autor (2021).

Assim, veremos que a temperatura de equilíbrio T_0 varia de tempos em tempos, conforme a substância utilizada varia.

Lembremos agora o que foi observado com relação à definição de calor, a saber, como o aquecimento de um corpo é atribuível à aquisição de uma certa quantidade de calor e o resfriamento à transferência de uma certa quantidade de calor. Vê-se então, reunindo os resultados experimentais descritos acima, que a seguinte relação pode ser estabelecida entre o calor absorvido Q transferido por um corpo e a consequente variação (aumento ou diminuição) da temperatura ΔT :

$$Q = cm\Delta T, \quad [3.07]$$

onde m representa a massa do corpo e c é um coeficiente que considera a natureza do corpo do qual depende.

Esse coeficiente é chamado CALOR ESPECÍFICO e representa a quantidade de calor que deve ser fornecida à unidade de massa de uma determinada substância, para aumentar sua temperatura em um grau. Agora podemos estabelecer uma unidade de medida para o calor, referindo-se a uma substância designada.

Assim, definimos CALORIA (pequena caloria) como a quantidade de calor necessária para elevar em 1°C a massa de uma grama de água.

Conseqüentemente, o calor específico de uma substância será medido em $cal/g^{\circ}C$. Em particular, o calor específico da água valerá $1 cal/g^{\circ}C$ para a definição de calorias (ou melhor, valerá $1 cal/g^{\circ}C$ entre $14,5^{\circ}C$ e $15,5^{\circ}C$).

Para simplificar, suponha $T_2 > T_1$. Já sabemos que será $T_2 > T_0 > T_1$.

Ou seja, o corpo C_2 será resfriado de T_2 a T_0 . Se m é a sua massa e c seu calor específico, que vai, conforme a equação [3.07] terá perdido a quantidade de calor:

$$Q_2 = mc(T_2 - T_0). \quad [3.08]$$

Vice-versa, a massa M de água que constitui o corpo C_1 (por uma questão de simplicidade, negligenciamos o efeito devido ao agitador, termômetro etc., que também pode ser considerado), terá aquecido de T_1 a T_0 e, de acordo com equação [3.07], terá recebido esta quantidade de calor:

$$Q_1 = mC(T_0 - T_1), \quad [3.09]$$

o calor específico da água é igual a 1 (unidade de massa por volume). Se o calorímetro for bem construído, ou seja, se nenhum outro corpo intervir pela perda ou aquisição de calor, ele deve ser $Q_1 = Q_2$, ou seja,

$$mc(T_2 - T_0) = M(T_0 - T_1). \quad [3.10]$$

Podemos derivar para T_0 e temos

$$T_0 = \frac{MT_1 + cmT_2}{M + cm}. \quad [3.11]$$

Uma verificação simples mostra que esta expressão está em perfeita concordância com os vários resultados experimentais ilustrados acima. Que podem, portanto, ser descritos como adequadamente descritos pela fórmula [3.07]. A expressão [3.07] que liga o calor transferido ou absorvido à conseqüente variação de temperatura constitui a primeira lei fundamental da calorimetria.

Queremos fechar esta seção mencionando que a determinação de aquecimentos específicos é realizada precisamente com medições calorimétricas do tipo descrito. Na prática, a partir de uma expressão do tipo [3.08] é obtido “ c ” conhecendo M ; m ; T_1 e T_2 e medindo T_0 . Por fim, lembre-se de que, dado um corpo homogêneo de massa m e cujo calor específico é c , o produto cm leva o nome de CAPACIDADE TÉRMICA. Quando um corpo não é homogêneo, sua capacidade térmica será uma soma do tipo $c_1m_1 + c_2m_2 + \dots + c_nm_n$, em que $m_1, m_2 \dots m_n$ são as massas das várias partes homogêneas e $c_1; c_2 \dots c_n$ os respectivos calores específicos. Aquecimentos específicos são quantidades que descrevem qualidades, enquanto as capacidades térmicas descrevem quantidades. Já fizemos essa distinção falando sobre temperatura e calor. Como ocorre continuamente no curso da termodinâmica, é costume distinguir as quantidades em INTENSIVO (que descreve qualidades, como temperatura, calor específico) e EXTENSIVO (que descreve quantidades, como calor, capacidade de calor). Nesta distinção, teremos a oportunidade de retornar extensivamente a seguir.

3.2.6 Calor de transformação e o calorímetro de gelo de Bunsen

Existem certas situações físicas particulares em que a lei [3.07] fica completamente aquém. Suponhamos, de fato, realizar uma experiência do tipo mostrado na seção anterior, onde, como fluido calorimétrico, usamos uma mistura de água e gelo na temperatura inicial de $T_1 = 0^\circ\text{C}$. Nesse caso, descobriremos (se no final ainda houver gelo na água) que mesmo $T_0 = 0^\circ\text{C}$. Isso significa que, embora o corpo C_2 tenha esfriado de T_2 a 0°C , o fluido calorimétrico ainda não aqueceu.

Agora, como o c_1 esfriou, conforme a equação [3.07], ele liberou uma quantidade de calor no fluido calorimétrico:

$$Q = mc(T_2 - T_0). \quad [3.12]$$

Por outro lado, o fluido não altera sua temperatura, o que implicaria a atribuição de uma capacidade térmica infinita $C = Q = \Delta T$, dado que $Q > 0$ enquanto $\Delta T = 0$. Esse resultado, por outro lado, é de acordo como mencionado na seção 2, e é quando uma transição de fase ocorre em um sistema, a temperatura permanece constante.

De fato, em nosso fluido calorimétrico, enquanto a temperatura permanece constante no valor de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, uma quantidade maior ou menor de gelo derrete.

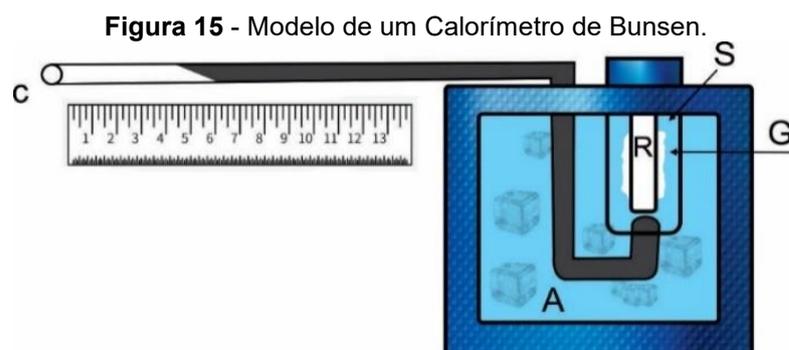
Somente se todo o gelo tivesse derretido antes do corpo C_2 esfriar para $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, haveria um aumento subsequente da temperatura da água. Portanto, devemos concluir que a equação [3.07] não pode ser aplicada a sistemas onde ocorre uma mudança de fase. Nesses casos, de fato, pode-se observar que o calor transferido ou absorvido está relacionado não a uma mudança de temperatura (que, inversamente, permanece constante), mas à quantidade (massa) de substância que ele sofre (em uma ou outra direção) a mudança de fase.

Por meio de experiências semelhantes às descritas no item anterior, podemos obter o que chamaremos de segunda lei fundamental da calorimetria, válida precisamente para sistemas nos quais uma mudança de fase está ocorrendo:

$$Q = \lambda m, \quad [3.13]$$

onde Q é o calor trocado pelo sistema e a massa transformada. O coeficiente λ (cal/g) depende da substância em particular e da transformação em que ela sofre. É chamado CALOR LATENTE (de fusão, vaporização, sublimação, etc., dependendo da transformação). Assim, por exemplo, o calor latente do gelo derretido (a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ e sob a pressão de 1 atm) é igual a 80 cal/g , isso significa que, para derreter a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, um grama de gelo absorve 80 calorias . Da mesma forma, um grama de água, solidificando sempre a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, produzirá 80 calorias .

Um calorímetro que explora esse fenômeno, ou seja, medindo as quantidades de calor que um corpo fornece ou absorve através da medição da massa transformada de uma substância designada, é o calorímetro de gelo de BUNSEN (figura 12).



Fonte: O Autor (2021).

Essencialmente consiste em um tubo em V de parede dupla. Na cavidade S , entre as duas paredes, há água destilada. O tubo de ensaio é imerso em um recipiente A contendo água e gelo, a uma temperatura de 0°C . No fundo, ele está em comunicação com um tubo de mercúrio dobrado e cheio M , terminando com um capilar C . Antes de usar o dispositivo, um corpo a uma temperatura menor que 0°C (por exemplo, uma mistura de refrigerante de água e sal). Isso causará a solidificação de uma parte da água contida no espaço interno S com a consequente formação de uma bainha de gelo G . Depois que a mistura de refrigeração for removida, o aparelho estará pronto para ser usado. Suponha, por exemplo, que queremos medir o calor específico c de uma determinada substância. Vamos então pegar uma pequena massa m , levá-la a uma temperatura $T > 0^\circ\text{C}$ e introduzi-la em R . Nesse caso, o corpo esfria a 0°C , liberando o calor:

$$Q = mc\Delta T, \quad (\text{com } T \text{ em } ^\circ\text{C}). \quad [3.14]$$

Esse calor fará com que parte do gelo G derreta. Como o gelo derretido diminui de volume, isso causa uma contração do mercúrio no capilar.

Desde o movimento do mercúrio e conhecendo a variação de volume que o gelo sofre quando derrete, é fácil rastrear a massa M de gelo derretido. Portanto, aplicando a equação [3.13] o calor absorvido é:

$$Q = \lambda M. \quad [3.15]$$

Ainda supondo que não haja troca espúria de calor, as duas quantidades [3.14] e [3.15] podem ser igualadas e fornecem.

$$C = \frac{\lambda M}{mT}. \quad [3.16]$$

Em resumo, as relações entre calor e temperatura estão contidas nas duas leis fundamentais [3.05] e [3.08]. O primeiro será válido quando nenhuma alteração no estado físico estiver em jogo, nesse caso, o segundo será aplicado.

Em cada uma dessas leis, existe um coeficiente (calor específico ou calor latente) que caracteriza o comportamento da matéria com a qual se trata, com relação aos fenômenos térmicos. Atualmente, esses coeficientes devem ser pensados como quantidades primitivas, empiricamente determináveis. A origem e a justificativa microscópica dessas quantidades não é objeto desse estudo.

3.2.7 Dilatação de corpos

Como previsto no tópico 2.3.2, uma das manifestações mais óbvias relacionadas às variações de temperatura é a variação no tamanho do corpo (expansão térmica). Quando você concentra sua atenção na dimensão linear de um corpo (por exemplo, a borda de um cubo), dizemos que isso tem algo a ver com “dilatação linear”. Se considerarmos as variações volumétricas, falaremos de expansão cúbica. Começaremos considerando a expansão linear. A lei segundo a qual o comprimento de um objeto varia conforme a mudança de temperatura pode ser escrita sob a forma

$$L(T) = L_0(1 + \alpha_T(T - T_0)), \quad [3.16]$$

onde $L(T)$ é o comprimento na temperatura T e L_0 o comprimento na temperatura de referência T_0 . O coeficiente α , em geral, não é uma constante, mas é uma função da temperatura, de modo que, a equação [3.16] não descreve uma tendência linear.

Além disso, para variações de temperatura que não são muito grandes, α pode, frequentemente, ser considerado constante, ou seja, a lei da expansão é aproximadamente linear em curtas faixas de temperatura. Alternativamente, a lei da expansão pode assumir a forma

$$L(T) = L_0[1 + \alpha(T - T_0) + \beta(T - T_0)^2 + \gamma(T - T_0)^3 + \dots], \quad [3.17]$$

isto é, como uma expansão em série de potências de $(T - T_0)$. Na equação [3.17] os coeficientes $\alpha, \beta, \gamma, \dots$, são constantes. Novamente, para $T - T_0$ suficientemente pequeno, os termos de ordem superior podem ser negligenciados, dada a crescente pequenez dos coeficientes β, γ, \dots , e refira-se a uma dependência linear como antes.

A tabela a seguir mostra os valores do coeficiente α (sendo chamado coeficiente de expansão linear) para um determinado número de substâncias no estado sólido.

Ao lado da expansão linear, pode-se considerar a expansão cúbica ou de volume, onde, de fato, consideramos a variação que o volume V de um corpo sofre quando a temperatura varia, com um significado óbvio dos símbolos que você pode escrever:

$$V(T) = V_0(1 + \lambda_T(T - T_0)), \quad [3.18]$$

onde o coeficiente de expansão cúbica λ_T é, como antes, uma função da temperatura que pode ser considerada constante em intervalos que não são muito grandes. Na tabela 1 podemos ver e comparar os coeficientes de dilatação de alguns materiais.

Tabela 1 - Coeficiente de dilatação térmica de alguns materiais.

COEFICIENTE DE DILATAÇÃO (A TEMPERATURA AMBIENTE)			
Material	Coef. ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)	Material	Coef. ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)
bronze	$18 \cdot 10^{-6}$	INVAR (liga de <i>Ni</i> e <i>Fe</i>)	$9 \cdot 10^{-7}$
cobre	$17 \cdot 10^{-6}$	gelo	$5 \cdot 10^{-5}$
ferro	$12 \cdot 10^{-6}$	madeira	$0,1 \cdot 10^{-6}$
platina	$8,8 \cdot 10^{-6}$	quartzo eixo óptico	$8 \cdot 10^{-6}$
vidro	$8 \cdot 10^{-6}$	quartzo \perp eixo óptico	$13 \cdot 10^{-6}$

Fonte: O Autor (2021).

Um desenvolvimento em série pode ser usado de forma equivalente:

$$V(T) = V_0[1 + \lambda_T(T - T_0) + \mu(T - T_0)^2 + \dots], \quad [3.19]$$

e para valores razoavelmente pequenos de $(T - T_0)$, podemos parar no termo linear. É fácil ver que a relação entre o coeficiente de expansão linear alfa e o coeficiente de expansão cúbico lambda existe:

$$\lambda = 3\alpha. \quad [3.20]$$

Para ver isso, consideraremos, por exemplo, um cubo de um determinado material. Na temperatura T_0 , seu limite é L_0 e seu volume $V_0 = L_0^3$. Na temperatura T (não muito diferente de T_0 para poder usar a aproximação linear), você terá:

$$L = L_0(1 + \alpha(T - T_0)). \quad [3.21]$$

Consequentemente,

$$\begin{aligned} V &= L^3 = L_0^3(1 + \alpha(T - T_0))^3. \\ V &= L_0^3[1 + \alpha^3(T - T_0)^3 + 3\alpha^2(T - T_0)^2 + 3\alpha^2(T - T_0)]. \end{aligned} \quad [3.22]$$

Agora, os termos entre colchetes, os termos em α^2 e α^3 são praticamente desprezíveis em comparação com o termo linear, portanto, pode ser escrito

$$V = L_0^3(1 + 3\alpha(T - T_0)) = V_0(1 + 3\alpha(T - T_0)), \quad [3.23]$$

que, em comparação com a equação [3.18], fornece precisamente a equação [3.20].

Certamente, esse raciocínio, além de aproximado, pressupõe que a dilatação dos corpos ocorra de maneira ISOTROPA, ou seja, que a dilatação linear é a mesma em todas as direções.

Agora, enquanto para líquidos e gases esse fato sempre ocorre, os sólidos e especialmente as substâncias cristalinas quase sempre têm uma anisotropia maior ou menor. Então, por exemplo, para cristais de quartzo (ver Tabela 1), o coeficiente de expansão linear é de $8 \cdot 10^{-6} (\text{°C})^{-1}$ ao longo da direção de simetria do cristal (eixo "c"), enquanto é de $13 \cdot 10^{-6} (\text{°C})^{-1}$ em uma direção ortogonal à primeira.

Consequentemente, uma mudança na temperatura, nesse caso, também causará uma mudança na forma e no volume. Por exemplo, uma esfera de quartzo cristalino, expandindo-se anisotropicamente, se deforma assumindo uma forma elipsoidal (obviamente são sempre deformações muito pequenas).

Como já foi mencionado em relação a aquecimentos específicos e latentes, os coeficientes de expansão também devem ser considerados coeficientes empíricos que caracterizam o comportamento do material em resposta a tensões térmicas.

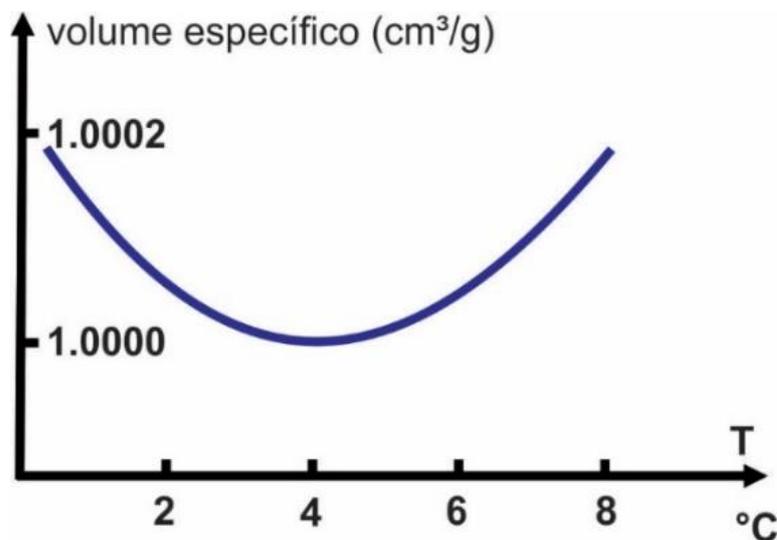
Como todos esses coeficientes devem ser estruturados globalmente não será discutido nesse estudo.

Uma explicação microscópica da expansão dos corpos com a consequente justificativa dos vários coeficientes transcende a questão aqui tratada sendo objeto de estudo da estrutura da matéria. De qualquer forma, é claro como, sendo a matéria composta de partes (átomos, moléculas) mantidas juntas por forças de natureza e intensidade diferentes, os efeitos macroscópicos da expansão dependerão fortemente das características microscópicas (forma e estrutura das moléculas, intensidade e leis de variações de forças, etc.).

Isso explica como o comportamento térmico é significativamente diferente de corpo para corpo e, para o mesmo corpo, pode depender do estado de agregação e da temperatura. Citamos, a título de exemplo, o comportamento um tanto anômalo da água líquida. De fato, a água se contrai em vez de dilatar entre $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, e somente além de $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ se dilata à medida que a temperatura aumenta, como acontece com a maioria dos corpos (observe a figura 16).

Esse comportamento anômalo pode ser explicado (a grosso modo) pelo fato de a água poder assumir uma estrutura diferente (na configuração molecular), o que implica um volume específico mais baixo e requer a implementação de um suprimento de energia (calor).

Figura 16 - Aspecto do gráfico do comportamento anômalo da água, onde a temperatura cai até $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ e depois começa a subir.



Fonte: O Autor (2021).

3.2.8 Propagação do calor

Lembrando o que foi dito na seção 2.3.4, notamos que um dos atributos do calor é o fato de poder propagar-se, transmitir-se, tanto dentro de um corpo quanto de um corpo para outro. Os mecanismos que governam a condução de calor são, obviamente, de origem microscópica, e seu estudo detalhado não pode agora ser desenvolvido. Como sempre, examinaremos aqui os aspectos macroscópicos, que podem ser descritos através de coeficientes empíricos adequados, de maneira semelhante ao que vimos, por exemplo, para expansão térmica.

Normalmente, três processos são considerados pelos quais o calor pode se espalhar de um corpo para outro, ou dentro da matéria. Esses processos são condução, convecção e radiação. O último processo consiste, em uma emissão de energia transportada por ondas eletromagnéticas, irradiadas por um corpo em maior quantidade quanto maior for sua temperatura.

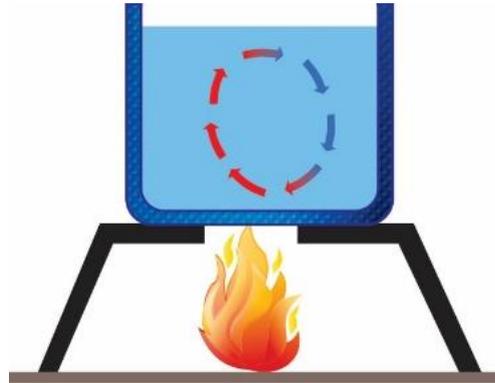
O fenômeno da convecção é um processo característico dos sistemas de estado fluido. Existem diferenças de temperatura entre as várias regiões do fluido, causando diferenças de densidade e, conseqüentemente, fluxos de matéria.

O calor, em processos desse tipo, viaja com a matéria que o possui. Assim, por exemplo, em uma panela cheia de água aquecida a partir do fundo (ver figura 17), a água mais quente perto do fundo é mais dilatada e, portanto, menos densa que a circundante.

Em virtude do princípio de Arquimedes, essa água tenderá a subir, trazendo consigo o calor que possui, que acabará atingindo as regiões superiores mais frias. Lá, a água, após o resfriamento, aumenta a densidade e tende a cair para baixo, fechando o ciclo.

Fenômenos semelhantes, embora em uma escala incomparavelmente maior, dão origem a certas correntes marítimas, a ventos constantes ou periódicos (como ventos comerciais ou monções) e, geralmente, a vastos movimentos da hidrosfera e da atmosfera. Em vez disso, no que diz respeito à condução real, há um transporte de calor não acompanhado pelo transporte de matéria. Esse processo é característico dos sólidos: uma barra de metal aquecida à chama em uma extremidade rapidamente esquenta a qualquer momento, sem ocorrer qualquer deslocamento da matéria.

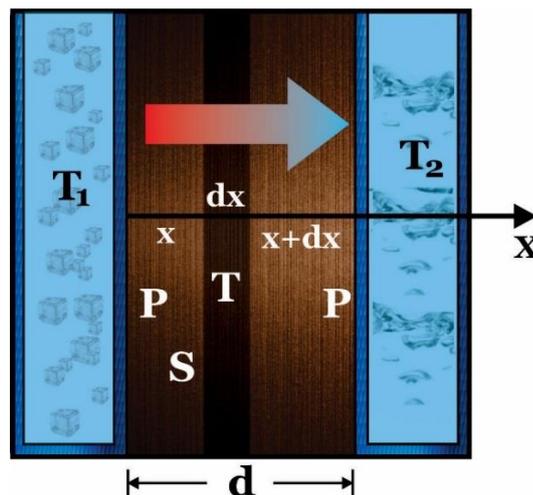
Figura 17 – Esquematização da propagação do calor por convecção, onde uma massa de água com maior temperatura sobe, deslocando um volume de água em menor temperatura para baixo.



Fonte: O Autor (2021).

Para descrever esse processo, é necessário introduzir o chamado COEFICIENTE DE CONDUTIVIDADE TÉRMICA, que pode ser definido da seguinte forma: consideremos (observe a figura 18) uma porção homogênea do material que queremos estudar, entre duas bases de *PP*, a única dos quais é mantido a uma temperatura fixa T_1 , o outro a uma temperatura fixa $T_2 < T_1$. Se a extensão das bases for muito maior que a distância d que as separa, o efeito produzido pelas paredes laterais na situação física em questão pode ser considerado desprezível.

Figura 18 – Exemplificação da condução térmica entre corpos em temperaturas diferentes conectados por um material homogêneo.



Fonte: O Autor (2021).

Este último dependerá apenas da coordenada x . Diremos então que estamos lidando com um problema unidimensional. Segundo o que já sabemos, a diferença de

temperatura entre as bases fará com que o calor seja transferido continuamente de T_1 para T_2 , e esse processo continuará até que as temperaturas sejam iguais. Entretanto, podemos evitar isso, pelo menos por um tempo suficiente, mantendo T_1 e T_2 constantes, por exemplo, usando água fervente em T_1 e derretendo gelo em T_2 (observe a figura 18).

Já sabemos que, neste caso, o calor que passa de T_1 para T_2 não varia as temperaturas respectivas, mas serve para mudar o estado (sólido-líquido; líquido-vapor) de uma certa quantidade de água. Dessa forma, criamos uma situação ESTACIONÁRIA, ou seja, uma situação que não está em equilíbrio ($T_2 \neq T_1$), mas que permanece constante temporalmente, graças a uma variação uniforme de alguns parâmetros (por exemplo, a quantidade de gelo presente) externa ao sistema que estamos considerando.

Nesta situação, temos que, continuamente e com um ritmo constante, uma certa quantidade de calor passa pelo nosso sistema. Neste, isto é, há um FLUXO DE CALOR. A temperatura do sistema não será a mesma em todos os pontos, mas variará de ponto a ponto.

$$T = T(x), \quad [3.24]$$

passando do valor $T = T_1$ para $x = 0$ para o valor $T = T_2$ para $x = d$. Sob essas condições, obviamente, qualquer seção do material, ortogonal a x , será atravessada pela mesma quantidade de calor ao mesmo tempo.

Além disso, essa quantidade pode ser medida medindo, por exemplo, a quantidade de gelo que derrete a cada segundo, com um dispositivo semelhante ao usado no calorímetro de Bunsen (conforme mostrado na seção 2.3.8).

Verifica-se então que a quantidade de calor que flui na unidade de tempo, Q/t , é proporcional tanto à extensão S da seção quanto à diferença de temperatura $T_1 - T_2$ existente nos extremos, e é inversamente proporcional à distância d que separa a extremos. Na fórmula,

$$\frac{Q}{t} = -KS \frac{T_2 - T_1}{d}, \quad [3.25]$$

o K é chamado “coeficiente de condutividade térmica”. A equação [3.25] define seu significado, que podemos derivar assumindo um caso particular em que há uma seção unitária ($S = 1$), uma diferença de temperatura unitária ($T_1 - T_2 = 1$), uma distância unitária ($d = 1$) e um intervalo de tempo unitário ($t = 1$).

Nesse caso, é obviamente $Q = K$ (numericamente com unidades de medida apropriadas). Isso significa que: “O coeficiente de condutividade térmica representa a quantidade de calor que passa pela unidade de superfície, na unidade de tempo, quando existe uma diferença de temperatura da unidade entre duas seções colocadas à distância da unitária”.

Ao medir as quantidades de calor e as outras quantidades no sistema SI, temos como consequência que o coeficiente de condutividade térmica seja medido em watt por metro kelvin ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$). A quantidade recíproca à condutividade térmica é a chamada resistividade térmica que, no SI, tem por unidade o metro kelvin por watt ($K \cdot m \cdot W^{-1}$).

Na tabela a seguir (tabela 2), listamos os valores de condutividade para alguns materiais.

Tabela 2 - Condutividade térmica de alguns materiais.

CONDUTIVIDADE (A TEMPERATURA AMBIENTE)			
Substância	$K = W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$	Substância	$K = W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
Prata	429	Tungstênio	174
Cobre	401	Vidro	0,79
Zinco	116	Água	0,61
Ferro	80,2	Madeira	~ 0,13
Chumbo	35,3	Grafeno	4115
Mercúrio	8,34	Tijolo	0,06

Fonte: O Autor (2021).

Observe como a condutividade é muito pequena em líquidos (e mais ainda em gases). Nesses materiais, de fato, o papel predominante é desempenhado pelos fenômenos de convecção. Entre outras coisas, justamente por esse motivo, é difícil avaliar a condutividade dos materiais mencionados, visto que, ao realizar essa medição, deve-se evitar qualquer movimento convectivo que distorça completamente os resultados. Sabemos, entre outras coisas, que quando movimentos convectivos

são evitados (por exemplo, incluindo gases em uma rede celular, como acontece com o poliestireno expandido e com tecidos de lã e similares), os gases são excelentes isolantes térmico. A equação [3.25] pode ser usada ao lidar com materiais homogêneos, ou seja, eles têm as mesmas propriedades em cada ponto. Caso contrário, o coeficiente K adquiriria o significado de um coeficiente “médio”. Por esse motivo, é útil reescrever a equação [3.25] na forma diferencial, ou seja, considerar a quantidade (infinitesimal) de calor ΔQ que no tempo (infinitesimal) dt cruza a superfície (finita) S quando a diferença de temperatura entre pontos cuja distância (infinitesimal) seja dx , vale dT . Obtemos assim:

$$\frac{1}{S} \frac{\delta Q}{dt} = -K \frac{dT}{dx}, \quad [3.26]$$

que permite definir K mesmo quando varia de ponto a ponto, e é $K = K(x)$. Observe que, em condições estacionárias, o primeiro membro da equação [3.26] deve ser constante e independente de x . Caso contrário, de fato, deve haver acúmulo ou diminuição de calor em certos pontos do meio, com os quais a temperatura varia temporalmente em relação à hipótese de estacionariedade. Daqui resulta que, se K não é uma constante, mas depende do local, a quantidade ($dT = dx$) também deve variar de ponto a ponto.

Em outras palavras, enquanto no caso de material homogêneo, $T(x)$ é uma função linear de x , no caso de material não homogêneo, $T(x)$ variará em qualquer caso entre T_1 e T_2 , com a única condição sendo monótona diminuindo. Mostraremos isso com um exemplo. Suponha que ainda estamos no caso da figura 8 ($T_1 = 100^\circ\text{C}$; $T_2 = 0^\circ\text{C}$) e deixe o espaço d entre as paredes consistir em 60 cm de cobre e 40 cm de ferro (observe a figura 19). Nosso objetivo é avaliar a tendência de T ao longo do eixo x .

A partir da equação [3.26] temos:

$$\frac{dT}{dx} = -\frac{1}{K} \cdot \frac{1}{S} \frac{\delta Q}{dt}, \quad [3.27]$$

a partir do qual, integrando

$$T = T_1 - \int_0^x \frac{1}{K} \frac{1}{S} \frac{\delta Q}{dt} dx = T_1 - \frac{1}{S} \frac{\delta Q}{dt} \int_0^x \frac{dx}{K}. \quad [3.28]$$

Agora, $K = K_{Cu} = \text{constante}$ para $0 < x < d_1$ e $K = K_{Fe} = \text{constante}$ para $d_1 < x < d$.

Portanto, para $0 < x < d_1$, obtemos:

$$T = T_1 - \frac{1}{S} \frac{\delta Q}{dt} \frac{x}{K_{Cu}} \quad (0 < x < d_1), \quad [3.29]$$

enquanto que para $d_1 < x < d$, é possível dividir a integral em duas partes, uma entre 0 e d_1 e outra entre d_1 e x , obtendo:

$$T = T_1 - \frac{1}{S} \frac{\delta Q}{dt} \left(\frac{d_1}{K_{Cu}} + \frac{x - d_1}{K_{Fe}} \right) \quad (d_1 < x < d). \quad [3.30]$$

O valor do fluxo térmico $\delta Q/Sdt$ pode ser obtido impondo-se que para $x = d$ deve ser $T = T_2$:

$$T_2 = T_1 - \frac{1}{S} \frac{\delta Q}{dt} \left(\frac{d_1}{K_{Cu}} + \frac{d_2}{K_{Fe}} \right), \quad [3.31]$$

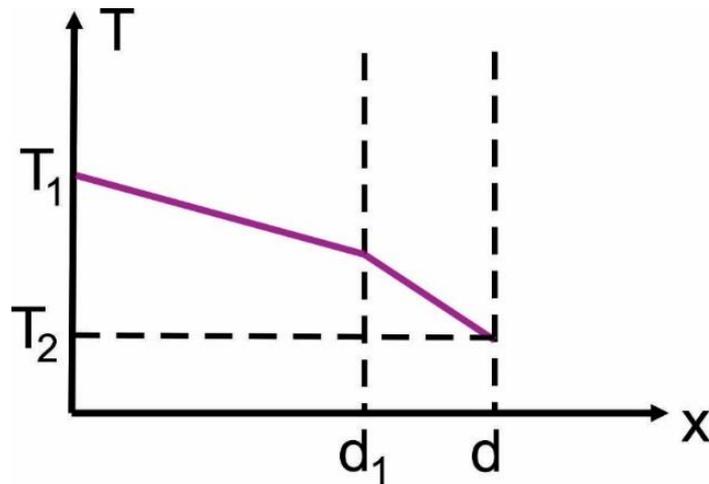
a partir do qual,

$$\frac{1}{S} \frac{Q}{dt} = \frac{T_1 - T_2}{\frac{d_1}{K_{Cu}} + \frac{d_2}{K_{Fe}}}, \quad [3.32]$$

usando os dados do problema e os valores indicados na tabela, o resultado numérico pode ser obtido.

A tendência gráfica de $T = T(x)$ é mostrada na figura 19. Como pode ser visto, a temperatura muda mais rapidamente quanto menor a condutividade térmica do meio, conforme a equação [3.27], a partir da qual se pode observar que a variação (o gradiente) de T é inversamente proporcional ao coeficiente de condutividade térmica.

Figura 19 - Aspecto do gráfico de condutividade térmica de dois materiais diferentes, mostrando que a temperatura muda mais rapidamente de uma material para outro.



Como tratamos no início deste tópico, uma mudança de temperatura sempre corresponde a uma troca de calor. Isso pode acontecer de diferentes formas: condução, que envolve apenas um fluxo de calor; convecção, que além do calor também transporta matéria (os chamados movimentos convectivos); e finalmente irradiação. Este é de longe o método de transmissão de calor mais complexo a ser descrito, pois, envolve o conceito de onda eletromagnética.

No entanto, uma diferença substancial deve ser relatada imediatamente: a irradiação é um método de transmissão de calor que não inclui meios. Condução e convecção, de fato, ocorrem macroscopicamente dentro de um corpo através de interações microscópicas entre as várias partículas que o compõem; na ausência de matéria, condução e convecção não são possíveis. A radiação também pode ocorrer através do vácuo (no entanto, a presença de dois corpos é necessária para a troca de calor).

3.2.9 Lei geral dos gases e suas aplicações

Para se estudar qualquer fenômeno físico, devemos partir da separação de uma região do espaço ou pegar uma parte finita da matéria que a rodeia. A parte isolada idealmente e em que concentramos a nossa atenção será chamada sistema e tudo aquilo o que está fora dela, porém que influencia de maneira direta o seu comportamento, será chamado meio ambiente.

Caracterizamos um sistema termodinâmico com um número, relativamente, pequeno de grandezas físicas diretamente observáveis e mensuráveis, que nos permitam descrever o sistema de um ponto de vista macroscópico.

Tais grandezas físicas que caracterizam o sistema globalmente, ou seja, as propriedades em larga escala, são chamadas variáveis termodinâmicas e estas são: a temperatura T , o volume V e a pressão P . Essas três grandezas físicas permitem descrevermos todos os estados possíveis de equilíbrio do sistema. Damos o nome de Equação de estado do sistema o relacionamento entre essas variáveis em equilíbrio termodinâmico.

Ao iniciarmos o estudo do comportamento dos gases, os relacionamentos entre duas variáveis termodinâmicas são encontrados primeiro, mantendo-se a terceira variável constante. As leis que descreverão tais relações entre essas grandezas recebem o nome de seus respectivos descobridores como serão descritas a seguir.

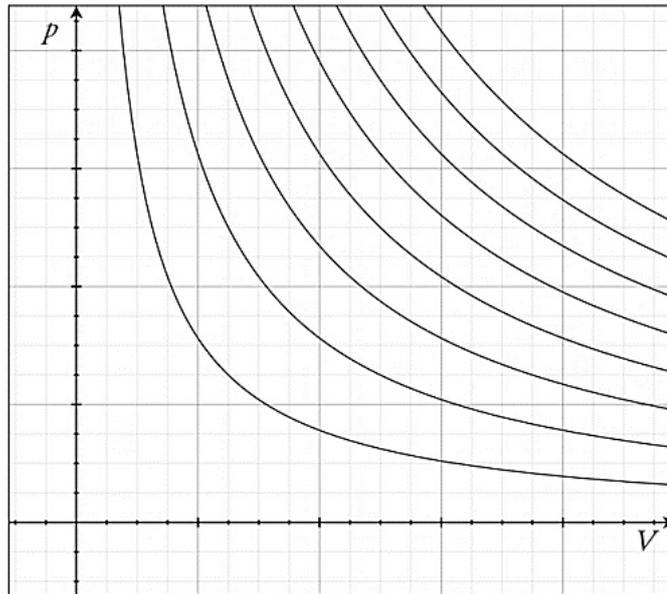
i. Lei de Boyle

Robert Boyle (1627 – 1691), demonstrou experimentalmente em 1661 que, mantendo um gás a temperatura constante à medida que seu volume diminui, a pressão aumenta: a pressão é inversamente proporcional ao volume; em outras palavras, à temperatura constante o produto da pressão do gás para o volume que ocupa é constante. Essa transformação termodinâmica é chamada transformação isotérmica. A lei encontrada, conhecida como Lei de Boyle, é expressa da seguinte forma:

$$PV = \text{constante}. \quad [3.33]$$

A tendência da pressão em função do volume de um gás mantido a uma temperatura constante é ilustrada na figura 20. Cada uma das curvas representam uma transformação isotérmica, ou seja, a temperatura constante. Pela equação [3.33] é possível verificar que transformações isotérmicas são descritas por hipérbolas equilaterais, portanto, à medida que a temperatura aumenta, as curvas (isotermas) se afastam dos eixos.

Figura 20 - Gráfico representando curvas isotermas, quanto mais afastada for a curva, maior sua temperatura.



Fonte: O Autor (2021).

É importante salientar que a lei de Boyle somente é válida sob baixa pressão. Gases reais, como lidamos nos experimentos em laboratório, mostram isotermas hipérblicas apenas a baixas pressões no limite de P quando este tende a zero.

ii. Lei de Charles e Gay-Lussac

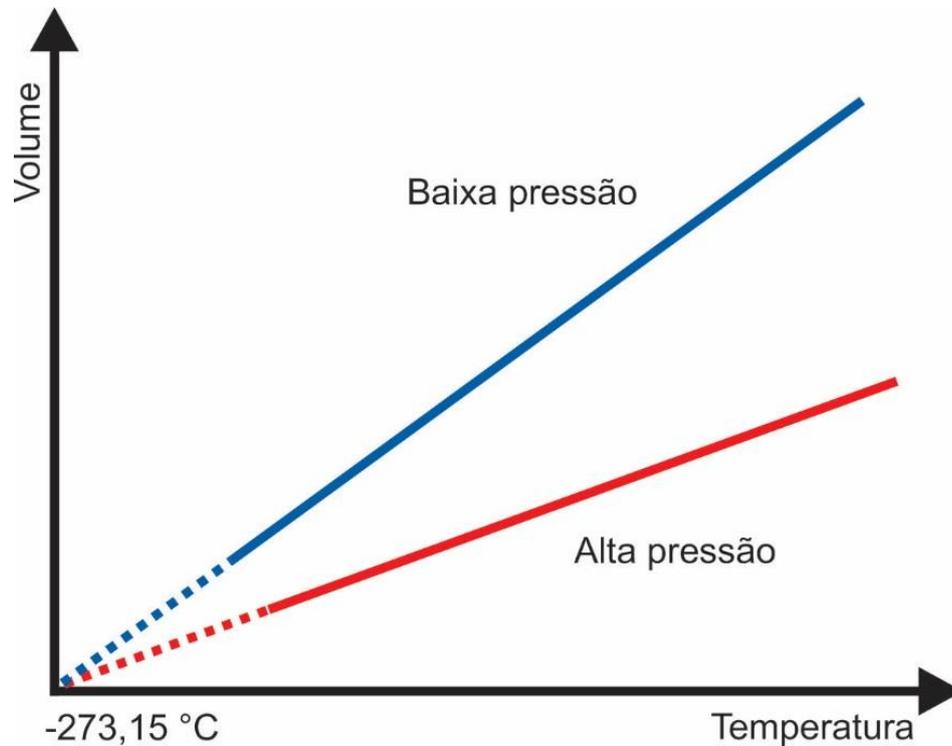
Charles e Gay-Lussac, algumas décadas depois de Boyle, conduziram experimentos com gases usando balões, onde a pressão foi mantida constante e a temperatura era alterada. Pôde ser observado que o volume de gás aumentou linearmente com a temperatura, ou seja, volume e temperatura são diretamente proporcionais.

Foi dado o nome de transformação isobárica a essa transformação termodinâmica, isto é, a pressão é constante. Podemos expressar a lei, que conhecemos como a lei de Charles e Gay-Lussac, da seguinte forma:

$$\frac{V}{T} = \text{constante}. \quad [3.34]$$

A figura 21 mostra a tendência do volume em função da temperatura.

Figura 21 - Aspectos da tendência gráfica de uma transformação isobárica para um gás em baixa pressão e outro em alta pressão.



Fonte: O Autor (2021).

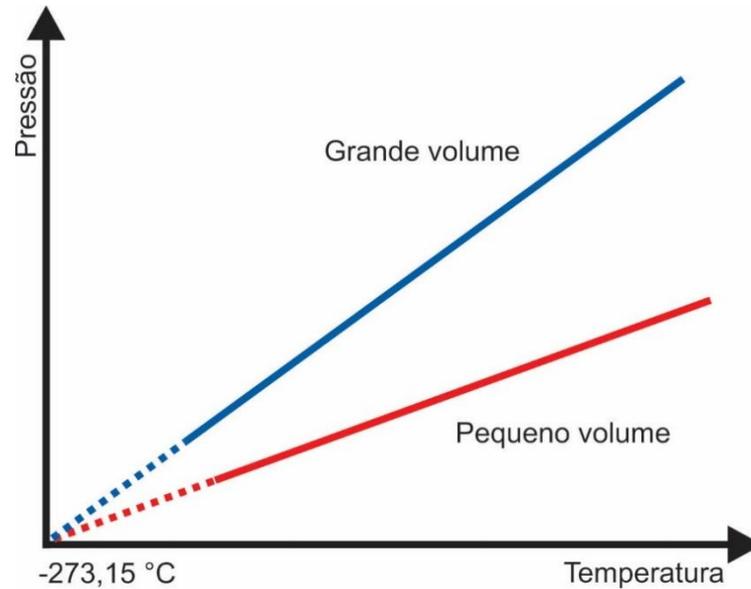
iii. A lei Gay-Lussac

Outros experimentos conduzidos com volume constante levaram à Lei Gay-Lussac, onde ele afirma que em condições de volume constante, a pressão de um gás aumenta linearmente com a temperatura, como pode ser verificado na equação seguinte:

$$\frac{P}{T} = \text{constante}. \quad [3.35]$$

As transformações termodinâmicas onde o volume é mantido constante são chamadas transformações isovolumétrica ou isocórica. A figura 22 mostra a tendência do volume em função da temperatura.

Figura 22 - Aspectos do gráfico de uma transformação isocórica para um volume pequeno e para um grande volume.



Fonte: O Autor (2021).

iv. Equação de estado de gases perfeitos

Relacionando as três leis descritas anteriormente, chegaremos na equação a seguir:

$$PV = kT. \quad [3.36]$$

Porém, é necessário encontrarmos o valor da constante de proporcionalidade k que aparece na equação [3.36]. Para isto, usaremos o Princípio de Avogadro que afirma o seguinte: sob condições de igual temperatura e pressão, volumes iguais de um gás contêm o mesmo número de moléculas. Baseado nessas observações experimentais e com base no princípio de Avogadro, podemos derivar uma única expressão, que engloba as leis descritas acima.

Introduzindo o número de mols n de gás, que é dado pela razão entre o número total de moléculas dividido pelo número Avogadro $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$, podemos reescrever a equação [3.36] da seguinte forma:

$$PV = nRT. \quad [3.37]$$

Onde n é a quantidade de matéria e o R é uma característica constante de todo gás. Experimentalmente pôde ser observado que, para densidades baixas suficientemente, a constante R terá o mesmo valor para todos os gases, ou seja, $R = 8,31 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$, chamado de Constante universal dos gases perfeitos.

A equação [3.37] é chamada Equação de estado de gases perfeitos e é, provavelmente, uma das equações mais importantes da termodinâmica. Pois, esta permite determinar as grandezas termodinâmicas que descrevem o gás em todos os estados de equilíbrio e inclui todas as equações experimentais descritas anteriormente.

v. Aplicações da lei dos gases

– *Balão de ar quente*

O balão de ar quente, é o mais clássico dos exemplos, para explicar a Lei de Charles. Já que o próprio Charles era balonista e foi um dos primeiros homens a voar em um balão, em *Le Champ de Mars*, em Paris.

Como tratado ao longo desse trabalho, na ignição do combustível (queima de gás propano), o ar no envelope do balão aquece. Ao ser aquecido se expande conforme a lei de Charles. A medida que a temperatura do ar aumenta, seu volume aumenta também, diminuindo a densidade. Isso faz com que o envelope fique mais leve do que o ar atmosférico ao redor. A força de flutuabilidade (empuxo) empurra o envelope mais leve no ar e o balão sobe.

– *Pulmões humanos*

A respiração é o processo pelo qual puxamos o ar para os pulmões de modo que nossos corpos possam absorver o oxigênio do ar. Podemos aqui aplicar as leis dos gases à respiração.

Começamos considerando a pressão. Puxamos o ar para os nossos pulmões porque o diafragma, um músculo abaixo dos pulmões, se move para baixo para reduzir

a pressão nos pulmões, fazendo com que o ar externo entre para preencher o volume da pressão mais baixa.

Expulsamos o ar pelo diafragma empurrando os pulmões, aumentando a pressão nos pulmões e forçando o ar de alta pressão para fora. Quais são as mudanças de pressão envolvidas? Um quarto de atmosfera? Um décimo de uma atmosfera? Na verdade, em condições normais, uma diferença de pressão de apenas 136 Pa ou 200 Pa nos faz inspirar e expirar. A respiração envolve diferenças de pressão entre o interior dos pulmões e o ar externo. As diferenças de pressão são apenas em média 150 Pa .

Uma respiração normal é de cerca de $0,50 \ell$. Se a temperatura ambiente é for cerca de 22°C , então o ar tem uma temperatura de cerca de 295 K . Com a pressão normal de $1,0 \text{ atm}$, quantos mols de ar inspiramos para cada respiração? A lei do gás ideal nos dá uma resposta:

$$(1.0 \text{ atm})(0.50\text{L}) = n \left(0.08205 \frac{\text{L} \cdot \text{atm}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \right) (295\text{K}). \quad [3.38]$$

Resolvendo o número de mols, obtemos $n = 0,021 \text{ mol}$ de ar.

Isso acaba sendo cerca de $0,6 \text{ g}$ de ar por respiração - não muito, mas o suficiente para nos manter vivos.

– **Bolinhas de pingue-pongue**

Famoso na China e em vários outros países, como Alemanha e Áustria, por exemplo, o ping-pong (tênis de mesa) é um esporte internacional.

Geralmente, quando as bolinhas de pingue-pongue sofrem um golpe forte ou pressão elas amolgam. Uma maneira prática para resolver esse problema é imergi-la em água “morna”. Nesse processo o ar na bolinha aumenta a temperatura, conforme a lei de Charles aumenta a pressão interna e ela se expande, inflando a bolinha.

– **Assando pães**

Outra situação onde presenciamos a lei geral dos gases é quando assamos pães. Deliciosos pães e bolos, não teriam maciez se não fosse pelo fermento. Os

fungos possuem um agente fermentador chamando levedura. Esse agente faz a conversão dos açúcares da massa em gás carbônico. Quando assamos pães e bolos, esse processo de conversão é acelerado. As altas temperaturas dos fornos permitem o gás se expandir e é essa expansão que dá uma aparência esponjosa aos pães e bolos.

4 DESENVOLVIMENTO DA PROPOSTA

Neste capítulo descreveremos todas as etapas envolvidas na construção deste trabalho. Desde a ideia inicial para elaboração da proposta até a aplicação da mesma, assim como a relação com a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, os objetivos propostos, as contingências enfrentadas, a motivação e razões para a escolha dos objetos e conteúdo.

4.1 Idealização do produto educacional

Na área educacional, entendemos uma sequência didática, como “uma série ordenada e articulada de atividades que compõem cada unidade temática” (ZABALA, 1998). É, portanto, a descrição detalhada de cada ação que deverá acontecer nas aulas, como, por exemplo: o tempo estimado para realização de certa atividade e a forma de avaliação da aprendizagem. Deve haver uma conexão entre as ações escolhidas, de modo que se constitua em algo significativo, coeso e lógico, para o aluno.

Em resumo, uma sequência didática envolve um conjunto de ações, procedimentos através de diversos recursos didáticos para trabalhar sequencialmente um conjunto de temas ou conteúdo. Implicando em um encadeamento organizado, o que, de acordo com Zabala (2006), cria uma “possibilidade de melhora da atuação docente como resultado de um conhecimento mais profundo das variáveis que intervêm e do papel que cada uma delas tem no processo de aprendizagem dos alunos”.

Zabala, ainda, sugere como devem ser elaboradas as atividades de uma sequência didática. Devem permitir ao professor:

- A determinação dos conhecimentos prévios dos alunos relativos aos conteúdos à serem propostos, a relação de significação e função dos conteúdos para os alunos.
- A adequação ao nível de desenvolvimento cognitivo dos alunos, a criação de “desafios” que permitam o avanço cognitivo dos alunos.
- A provocação de “conflitos cognitivos” para estabelecimento de relação entre novos conhecimentos e os conhecimentos prévios.
- O estímulo a autoestima e autoconceito.
- O desenvolvimento de habilidades nos alunos relacionadas com o “aprender a aprender”. (ZABALA, 2006).

4.1.1 Definindo os objetivos do produto educacional

O objetivo principal de trabalho é a aprendizagem significativa dos conceitos de Termologia, para isso buscamos:

- I. Descobrir e descrever os conhecimentos prévios dos alunos e o raciocínio relacionado aos conceitos de Termologia;
- II. Discutir com os alunos, através de aula expositiva, os conceitos de Termologia, enfatizando os aspectos históricos e todo o processo de construção desses conceitos, bem como abordar os equívocos e informações imprecisas, realizando as devidas correções.
- III. Desenvolver uma oficina de construção de balões de ar quente, onde os discentes poderão aprender sobre a física dos balões e relacionar os conceitos de Termologia com o voo dos balões; e
- IV. Avaliar os resultados da aplicação do produto educacional, através de diversas ferramentas: participação, interação, questionários, avaliação escrita, etc.

Visando atingir este objetivo, desenvolvemos uma sequência didática que aborda os conceitos de Termologia da seguinte forma:

- Utilizando um organizador prévio;
- Conduzindo uma abordagem histórica;
- Comprovando empiricamente determinados conceitos;
- Fazendo uma contextualização com o cotidiano dos alunos e propondo experimentos simples como atividade extraclasse.

4.1.2 Elaboração do produto educacional

Organizamos para este trabalho uma sequência didática para tratar do conteúdo de Termologia, que compreende o primeiro bimestre letivo de turmas do segundo ano do Ensino Médio. Sendo que na instituição de ensino o currículo é composto por uma carga horária de 20 aulas por bimestre, onde 04 aulas são empregadas na realização de duas avaliações mensais, organizadas e aplicadas pela escola, diante disso, elaboramos esta sequência didática para ser trabalhada em 16

aulas de 50 minutos. No entanto, nesta escola, as aulas acontecem aos pares (encontros de 100 minutos), assim sendo, planejamos e organizamos 08 encontros.

Uma vez definido o conteúdo a ser trabalhado (Termologia), precisávamos escolher um organizador prévio (objeto motivador).

Concordamos com ideia de que “a principal função do organizador prévio está em preencher o hiato entre aquilo que o aprendiz já conhece e o que precisa conhecer antes de poder aprender significativamente a tarefa com a que se defronta” (AUSUBEL, NOVAK E HANESIAN, 1980, p. 144).

Sobre os organizadores prévios, Ausubel afirma que a aprendizagem de materiais baseados em fatos é mais facilitada, se comparada com a aprendizagem de conteúdos abstratos. Dessa maneira utilizamos como organizador um material que os alunos possam elaborar relações com situações concretas do seu cotidiano, pois, espera-se que o organizador prévio facilite a aprendizagem e retenção dos conteúdos. Contudo, esse organizador precisa ser de fácil compreensão e reprodução.

4.1.2.1. Escolhendo o organizador prévio

Diante desse contexto, optamos por utilizar uma oficina de construção de balões de ar quente como organizador prévio dentro dessa sequência didática.

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; por tratar-se de um experimento relacionado com a prática cotidiana; e a capacidade de reprodução desse experimento por parte dos alunos.

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 sugeridos (propostos) aos alunos realizarem em casa, foram organizados ou adaptados, de forma que fossem possíveis serem realizados. Tais experimentos são

fáceis de montar ou executar, seguidos por 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.

4.1.2.2. Problemas enfrentados

Em um primeiro momento pensamos na ideia do professor construir um balão de ar quente, com um volume de cerca de $3 m^3$ de envelope, porém, uma abordagem desse tipo não colocaria o aluno no centro do processo. Para adequar esse organizador com a teoria da aprendizagem significativa, optamos por usar uma oficina.

Uma vez decidido usar uma oficina, precisávamos escolher um modelo de balão de ar quente que combinasse baixo custo e possibilidade de reprodução. Após muitos testes com diversos materiais, decidimos pelo uso do papel de seda, é fácil de ser encontrado na cidade, custa em torno de R\$ 0,25 (vinte e cinco centavos) uma folha medindo 48 *cm* por 60 *cm*. Por ser muito leve, facilita, por exemplo, a relação com a densidade.

O modelo de balão foi reproduzido usando-se 18 (dezoito) folhas de papel de seda, nas medidas mostradas anteriormente, totalizando um custo de R\$ 4,50 (quatro reais e cinquenta centavos). Para reduzir os custos por aluno e permitir um trabalho colaborativo é, imprescindível, que a oficina seja realizada em grupos, de pelo menos 06 (seis) alunos, ficando um valor de R\$ 0,75 (setenta e cinco centavos), individualmente.

Além disso, os outros materiais necessários para o desenvolvimento dessa oficina, tais como: tesouras, cola, estilete, barbante, régua e transferidor não precisam, necessariamente, serem comprados pelos alunos. A maioria desses materiais pode ser disponibilizados pela escola, pelo professor ou o próprio aluno já possui alguns.

Uma vez superada a parte do modelo, materiais e construção dos balões, chegamos no aspecto motivacional mais relevante, o teste com os balões. O primeiro problema se deu na fonte de calor a ser usada.

O artigo 42 da Lei de Crimes Ambientais (Lei nº 9.605/98) diz que:

“Fabricar, vender, transportar ou soltar balões que possam provocar incêndios nas florestas e demais formas de vegetação, em áreas urbanas ou qualquer tipo de assentamento humano, pode levar a pessoa a ser condenada à pena de detenção, de um a três anos, ou multa, ou ambas, cumulativamente. Além da pena, vale ressaltar que os crimes ambientais são inafiançáveis.” (BRASIL, 1988. Art. 42).

Tínhamos que encontrar um meio de fazer os testes sem oferecer riscos aos participantes e nem cometer crimes ambientais. Foi realizado, isoladamente, e em local adequado um teste com o balão preso por um cabo de náilon, para que não houvesse perigo de sair da área de controle. Nesse teste foi utilizado uma espiriteira a gás (figura 23) como fonte de calor para aquecer o ar no envelope do balão.

Para conduzir o calor de forma, a evitar o contato da chama com envelope do balão, evitando assim, que a seda entrasse em combustão, usamos um tudo feito de chapa de zinco, medindo 10 *cm* de diâmetro e 70 *cm* de altura.

Figura 23 - Espiriteira à gás butano com válvula de regulagem e um tubo de zinco 10 *cm* X 70 *cm* usado para condução do calor entre a espiriteira e o interior do balão.



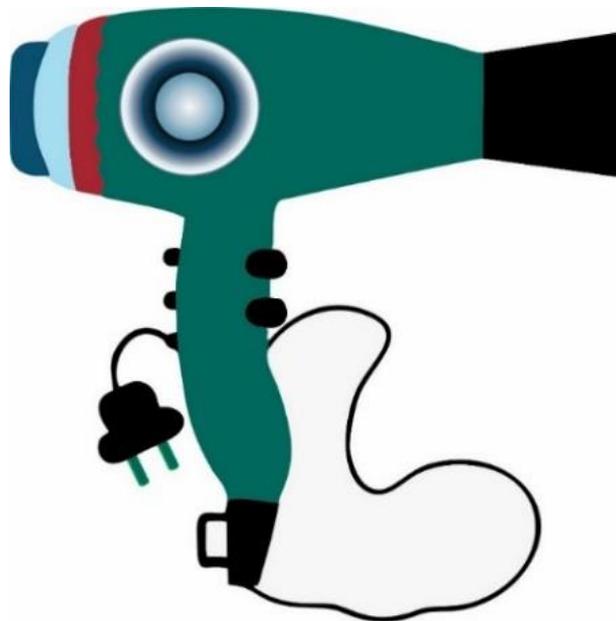
Fonte: O Autor (2021).

Após alguns testes, essa forma de aquecimento do ar não se mostrou promissora para esse trabalho, dado que, mesmo com a válvula de regulagem do gás não foi possível obter o controle adequado, chegando algumas vezes a queimar o

balão. Além, é claro que o fato de usar fogo como fonte de calor poderia trazer discussões desnecessárias sobre a legislação ambiental.

Para solucionar esse problema acabamos optando por utilizar um soprador térmico (secador de cabelos) como fonte de calor (figura 24). Um equipamento prático, de fácil manuseio e não produz chamas. Como necessitamos de uma potência média de 2000 watts, não seria possível fazer os testes em um espaço aberto onde não houvesse eletricidade, daí fora decidido que os testes deveriam ser feitos no pátio da escola.

Figura 24 - Soprador térmico (secador de cabelos).



Fonte: Adaptada pelo Autor (2021).

Um soprador térmico de 2000 W custa em média R\$ 140,00 (cento e quarenta reais), mesmo que esse valor seja dividido entre os alunos, ainda significa um aumento razoável nos custos. No entanto, esse não é um equipamento difícil de encontrar, o professor pode conseguir emprestado (como foi o caso desse trabalho), alguns alunos dispõem em casa ou têm amigos que possuem, ou seja, é possível realizar o trabalho sem a necessidade de aquisição do mesmo.

Outra contingência diz respeito a pandemia da Covid-19, que assolou o mundo inteiro, modificando de forma sem precedentes a nossa maneira de ensinarmos. Embora a sequência didática aqui proposta tenha como principal objeto a

aprendizagem dos conceitos de Termologia, a oficina elaborada para o organizador prévio (balões de ar quente) deve ser conduzida presencialmente.

Isso resultou em uma série adequações a serem seguidas, visando alcançar os objetivos da proposta, bem como, atender aos protocolos dos órgãos de saúde.

4.1.2.3. Revisando a literatura – a história dos balões de ar quente

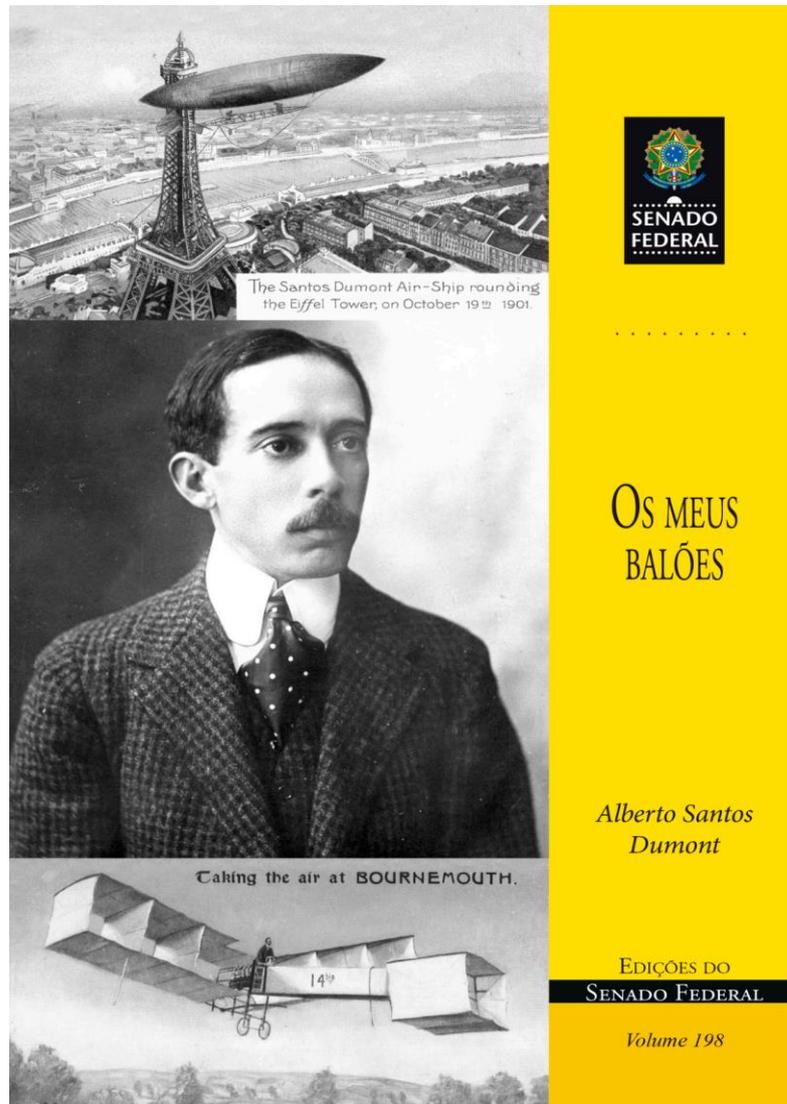
Como pretendemos, nesse trabalho, abordar os conteúdos de Termologia através dos aspectos históricos, teóricos-conceituais e contextualização com o cotidiano, se faz necessário uma busca literária, de modo a fornecer um conjunto de materiais que possam enriquecer o organizador prévio, relacionando-o com elementos relevantes da estrutura cognitiva do aluno.

No capítulo três relatamos de maneira cronológica e resumida a história dos balões de ar quente, aqui nesta seção mostraremos parte dos materiais consultados, de onde tiramos parte dos textos que serão sugeridos para leitura nas atividades propostas na sequência didática.

Dentre os inúmeros trabalhos que falam da parte histórica, começamos citando a dissertação de mestrado em história da ciência de Erivelton Alves Bizerra — “Santos Dumont e o desenvolvimento da dirigibilidade de balões, 2008”. Nessa pesquisa o autor traz um relato rico em detalhes de todas as fases dos balões de ar quente, desde as lanternas de “luzes de Kongming” até os modernos balões que temos atualmente, além é claro, de abordar o relevante papel de Alberto Santos Dumont, na dirigibilidade dos balões.

O próprio trabalho de Bizerra, 2008, nos leva ao livro “Os meus balões, Alberto Santos Dumont, 1906”, com tradução do original francês por A. de Miranda Santos, trata-se de um livro de 343 páginas que tem um PDF disponível em domínio público no site do Senado Federal da República: <https://www2.senado.leg.br/bdsf/item/id/530469> (observar a figura 25). Por se tratar de livro bem extenso, sugere-se que possa ser indicado como leitura extra pelos alunos, bem como o professor pode retirar textos, pontuais, para tratar de situações mais específicas.

Figura 25 - Capa do livro: "Os meus balões" de Alberto Santos Dumont, parte integrante do acervo do Senado Federal do Brasil.



Fonte: Senado Federal do Brasil, 2021.

Além da busca por conteúdo (materiais) de apoio para o trabalho, também, foi feita pesquisa da literatura, objetivando conhecimentos da área de Termologia, bem como, poderiam ser aplicados junto ao produto educacional. Assim, foi realizada pesquisa bibliográfica sobre os balões de ar quente, sequência didática para a aprendizagem de Termologia, a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel e o sobre produtos educacionais.

De acordo com Severino (2007), para se realizar uma pesquisa da literatura, é necessário o apoio de:

[...] registro disponível, decorrente de pesquisas anteriores, em documentos impressos, como livros, artigos, teses etc. Utilizam-se dados de categorias teóricas já trabalhadas por outros pesquisadores e devidamente registrados. Os textos tornam-se fonte dos temas a serem pesquisados. O pesquisador trabalha a partir de contribuição dos autores dos estudos analíticos constantes dos textos. (SEVERINO, 2007, p. 122).

A pesquisa literária foi pautada em livros e trabalhos científicos, por exemplo: artigos, dissertações, teses e produtos educacionais disponíveis em sítios reconhecidos como as plataformas: CNPq, CAPES (Periódicos), Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) e do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), publicações que abordam os temas mencionados nesse trabalho. Dessa forma, usamos as seguintes palavras-chave: balões de ar quente, balões e termologia, sequência didática termologia e Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel.

Os resultados dessas buscas contribuíram para a escrita dos capítulos iniciais, principalmente, a parte física e a fundamentação teórica. Também, foi de suma importância para delimitar as ações didáticas organizadas na sequência de ensino, bem como os recursos necessários à oferta de um ambiente de aprendizagem significativa.

4.2 Aplicação do produto educacional

Após a organização preliminar do produto educacional realizamos a aplicação e avaliação. Descreveremos agora o local, a população amostral e faremos um relato de cada encontro durante a aplicação com os discentes. O produto educacional encontra-se no apêndice D.

4.2.1 População amostral

Para a aplicação deste produto educacional foram escolhidas três turmas de segundo ano do Ensino Médio Regular, na Unidade Escolar Luís Teixeira, escola da rede pública do Estado do Piauí, localizada à Av. Cesário Marinho, S/N, centro, na cidade de Luzilândia-PI. Sendo, uma média de 30 (trinta) alunos por turma: duas turmas pela parte da manhã e uma turma no período da tarde. A escola atende em média 370 (trezentos e setenta) alunos, distribuídos em 10 (dez) turmas, não dispõe

de quadra poliesportiva, não possui biblioteca, tem um laboratório de informática, porém, desativado.

A escolha dessa população amostral foi intencional, dado que o currículo do segundo ano do ensino médio contempla os conteúdos de Termologia.

4.2.2 Etapas da aplicação - Encontros

A aplicação foi realizada em oito encontros, com as referidas turmas, sendo cada encontro com uma hora e quarenta minutos de duração. Em virtude da pandemia da Covid-19 a aplicação ocorreu através do método de ensino híbrido (“*blended learning*”¹), onde a maioria dos encontros ocorrera remotamente, através das diversas plataformas de comunicação “online” e pelo “app iSeduc” (desenvolvido pela Secretaria de Educação do Estado do Piauí – SEDUC).

Os dois primeiros encontros aconteceram presencialmente, logo em seguida se iniciou o primeiro período de quarentena de 15 (quinze) dias, que logo fora prorrogado por mais 45 (quarenta e cinco) dias, foi quando a SEDUC adotou o sistema de ensino remoto. Muito, do que fora planejado teve que sofrer alterações.

No retorno das atividades optamos por realizar dois momentos presenciais (seguindo as devidas recomendações da OMS e das secretarias estadual e municipal de saúde). O primeiro momento presencial se deu no fim do quarto encontro (oficina de construção de balões de ar quente) e o outro momento aconteceu no oitavo encontro (testes dos balões).

4.2.2.1 Primeiro encontro – Introdução a Termologia

O primeiro encontro aconteceu na primeira semana de aulas do ano letivo, no entanto, a escola já havia organizado uma aula inaugural de boas-vindas, onde são apresentados todos os professores e alunos. É realizado uma interação social e discutido diversos assuntos (formas de avaliações, faltas, regras da escolha, etc.).

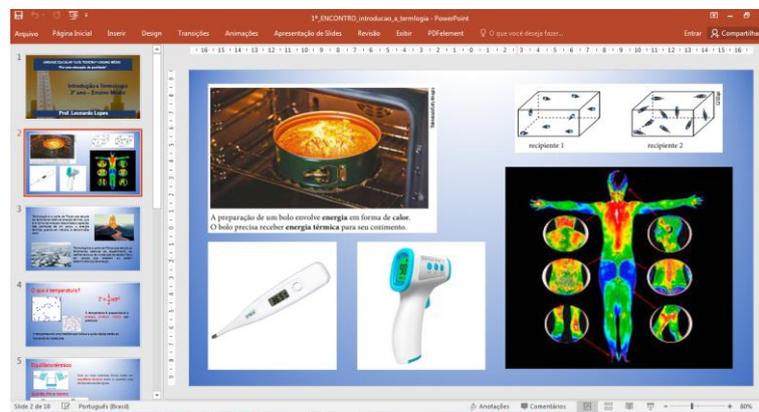
¹ O blended learning, ou b-learning, é um derivado do e-learning, e refere-se a um sistema de formação onde a maior parte dos conteúdos é transmitido em curso à distância, normalmente pela internet, entretanto inclui necessariamente situações presenciais, daí a origem da designação blended, algo misto, combinado.

Disponível em: <http://cognitivus.com.br/site/blended.html>. Acesso em: 13 de janeiro de 2021.

Assim sendo, no nosso primeiro encontro, foram dispensadas certas formalidades e já iniciamos direto no conteúdo.

Inicialmente projetamos o “slide” da figura 26 durante o tempo da chamada, com o intuito de chamar a atenção dos alunos, logo em seguida foi realizada uma breve discussão sobre as imagens mostradas e com o auxílio dos demais “slides” dessa apresentação falamos sobre a Termologia e seu objeto de estudo. Foi tratado uma parte do contexto histórico, falando desde a descoberta do fogo até o presente.

Figura 26 – Impressão do slide 2 da apresentação “introdução_a_termologia.ppt” disponível em: <http://www.encurtador.com.br/lowlL>.



Fonte: O Autor (2021).

Logo em seguida foi pedido que os alunos escrevessem em uma folha de papel o que eles entendiam por temperatura e calor e qual a relação entre esses dois termos, após um tempo de, aproximadamente, 5 (cinco) minutos foram recolhidas as respostas e dado continuação a aula.

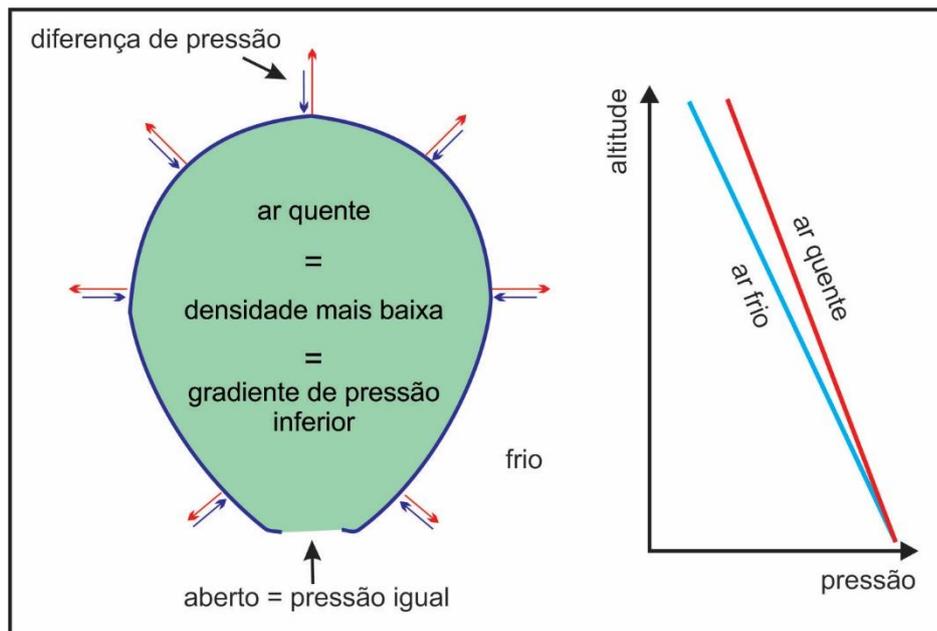
A próxima etapa foi, justamente, falar sobre termo temperatura, para isso começamos lendo algumas respostas, sem citar o nome do aluno. O livro didático adotado pela escola define temperatura como sendo o nível de agitação das partículas. Isso pode ser representado como sendo o valor médio da energia cinéticas das moléculas. O que é uma conceptualização muito simplificada, portanto, faremos um paralelo do mundo microscópico com o mundo macro, mostrar que temperatura está diretamente relacionado com o conceito de equilíbrio térmico.

Nesse momento da aula trouxemos, pela primeira vez, o exemplo do balão de ar quente, mostrando a figura 27 e explicando que as partículas de ar no balão ao serem aquecidas recebem energia e aumentam sua velocidade de translação e isso,

consequentemente, aumenta a temperatura. O mesmo exemplo permitiu abordarmos a ideia de pressão e densidade, no caso de um balão de ar quente, o volume do balão não é alterado quando o ar é aquecido. Como o ar aquecido sofre uma expansão e parte dele escapa do balão pela parte inferior (saia do balão) que não está fechada, o peso do ar no balão é reduzido, fazendo com que o ar quente no balão tenha uma densidade menor que o ar frio ao seu redor. Portanto, o balão sobe.

A respeito da relação do equilíbrio térmico com o balão, falamos que massas em temperaturas diferentes, colocadas em contato entre si, tendem ao equilíbrio térmico, dessa maneira o ar no balão deve ser aquecido continuamente, do contrário o balão não sobe.

Figura 27 – Relação entre altitude e pressão para o ar “frio” (fora do balão) e o ar “quente” (dentro do balão). Na ilustração do balão podemos ver as diferenças de pressão na parte de cima e de baixo, o que cria um gradiente de pressão.



Fonte: Adaptada pelo Autor (2021).

Assim, conseguimos relacionar os termos: temperatura, pressão, equilíbrio térmico e densidade com o voo dos balões, claro, sem aprofundar o assunto, apenas como uma abordagem inicial, para enfatizar que a temperatura é variável de estado e está relacionada com inúmeros termos e conceitos físicos.

Além do exemplo dos balões de ar quente, realizamos um experimento simples para enriquecer o conceito de equilíbrio térmico e as sensações térmicas. Usamos dois recipientes um contendo um litro de água quente (numa temperatura que fosse

possível colocar a mãe sem queimar) e o outro um litro de água fria, conforme a figura 28 e em seguida misturamos meio litro de cada em um terceiro recipiente, obtendo assim: água quente, água morna e água fria.

Figura 28 – Experimentando as sensações térmicas: misturando água “quente” com água “fria”. Após um certo tempo temos o equilíbrio térmico, se as quantidades forem proporcionais teremos água morna.



Fonte: O Autor (2021).

Pedimos para alguns alunos que experimentassem, colocando uma mão na água “fria” e outra na “quente” e em seguida colocassem as mãos no recipiente com água morna.

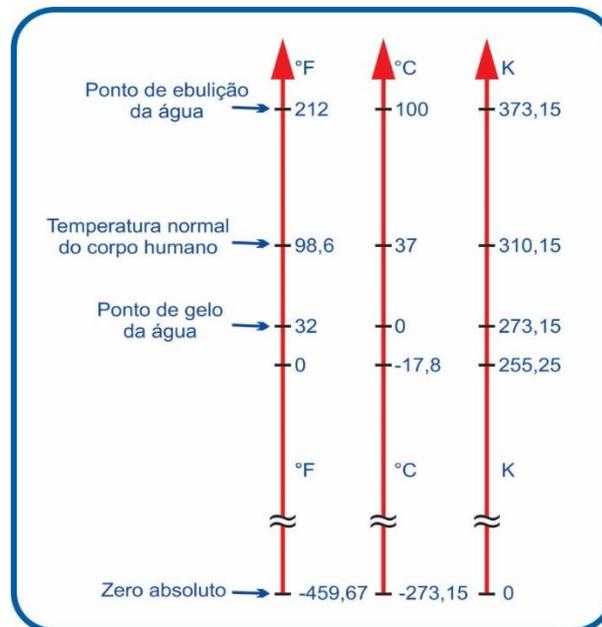
Falamos que pessoas diferentes têm sensações, também, diferentes, ou seja, o que pode ser considerado quente para uma pessoa pode ser frio para outra. Assim, as sensações térmicas não são confiáveis para medirmos a temperatura e que precisaríamos de uma maneira mais adequada para isso, assim apresentamos aos alunos o termômetro como instrumento usado para medir a temperatura.

Além dos alunos, conhecerem um instrumento que mede a temperatura, também, é fundamental que eles saibam como funciona e como se constrói um termômetro. Dessa forma, explicamos que 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, como é o caso do álcool e do mercúrio.

Foram mostradas várias imagens de diversos tipos e modelos de termômetros. Mostramos, também que existem outras propriedades usadas para medir a temperatura, como resistência elétrica, cor e emissão de radiação infravermelha.

Na construção do termômetro é necessária uma graduação e para isso é preciso adotar uma escala. Nesse momento apresentamos as escalas termométricas mais utilizadas: Celsius, Fahrenheit e Kelvin. Foi explicado que a escala Kelvin é mais usada na área científica e que as escalas são adotadas em alguns países, como é o caso da Celsius, que usamos no Brasil. Já os Estados Unidos, por exemplo, utilizam a escala Fahrenheit. Também mostramos uma imagem (figura 29) comparando as escalas e mostrando que temos um valor mínimo de temperatura (zero absoluto), porém não temos um limite superior.

Figura 29 – 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: O Autor (2021).

Em seguida explicamos que, às vezes, precisamos converter os valores de uma escala para outra e para isso podemos usar a seguinte equação.

$$\frac{T_C}{5} = \frac{T_F - 32}{9} = \frac{T_K - 273}{5} \quad [4.01]$$

Resolvemos o exercício do slide oito da apresentação e alguns outros exemplos feitos na hora.

Ao finalizar esse primeiro encontro, entregamos uma lista de exercícios (pré-teste) com questões subjetivas, com o intuito de verificar o nível de conhecimento dos alunos com relação aos conceitos de Termologia, para facilitar a entrega, realizamos a coleta através de um formulário eletrônico. As perguntas desse questionário encontram-se no apêndice A. Também entregamos uma cópia impressa do texto: “Temperatura: fatos, história e definição.pdf” (link: <https://cutt.ly/3hj69qM>). Trata-se de um texto curto que aborda alguns aspectos interessantes de temperatura e a parte histórica dos termômetros.

Em resumo, nesse primeiro encontro tratamos de apresentar nossa área de estudos nesse bimestre (Termologia) mostramos e relacionamos com elementos do cotidiano dos alunos, discutindo os conceitos de equilíbrio térmico, temperaturas, pressão, densidade e escalas termométricas. Também, usamos esse momento para questionar o entendimento dos discentes sobre temperatura e calor, bem como aplicar o pré-teste.

Apesar de usarmos os balões de ar quente como exemplo e realizar algumas relações, nesse primeiro encontro não apresentamos a proposta da oficina de construção de balões de ar quente, deixando para o encontro seguinte.

4.2.2.2 Segundo encontro – Balões de ar quente e calor

Iniciamos o nosso segundo encontro discutindo algumas respostas do questionário pré-teste, corrigindo e enriquecendo as respostas dos alunos. Como algumas perguntas eram sobre conceitos que iríamos trabalhar no decorrer da sequência didática, uma análise comparativa das respostas escritas pelos alunos com as coletadas pelo Google forms será feita no capítulo dos resultados.

Após nossa sucinta discussão começamos a projetar a apresentação “2º_Encontro: balões_e_calor.ppt” (link: <http://www.encurtador.com.br/avAFQ>), onde no “slide” dois tem um pequeno vídeo sobre os balões de ar quente. Fizemos a exibição desse vídeo e logo em seguida abordamos os aspectos históricos dos balões de ar quente e sua relação com a Termologia, falamos um pouco dos papéis de Alberto Santos Dumont, Charles e Gay-Lussac.

Logo em seguida, aproveitamos para apresentar a proposta de trabalho (oficina de balões de ar quente), ou seja, explicamos para os alunos que a maioria dos

conceitos de Termologia estão relacionados aos balões de ar quente. Combinamos que logo após nossa primeira avaliação realizaríamos a oficina, porém, em virtude da pandemia da Covid-19 as aulas foram suspensas e tivemos que rever como seria trabalhado a oficina.

Após a proposta apresentada, continuamos com os “slides” falando sobre o calor e sua propagação. Iniciamos falando sobre energia térmica, usamos as imagens dos “slides” e mostramos diversos outros exemplos ali presentes ou que o aluno pudesse encontrar em sua casa. Por exemplo, para ferver meio litro de água para preparar um café, gasta-se um determinado tempo com o fogo aceso e que esse mesmo não seria suficiente para ferver um caldeirão com 50 (cinquenta) litros de água. Assim, mostramos que a energia térmica tem relação com a massa.

Em seguida introduzimos o conceito físico de calor e exibimos imagens exemplificando, mostramos de diversas maneiras para ficar claro para os alunos.

Após definirmos o calor como energia térmica em trânsito, perguntamos aos alunos se eles poderiam descrever alguma relação entre calor e os balões de ar quente, bem como relacionar calor com a temperatura.

Para continuar apresentamos a unidade de calor (Joule e caloria), contextualizando com casos da vida dos alunos, como os alimentos, onde os alunos encontram uma tabela nutricional.

Depois dessa abordagem conceitual de calor, começamos a tratar das formas de propagação do calor. Iniciamos com a condução térmica, ou seja, explicamos que quando colocamos dois corpos com temperaturas diferentes em contato haverá um fluxo de calor do mais “quente” para o mais “frio” e que esse fluxo pode ser representado matematicamente através da seguinte equação:

$$\phi = \frac{Q}{\Delta t}, \quad [4.02]$$

onde ϕ é o fluxo de calor, Q é a energia térmica e Δt a variação de tempo. Assim, como medimos calor em joule e tempo em segundos, temos que o fluxo é dado em J/s (joule por segundo).

Também, destacamos que o fluxo depende do material envolvido, depende da área de secção transversal e do comprimento e isso é expressando pela lei de Fourier.

$$\phi = k \frac{A|\Delta T|}{\ell}. \quad [4.03]$$

Explicamos que esse k é a característica do material e chamamos constante de condutibilidade térmica, a área é o A e o comprimento o ℓ . Apresentamos uma tabela que mostra os valores de k de alguns materiais e mostramos como o processo de condução do calor está relacionado com os balões de ar quente (as moléculas ao serem aquecidas aumentam sua energia cinética e colidem com as demais, transferindo essa energia). Após um certo tempo todas as partículas de ar no balão terão uma maior temperatura.

Para reforçar a compreensão, mostramos a figura 30 com um experimento que vem no próprio livro didático dos alunos e sugerimos que eles fizessem esse experimento em casa e gravassem um vídeo, que deveria ser enviado pelo mensageiro instantâneo ou formulário eletrônico. No livro tem todos os procedimentos para o aluno reproduzir o experimento.

Figura 30 –Verificando experimentalmente a condutibilidade térmica.



Fonte: O autor (2021).

Além de realizar o experimento, os alunos deveriam responder as seguintes indagações:

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?

A última parte desse encontro usamos para discutir alguns problemas resolvidos do livro e resolver alguns exercícios propostos. O tempo restante permitiu trabalharmos os seguintes casos: problema 1 e problema 10 (figura 31).

Figura 31 – Problema 1 – Exercício resolvido do livro didático.

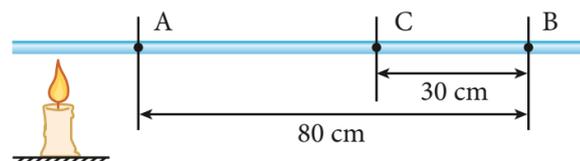
- 1** Imagine dois corpos **A** e **B** com temperaturas T_A e T_B , sendo $T_A > T_B$. Quando colocamos esses corpos em contato térmico, podemos afirmar que ocorre o seguinte fato:
- Os corpos se repelem.
 - O calor flui do corpo **A** para o corpo **B** por tempo indeterminado.
 - O calor flui do corpo **B** para o corpo **A** por tempo indeterminado.
 - O calor flui de **A** para **B** até que ambos os corpos atinjam a mesma temperatura.
 - Não acontece nada.

RESOLUÇÃO

Colocar dois corpos em **contato térmico** significa criar a possibilidade de transferência de calor de um para o outro. Esse fluxo de calor ocorrerá de forma espontânea, no sentido do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura. O fluxo de calor irá cessar quando a causa que o provocou desaparecer. Assim, quando ocorrer o equilíbrio térmico (igualdade das temperaturas), o fluxo cessará.

Resposta: Alternativa *d*.

- 10.** Uma barra metálica é aquecida conforme a figura; **A**, **B** e **C** são termômetros. Admita a condução de calor em regime estacionário e no sentido longitudinal da barra.



Quando os termômetros das extremidades indicarem 200°C e 80°C , o intermediário indicará:

- a) 195°C b) 175°C c) 140°C d) 125°C e) 100°C

Finalizamos esse encontro passando a lista de exercícios propostos do livro didático, as questões encontram-se no Anexo A1. Passamos, também, um link da Wikipédia para um texto sobre os balões de ar quente (link: “<http://www.encurtador.com.br/fxCS8>”).

4.2.2.3 Terceiro encontro – Convecção e radiação

Esse encontro aconteceu remotamente através de uma plataforma digital (“Google Meet”), quarenta e cinco dias após o segundo encontro, em decorrência da quarentena da pandemia da Covid-19. Nesse período já havíamos recebido o vídeo do experimento proposto (observe a figura 32) e as fotos dos cadernos com os exercícios propostos respondidos.

Figura 32 – Impressão do vídeo de uma aluna realizando o experimento de condução térmica.



Fonte: O Autor (2021).

Dedicamos os primeiros 15 minutos para corrigir e discutir alguns desses problemas e falarmos sobre o experimento.

Em seguida compartilhamos a tela da apresentação “3º_ENCONTRO_convecção_radiação.ppt” (link: “[encurtador.com.br/biqsw](http://www.encurtador.com.br/biqsw)”). Começamos falando do processo de propagação do calor por convecção. Exibimos várias imagens dos “slides”, mostrando que uma massa de ar quente se expande, diminuindo sua densidade e tende a subir, ocupando o espaço de uma massa fria (mais densa) que tende a descer e ocupar o espaço deixado. Dentre os exemplos citados temos o caso dos aparelhos de ar condicionados (são instalados, geralmente

na parte superior do cômodo), a água quando ferve, a brisa marítima e os balões de ar quente.

Aqui enfatizamos que é, justamente, por convecção que um balão de ar quente sobe. Com auxílio da imagem do slide 4 (figura 33), conectamos os balões de ar quente com os conceitos de convecção, flutuabilidade e gravidade.

Figura 33 – Recorte do Impressão do slide 4 mostrando as magnitudes das forças gravitacional e de flutuabilidade.



Fonte: O Autor (2021).

Dando continuidade, foi explicado o conceito de radiação térmica. Apresentamos o Sol como a principal fonte de radiação que temos e é responsável pela vida na Terra. Falamos de outras fontes de radiação (luz de uma vela, fogueira, forno elétrico) e questionamos os alunos sobre outros exemplos. Explicamos que a radiação térmica, assim como a convecção e a condução, está relacionada com os balões de ar quente, ou seja, o fogo usado para aquecer o ar do balão é uma fonte de radiação.

Após concluirmos a parte de convecção e radiação, ainda nesse encontro, iniciamos a definição de capacidade térmica, sua representação matemática e unidade de medida no sistema internacional de unidades (SI).

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \left(\frac{J}{K} \right), \quad [4.04]$$

onde C é a capacidade térmica, Q o calor e ΔT a variação da temperatura, assim a unidade no SI é J/K (joule por kelvin).

Em seguida falamos sobre o calor específico (calor sensível) e que cada material um valor de calor, colocamos a água como exemplo, mostrando ser o material com maior valor de calor específico, diferente, por exemplo, do cobre. Trouxemos o exemplo a areia da praia e da água do mar, que durante o dia a areia é muito “quente”, porém, a noite esfria muito rápido. E, escrevemos a equação do calor sensível para discutirmos.

$$Q = mc\Delta T \quad \therefore c = \frac{Q}{m\Delta T}. \quad [4.05]$$

Nesta equação, c é o calor específico do material, m é a massa, Q é o calor e ΔT a variação da temperatura. Essa equação mostra que quanto maior for o calor específico mais calor é necessário para a variação da temperatura.

Fizemos uma aplicação da equação com o seguinte exemplo: Imagine um balão de ar quente contem 2 kg de ar na temperatura ambiente de 25°C . Qual a quantidade de calor para elevar a temperatura dessa massa de ar de para 80°C ?

Solução:

A pressão constante de 1 atm , o ar tem calor específico de $0,24 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$. E 2 kg tem 2000 g . Assim:

$$Q = mc\Delta T$$

$$Q = 2000 \cdot 0,24 \cdot (80 - 25)$$

$$Q = 26,4 \text{ kcal}.$$

Portanto, são necessárias 26.400 calorias para variar a temperatura dessa massa de ar em 55°C .

Ao terminarmos esse exemplo, tratamos de um sistema termicamente isolado, mostrando que quando não há troca de calor com o meio exterior o sistema é

conservativo, ou seja, a quantidade de calor que um corpo cede o outro recebe, mostramos isso através da seguinte equação.

$$\left| \sum Q_{cedido} \right| = \left| \sum Q_{recebido} \right|. \quad [4.06]$$

Para finalizar essa parte teórica, mostramos o calorímetro e o seu funcionamento, sendo um sistema termicamente isolado. Disponibilizamos um link do “Youtube” de um vídeo mostrando como construir um calorímetro, para que os alunos pudessem assistir em outro momento (link: <https://www.youtube.com/watch?v=ePLyEGs429s>).

Terminada a parte teórica desse encontro, usamos o tempo restante para resolver questão do livro didático sobre: convecção, radiação, capacidade térmica e calor sensível e passar alguns exercícios para os alunos (lista disponível no Anexo A2).

Por último, propomos um trabalho de pesquisa e debate, que deveria ser realizado em grupos e apresentado forma de seminário ou mesa redonda. Esse trabalho valeria 30% (trinta por cento) da primeira nota.

Primeiro dividimos a turma em grupos (média de 5 alunos por grupo); fizemos o sorteio dos temas; e agendamos a data de apresentação para o encontro seguinte; e definimos que o tempo de apresentação de cada grupo seria de 7 minutos.

Os temas sugeridos foram:

1. Grupo 01:

- Formas de aproveitamento da energia solar;

2. Grupo 02:

- Aquecimento global;

3. Grupo 03:

- O experimento de Tyndall); Link com as instruções: experimento de tyndall.pdf (“encurtador.com.br/tEMUV”).

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)?

Reforçamos para os alunos que a primeira nota seria composta de 20% (vinte por cento) pela participação, assiduidade, realização dos experimentos propostos e atividades do caderno (avaliação qualitativa); 30% (trinta por cento) pelo trabalho de pesquisa e debate (avaliação qualitativa); e 50% (cinquenta por cento) por uma prova escrita de 10 (dez) questões (avaliação quantitativa).

4.2.2.4 Quarto encontro – Seminário e estudo dos estados físicos

A realização do quarto encontro, assim como do terceiro, se deu através da plataforma digital. Dividimos em duas partes de 50 (cinquenta) minutos, a primeira parte para apresentação dos trabalhos propostos anteriormente e a segunda para dar continuidade ao conteúdo. Sobre a lista de exercícios os alunos enviaram as respostas em PDF através do aplicativo iSeduc (onde o professor corrige e dá um *feedback*² para o aluno).

² A palavra *feedback* vem do inglês, e representa a junção de *feed* (alimentar) e *back* (de volta), ou seja, essa tradução pode ser tida como o ato de realimentar, dar resposta a uma atitude ou comportamento (VAIPE, 2021).

A atividade foi realizada em grupo para haver um trabalho coletivo, entre os alunos, porém a nota é individual. Como, normalmente, ocorre nos encontros presenciais, alguns alunos faltaram, mas todos os presentes apresentaram e deram suas contribuições. Alguns dos alunos que faltaram entraram em contato justificando e tiveram uma nova oportunidade de apresentar (nesse caso, não valeria mais 100% da nota). Alguns optaram por não apresentar e ficaram sem a nota dessa atividade.

A apresentação e discussão levou um pouco mais de tempo do que o planejado (uma hora), restando 40 (quarenta) minutos para continuarmos o conteúdo.

Após a apresentação dos seminários iniciamos o conteúdo com os slides “4°_ENCONTRO_estados_fisicos.ppt” (link: “<http://www.encurtador.com.br/cEJN5>”), falando sobre os estados físicos, em particular: sólido, líquido e gasoso.

Começamos tomando a água como exemplo, explicando que em determinadas temperaturas e pressões a água muda de estado físico, fenômeno esse que os alunos conseguem presenciar em suas próprias casas, quando colocam água no compartimento congelador/evaporador da geladeira ou quando colocam água para ferver e cozinhar os alimentos.

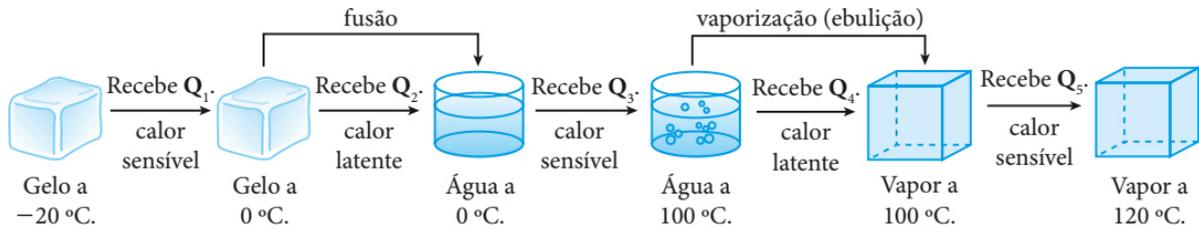
Nesse momento revisamos a ideia de calor específico, que determina a energia (calor) que o material precisa ceder ou receber para variar sua temperatura. Mostramos que durante a mudança de fase não há variação de temperatura, porém há troca de calor e, para isso, temos um novo conceito, o de calor latente. Ou seja, durante a mudança de fase o valor da troca de calor é diferente. Por exemplo, para mudar 1 g de água do estado sólido para o líquido precisamos de 80 cal, já do estado líquido para o gasoso são necessárias 540 cal.

Exibimos na tela uma tabela com o calor latente e temperatura de fusão e vaporização de alguns materiais. Mostramos que além da quantidade de calor fornecida, também, a depender do material teremos uma temperatura onde ocorre essa mudança, por exemplo, o ferro permanece no estado sólido até 1535 °C e evapora na temperatura de 3000 °C.

Em seguida escrevemos a equação $Q = mL$, onde Q é o calor, m a massa e L o calor latente de fusão ou vaporização e que a quantidade de calor envolvida na mudança de fase é diretamente proporcional a massa.

Para melhorar a compreensão dos alunos discutimos o seguinte exemplo da figura 34.

Figura 34 – Esquema representando as mudanças de fases para elevar a temperatura de um bloco de gelo de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ até $120\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Fonte: HELOU; GUALTER; NEWTON, 2016, p. 47.

Através desse esquema pudemos mostrar que a $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ não temos mais gelo e sim vapor, portanto, tivemos duas mudanças de estado físico. O calor é calculado observando a seguinte relação: $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5$. Onde Q_1 é o calor sensível que o gelo recebe para ir de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ até $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Q_2 é o calor latente de fusão do gelo. Q_3 é o calor sensível para elevar a temperatura da água até $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Q_4 é o calor latente de vaporização da água e Q_5 é o calor sensível para elevar a temperatura do vapor de água até $120\text{ }^{\circ}\text{C}$.

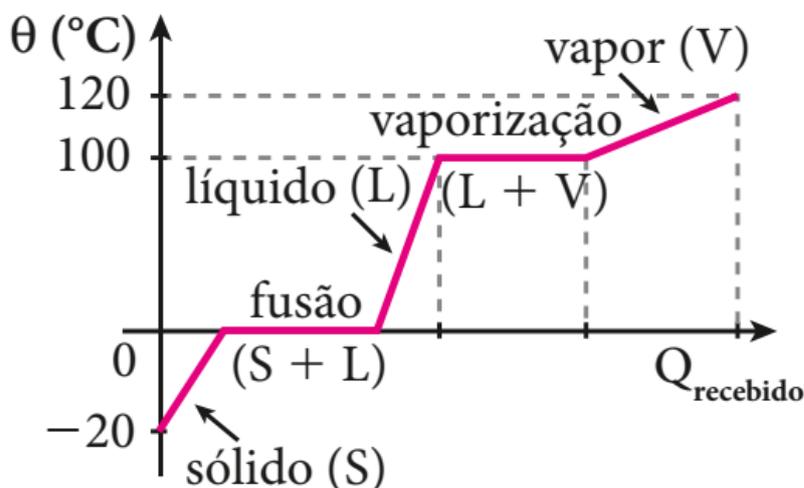
Lembramos que para calcularmos o calor sensível usamos $Q = mc\Delta T$ e para calor latente usamos $Q = mL$. Embora o material seja água, o calor específico é diferente em cada estado. No estado sólido (gelo) $c = 0,50\text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$, estado líquido (água) $c = 1,00\text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$ e no estado gasoso (vapor) $c = 0,50\text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$. Já o calor latente de fusão do gelo é 80 cal/g e o calor latente de vaporização da água é 540 cal/g .

Assim, para calcularmos a energia total temos:

$$Q = (mc\Delta T)_{\text{gelo}} + (mL_F)_{\text{gelo}} + (mc\Delta T)_{\text{água}} + (mL_V)_{\text{água}} + (mc\Delta T)_{\text{vapor}}$$

Para finalizar mostramos a representação gráfica desse processo através do gráfico da figura 35.

Figura 35 – Representação gráfica das mudanças de fase na elevação da temperatura do gelo de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ até $120\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Fonte: HELOU; GUALTER; NEWTON (p. 47, 2016).

Como tarefa de casa, passamos alguns dos exercícios propostos no livro didático (Anexo A3).

Finalizamos esse encontro falando a prova escrita que eles realizariam na semana seguinte, correspondendo a 50% (cinquenta por cento da nota) e que após a semana de avaliações teríamos nosso quinto encontro, onde iríamos fazer a oficina de construção de balões de ar quente. Passamos o link do PDF “Guia de construção de balões de ar quente de papel de seda”, esse guia é parte integrante do produto educacional que se encontra no apêndice D. Dissemos quais materiais que eles deveriam comprar.

Como estávamos em período de quarentena da Covid-19, encaminhamos para os alunos um documento: “termo de consentimento de participação” (Apêndice B), que deveria ser assinado por um responsável, no caso de alunos menores de idade e pelo próprio aluno, caso fosse maior. Desta forma, em virtude da pandemia de Covid-19, a participação presencial não foi obrigatória.

Sobre a prova escrita mencionada anteriormente, não contabilizamos como encontro dessa sequência didática, pois a mesma é organizada e realizada pela escola, o professor envia um total de 10 (dez) questões (Anexo B1) e a escola aplica e entrega um boletim com as notas dos alunos.

O fato de termos que trabalhar remotamente esses encontros 3 e 4 gerou várias contingências, que precisaram ser contornadas, nem todos os alunos tinham acesso

à “internet” continuamente ou uma “internet” com qualidade para participar de uma reunião em plataforma “online”. Além dos grupos criados para cada turma em mensageiro instantâneo, para discutir os assuntos pertinentes, também criamos um canal no “Youtube”. Gravamos algumas aulas (figura 36), assim os alunos poderiam assistir quando fosse possível e conduzirmos as discussões e solução de dúvidas pelo grupo.

Figura 36 – Impressão da playlist de Termologia com conteúdo do terceiro e quarto encontro.



Fonte: O Autor (2021).

Como já mencionado, os alunos tinham acesso ao aplicativo iSeduc, onde tinha todo o cronograma de atividades para serem realizadas e o local onde eles deveriam postar suas respostas em PDF. Muitos alunos, no início, não sabiam como criar arquivos em PDF e outros nem, mesmo, conseguiram acessar o aplicativo. Assim, tivemos que receber algumas atividades por mensageiro instantâneo e depois criamos um formulário eletrônico somente para coletar atividades.

4.2.2.5 Quinto encontro – Oficina e Dilatação térmica

Nosso quinto encontro foi dividido em dois, chamaremos parte A (oficina) e parte B (dilatação térmica), sendo que a parte A foi realizada presencialmente e a parte B remotamente.

Parte A

Gastamos cerca de uma hora para realizar a oficina, sendo que trabalhamos apenas a parte de construção, conforme o guia que já havia sido entregue aos alunos. A parte de teste optamos por deixar para o final do bimestre, assim poderíamos desafiar os alunos a construir “sozinhos” um novo balão e que não fosse, necessariamente, do mesmo modelo proposto no guia. Desse modo permitimos que os discentes buscassem e realizassem suas próprias adaptações e questionassem no grupo de mensageiro instantâneo, pois tudo isso propicia a aprendizagem significativa.

Iniciamos a oficina discutindo, primeiramente, a questão da legislação ambiental sobre lançamentos de balões e os perigos, enfatizando que não poderíamos soltar balões com propelentes que causam chamas, pois era crime. Falamos que os testes seriam feitos com uma fonte de calor que não causasse chamas e nem oferecesse riscos, nem para o meio ambiente, como para os próprios alunos. Também abordamos alguns conceitos físicos que estavam envolvidos, como já fora realizado em encontros anteriores.

Em seguida iniciamos a primeira parte (colocando os painéis), na figura 37 temos algumas fotos mostrando esse procedimento. Cada grupo tinha e média seis participantes e o modelo de balão que fizemos pegava seis painéis, assim, cada aluno ficou responsável por colocar um painel, acelerando a etapa.

Figura 37 – Etapa de colagem dos seis painéis, para acelerar a secagem, alguns alunos levaram os painéis para expor ao Sol.



Fonte: O Autor (2021).

Após a colagem e secagem dos painéis, passamos para a etapa de dobrar e organizar um sobre o outro e alinhar, para facilitar o corte, na figura 38 vemos parte desse procedimento.

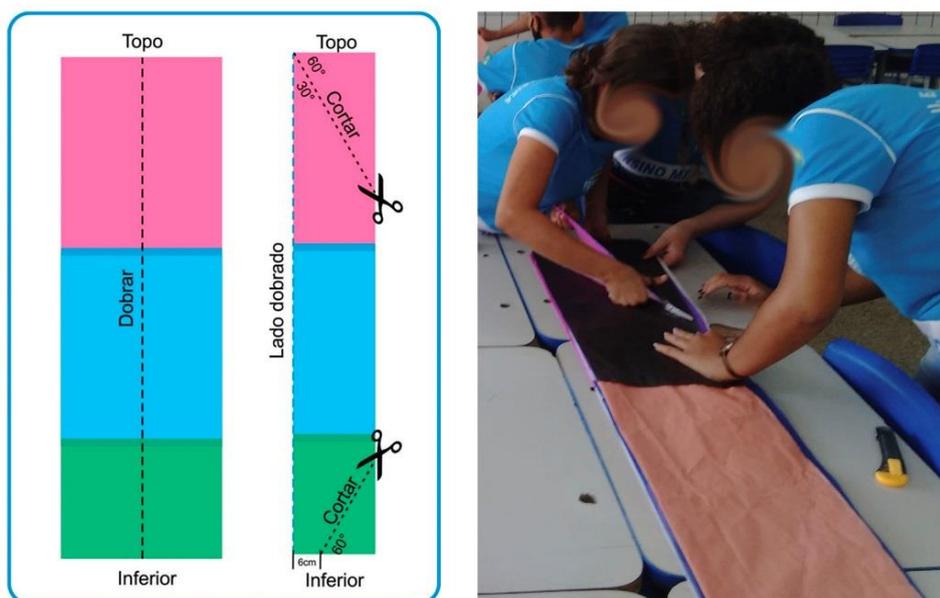
Figura 38 – Alunos dobrando os painéis ao meio e empilhando um sobre o outro.



Fonte: O Autor (2021).

Depois dos painéis dobrados, foi preciso marcar as linhas de corte com auxílio de uma régua e um transferidor. Na figura 39 observamos o diagrama retirado do guia de construção dos balões, mostrando os ângulos e posições a serem usadas e uma das equipes efetuando o corte.

Figura 39 – Alunas cortando os painéis após marcações feitas com o auxílio do professor.



Fonte: O Autor (2021).

Para finalizar fizemos a saia do balão utilizando folha de papel A4. Não fizemos testes de voo dos balões nesse dia, combinamos para fazer no final do bimestre (último encontro). Dessa maneira os alunos teriam uns 20 (vinte) dias para melhorar ou construir um novo balão. Para instigar e favorecer a aprendizagem significativa, sugerimos que os alunos poderiam elaborar quaisquer formatos e tamanhos de balões.

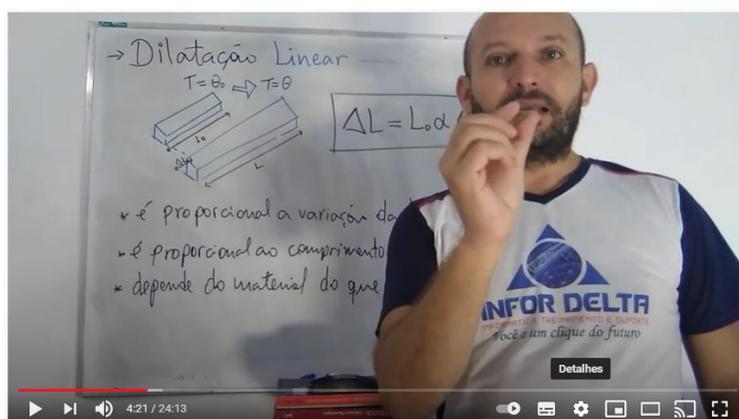
Todo o acompanhamento foi feito através de discussões no grupo da turma, por mensageiro instantâneo e em alguns casos visitamos o grupo, na casa de um aluno.

Parte B

A segunda parte do quinto encontro aconteceu remotamente. Devido às contingências relatadas anteriormente não realizamos reunião “online”. Passamos o cronograma de conteúdos e atividade pelo app iSeduc e através do grupo de mensageiro instantâneo de cada turma.

Nessa parte B iniciamos o capítulo de dilatação térmica dos sólidos e líquidos. Colocamos no grupo o PDF da apresentação “5º_ENCONTRO_dilatacao_termica.ppt” (link: “<http://www.encurtador.com.br/IBH06>”) e gravamos um conjunto de 5 (cinco) vídeos (figura 42): vídeo 01 - dilatação linear; vídeo 02 - dilatação superficial; vídeo 03 - dilatação volumétrica dos sólidos; vídeo 04 - dilatação volumétrica dos líquidos; e vídeo 05 – anômala da água.

Figura 42 – Impressão do vídeo de dilatação linear.



Fonte: O Autor (2021). Disponível em: <https://youtu.be/VE1XYsd5IHw>.

Como atividade avaliativa desse encontro passamos uma atividade experimental para ser gravada e enviada por formulário eletrônico. Experimento: usando lâminas bimetálicas.

Esse experimento é sugerido dentro do livro didático e foi adaptado e colocado no produto educacional. Os alunos usaram um papel composto por uma camada de alumínio e outra de celulose, encontrado em tampas de marmitex³. Usando um pegador de roupas colocaram sobre a chama de uma vela, observaram o resultado e teriam que responder as seguintes perguntas (figura 43) extraídas do livro didático.

Figura 43 – Perguntas sobre o experimento das lâminas bimetálicas.

Analizando o 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.

Fonte: HELOU; GUALTER; NEWTON, 2016, p. 106.

Além do experimento, foi passada uma lista de 5 (cinco) questões (Anexo A4). Todos esses conteúdos foram colocados no grupo e no app iSeduc, onde os técnicos da secretaria de educação fazem o acompanhamento das atividades.

4.2.2.6 Sexto encontro – Dilatação térmica e Estudo dos gases.

Trabalhamos o sexto encontro dando continuidade ao conteúdo de dilatação térmica, isso foi feito com “feedback” do experimento (vídeo e respostas). Também fizemos a correção de alguns exercícios, através de áudio, vídeo e textos no grupo da turma.

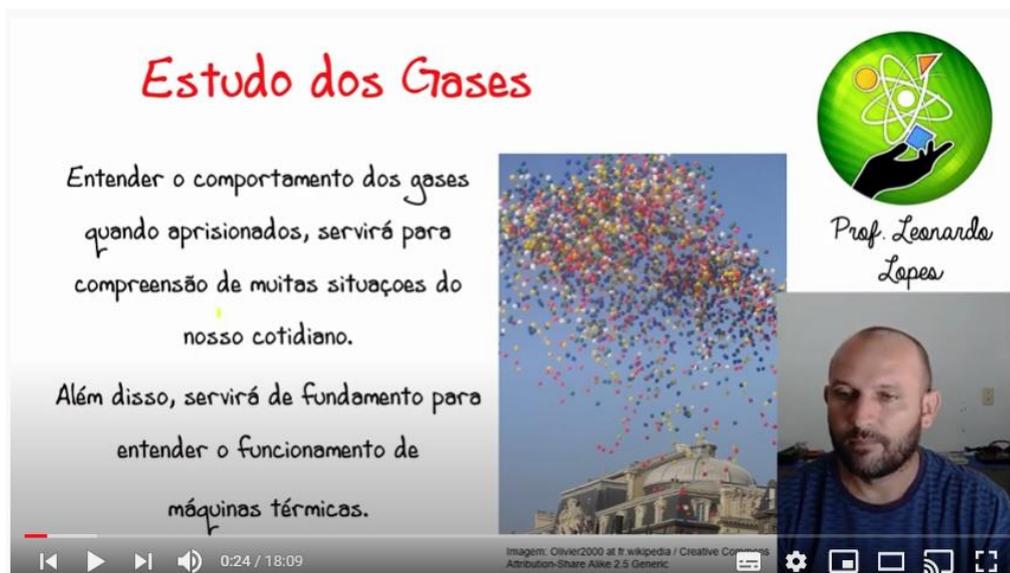
³ Diz-se de embalagem térmica descartável, geralmente de alumínio, na qual se transportam alimentos para viagem (AULETE, 2021).

Para finalizarmos a parte de dilatação térmica fizemos a relação com os balões, onde o aumento da temperatura provação uma expansão do gás, diminuindo sua densidade.

Quando terminamos a parte de dilatação térmica iniciamos o estudo dos gases, essa parte pegaria 4 (quatro) aulas, portanto, foi usada parte do sexto encontro, o sétimo e uma parte do oitavo (último encontro).

Conduzimos através de reunião “online”, porém, do total de alunos das três turmas, somente 16 (dezesesseis) participaram. Resolvemos, então, seguir a estratégia anterior, gravamos vídeos e postamos no canal no Youtube como mostra uma impressão na figura 44.

Figura 44 – Impressão do vídeo 1 (um) sobre o estudo dos gases.



Fonte: O Autor (2021). Link: <https://youtu.be/ooFViqRfaIY>.

Além dos vídeos gravados, colocamos diversos links de vídeos curtos do Youtube, destacando vários fatos e curiosidades sobre o estudo dos gases.

Pelo grupo de mensagens instantâneas realizamos uma discussão teórica e histórica, enfatizando o papel de diversos cientistas, tais como Charles, Boyle, Mariotte, Gay-Lussac, Clapeyron, Avogadro, Santos Dumont e outros. Destacando o trabalho de Charles e Gay-Lussac com balões de ar quente até chegar nas leis que levam seus nomes.

Nesse período, estávamos continuamente auxiliando os alunos com os balões, que deviriam ser testados no final.

Nos vídeos passados para os alunos trabalhamos a equação de estado do gás ideal ou equação de Clapeyron.

$$pV = nRT \quad [1.19]$$

E, mostramos que esta equação é resultado das leis de Boyle-Mariotte, Lei de Charles e Lei de Gay-Lussac.

– Lei de Boyle-Mariotte

Sob temperatura absoluta constante, a pressão e o volume de uma dada massa de gás ideal são grandezas inversamente proporcionais $p \propto 1/V$. (Transformação isotérmica).

– Lei de Charles

Sob volume constante, a pressão e a temperatura de uma dada massa de gás ideal são grandezas diretamente proporcionais $p \propto T$. (Transformação isovolumétrica).

– Lei de Charles e Gay-Lussac

Sob pressão constante, o volume e a temperatura de uma dada massa de gás ideal são grandezas diretamente proporcionais $V \propto T$. (Transformação isobárica).

4.2.2.7 Sétimo encontro – Estudo dos gases

Nessa semana demos continuidade ao estudo dos gases, gravamos a realização um experimento e colocamos no app iSeduc e nos grupos das turmas.

O experimento consistiu em encher um balão com gás a partir de uma reação química (figura 45).

Para isso usamos:

- 01 garrafa PET de 1 ℓ ;
- 200 mL de vinagre;

- 01 funil feito com uma folha de papel;
- 01 tampa da garrafa PET de bicarbonato de sódio;
- 01 balão de borracha, desses de festa de aniversário.

Para analisarmos esse experimento, colocamos no grupo as seguintes questões, adaptadas do livro (HELOU; GUALTER; NEWTON, 2016, p. 73):

- 1) A reação causada pela mistura de bicarbonato de sódio com o vinagre 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) Reúna-se com um grupo de colegas e façam uma pesquisa sobre balonismo. Descubram a função do ar quente na elevação dos balões.

Figura 45 – Impressão do vídeo 1 (um) sobre o estudo dos gases.



Fonte: O Autor (2021). Link: <https://youtu.be/ooFViqRfaIY>.

Para reforçar o aprendizado e preparar os alunos para a segunda prova escrita discutimos e resolvemos diversos problemas, a lista de problemas trabalhados está no Anexo A5 desse trabalho.

Ainda colocamos no grupo um PDF com várias questões resolvidas, para auxiliar os alunos na compreensão e resolução dos exercícios propostos.

4.2.2.8 Oitavo encontro – Estudo dos gases e teste dos balões

Nosso último encontro foi dividido em duas partes, a primeira foi a conclusão do estudo dos gases. Como na semana seguinte aconteceria a segunda prova escrita, usamos essa parte para revisar os conteúdos de dilatação e estudos dos gases, corrigimos a lista de exercícios do Anexo A4 através reunião “online”. Para os alunos que não puderam acompanhar, auxiliamos através do grupo da turma e disponibilizamos links de outros vídeos no “Youtube” com a mesma categoria de questões.

A segunda parte foi um encontro presencial, onde fizemos o teste dos balões. Para evitar aglomerações dividimos em três horários diferentes, um para cada turma. De modo que ao terminar a turma deveria se retirar do prédio da escola, para a entrada da outra. Pedimos, através dos grupos das turmas, que se fosse possível, levassem um secado de cabelos.

Inicialmente, como estava com muito tempo que não tínhamos aulas presenciais, aproveitamos para discutir os principais conceitos trabalhados no bimestre (ver figura 46), destacando a relação com os balões que seriam ali testados.

Figura 46 – Iniciando a última parte da aplicação do produto educacional.



Fonte: O Autor (2021).

Nessa apresentação estiveram presentes: o coordenador pedagógico da escola, prof. Fernando Alves, que recepcionou e falou aos alunos; o professor de Química, Luiz Cassiano, que nos auxiliou na execução dos trabalhos; e o professor de Sociologia, Ricardo Vale, que nos ajudou tirando as fotos.

Após esse momento inicial de recepção e falas, iniciamos a parte prática. Com o auxílio de um soprador térmico (secador de cabelos), começamos enchendo os balões como podemos observar na figura 47.

Figura 47 – Testando os balões de ar quente.



Fonte: O Autor (2021).

Esse procedimento foi seguido até a apresentação da última equipe, no entanto, entre um balão e outro fazíamos uma pausa para discutir a física ali presente.

Como os balões foram construídos de diversos modelos e tamanhos, alguns subiam mais, outros menos e alguns giravam ou ficavam na posição horizontal. Daí questionávamos os alunos do porquê daquilo está acontecendo e de como poderia ser resolvido, embora não fosse possível ser realizado isso no momento, mas para podermos envolver diversos aspectos físicos. Dessa forma, fortalecendo a aprendizagem significativa.

Como pode ser observado pelas fotos, há poucos alunos, isso se deu de termos dividido as turmas, como mencionado anteriormente, duas turmas do turno da manhã foram divididas em 03 (três) grupos, de no máximo 20 (vinte) alunos. A turma do turno da tarde foi dividida em 02 (dois) grupos, de até 15 (quinze) pessoas. Dessa forma pudemos seguir os protocolos, mantendo o distanciamento social. Todos os alunos foram orientados a usar máscaras, desde a entrada até a saída.

Como solicitado, algumas equipes levaram secadores de cabelos, isso ajudou, pois, alguns balões eram grandes e demandavam um fluxo maior de ar quente. A seguir uma galeria (figura 49) com várias fotos dos vários grupos.

Figura 48 – Composição com imagens de diversos balões sendo testados.



Fonte: O Autor (2021).

Para finalizarmos a aplicação do produto educacional fizemos uma discussão nos grupos de mensagem instantânea das turmas, conduzindo diversos questionamentos. Tais como: Porque esse formato de balão? Que mudanças em relação ao modelo do guia vocês elaboraram e porquê? Que conceitos físicos foram considerados para essas mudanças? E quais as principais dificuldades vocês encontraram?

Como avaliação pós-teste usamos o resultado da prova, cuja as questões se encontram no Anexo B2.

A composição final da segunda nota ficou da seguinte forma:

- Visto nos cadernos (enviados pelo iSeduc ou formulário eletrônico), participação e experimentos: 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).

Com isso finalizamos a aplicação da nossa proposta que, devido à pandemia da Covid-19, sofreu diversas alterações no cronograma, nem todos os encontros relatados ocorreram de maneira contínua como, normalmente, aconteceria em condições de normais. Porém, mesmo com todas as adversidades, foi possível trabalharmos todos os conteúdos tratados no produto educacional.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo discutiremos os resultados das diversas etapas da aplicação e avaliação do produto educacional. Iniciaremos com a aplicação do questionário pré-teste (avaliação diagnóstica), aplicado no intuito de verificar os conhecimentos prévios dos discentes (qualitativamente), confrontando com os resultados das avaliações aplicadas no decorrer do trabalho (atividades, experimentos, provas escritas e a oficina de construção de balões de ar quente).

A aquisição de novos conhecimentos se dá de maneira contínua, ou seja, a todo momento estamos aprendendo. Portanto, a coleta e análise de dados foi conduzida paralela à aplicação do produto educacional.

A avaliação da aprendizagem é caracterizada por diferentes funções: avaliação mediadora, formativa, somativa e diagnóstica.

A avaliação mediadora, para Hoffmann (1993), tem como característica a observação individual de cada aluno, visando a construção do conhecimento no processo de ensino e aprendizagem. Avaliação formativa, está pautada na formação do docente, segundo Hadji (2001) se trata de levantar informações úteis para ocorrer um aperfeiçoamento no processo de ensino e aprendizagem. Já a avaliação somativa, materializa-se através da nota obtida pelo educando que ao final de um período ou ano letivo, o classifica em aprovado ou reprovado.

Esse modelo de avaliação, possibilita as instituições de ensino comparar através dos resultados obtidos o que foi adquirido com o que se quer alcançar e redirecionar suas ações administrativas e pedagógicas na busca por um ensino de qualidade e uma “escola eficaz”.

A avaliação diagnóstica de acordo com Hadji (2001) identifica 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.

5.1 Avaliação diagnóstica

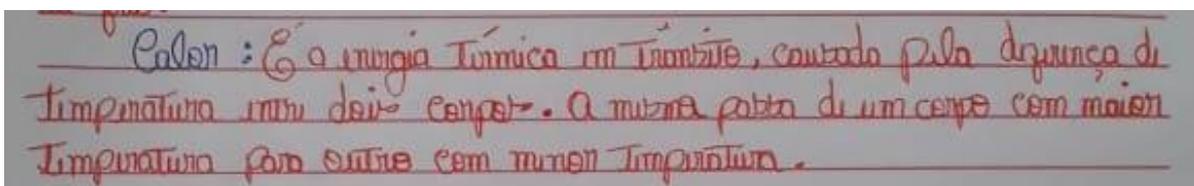
De modo a verificar o nível de conhecimento prévio dos alunos, fizemos a aplicação de um pré-teste. Aplicado da seguinte maneira: em um primeiro momento,

durante a aula de introdução à Termologia, pedimos aos alunos que escrevessem em uma folha de papel o que eles entendiam por temperatura e calor. No final desse encontro passamos um questionário com 08 (oito) questões, através de um formulário eletrônico, apêndice A.

Percebemos que embora haja uma grande variedade de respostas, os alunos têm um bom discernimento do que é temperatura e calor. No entanto, em um nível formal, ou seja, embora os discentes consigam entender esses conceitos, a falta de embasamento científico acaba criando entraves na hora de relacionar temperatura com calor ou com outros conceitos de Termologia, que estão ligados, como é o caso de temperatura e equilíbrio térmico.

A figura 49 traz a resposta de um aluno sobre o conceito de calor, onde a transcrição diz: “Calor: é a energia térmica em trânsito, causada pela diferença de temperatura entre dois corpos. A mesma passa de um corpo com maior temperatura para outro com menor temperatura.”

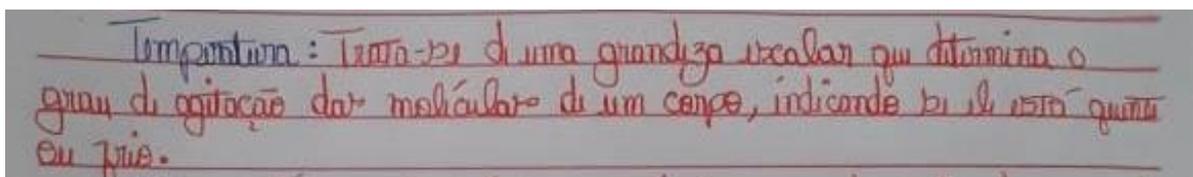
Figura 49 – Definição de calor de uma aluna do 2º ano “B”, turno manhã.



Fonte: O Autor (2021).

Na figura 50 um aluno faz a definição de temperatura, onde o relato diz: “Temperatura: Trata-se de uma grandeza escalar que determina o grau de agitação das moléculas de um corpo, indicando se ele está quente ou frio”.

Figura 50 – Definição de temperatura de uma aluna do 2º ano “B”, turno manhã.



Fonte: O Autor (2021).

A seguir temos a transcrição de algumas respostas que tivemos para os conceitos de temperatura e calor através do formulário eletrônico.

01 - Qual a definição de TEMPERATURA?

- Aluno A – “É a grandeza que caracteriza o estado térmico de um sistema”.
- Aluno B – “Temperatura é a grandeza física que mede o grau de agitação térmica, ou energia cinética, translacional, rotacional e vibracional dos átomos e moléculas que constituem um corpo”.
- Aluno C – “É o nível de agitações das partículas”.
- Aluno D – “A temperatura é uma grandeza física escalar que pode ser definida como a medida do grau de agitação das moléculas que compõem um corpo. Quando maior a agitação molecular, maior será a temperatura do corpo e mais quente ele estará e vice-versa”.
- Aluno E – “Grandeza física que pode ser definida como a medida do grau de agitação das moléculas que compõem o corpo”.
- Aluno F – “É uma medida estatística do nível de agitação moléculas, relacionado com o deslocamento da energia cinética de um átomo ou molécula”.

02 - Escreva o que você compreende a respeito do termo "CALOR".

- Aluno A – “O calor é a energia térmica entre dois corpos”.
- Aluno B – “Pode remeter para alguma coisa quente, ou seja, com temperatura elevada”.
- Aluno C – “É energia térmica em trânsito de um corpo para outro ou de uma parte para outra de um mesmo corpo, trânsito este provocado por uma diferença de temperatura”.
- Aluno D – “É a energia térmica em trânsito”.
- Aluno E – “A energia térmica que passa de um corpo com maior temperatura para outro com menor temperatura”.
- Aluno F – “É uma energia trânsito, de um sistema a outro, devido à diferença de temperatura entre eles”.

Sobre a participação dos alunos, na parte de escrever os conceitos de temperatura e calor, em sala de aula, houve uma participação de 100% (cem por cento). Já a participação através do pré-teste do questionário, aplicado por formulário eletrônico, foi de 75,5% (setenta e cinco, vírgula cinco por cento) de um total de 90 (noventa) alunos, ou seja, 68 (sessenta e oito) alunos responderam todas as perguntas.

Após uma análise detalhada, de todas as repostas, foi possível constatar haver uma diferença significativa entre os níveis de conhecimentos prévios dos alunos, ou seja, alguns dominavam mais certos conceitos do que outros. No entanto, a maioria apresentava mais dificuldades na hora de relacionar os conceitos com casos concretos.

Fizemos essa avaliação com embasamentos retirados do trabalho de Hoffmann, que nos diz:

“Instrumentos de avaliação são, portanto, registros de diferentes naturezas. Ora é o aluno que é levado a fazer os próprios registros, expressando o seu conhecimento em tarefas, testes, desenhos, trabalhos e outros instrumentos elaborados pelo professor. Ora é o professor quem registra o que observou do aluno, fazendo anotações e outros apontamentos. Quanto mais frequentes e significativos forem tais registros, nos dois sentidos, melhores serão as condições do professor de adequar as ações educativas às possibilidades de cada grupo e de cada aluno.” (Hoffmann 2006, p.119).

Em um modelo ideal de educação, deveríamos tratar cada caso de maneira individualizada, porém, na realidade vivida em nossa escola, especificamente, isso não é possível devido à vários fatores, onde podemos citar: o demasiado número de alunos por turma e a carga horária destinada à disciplina de Física no segundo ano do Ensino Médio, apenas duas aulas semanais (cinquenta minutos cada aula).

E, a forma que encontramos para atacar esse problema foi, justamente, partir de algo mais geral para algo mais específico, ou seja, usamos a oficina de construção de balões de ar quente como um organizador prévio, com o intuito de transformá-lo em um subsunçor. Em outras palavras o resultado desse pré-teste corroborou a necessidade de intervenção proposta em nosso trabalho, visto que os alunos apresentam muitas falhas no domínio dos conceitos de Termologia e níveis diferentes de aprendizagem.

5.2 Contexto histórico, textos e cotidiano

No produto educacional, aqui discutido, propomos abordar os conceitos de Termologia a partir de vários caminhos. Um desses caminhos é trabalhar a parte histórica da ciência, destacando grandes cientistas que, em um dado momento histórico, deram sua contribuição para a humanidade.

Essa abordagem foi feita através de explanações dialogadas em sala de aula e através de textos, que foram propositalmente escolhidos. Como, por exemplo, o texto: “Temperatura: fatos, história e definição.pdf” (link: <https://cutt.ly/3hj69qM>). Trata-se de um texto de cerca de três páginas, da autora Kim Ann Zimmermann (2013) que narra sucintamente a história da definição da temperatura. Outro material extra, sugerido para leitura foi o artigo da Wikipédia “Balões de ar quente”, link: <http://www.encurtador.com.br/gnsD3>.

Além desses textos, também, foi proposto um trabalho de pesquisa e debate, apresentado em forma de seminário e tratamos das seguintes questões:

- Formas de aproveitamento da energia solar.
- Aquecimento global.
- O experimento de Tyndall.
- O que é o ponto de orvalho.
- 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.
- 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.
- Por que os copos “transpiram”?
- Por que a panela de pressão cozinha mais rápido os alimentos?
- Por que a água permanece mais fria em moringas de barro (ou pote)?

Essa proposta instigou os alunos a pesquisarem e buscarem explicações para essas questões, resultando em um enriquecimento das discussões dos conceitos de Termologia. Visto que traz um conjunto amplo de elementos novos, possibilitando

realizar uma contextualização mais abrangente entre a parte histórica, o cotidiano dos alunos e os conceitos estudados.

Cada turma foi dividida em cinco grupos e os temas foram sorteados. A apresentação dos seminários foi realizada em uma aula de cinquenta minutos e a nota foi atribuída individualmente.

Vale destacar que o livro didático trabalhado traz pequenos textos e curiosidades que permitem ao professor realizar as adaptações necessárias para contextualizar com o dia a dia dos discentes, como é o caso do texto da figura 51.

Figura 51 – Texto, recortado do livro didático adotado pela escola. Durante a discussão desse texto trouxemos o fato do norte do Piauí ser uma região extremamente quente (temperaturas que chegam a 40 °C) e que quando usamos roupas escuras percebemos uma variação de temperatura maior do que quando usamos roupas claras.

JÁ
PENSOU
NISTO?

Como são as roupas usadas no deserto?

As roupas usadas pelos moradores do deserto em geral são escuras, largas e confeccionadas com lã de camelo, material de péssima condutibilidade térmica.

Pode parecer estranho o fato de usarem roupas com essas características, no entanto, a lã de camelo serve como isolante térmico. Esse material evita que o calor do Sol entre diretamente em contato com a pele durante o dia e dificulta a saída do calor gerado pelo corpo humano durante as noites frias.

Essas roupas são largas para facilitar a convecção do ar existente entre a face interna da roupa e a pele da pessoa. Desse modo, o ar aquecido sobe e sai pela parte de cima, na região próxima ao pescoço. Como o ar mais quente sobe, entra pela parte inferior da roupa ar mais frio, circulando e resfriando o corpo da pessoa.

A temperatura no deserto do Saara, na África, pode atingir 50 °C durante o dia e -5 °C à noite.



eAlisar/Shutterstock

Viajante no deserto.

Fonte: NEWTON, HELOU, GUALTER, 2016, p. 28.

Lembrando que essa abordagem teve caráter qualitativo, ou seja, contribui para a nota dos alunos, mas avaliamos qualitativamente tendo como critérios: participação, segurança na argumentação, interação, coletividade, etc.

Os resultados dessas atividades foram extremamente positivos, apesar do período atípico que enfrentamos, decorrente da pandemia da Covid-19, todos os alunos ativos das referidas turmas participaram. Apesar de uns terem melhor desenvoltura que outros na hora da apresentação, é possível observar que, de fato, eles pesquisam e leram materiais relacionados às propostas e deram sua contribuição.

5.3 Atividades experimentais

Outra forma que a sequência didática propôs para trabalhar os conceitos de Termologia foi partindo de uma abordagem fenomenológica, ou seja, realizamos ou propomos experimentos simples, onde o aluno pôde “ver” o fenômeno e depois confrontá-lo com os conceitos físicos que queremos trabalhar em nosso produto educacional.

Discutiremos nesse tópico quatro desses experimentos realizados tanto em sala de aula, quanto pelos alunos.

5.3.1 Experimentando as percepções sensoriais

O experimento das sensações sensoriais foi realizado, exatamente, na primeira aula. Esse experimento foi descrito no capítulo anterior, onde misturamos água “quente” com água “fria” e obtivemos água “morna”. Logo em seguida pedimos que os alunos participassem, colocando as mãos nos recipientes.

O resultado dessa experiência permitiu que fizéssemos a passagem do conceito subjetivo de temperatura para o conceito objetivo. O aluno ao colocar as mãos nos recipientes consegue dizer se a água está “quente”, “fria” ou “morna”, porém, essas percepções sensoriais nos fornecem uma informação subjetiva, ou seja, não podemos medir a temperatura de um corpo a partir dessas sensações. Precisamos de algo objetivo, portanto, devemos tratar fisicamente o conceito de temperatura, dando subsídios aos alunos para eles compreenderem o processo para medirmos a temperatura (funcionamento de um termômetro).

5.3.2 Comprovando a condutibilidade térmica

A segunda proposta experimental verificou o processo de propagação do calor através da condução térmica. Foi proposto um experimento bastante conhecido, onde usamos parafina para grudar pequenos pregos em uma barra metálica ou fio rígido. Em seguida colocamos uma das extremidades da barra/fio sobre a chama de uma vela ou outra fonte de calor.

O diferencial aqui é que não realizamos essa experiência, propomos que os alunos conduzissem em casa e gravassem um vídeo explicando o experimento e respondendo alguns questionamentos.

Fizemos dessa forma visando maximizar as possibilidades de aprendizagem significativa, dado que o aluno é colocado no centro do processo. Além disso, permitimos que os alunos elaborassem adaptações ao experimento, ou seja, eles podiam testar diversos materiais. A figura 52 mostra o experimento sendo executado por uma aluna do 2º ano “B”, turno manhã.

Figura 52 - Verificando experimentalmente a condutibilidade térmica.



Fonte: O autor (2021).

Quando o aluno consegue modificar parâmetros, variáveis, matérias ou procedimentos de um experimento e consegue obter resultados condizentes com a proposta mostra que houve aprendizagem significativa. Isso ocorreu para esse experimento, os alunos usaram materiais que tinham à disposição. Alguns usaram fio rígido de cobre, tubo de alumínio, barra de vergalhão de ferro, dentre outros. Tiveram alunos que para colocar os pregos usaram cera e outros usaram parafina.

A afirmação do parágrafo anterior é fundamentada na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, onde diz que uma das características de um ambiente de aprendizagem significativa é aquele ativo e intencional. Dessa forma, o aluno foi colocado no centro do processo, ele foi o responsável por conduzir o experimento, coube ao professor auxiliar.

5.3.3 Experimentos das lâminas bimetálicas

Quando estávamos tratando do conteúdo de dilatação térmica, sugerimos que os alunos reproduzissem o experimento das lâminas bimetálicas, onde eles precisariam de uma folha bimetálica, um prendedor de roupas e uma vela. Nesse experimento eles puderam perceber que a folha, ao ser aquecida, se curva para um dos lados e que essa curvatura depende do coeficiente de dilatação do material.

Apesar de não haver adaptações significativas para esse experimento, o mesmo permitiu que o aluno presenciasse o fenômeno e pudesse responder algumas indagações.

Para fomentar um pouco mais a discussão desse experimento foi sugerido que os alunos pesquisem outras situações em que a lâmina bimetálica contribui para o funcionamento de um dispositivo de Física aplicada.

O resultado foi um vídeo com a reprodução do experimento e a explicação do fenômeno observado, para os casos em que a explicação estava errada foram dados “feedbacks”, realizando as devidas correções.

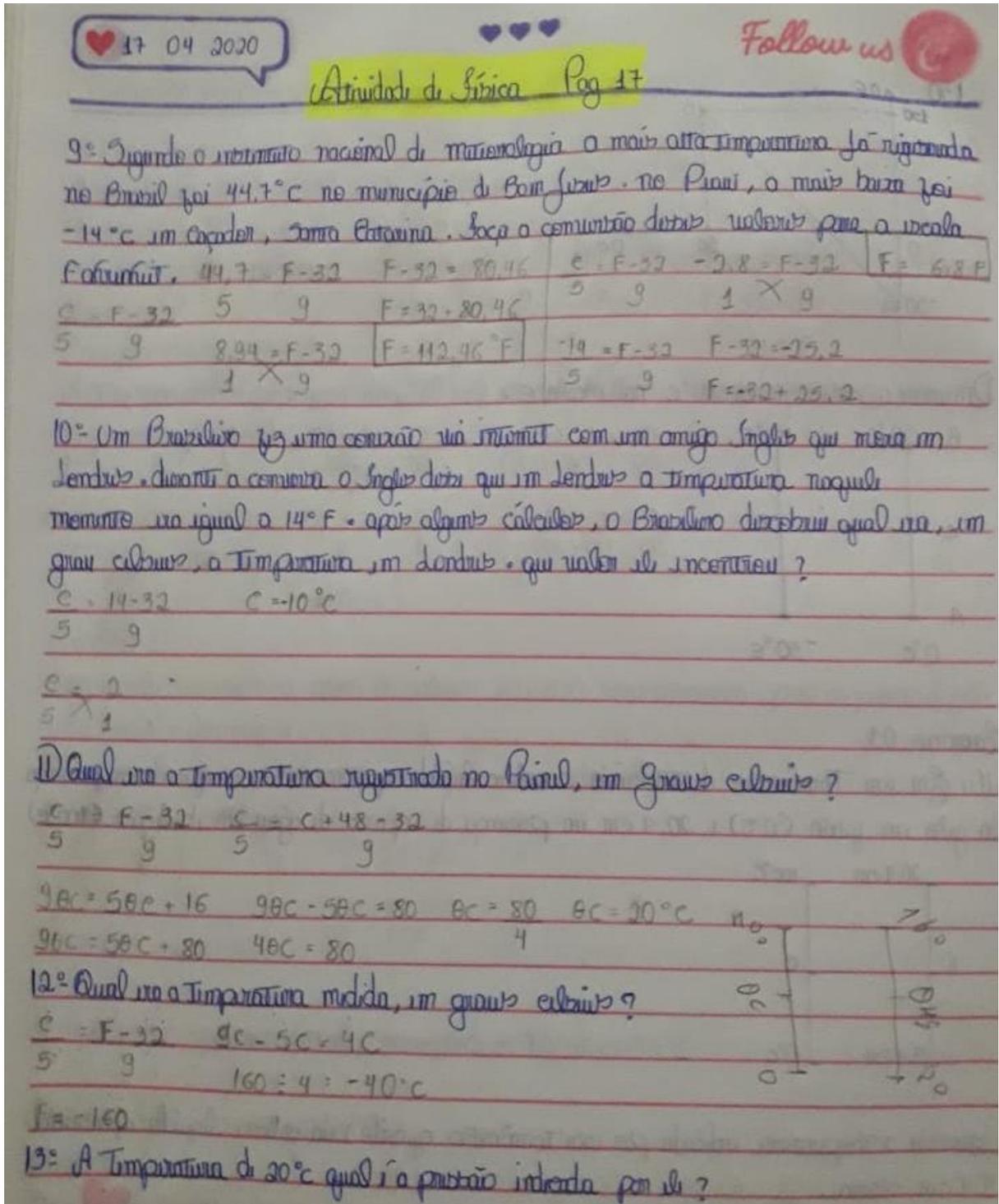
5.3.4 Enchendo um balão com gás a partir de uma reação química

Em nosso quarto experimento enchemos um balão, desses de festa de aniversário, com gás produzido a partir de uma reação química. Devido aos materiais necessários, optamos por realizar o experimento e aos alunos caberia a tarefa de explicar, respondendo algumas questões descritas no capítulo anterior.

5.4 Problemas e exercícios propostos

No decorrer da aplicação do produto educacional resolvemos inúmeros problemas e exercícios envolvendo os conceitos discutidos. Para reforçar e desenvolver as habilidades dos alunos passamos várias listas de exercícios, onde deveriam ser revolvidas e entregue no aplicativo do iSeduc, mensageiro instantâneo ou formulário eletrônico. A figura 53 mostra algumas respostas de uma aluna do 2º ano “B”, turno manhã.

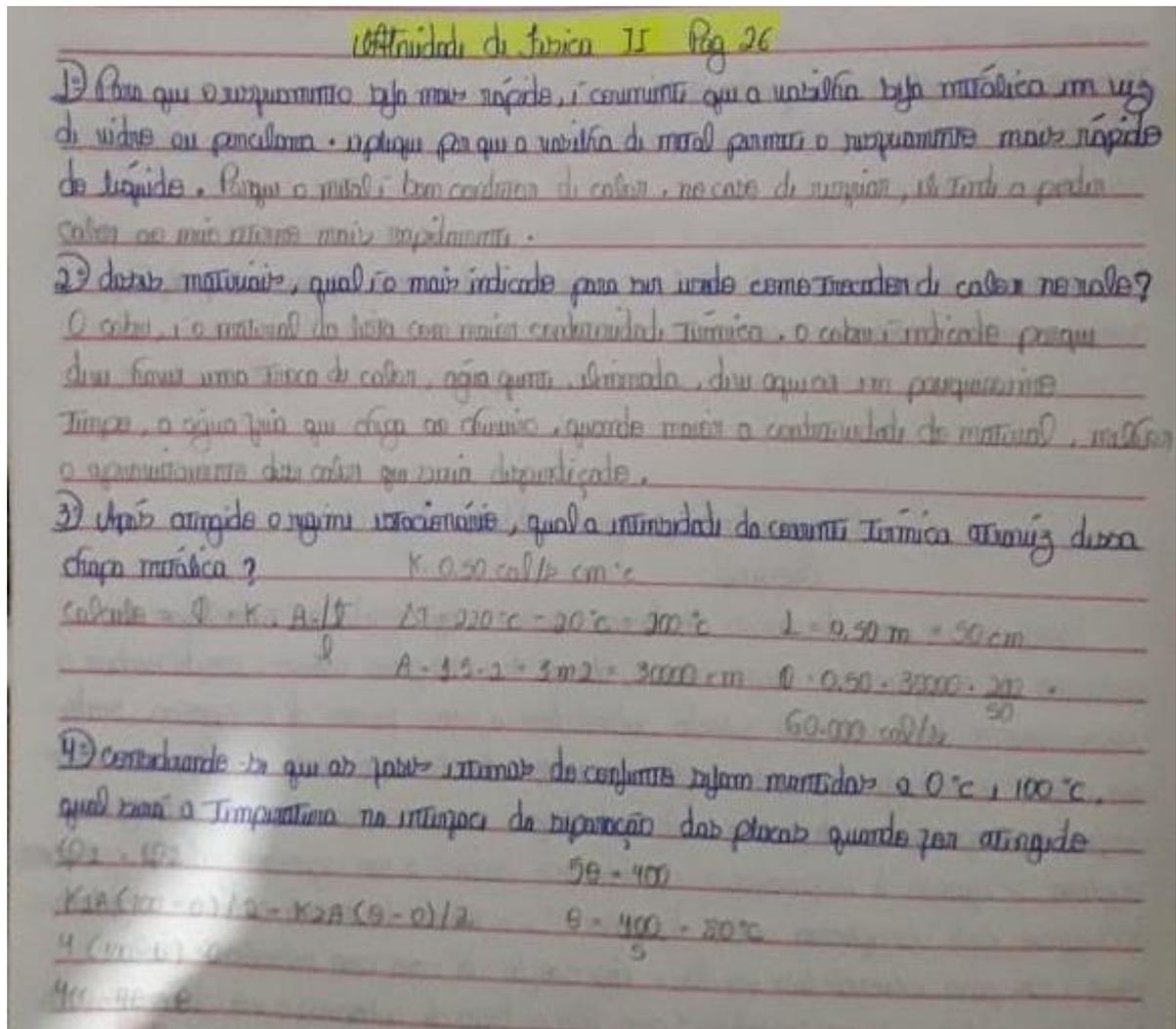
Figura 53 – Respostas dos exercícios sobre escalas termométricas de uma aluno da turma do 2º ano “A”, turno manhã.



Fonte: O Autor (2021).

A seguir, na figura 54 temos a resolução de algumas questões dos exercícios da página 26 do livro didática (HELOU, NEWTON e GUALTER, 2016).

Figura 54 – Respostas dos exercícios de propagação do calor.



Fonte: O Autor (2021).

A reprodução e participação nas atividades experimentais, com as listas de exercícios propostos, contribuíram com 30% (trinta por cento) da primeira nota. Os critérios avaliativos consideraram: a participação na reprodução dos experimentos, os acertos das respostas dos exercícios, a entrega no prazo e organização.

5.5 Oficina de balões de ar quente

A oficina de construção de balões de ar quente foi dividida em dois momentos: a parte de construção dos balões e a parte dos testes de voo dos balões.

A avaliação dessa atividade foi qualitativa, conduzida através da observação. Consideramos presença, o engajamento na execução das tarefas, bem como, a participação nas discussões nos grupos de mensagem instantânea, no decorrer da aplicação da sequência didática, onde ouvíamos as dúvidas e sugestões dos alunos.

Como o objetivo da oficina era transformar os balões de ar quente em subsunçor, precisávamos realizar essa verificação. Uma maneira que encontramos para verificar se, de fato, houve aprendizagem significativa foi, após a oficina de construção de balões, desafiar os alunos a melhorarem seus balões. Fosse construindo um novo com outro formato ou efetuando ajustes nos balões que já haviam construídos. A figura 55 mostra um dos vários resultados observados.

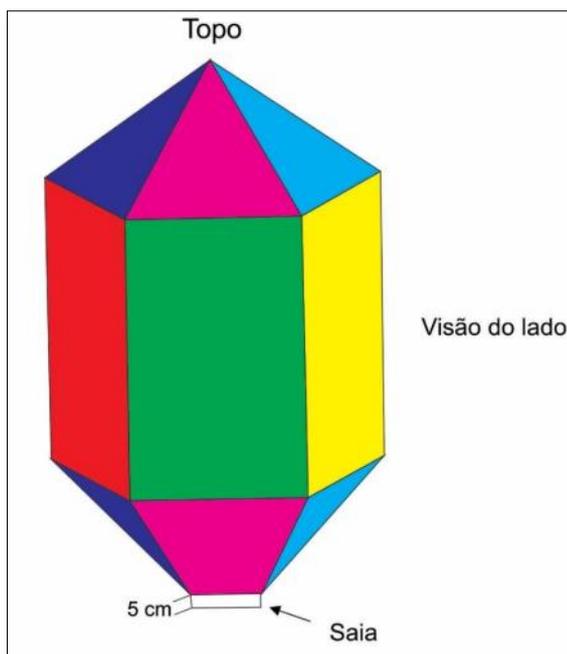
Figura 55 – Balão de ar quente feito de papel de seda. Esse balão é diferente do modelo que foi feito na oficina de construção de balões.



Fonte: O Autor (2021).

O modelo de balão que construímos durante a oficina de construção de balões foi o que está representado na figura 56, ou sejam um balão no formato hexagonal. Enquanto, o balão da figura 55 foi construído totalmente diferente. Fato que levou os alunos a estudarem vários processos de construção de balões.

Figura 56 – Modelo de balão de papel de seda construído durante a oficina.



Fonte: O Autor (2021).

O resultado que constatamos é que houve indícios de aprendizagem substantiva a respeito do processo de construção de balões de ar quente de papel de seda, portanto, aprendizagem significativa. Visto que para construir novos balões e realizar essas modificações os alunos tiveram que assimilar o modelo proposto e ir além, buscando, propondo e encontrando novas soluções. Na figura 57 temos outros exemplos, inclusive, uma das imagens ilustra a capa do nosso produto educacional.

Figura 57 – Balões de ar quente feitos de papel de seda e plástico, respectivamente. Balões adaptados pelos alunos.



Fonte: O Autor (2021).

Durante todo o processo de ajustes e adaptações tivemos diversos questionamentos dos alunos, nos grupos de mensagem instantânea, o que nos possibilitou estar o tempo todo confrontando os conceitos de Termologia com o voo dos balões.

Por exemplo, um grupo de alunos construíram um novo modelo de balão, porém, ao testar o mesmo não subiu. Daí começamos a discutir as possíveis soluções, empregando a física, é claro. Iniciamos falando sobre o horário dos testes, afinal de contas, estamos no estado do Piauí, em uma região onde, geralmente, faz 40°C , diariamente, sendo assim, o horário é muito importante.

Ao invés de dá a solução, propusemos problemas para os alunos, ou seja, eles é que deveriam descobrir qual o melhor horário para testar os balões (no caso pela manhã, horário mais “frio”). Eles conseguiram e fizeram o balão subir.

Em outro caso, os alunos relataram o fato da boca do balão (saia) ser muito grande, portanto, não tinha um bom desempenho. De fato, diversos grupos realizaram, como ajuste, uma redução no tamanho da saia do balão e isso melhorou o voo.

Todos esses casos mostram indícios de aprendizagem significativa, ou seja, para esses alunos os balões de ar quente tornaram-se um subsunçor e conforme a teoria de Ausubel, um subsunçor rico, conectado com inúmeros aspectos relevantes da estrutura cognitiva do aluno.

5.5 Avaliações escritas

Para fechar o processo de avaliação docente, foram realizadas duas avaliações, uma, no final do primeiro mês e a outra no final do segundo. Cada avaliação escrita correspondeu com um valor de 50% (cinquenta por cento) de cada nota. Essas avaliações foram compostas, cada uma, por 10 (dez) questões, subjetivas e objetivas. Perguntas essas sendo enviadas à coordenação, responsável por organizar e aplicar as provas, depois devolver as notas para os professores.

A figura 58 exibe algumas das notas obtidas pelos alunos, no conjunto de todas as atividades desenvolvidas. Sendo que as avaliações escritas, assim como a maioria das atividades, foram conduzidas remotamente. Nesse período, alguns alunos haviam

desistido do ano letivo ou estavam ausentes, devido a uma série de fatores, em decorrência da pandemia da Covid-19.

Figura 58 – Notas 1 e 2 e média bimestral da de alguns alunos do 2º ano "A", turno manhã. As notas destacadas não foram obtidas a partir das atividades relatados. As notas em vermelho foram atribuídas pelo sistema da Secretaria Estadual de Educação do Piauí.

Nº	ALUNOS	1º BIMESTRE		
		AVALIAÇÕES		
		1ªAQ	2ªAQ	1ªMB
1	ADRIANA	8.0	9.0	8.5
2	ADRIANA	9.5	9.5	9.5
3	ADRIANA	10.0	10.0	10.0
4	ADRIANA	9.0	9.0	9.0
5	ADRIANA	7.0	9.5	8.3
6	ADRIANA	7.0	8.0	7.5
7	ADRIANA	6.0	6.0	6.0
8	ADRIANA	9.0	9.2	9.1
9	ADRIANA	7.0	9.0	8.0
10	ADRIANA	9.2	9.0	9.1
11	ADRIANA	6.0	6.0	6.0
12	ADRIANA	9.2	9.0	9.1
13	ADRIANA	6.0	6.0	6.0
14	ADRIANA	10.0	10.0	10.0

Fonte: O Autor (2021).

Optamos por não mostrar as notas na sua integralidade devido à quantidade. No entanto, a média das notas apresentadas na figura 58 reflete o resultado geral de todas as turmas, sendo que essa média geral foi de 7,95.

Vale ressaltar que o fato dessas aferições terem ocorrido remotamente e logo no início da pandemia, onde todos estavam começando a se adaptar aos novos métodos de ensino, certamente, refletiu nessas notas.

No entanto, diante de todas as dificuldades enfrentadas, tanto na parte de avaliação, quanto na parte de aplicação do produto educacional, conseguimos, em vários momentos, colocar o aluno no centro do processo de ensino. Em outras palavras, a proposta da sequência didática cumpre seu papel, no sentido de ofertar um ambiente de aprendizagem significativa.

Analisando de outra perspectiva, o fato de usarmos um método de ensino híbrido, acabamos agregando novas ferramentas e procedimentos na execução de certas atividades, como é o caso das atividades experimentais. O que queremos dizer

é que, em condições normais, costumávamos fazer esses experimentos em um único momento, mesmo que houvesse a participação dos alunos. Nesse formato de ensino remoto, primeiro apresentávamos a ideia, com algumas explicações. No segundo momento os alunos reproduziam o experimento em casa, por fim, no terceiro momento, realizávamos uma discussão.

Em resumo, por mais simples que fosse o experimento proposto, sempre durava vários dias até o encerramento das discussões. Isso permitia que durante esse tempo surgissem novas indagações, bem como um amadurecimento das ideias, onde concordamos com Ausubel (2000) que diz: “Na aprendizagem por descoberta o conteúdo principal a ser aprendido deve ser descoberto pelo aprendiz. Aqui ao invés do aluno receber a informação ele buscará descobrir essa informação”.

Esse aspecto de amadurecimento dos conceitos, ficou evidente na aplicação da oficina dos balões de ar quente. Que ao invés ser executada em um único momento, foi discutida no primeiro mês a parte teórica, a construção deu-se no meio da aplicação do produto educacional e a parte dos testes ficou para o final do bimestre.

No que diz respeito a participação, devido à pandemia da Covid-19, solicitamos que os alunos maiores de idade assinassem um termo de consentimento de participação (os menores, os pais ou responsáveis deveriam assinar). De todo modo, os alunos que não participaram tiveram como justificativa o fator da pandemia. Ou seja, mesmo em um momento atípico, o objeto proposto como organizador prévio cumpriu o papel de motivar e engajar os alunos no processo. Isso pôde ser verificado na participação e dedicação dos discentes no desenvolvimento do trabalho.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apresentamos neste trabalho uma proposta que se consistiu no desenvolvimento de uma oficina de construção de balões de ar quente e na produção de uma sequência didática para o ensino dos conceitos de Termologia, voltada para alunos do segundo ano do Ensino Médio.

Para este fim, desenvolvemos um guia de construção de balões de ar quente. Os materiais e modelos foram escolhidos baseando-se no menor custo e possibilidade de reprodução pelos alunos. Desse modo, traçamos uma metodologia que conseguiu motivar e engajar os discentes, tornando-os ativos e propiciando-lhes um ambiente de aprendizagem significativa.

Inicialmente, realizamos a mensuração do nível de conhecimento dos alunos sobre os conceitos de Termologia, em particular: temperatura e calor. Para isso aplicamos um questionário (pré-teste). As respostas obtidas nos permitiram traçar e alinhar a forma de abordagem e discussão dos conteúdos.

Nosso segundo objetivo era trabalhar com um conteúdo que, geralmente, compreende um bimestre letivo. Portanto, organizamos uma série de materiais: textos, problemas, experimentos, oficina, avaliações escritas, etc. Tudo isso organizado com o tempo adequado para cada objeto, de modo que pudéssemos trabalhar em 16 (dezesesseis) aulas de 50 (cinquenta minutos), realizadas aos pares, ou seja, encontros de 100 (cem) minutos.

A etapa da realização da oficina de construção de balões de ar quente foi o ponto central da proposta. Optamos por realizar uma abordagem teórica nos primeiros quatro encontros, deixamos a parte prática para o quinto encontro. Mesmo com o advento da pandemia da Covid-19, conseguimos levar um alto percentual de alunos para essa atividade (em torno de 90%). O custo para cada aluno foi de R\$ 0,75, pois cada um levou 03 (três) folhas de papel de seda, que custa R\$ 0,25 cada. Esse valor torna a proposta acessível, até mesmo, a alunos financeiramente carentes.

Os alunos formaram grupos de 06 (seis) pessoas, permitindo um trabalho cooperativo. Todos os grupos conseguiram realizar a reprodução de todas as etapas propostas no “Guia de construção de balões de ar quente”. Sendo que, durante todo o processo, estivemos acompanhando e orientando os alunos. Também, fazíamos a todo momento as relações necessárias dos balões de ar quente com os conceitos de

Termologia, que ali estavam envolvidos, cumprindo, assim, o que destacamos no nosso terceiro objetivo (Desenvolver uma oficina de construção de balões de ar quente).

Para maximizarmos as possibilidades de aprendizagem significativa, sugerimos que a etapa dos testes de voo dos balões fosse feita durante o último encontro. Dessa forma os alunos tiveram um tempo para melhorar seus balões ou construir novos modelos. De fato, a maioria dos grupos, construíram outros balões bem diferentes dos apresentados no guia usado na oficina. Assim, pudemos perceber uma aprendizagem substantiva, o que nos fornece indícios de aprendizagem significativa.

As contingências que surgiram ao longo do caminho, como, por exemplo, a já citada pandemia, nos permitiram realizar as adaptações e soluções necessárias para a aplicação. Todas essas pontuações foram bem destacadas no texto, de tal maneira que venha facilitar o trabalho dos professores que optarem por utilizar nosso trabalho.

As diversas formas de avaliações que realizamos no decorrer dos encontros, não se refletiram, apenas, em uma nota numérica para os alunos. Permitiram-nos observar a participação e o compromisso por parte desses. Estes resultados mostraram que a proposta de ensino cumpre o papel para o qual foi pensando, motivar e engajar o aluno para as aulas de Física.

Por fim, apresentamos como resultado um produto educacional em forma de livro eletrônico. Trata-se de um produto flexível, onde os professores podem facilmente colocar as adequações de suas especificidades locais, inserindo ou retirando elementos que julgarem necessários.

Como perspectivas para esse trabalho, buscaremos a publicação do livro eletrônico (Apêndice D), tornando nosso material acessível, estimulante e motivacional para qualquer professor, de tal forma, permitindo o maior alcance possível.

REFERÊNCIAS

- ARAUJO, M. S. T.; ABIB, M. L. V. S. **Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades**. Rev. Bras. Ensino Fís. [online]. 2003, vol.25, n.2, pp.176-194. ISSN 1806-9126.
- 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. 212p.2000.
- BARRETO, F.C.; ROCKENBACK, N. **Educação escolar: Evolução histórica, teorias, práticas docentes e reflexões**. Editora Érica. Edição 1. 2014.
- BIZERRA, Erivelton Alves. **Santos Dumont e o desenvolvimento da dirigibilidade de balões**. 2008. 106f. Dissertação (Mestrado em História da Ciência) - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2008.
- BRITANNICA, **Jacques Charles**. Disponível em: <https://www.britannica.com/technology/balloon>.
- CLAUDETTE BALPE. **A invenção do balão de ar quente**. Disponível em: https://www.fondation-lamap.org/sites/default/files/upload/media/minisites/projet_europe/PDF/montPistept.pdf. Acesso em: 20 de julho de 2020.
- COTIGNOLA, M.I., BORDOGNA, C., PUNTE, G. et al. **Difficulties in Learning Thermodynamic Concepts Are They Linked to the Historical Development of this Field?**. Science & Education 11, 279–291 (2002). <https://doi.org/10.1023/A:1015205123254>. Acesso em: 24 de junho de 2020.
- Encyclopaedia Britannica, **verbete “Interferometer”** (Encyclopaedia Britannica Inc., Chicago, 1969), v. 12.
- FREDERIK, I.; VAN DER VALK, T.; LEITE, L. & THORÉN, I. (1999) **Pre-service Physics Teachers and Conceptual Difficulties on Temperature and Heat**, European Journal of Teacher Education, 22:1, 61-74.
- GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. (organizadores). **Métodos de Pesquisa**. Coordenado pela Universidade Aberta do Brasil – UAB/UFRGS e SEAD/UFRGS. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.
- GILMAR FERREIRA DE AQUINO FILHO, JONATAS TEIXEIRA MACHADO E LUIZ HENRIQUE AMARAL (2015): **Ausubel: aprendizagem significativa e avaliação**, Revista Atlante: Cuadernos de Educación y Desarrollo (octubre 2015). Disponível

em: <http://www.eumed.net/rev/atlante/10/ausubel.html>. Acesso em: 24 de junho de 2020.

GOBARA, S. T.; GARCIA, J. R. B. **As licenciaturas em Física das universidades brasileiras: um diagnóstico da formação inicial de professores de Física.**

Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo: SciELO, v. 29, n. 4, p. 519-525, 2007. ISSN 1806-9126. Disponível em:

<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v29n4/a09v29n4>. Acesso em: 05 de junho de 2020.

GUEDES, V. N. M. **Montagem de um refrigerador didático para abordagem de Termodinâmica no Ensino Médio noturno diferenciado.** Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte. Natal, RN. 2015.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física Vol. 2 – Gravitação, Ondas e Termodinâmica.** 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

JONASSEN D. H., HOWLAND J., MARRA R., CRISMOND D., **Meaningful Learning with technology**, Pearson Education, Upper Saddle River – New Jersey – Columbus – Ohio, 2007.

K. C. CHENG & T. FUJII (1998) “**heat in history Isaac Newton and Heat Transfer**”, Heat Transfer Engineering, 19:4, 9-21. Disponível em:

<http://dx.doi.org/10.1080/01457639808939932>. Acesso em: 09 de maio de 2020.

LIMA, E. C. **Conforto térmico em residências como uma proposta de contextualização para o ensino de termodinâmica no ensino médio.** Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ. 2012.

LIMA, M. R. **Ensino e aprendizagem em termologia: uso de aquecedor solar de pets e experimentos didáticos.** Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal de Rondônia. Ji-Paraná, RO. 2018.

MOREIRA, M. A. 2006. **A teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula.** Brasília: Editora da UnB. 185p. 2006.

NEWTON, V. B.; HELOU, R. H.; GUALTER, J. B. **Física, vol. 2: termologia, ondulatória, óptica.** 3º ed. -- São Paulo : Saraiva, 2016.

NOVAK J. D. **Uma teoria de educação.** São Paulo: Pioneira; 1982.

NOVAK, J. D. **Aprendiendo 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.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica 2: Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor.** 4ª edição, Editora Edgard Blücher, 2002.

ROGERS, C. **Liberdade de Aprender em Nossa Década**, 2ª Edição., Porto Alegre: Artes Médicas, 1986.

VIRGIN BALLOON FLIGHTS. **History of Ballooning**. Disponível em: <https://www.virginballoonflights.co.uk/history-of-ballooning/>. Acesso em: 25 de abril de 2020.

ZANELLI, J. C. **Pesquisa qualitativa em estudos da gestão de pessoas**. Estudos de Psicologia, v. 7, p. 79 - 88, 2002.

VAIPE. O que significa feedback? Disponível em: <https://vaipe.com.br/blog/feedback/>. Acesso em: 28 de dez. 2020.

AULETE. Dicionário digital: significado de marmitex. Disponível em: <http://www.aulete.com.br/marmitex>. Acesso em: 28 de dez. 2020.

CEL AV R1 MANUEL BEZERRA BARRETO REALE. Chefe da Divisão de Estudos e Pesquisa do Instituto Histórico-Cultural da Aeronáutica. 2009.

APÊNDICE A – Questionário pré-teste feito e coletado no Google forms

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.
6. Que grandezas físicas, em especial, de termologia estão envolvidas no voo dos balões de ar quente? Descreva como, exatamente, cada uma delas está relacionada.
7. Descreva as formas de propagação do calor citando alguns exemplos que você pode observar diariamente.
8. O que é densidade e qual sua relação com o voo dos balões de ar quente?
9. Qual horário 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 – Termo de consentimento de participação dos alunos

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO - UFMA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIAS - CCET
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA - PÓLO 47

TERMO DE CONSENTIMENTO DE PARTICIPAÇÃO

Eu, _____,
RG: _____ declaro estar ciente da participação do aluno(a)
_____,
RG: _____, pelo(a) qual sou responsável, no **PROJETO VOANDO ALTO (BALÕES DE AR QUENTE)** da **UNIDADE ESCOLAR LUIS TEIXEIRA** que está sendo desenvolvido pelo Prof. Francisco Leonardo Lopes da Silva sob a orientação do Prof. Dr. Gabriel Alves Mendes (UFMA).

O presente trabalho tem por objetivos: desenvolver práticas, métodos e técnicas de ensino dos conceitos básicos de Termologia mediante o uso de UMA OFICINA DE CONSTRUÇÃO DE BALÕES DE AR QUENTE E LANÇAMENTOS NA FEIRA DE CIÊNCIAS.

Espera-se obter, por este trabalho, os seguintes resultados: reforçar o conhecimento do estudante a respeito dos conceitos básicos de Termologia; aprimorar o ensino na escola pública e interpretar a interação discursiva e a elaboração de significados nas situações de ensino.

Tenho ciência que tenho a liberdade de me recusar a continuar ou retirar o meu consentimento em qualquer fase do trabalho, sem penalização alguma. A qualquer momento posso buscar maiores esclarecimentos, inclusive relativos à metodologia do trabalho. Os responsáveis pelo trabalho garantem o sigilo que assegure a privacidade dos sujeitos quanto aos dados confidenciais envolvidos no projeto. Declaro ter ciência que as informações obtidas podem ser usadas para fins científicos, de acordo com a ética na pesquisa e que esta participação não comporta qualquer remuneração. Declaro ainda ter conhecimento que essas atividades serão desenvolvidas seguindo os protocolos da OMS, da Secretaria Estadual e Municipal de Saúde para controle da COVID-19, tendo ciência de que é obrigatório o uso de máscaras.

Luzilândia-PI, 21 de março de 2020.

Assinatura do responsável

APÊNDICE C – Termo de consentimento da escola

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO - UFMA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIAS - CCET
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA - PÓLO 47

TERMO DE CONSENTIMENTO

Pelo presente instrumento que atende às exigências legais, a UNIDADE ESCOLAR LUÍS TEIXEIRA, ciente dos procedimentos propostos, não restando quaisquer dúvidas a respeito do lido e do explicado, firma seu CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO de concordância quanto à realização do trabalho sobre **“CONSTRUINDO UM BALÃO DE AR QUENTE: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DOS CONCEITOS DE TERMOLOGIA”**, elaborado pelo Professor Francisco Leonardo Lopes da Silva. Fica claro que a instituição, através de seu representante legal, pode, a qualquer momento, retirar seu CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO e deixar de participar do estudo alvo do trabalho, caso haja alguma divergência dos objetivos ou finalidade do projeto ora apresentado, ficando ciente que todo trabalho realizado se torna informação confidencial, guardada por força do sigilo profissional.

Por ser a expressão da verdade, assino o presente para que possa surtir os efeitos legais desejados.

Luzilândia-PI, 20 de fevereiro de 2020.

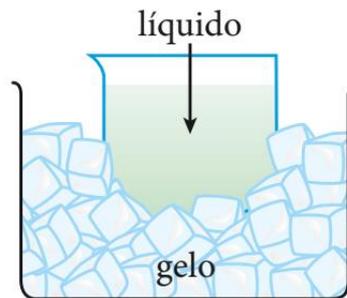
Assinatura e carimbo do representante da instituição

APÊNDICE D – Produto Educacional

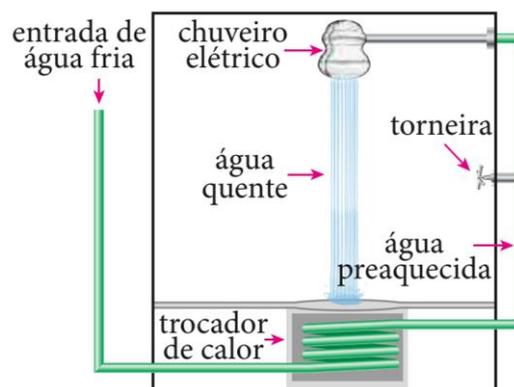
O produto educacional encontra-se no final, após os anexos.

ANEXO A1 – Lista de exercícios do segundo encontro

1. Para resfriar um líquido, é comum colocarmos a vasilha que o contém dentro de um recipiente com gelo, conforme a figura abaixo. Para que o resfriamento seja mais rápido, é conveniente que a vasilha seja metálica em vez de vidro ou porcelana. Explique por que a vasilha de metal permite o resfriamento mais rápido do líquido.

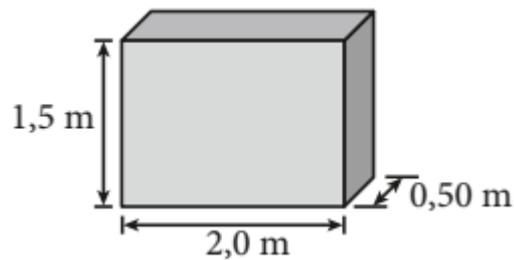


2. Engenheiros e técnicos especializados em construção civil se reuniram em um congresso para apresentar seus projetos, com promessas de revolucionar o futuro das residências. O assunto principal era a economia de energia. Um dos projetos, bastante criativo e fácil de realizar, era o preaquecimento da água do chuveiro. A água quente que cai, após ser utilizada, escoa pelo ralo, onde entra em contato com o cano em forma helicoidal que leva a água fria para o chuveiro. Observe o esquema a seguir.

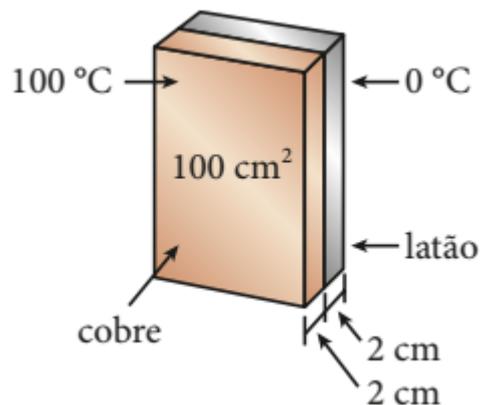


Para aumentar a eficiência do sistema, o técnico responsável testou canos de vários materiais. Usou PVC (plástico), que é um isolante térmico razoável, e outros três canos metálicos. Os materiais desses canos, em ordem crescente de condutibilidade térmica, são: aço, alumínio e cobre. Desses materiais, qual é o mais indicado para ser usado como trocador de calor no ralo?

3. Na figura abaixo, está representada uma placa de alumínio que foi utilizada para separar o interior de um forno, cuja temperatura mantinha-se estável a $220\text{ }^{\circ}\text{C}$, e o meio ambiente ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$). Após atingido o regime estacionário, qual a intensidade da corrente térmica através dessa chapa metálica? Suponha que o fluxo ocorra através da face de área maior. Dado: coeficiente de condutibilidade térmica do alumínio = $0,50\text{ cal/s} \cdot \text{cm} \cdot ^{\circ}\text{C}$.

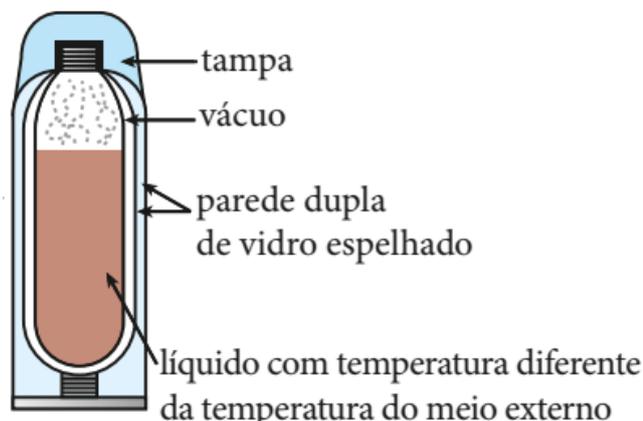


4. A condutividade térmica do cobre é aproximadamente quatro vezes maior que a do latão. Duas placas, uma de cobre e outra de latão, com 100 cm^2 de área e $2,0\text{ cm}$ de espessura, são justapostas como ilustra a figura abaixo. Considerando-se que as faces externas do conjunto sejam mantidas a $0\text{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



ANEXO A2 – Lista de exercícios do terceiro encontro

1. José mora em Natal, capital do Rio Grande do Norte, Brasil, e Mary, em Estocolmo, capital da Suécia. Os dois têm em comum o fato de serem recém-formados em Arquitetura e se comunicam com frequência por meio da internet. José pretende climatizar a sala de uma residência em sua cidade e Mary, o seu quarto. Em uma de suas conversas eles trocam informações sobre onde colocar os aparelhos indicados, se no alto, próximo do teto, embaixo, próximo do chão ou no meio da parede. Lembrando que Natal está próximo da linha do Equador e Estocolmo está próximo do polo Norte, qual sua sugestão de onde colocar os aparelhos? Qual o aparelho indicado em cada caso, ar-condicionado com função “frio” ou aquecedor?
2. Ao examinarmos uma garrafa térmica, observamos que a parte interna é toda de vidro espelhado, apresentando paredes duplas e um quase vácuo entre elas. A extremidade superior deve ser mantida bem fechada, quando não estiver em uso. Esse dispositivo minimiza trocas de calor entre o meio externo e o líquido existente em seu interior, conservando por um bom tempo a sua temperatura.



Leia as afirmativas a seguir e escolha as corretas.

- (01) O vidro é péssimo condutor de calor.
- (02) O vácuo existente entre as paredes duplas impede a transferência de calor por condução e por convecção.
- (04) As radiações térmicas, que tentam sair do sistema, sofrem reflexão na parede espelhada, voltando para o líquido.
- (08) A radiação térmica não se propaga no vácuo.

(16) A parede espelhada minimiza a saída de calor pelo processo denominado condução.

(32) Fechando bem a garrafa, não haverá trocas de calor com o meio externo pelo processo denominado convecção.

Dê como resposta o somatório dos números correspondentes às afirmativas corretas.

3. Na praia, você já deve ter notado que, durante o dia, a areia esquenta mais rápido que a água do mar e, durante a noite, a areia esfria mais rápido que a água do mar. Isso ocorre porque o calor específico da água é maior que o da areia (a água precisa receber mais calor, por unidade de massa, para sofrer o mesmo aquecimento da areia). Esse fato explica a existência da brisa:

- a) do mar para a praia, à noite.
- b) da praia para o mar, durante o dia.
- c) do mar para a praia, durante o dia.
- d) sempre do mar para a praia.
- e) sempre da praia para o mar

4. Um técnico de laboratório resolveu realizar uma experiência de trocas de calor. Para tanto, utilizou um caldeirão, uma garrafa de vidro, água e sal. Colocou água no caldeirão e no interior da garrafa de vidro. O caldeirão foi colocado sobre a chama do fogão e a garrafa, que estava aberta, teve seu gargalo preso a um barbante, que, esticado, a mantinha afastada do fundo do caldeirão, porém mergulhada na água. Após alguns minutos, ele observou que a água do caldeirão entrou em ebulição (a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$), mas a água do interior da garrafa (que também estava a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$) não fervia. Esperou mais alguns minutos e colocou um punhado de sal na água do caldeirão; pouco tempo depois, notou que a água no interior da garrafa entrava em ebulição.

- a) Por que, mesmo estando a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, a água da garrafa não fervia?
- b) O que ocorre com a temperatura de ebulição da água quando acrescentamos sal?

- c) Por que, depois de ser acrescentado sal à água do caldeirão, a água do interior da garrafa também entrou em ebulição?
5. A massa e o calor específico sensível de cinco amostras (dados fictícios) de materiais sólidos e homogêneos são fornecidos abaixo. As cinco amostras encontram-se inicialmente à mesma temperatura e recebem quantidades iguais de calor. Qual delas atingirá a maior temperatura?

Amostra	Massa (g)	Calor específico (em cal/g °C)
A	150	0,20
B	50	0,30
C	250	0,10
D	140	0,25
E	400	0,15

6. No interior do Brasil, nas áreas rurais, é comum usarem cavalos, burros e jumentos para transportar pessoas e cargas nas regiões de difícil acesso para os veículos motorizados. Nesses animais são colocadas ferraduras para proteger os cascos e facilitar a locomoção em terrenos difíceis. Os profissionais que fixam as ferraduras, chamados de ferreiros, costumam antes aquecê-las em fogo e, utilizando martelo e bigorna, procuram uniformizá-las, retirando possíveis ondulações existentes. Após esse procedimento, as ferraduras são resfriadas em um balde contendo água à temperatura ambiente.

Observe a ilustração a seguir



Durante as férias de meio de ano, um estudante de Física, retornando a sua casa em uma dessas regiões, observou um ferreiro trabalhando e pediu

licença a ele para fazer algumas medições. Pegou um termômetro e mediu a temperatura de uma ferradura aquecida, a temperatura da água no balde (antes do mergulho) e depois a temperatura da água no equilíbrio térmico. Com as anotações, ele observou que a variação da temperatura da água do balde era muito menor que a variação de temperatura sofrida pela ferradura. Como você explica esse fato?

7. A energia utilizada para a manutenção e o desempenho do corpo humano é obtida por meio dos alimentos que são ingeridos. O quadro a seguir mostra a quantidade média de energia absorvida pelo corpo humano a cada 100 *gramas* do alimento ingerido.

Alimento	Porção (100 g)	Energia (kcal)
Alface	20 folhas	15
Batata frita	2 unidades	274
Chocolate em barra	1 tablete	528
Macarrão cozido	7 colheres de sopa	111
Mamão	1 fatia	32
Margarina vegetal	20 colheres de chá	720
Pão	2 fatias	269
Refrigerante	1/2 copo	39
Repolho cru	10 folhas	28
Sorvete industrializado	2 bolas	175

Dados: 1 *caloria* = 4,2 *joules*;

calor específico sensível da água 1,0 *cal/g °C*.

Analisando o quadro, podemos concluir que, em termos energéticos:

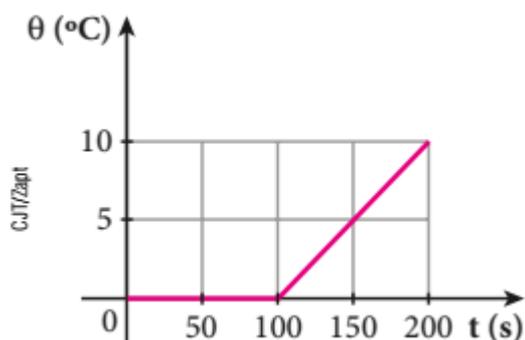
- O chocolate é o alimento mais energético entre os listados.
- Uma fatia de mamão equivale, aproximadamente, a 10 *folhas* de alface.
- Um copo de refrigerante fornece uma energia de, aproximadamente, 328 *J*.
- 0,50 *kg* de sorvete é equivalente a, aproximadamente, 320 *g* de batatas fritas.

- e) Um sanduíche com 2 *fatias* de pão, 2 *folhas* de alface e 2 *folhas* de repolho equivale a 1 *unidade* de batata frita.
8. O chamado leite longa vida é pasteurizado pelo processo UHT (Ultra High Temperature), que consiste em aquecer o leite da temperatura ambiente ($22\text{ }^{\circ}\text{C}$) até $137\text{ }^{\circ}\text{C}$ em apenas $4,0\text{ s}$, sendo em seguida envasado em embalagem impermeável a luz e a micro-organismos. O calor específico do leite é praticamente igual ao da água, $1,0\text{ cal/g }^{\circ}\text{C}$. Assim, no aquecimento descrito, que quantidade de calor cada litro (1000 g) de leite precisou receber? Dê sua resposta em quilocalorias (*kcal*).
9. Uma fonte térmica foi utilizada para o aquecimento de $1,0\text{ l}$ de água (1000 g) da temperatura ambiente ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$) até o ponto de ebulição ($100\text{ }^{\circ}\text{C}$) em um intervalo de tempo igual a $1\text{ min }40\text{ s}$ com rendimento de 100%. Sendo o calor específico da água igual a $1,0\text{ cal/g }^{\circ}\text{C}$, qual o valor da potência dessa fonte?
10. Para avaliar a temperatura de 300 g de água, usou-se um termômetro de 100 g de massa e calor específico sensível igual a $0,15\text{ cal/g }^{\circ}\text{C}$. Inicialmente, esse termômetro indicava, à temperatura ambiente, $12\text{ }^{\circ}\text{C}$. Após algum tempo, colocado em contato térmico com a água, o termômetro passa a indicar $72\text{ }^{\circ}\text{C}$. Supondo não ter havido perdas de calor, determine a temperatura inicial da água.
- Dado:** calor específico da água = $1,0\text{ cal/g }^{\circ}\text{C}$.

ANEXO A3 – Lista de exercícios do quarto encontro

1. Você tem 100 g de água à temperatura ambiente ($25\text{ }^\circ\text{C}$). Quanto de calor deve-se retirar dessa água para obter-se um bloco de gelo de 100 g a $0\text{ }^\circ\text{C}$? Dados: calor específico da água = $1,0\text{ cal/g }^\circ\text{C}$; calor latente de fusão do gelo = 80 cal/g .

2. O gráfico representa o aquecimento de um bloco de gelo de massa $1,0\text{ kg}$, inicialmente a $0\text{ }^\circ\text{C}$. Sabendo que o calor latente de fusão do gelo vale 80 cal/g , responda: qual é a quantidade de calor absorvida pelo gelo entre os instantes 0 s e 100 s .



3. Em um calorímetro ideal são colocados 100 g de água a $60\text{ }^\circ\text{C}$ e 200 g de gelo fundente. Se as trocas de calor ocorrem apenas entre o gelo e a água, no final ainda vamos ter gelo? Em caso afirmativo, que massa de gelo ainda restará? Dados: calor específico da água = $1,0\text{ cal/g }^\circ\text{C}$; calor latente de fusão do gelo = 80 cal/g .

4. Vamos colocar em contato térmico 200 g de água a 50 °C com 100 g de gelo a -10 °C. Supondo que as trocas de calor se processem apenas entre a água e o gelo, qual será a temperatura final de equilíbrio térmico? Dados: calor específico do gelo = 0,50 cal/g °C; calor específico da água = 1,0 cal/g °C; calor latente de fusão do gelo = 80 cal/g.

5. Em um recipiente adiabático, de capacidade térmica desprezível, são colocados 400 g de água a 10 °C e 200 g de gelo a -15 °C. Se após algum tempo, estabelecido o equilíbrio térmico, introduzirmos nesse recipiente um termômetro ideal, que temperatura ele irá registrar? Dados: calor específico da água = 1,0 cal/g °C; calor latente de fusão do gelo = 80 cal/g.

ANEXO A4 – Lista de exercícios do quinto encontro

1. À temperatura de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, um fio de cobre mede $100,000\text{ m}$. Seu comprimento passa a ser de $100,068\text{ m}$ quando a temperatura atinge $40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Qual é o valor do coeficiente de dilatação linear do cobre?

2. Uma chapa de alumínio possui um furo em sua parte central. Sendo aquecida, observamos que:

- a) tanto a chapa como o furo tendem a diminuir suas dimensões.
- b) o furo permanece com suas dimensões originais e a chapa aumenta.
- c) a chapa e o furo permanecem com suas dimensões originais.
- d) a chapa aumenta e o furo diminui.
- e) tanto a chapa como o furo tendem a aumentar suas dimensões.

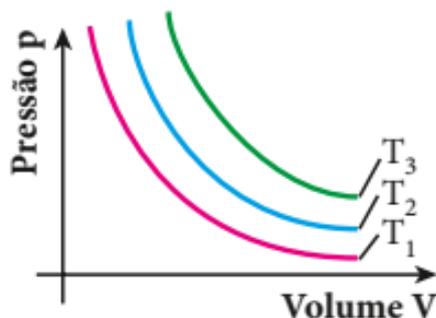
3. Um cubo é aquecido e constata-se um aumento de $0,6\%$ em seu volume. Qual foi a variação de temperatura sofrida pelo cubo? Dado: coeficiente de dilatação volumétrica do material do cubo $6 \cdot 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.

4. Em uma placa de ouro há um pequeno orifício que, a $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, tem superfície de área $5 \cdot 10^{-3}\text{ cm}^2$. A que temperatura devemos levar essa placa para que a área do orifício aumente o correspondente a $6 \cdot 10^{-5}\text{ cm}^2$? Dado: coeficiente de dilatação linear do ouro $15 \cdot 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.

-
-
5. Você já deve ter observado em sua casa que o vidro pirex é mais resistente às variações de temperatura que o vidro comum. Se colocarmos água fervente em um copo de vidro comum, ele trinca, mas isso não acontece com o vidro pirex. A explicação para isso é que:
- a) O calor específico do pirex é menor que o do vidro comum.
 - b) O calor específico do pirex é maior que o do vidro comum.
 - c) Para aquecimentos iguais, o vidro comum sofre maior variação de temperatura.
 - d) O coeficiente de dilatação do vidro comum é menor que o do vidro pirex.
 - e) O coeficiente de dilatação do vidro comum é maior que o do vidro pirex.

ANEXO A5 – Lista de exercícios do sétimo encontro

1. O diagrama representa três isotermas T_1, T_2 e T_3 , referentes a uma mesma amostra de gás perfeito. A respeito dos valores das temperaturas absolutas T_1, T_2 e T_3 , pode-se afirmar que:

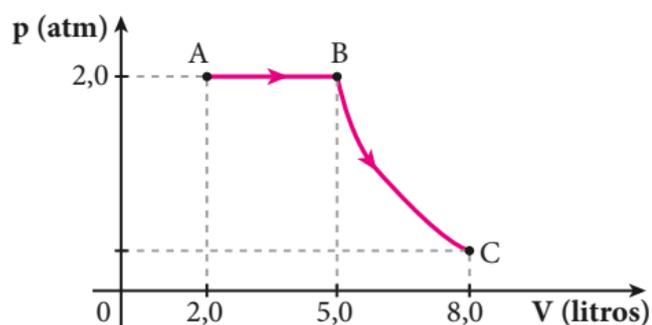


- a) $T_1 = T_2 = T_3$.
 b) $T_1 < T_2 < T_3$.
 c) $T_1 > T_2 > T_3$.
 d) $T_1 = T_2 < T_3$.
 e) $T_1 > T_2 < T_3$.
2. Certa massa de gás perfeito está em um recipiente de volume constante. No início, a temperatura do gás é de 47°C , e a pressão registrada é equivalente a 100 mmHg . Qual será a nova pressão do gás se a sua temperatura for alterada para 207°C ?

3. Uma garrafa metálica aprisiona ar a uma temperatura de 27°C , sob pressão de $1,2\text{ atm}$. Essa garrafa é colocada no interior de um forno e é aquecida até que sua tampa seja ejetada. Supondo que o ar se comporte como um gás perfeito, a dilatação da garrafa seja desprezível e a condição para a tampa ser ejetada seja uma pressão igual a $2,8\text{ atm}$, qual é a temperatura do ar no instante em que a tampa escapa da garrafa?

4. A densidade do nitrogênio, considerado como gás ideal, nas condições normais de temperatura e pressão, é de $1,25 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Qual será a massa de 10 l de nitrogênio à pressão de 700 mmHg e a $40 \text{ }^\circ\text{C}$?

5. Uma amostra de gás perfeito sofre as transformações AB (isobárica) e BC (isotérmica) representadas no diagrama *pressão* \times *volume*:



Sabe-se que a temperatura do gás, na situação representada pelo ponto B , vale $27 \text{ }^\circ\text{C}$. Qual é a temperatura desse gás nas situações A e C ?

ANEXO B1 – 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,

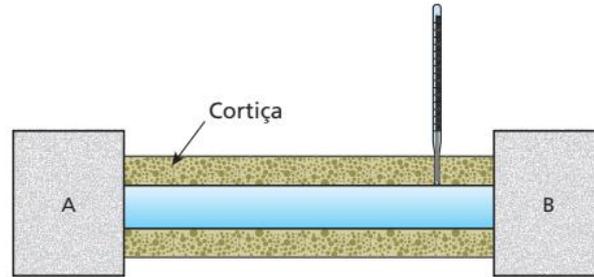
verificou-se que os valores lidos nos dois termômetros eram iguais. Qual a temperatura medida, em graus Celsius?

- 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.

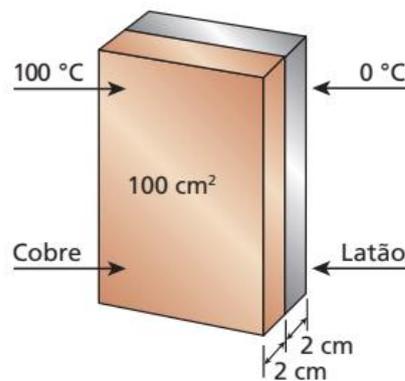
- a) Calor e energia térmica são a mesma coisa, podendo sempre ser usados tanto um termo como o outro, indiferentemente.
- b) Dois corpos estão em equilíbrio térmico quando possuem quantidades iguais de energia térmica.
- c) O calor sempre flui da região de menor temperatura para a de maior temperatura.
- 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) $35^{\circ}F$
- b) $50^{\circ}F$
- c) $68^{\circ}F$
- d) $70^{\circ}F$
- e) $78^{\circ}F$

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 $0^{\circ}C$ e $100^{\circ}C$, 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 $0,01 \text{ W}/(\text{m}^\circ\text{C})$.

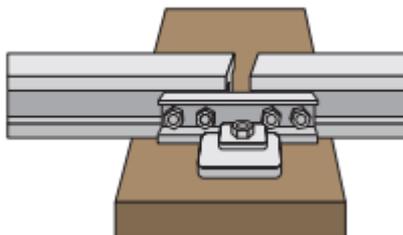
- a) 20 Wh
- b) 30 Wh
- c) 40 Wh
- d) 50 Wh
- e) 60 Wh

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:

ANEXO B2 – 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.



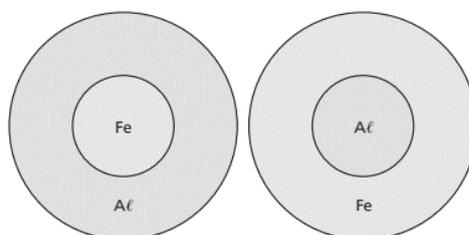
Considere que uma variação de temperatura da noite para o (meio) dia possa chegar a (aproximadamente) 25 °C, fazendo-os dilatar cerca de 5 mm. Neste caso, qual o valor do coeficiente de dilatação linear do material de que é feito o trilho?

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.



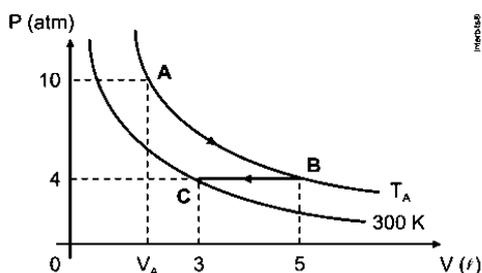
Se as duas peças forem aquecidas uniformemente, é correto afirmar que:

- 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.

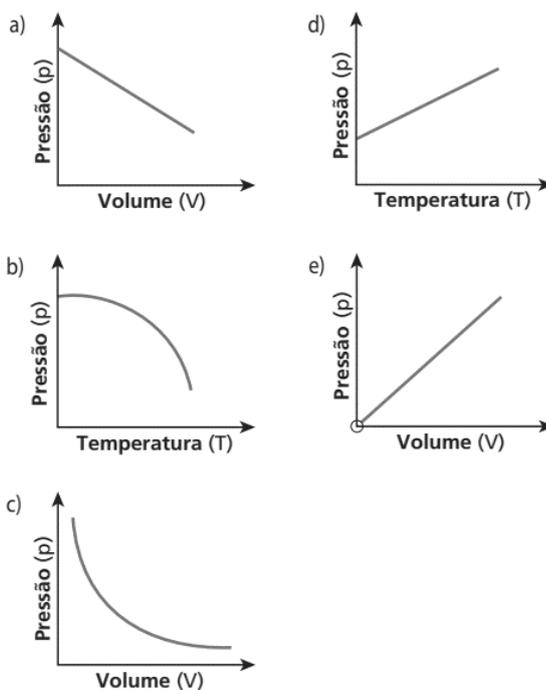
Questão 06 – A figura abaixo representa duas isotérmicas em que certa massa gasosa, inicialmente no estado 1, sofre uma transformação atingindo o estado 2 que

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 $27\text{ }^\circ\text{C}$, 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 $-23\text{ }^\circ\text{C}$. 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 $1,0\text{ l}$ 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) $0,25\text{ l}$
- b) $2,0\text{ l}$
- c) $0,50\text{ l}$
- d) $4,0\text{ l}$

Questão 10 – Um gás perfeito, que tem um volume de $12,0\text{ l}$, 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:

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**

MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



SBF
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

Francisco Leonardo Lopes da Silva
Gabriel Alves Mendes

A FÍSICA DOS BALÕES DE AR QUENTE: Uma sequência
didática para a aprendizagem dos conceitos de Termologia

São Luís – MA
2021

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

David Ausubel

Apresentação

Este é o Produto Educacional abordado na Dissertação de Mestrado de Francisco Leonardo Lopes da Silva, orientado pelo Prof. Dr. Gabriel Alves Mendes, que foi apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física - Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, ofertado pela Sociedade Brasileira de Física em associação com a Universidade Federal do Maranhão (Polo 47).

Esse material faz uma breve revisão dos conceitos de Termologia e mostra em detalhes a construção de um balão de ar quente, fornecendo sugestões de como desenvolver uma sequência didática, que trata da aprendizagem desses conceitos, sendo destinada a professores do Ensino Médio, em especial, 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 compreende os conteúdos de Termologia, sendo organizada de acordo com o conteúdo do livro didático para trabalho em 16 aulas visando enriquecer a metodologia empregada pelo professor com elementos da Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel. Sendo construída seguindo a sequência de apresentação dos capítulos 1, 2, 3 e 4, 6 e 5 do livro Física, vol. 2: termologia, ondulatória, óptica / Newton Villas Bôas, Ricardo Helou Doca, Gualter José Biscuola. - 3. ed. - São Paulo: Saraiva, 2016).

No entanto, essa sequência poderá ser usada com qualquer livro didático, desde que o professor observe no seu livro a ordem dos conteúdos e use problemas compatível aos aqui propostos. Os conteúdos sugeridos estão de acordo com a BNCC, matrizes do Enem e os conteúdos propostos pela Secretaria de Educação do Estado Piauí – SEDUC-PI.

Francisco Leonardo Lopes da Silva
São Luís - MA, 2021.

Lista de elementos pedagógicos



Site ou arquivo



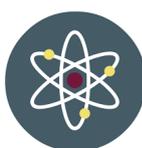
Vídeo no Youtube



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.	14
Figura 2 – Exemplos de flutuabilidade dos balões com a variação da temperatura..	17
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.	18
Figura 4 – Misturando água quente com água fria em um mesmo recipiente, após um certo tempo obtém-se o equilíbrio térmico (água morna).....	19
Figura 5 – Experimentando as sensações térmicas (é importante que ao realizar esse experimento a água não esteja muito quente, para evitar queimar as mãos.).....	20
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.	20
Figura 7 – Exemplo de um termômetro a álcool.....	23
Figura 8 – Algumas temperaturas encontradas no Universo.....	24
Figura 9 – Comparação entre as escalas termométricas.	25
Figura 10 – Várias situações que presenciamos o calor (transferências de energia térmica).....	28
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.	31
Figura 12 – Ilustração dos estados físicos da água com as transições de fases....	36
Figura 13 – Diagrama de fase da maioria das substâncias (a); Diagrama de fase da água (b).....	37
Figura 14 – Ilustração comparativas das leis de Boyle, Charles e Gay-Lussac.....	44
Figura 15 – Representação gráfica das transformações: isotérmica (A), isovolumétrica (B) e isobárica (C).....	47
Figura 16 – Lista de materiais necessários.....	50
Figura 17 – Soprador térmico (secador de cabelos).	57
Figura 18 – Verificando experimentalmente a condutibilidade térmica.....	64

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Número de graus de liberdade f para partículas monoatômicas e diatômicas (moléculas lineares), divididas em várias formas de movimento.	22
Tabela 2 – Condutibilidade térmica de alguns materiais, veja que o alumínio e o cobre tem um coeficiente muito maior que os demais.	30
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.	33
Tabela 4 – Calor específico de alguns materiais (a água tem calor específico 1, bem maior que todos os outros materiais).	34
Tabela 5 – Processos de mudanças de fase da matéria.	38
Tabela 6 – Calor latente e temperatura de fusão e vaporização de alguns materiais sólidos e líquidos.	39
Tabela 7 – Coeficiente de dilatação linear de alguns sólidos.	92
Tabela 8 – Coeficiente de dilatação volumétrica de alguns materiais líquidos.	94
Tabela 9 – Algumas constantes físicas.	98
Tabela 10 – Prefixos para potências de dez.	99

Lista de Diagramas

Diagrama 1 – Fazendo os painéis de seda.....	53
Diagrama 2 – Dobrando e cortando os painéis.....	54
Diagrama 3 – Colando os painéis.....	55
Diagrama 4 – Acabamentos e saia do balão.	56

Sumário

INTRODUÇÃO	11
CAPÍTULO 1 – Balões de ar quente e a compreensão da Termologia	14
1.1. A história dos balões de ar quente	14
1.2. Compreendendo o voo dos balões e os conceitos de Termologia	16
1.2.1. Equilíbrio térmico e temperatura	17
1.2.2. Medindo a temperatura - termômetros e escalas termométricas.....	22
1.2.3. A definição de calor	27
1.2.3.1. Formas de propagação do calor	28
1.2.4. Capacidade térmica	32
1.2.5. Calor específico ou calor sensível.....	33
1.2.6. Sistema físico termicamente isolado	35
1.2.7. Estados físicos da matéria	36
1.2.7.1. Diagrama de fases.....	36
1.2.8. Calor latente	38
1.2.9. Dilatação térmica dos sólidos e líquidos	39
1.2.10. Estudo dos gases perfeitos.....	42
2.2.13. Relacionando Termologia com os balões de ar quente.....	48
CAPÍTULO 2 – GUIA DE CONSTRUÇÃO DE UM BALÃO DE AR QUENTE	50
2.1. Passo a passo para a construção do balão	50
2.2. Materiais necessários	50
Passo 01 - Fazendo os painéis de seda	51
Passo 02 – Colando os painéis.....	51
Passo 03 – Dobrando os painéis	52
Passo 04 – Acabamentos e saia do balão	52
Passo 05 – Avestando o balão.....	57
CAPÍTULO 3 – A SEQUÊNCIA DIDÁTICA	58
3.1. Introdução.....	58
3.2. Estrutura das aulas e materiais de apoio ao professor.....	60
3.3.2. Segundo encontro.....	63
3.3.3. Terceiro encontro.....	65
3.3.4. Quarto encontro	67
3.3.5. Quinto encontro	69
3.3.6. Sexto encontro.....	72

3.3.7. Sétimo encontro.....	75
3.3.8. Oitavo encontro	76
CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	79
REFERÊNCIAS	80
APÊNDICE A – Questões da avaliação diagnóstica	81
APÊNDICE B – Fio metálico e condução de calor	82
APÊNDICE C – Pesquisa e debate – Seminário ou Mesa redonda	83
APÊNDICE D – Questões da primeira prova escrita.....	84
APÊNDICE E – Questões da segunda prova escrita	88
APÊNDICE F – Coeficiente de dilatação linear de alguns sólidos.....	92
APÊNDICE G – Experimento: o funcionamento de lâminas bimetálicas	93
APÊNDICE H – Tabela com coeficientes de dilatação volumétrica.....	94
APÊNDICE I – Comprovando a dilatação volumétrica	95
APÊNDICE J – Enchendo um balão com gás a partir de uma reação química	96
APÊNDICE K – Unidades do Sistema Internacional de Unidades.....	97
APÊNDICE L – Algumas Constantes físicas.....	98
APÊNDICE M – Tabelas com prefixo de potências de dez	99
APÊNDICE N – Algumas conversões importantes.....	100

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: O 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 à 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.

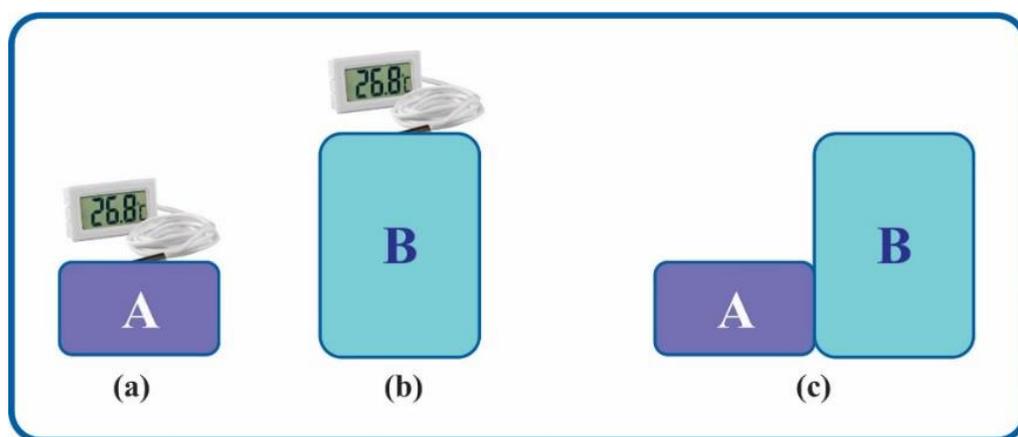


Fonte: Adaptada pelo autor (2021).

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: O 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.

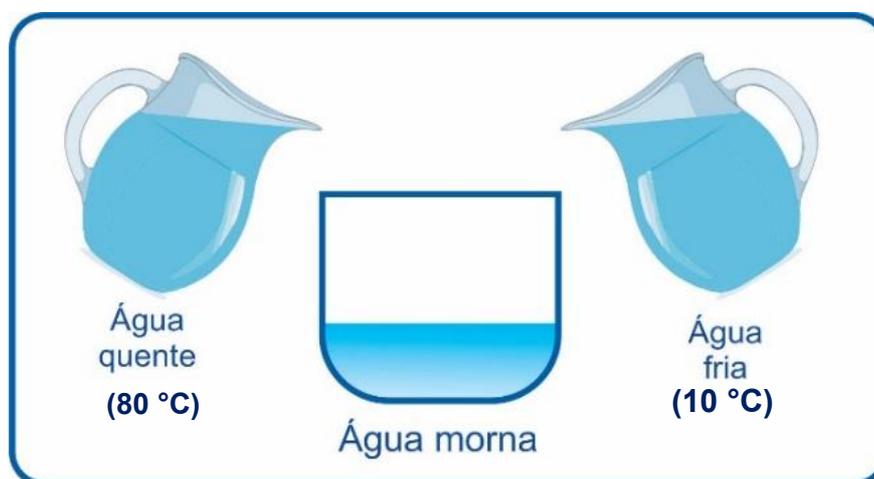
– Sensações térmicas

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 ($80\text{ }^{\circ}\text{C}$) com um litro de água fria ($10\text{ }^{\circ}\text{C}$), depois de um certo tempo, se obterá o equilíbrio térmico e você terá dois litros de água “morna” (temperatura com um valor entre $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $80\text{ }^{\circ}\text{C}$). 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: O 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.).

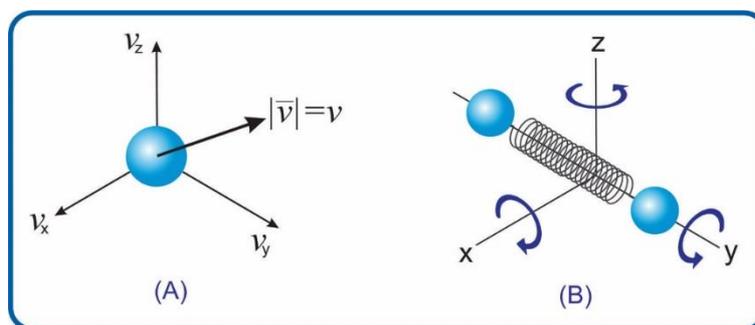


Fonte: O Autor (2021).

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: O 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), conseqüentemente:

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

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

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

Para o movimento vibracional no, caso particular de um gás monoatômico, temos apenas um grau de liberdade (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 todos às 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: Organizada 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.



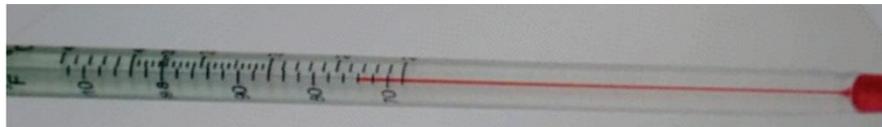
1.2.2. Medindo a temperatura - termômetros e escalas termométricas

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 dividida 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: O 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:

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

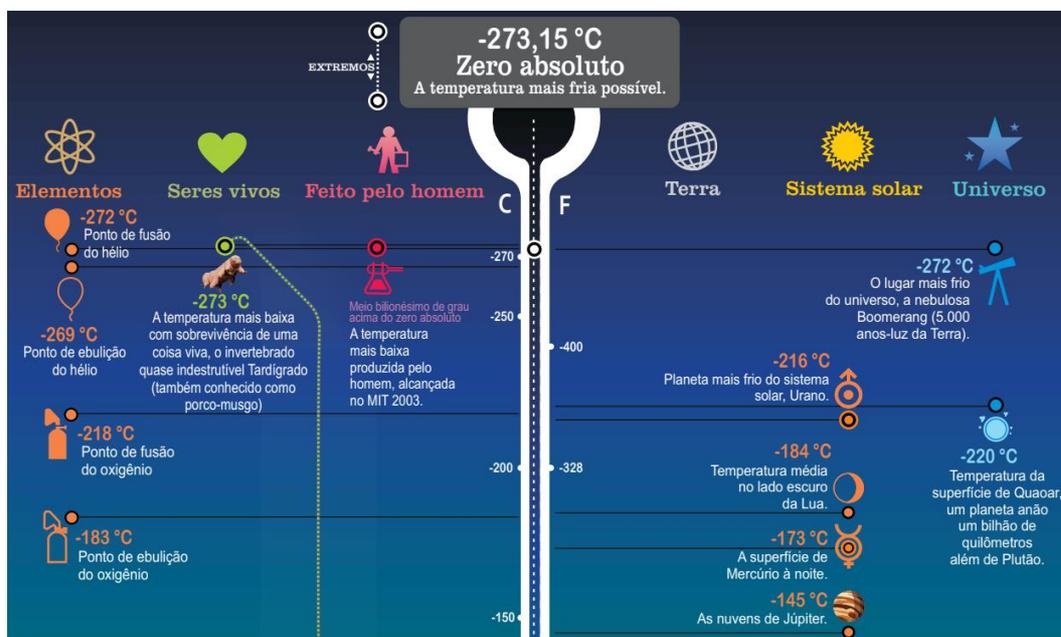
onde ΔT_F é a variação da temperatura Fahrenheit e ΔT_C a variação da temperatura Celsius.

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.

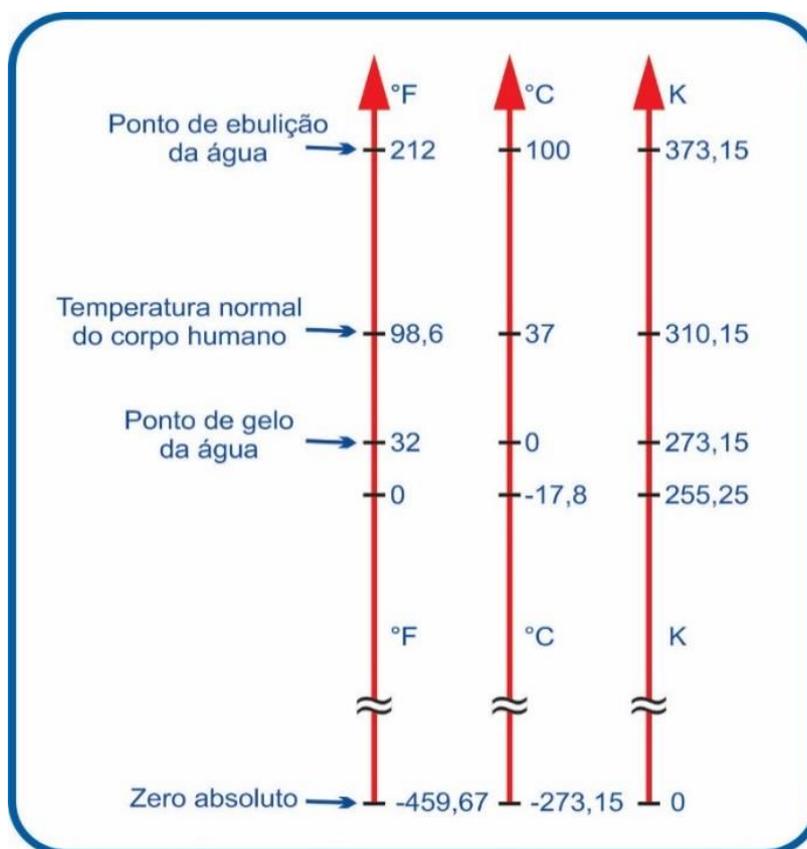


Fonte: Adaptada pelo autor (2021).

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: Adaptada 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:

$$\begin{aligned} \frac{120}{5} &= \frac{T_F - 32}{9} \\ 9 \cdot 24 &= T_F - 32 \\ T_F &= 216 + 32 \\ T_F &= 248^\circ\text{F} \end{aligned}$$

A temperatura de $248^{\circ}F$ 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 $206,6^{\circ}F$ e ele deseja saber qual é a temperatura na escala Kelvin?

1º vamos converter de Fahrenheit para Celsius usando:

$$\begin{aligned} \frac{T_C}{5} &= \frac{T_F - 32}{9} \\ \frac{T_C}{5} &= \frac{206,6 - 32}{9} \\ T_C &= 19,4 \cdot 5 \\ T_C &= 97^{\circ}C \end{aligned}$$

2º vamos converter de Celsius para Kelvin usando:

$$\begin{aligned} T_K &= T_C + 273 \\ T_K &= 97 + 273 \\ T_K &= 370 \text{ K} \end{aligned}$$

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 $100^{\circ}C$. 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 $97^{\circ}C$.

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).



Fonte: Composição feita 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 $1\ cal = 4,186\ J$.

$$\phi = \frac{Q}{\Delta t}$$

[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 seção 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 $W.m/K$)
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, David, et al. Fundamentos de física. Gravitação, ondas e termodinâmica: LTC, 2015.



Exemplo:

Uma barra de alumínio de 40 cm de comprimento e área de seção transversal de 8 cm^2 tem uma de suas extremidades em contato térmico com um recipiente contendo vapor de água em ebulição (100 $^{\circ}C$). A outra extremidade em contato com um recipiente contendo água e gelo (0 $^{\circ}C$). A pressão atmosférica local é normal. Sabendo que o coeficiente de condutibilidade térmica do alumínio vale $0,5 \frac{cal}{s^{\circ}C}$, calcule o fluxo de calor através da barra, depois de estabelecido o regime estacionário.

Solução:

Dados:

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

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

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

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

Substituindo na equação [1.09], temos:

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

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

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: O 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, David; Resnick, Robert (2013). Fundamentos de Física. Wiley. p. 524.

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 $\text{cal}/\text{g}^\circ\text{C}$. (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 · °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, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. (2016). Física II - Termodinâmica e Ondas 14 ed. São Paulo: Pearson. p. 213-214.

O calor específico da água é $1 \text{ cal/g}^\circ\text{C} = 4,2 \text{ J/g}^\circ\text{C}$, 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 $9,3 \cdot 10^3 \text{ cal}$. Determine a capacidade térmica e o calor específico do alumínio:

Solução:

Dados:

$$m = 1300g.$$

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

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

Para a capacidade térmica usamos:

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

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

Para o calor específico substituímos na equação:

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

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

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

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.

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

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:

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

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

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

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

$$250T_i = 22352,5$$

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

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.

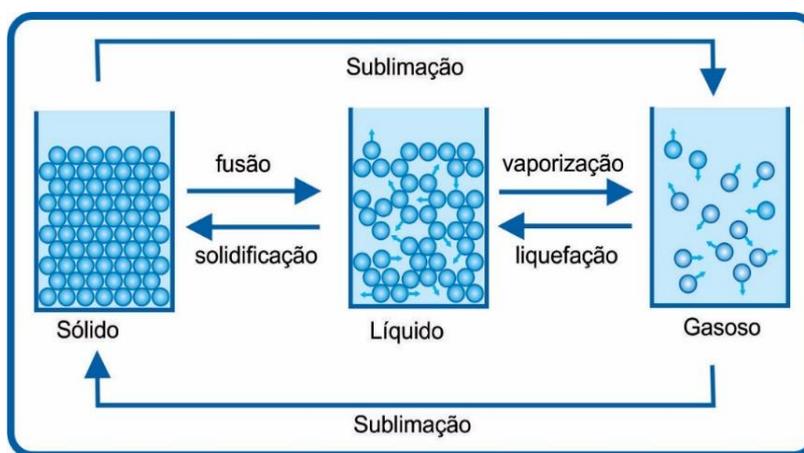


1.2.7. Estados físicos da matéria

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: O Autor (2021).



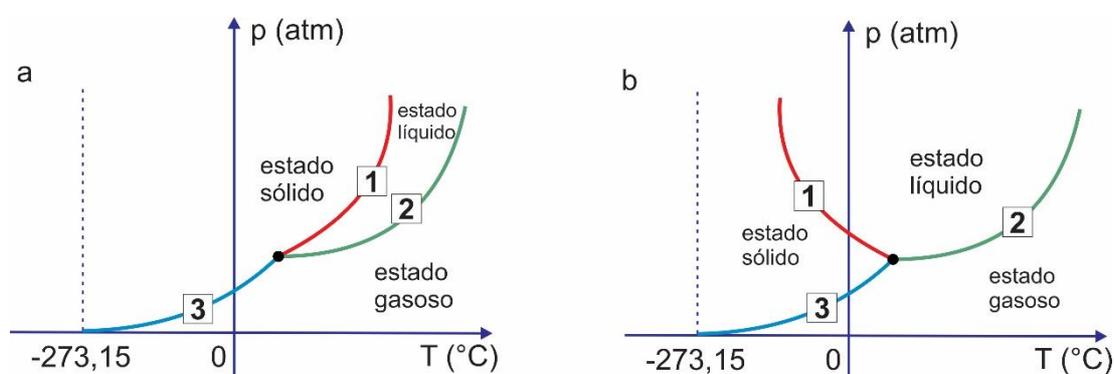
1.2.7.1. Diagrama de fases

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: O 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: O 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: O 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:

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

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.

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

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

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

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

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:

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

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 m^2 e encontra-se na temperatura ambiente $38 \text{ }^\circ\text{C}$, quando essa chapa é exposta à luz do sol a sua temperatura aumenta para $80 \text{ }^\circ\text{C}$. Sabendo que o coeficiente de dilatação superficial do alumínio é igual a $44 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, qual será a variação da área dessa chapa em m^2 ?

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 m², 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 °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.

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

$$V_{real} = 25,50 \ell$$

$$V_{descarregado} = 40.000 - 25,5 = \mathbf{39.974,50 \ell} .$$

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 Amedeo 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 números 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 $22,4 \text{ L}$, temos:

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

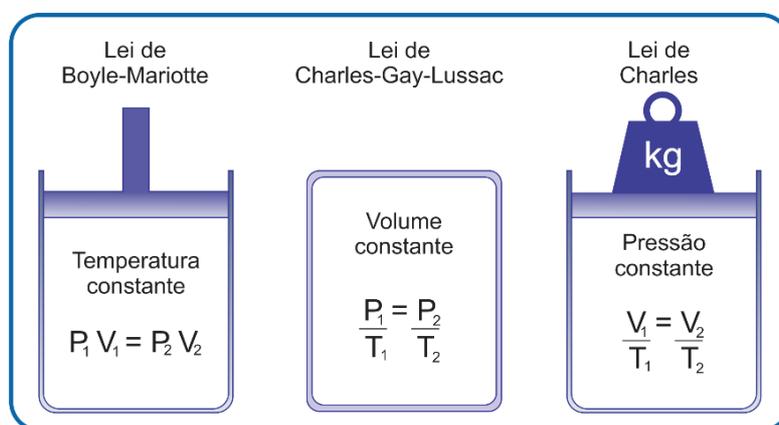
$$R = \frac{1 \cdot 22,4 \text{ atm} \cdot \text{L}}{1 \cdot 273 \text{ mol} \cdot \text{K}}$$

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

– 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: $\frac{p_1 V_1}{T_1} = n_1 R$ (estado 1) e $\frac{p_2 V_2}{T_2} = n_2 R$ (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**.

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}. \quad [1.22]$$

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:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$

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

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

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. Conseqüentemente, 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

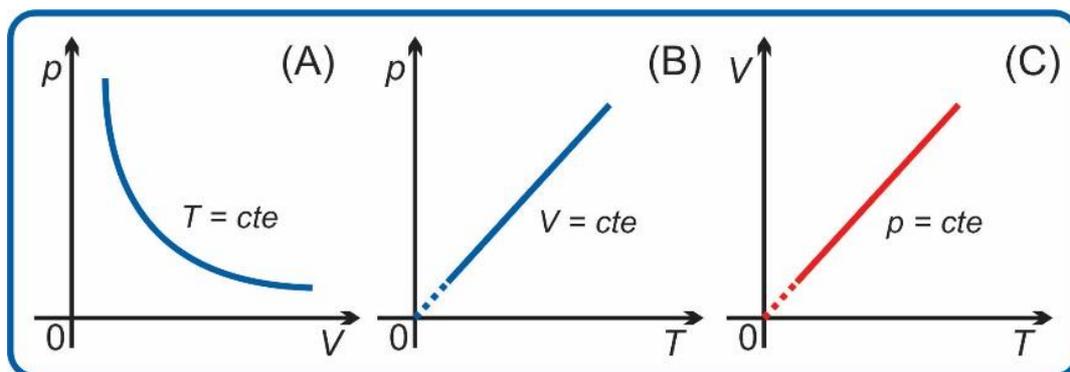
Se durante uma transformação gasosa o volume for mantido constante essa será chamada **transformação isovolumétrica**. Essa transformação foi enunciada no ano de 1809 pelo físico francês Joseph Gay-Lussac (1778-1850), onde se estabelece que:

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: O Autor (2021).



Exemplo:

Se a pressão exercida pelo gás vale é $2,5 \text{ atm}$ 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:

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

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

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

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

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 kg. Se você aquecer esse ar a 38 °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: O 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).

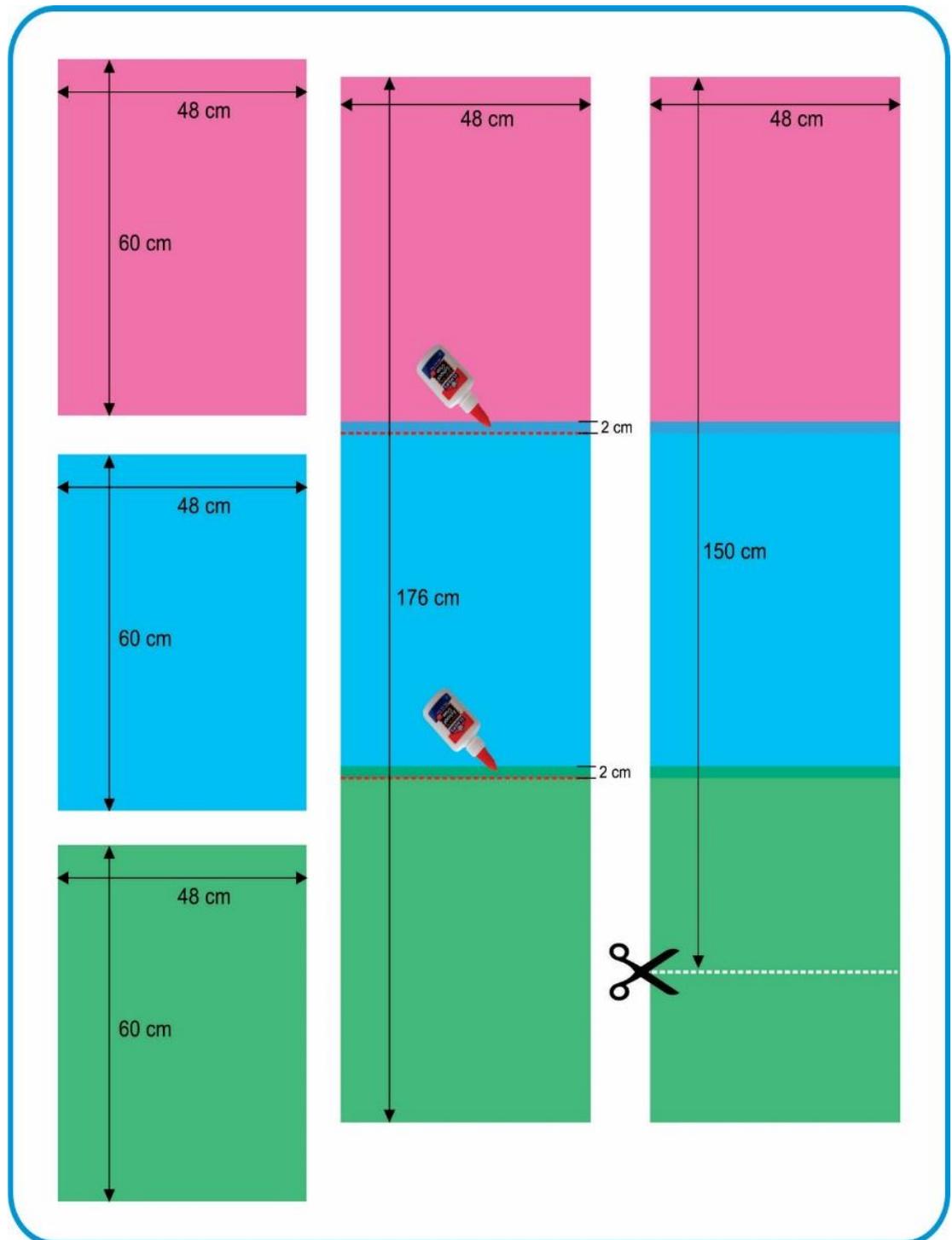
É importante que a saia tenha um pouco de peso para descolar o centro de gravidade para baixo e evitar o balão girar.

Acabamentos e saia do balão:

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



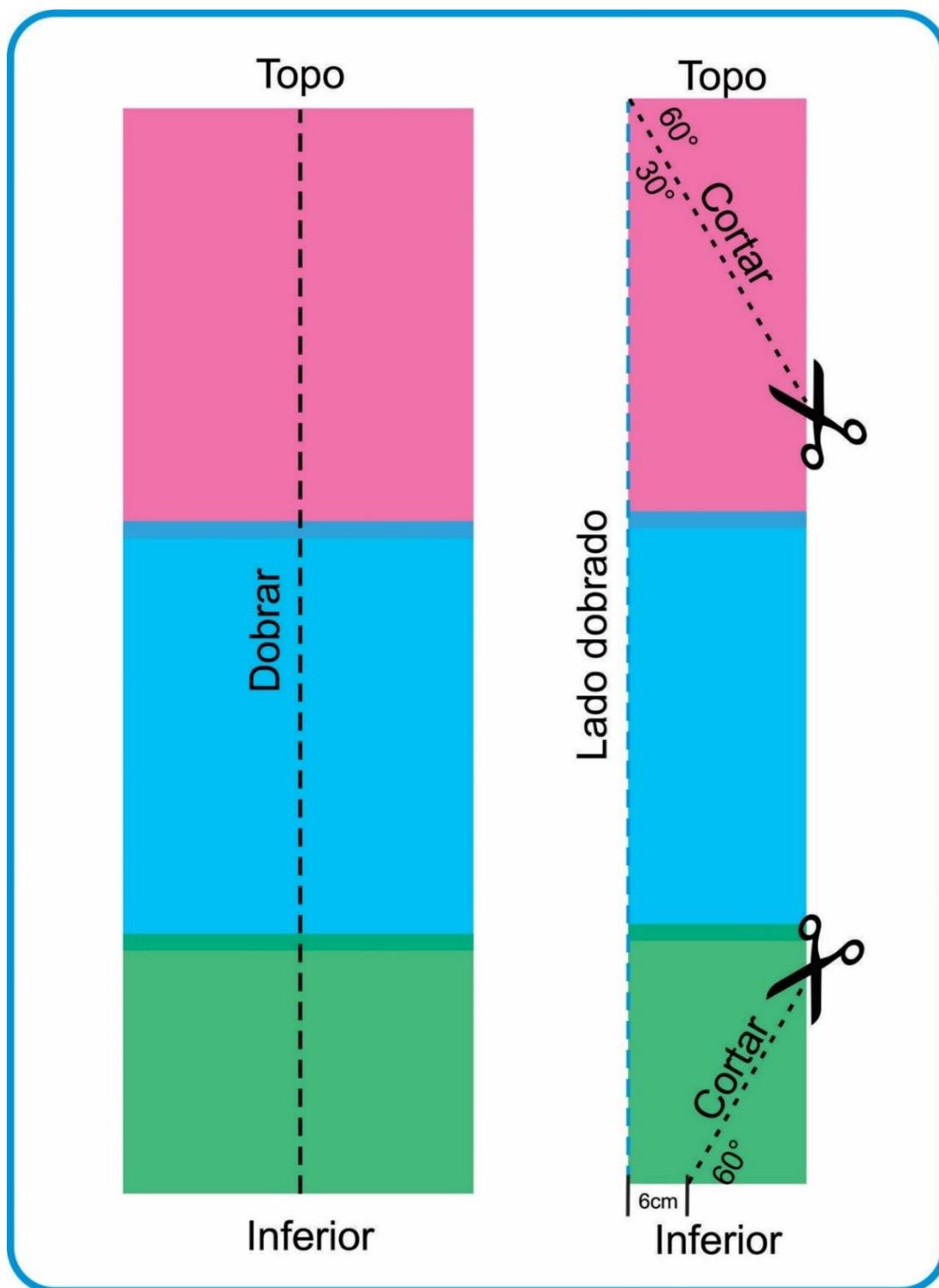
Diagrama 1 - Fazendo os painéis de seda.



Fonte: O Autor (2021).

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

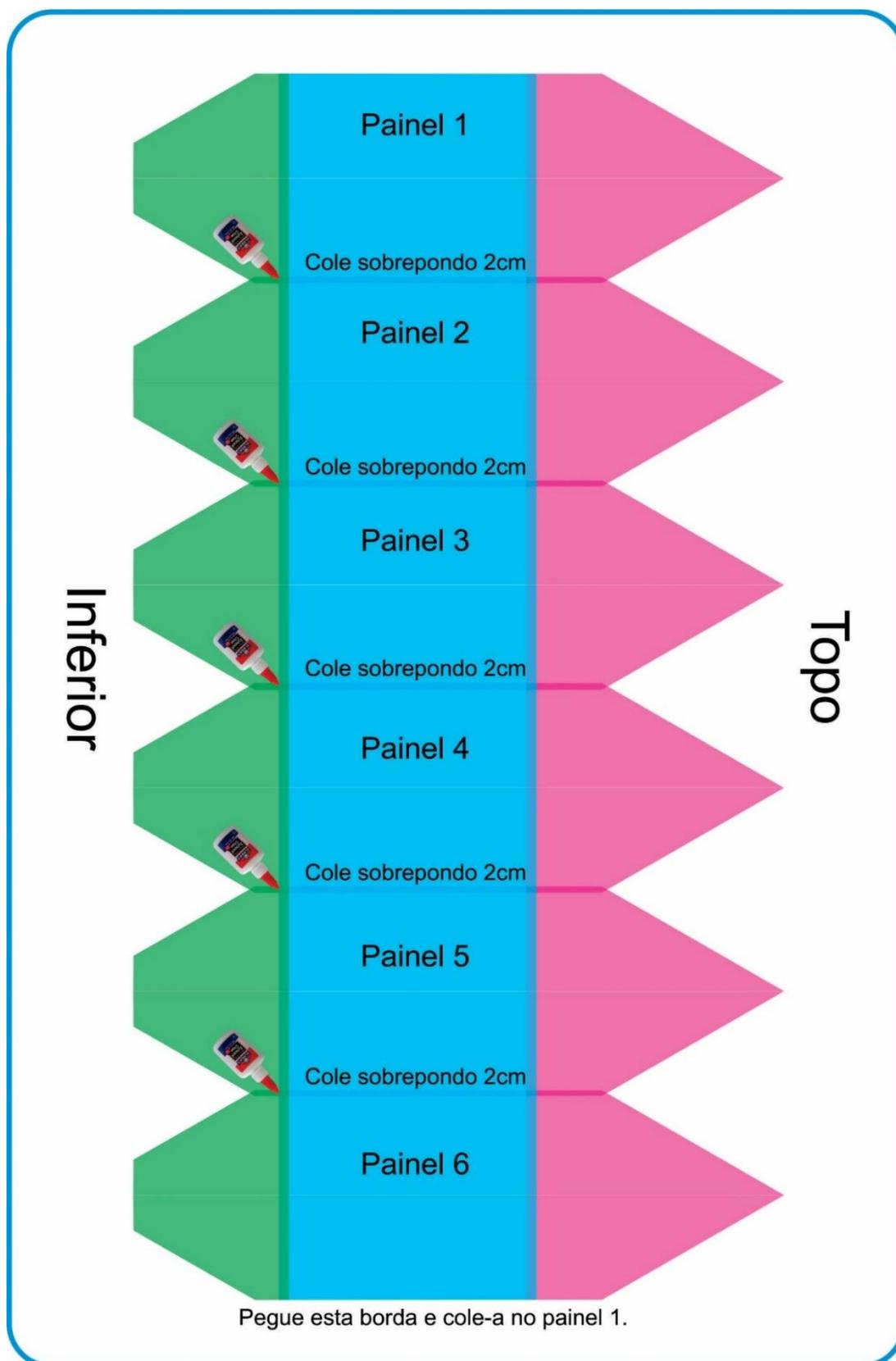
Diagrama 2 - Dobrando e cortando os painéis.



Fonte: O Autor (2021).

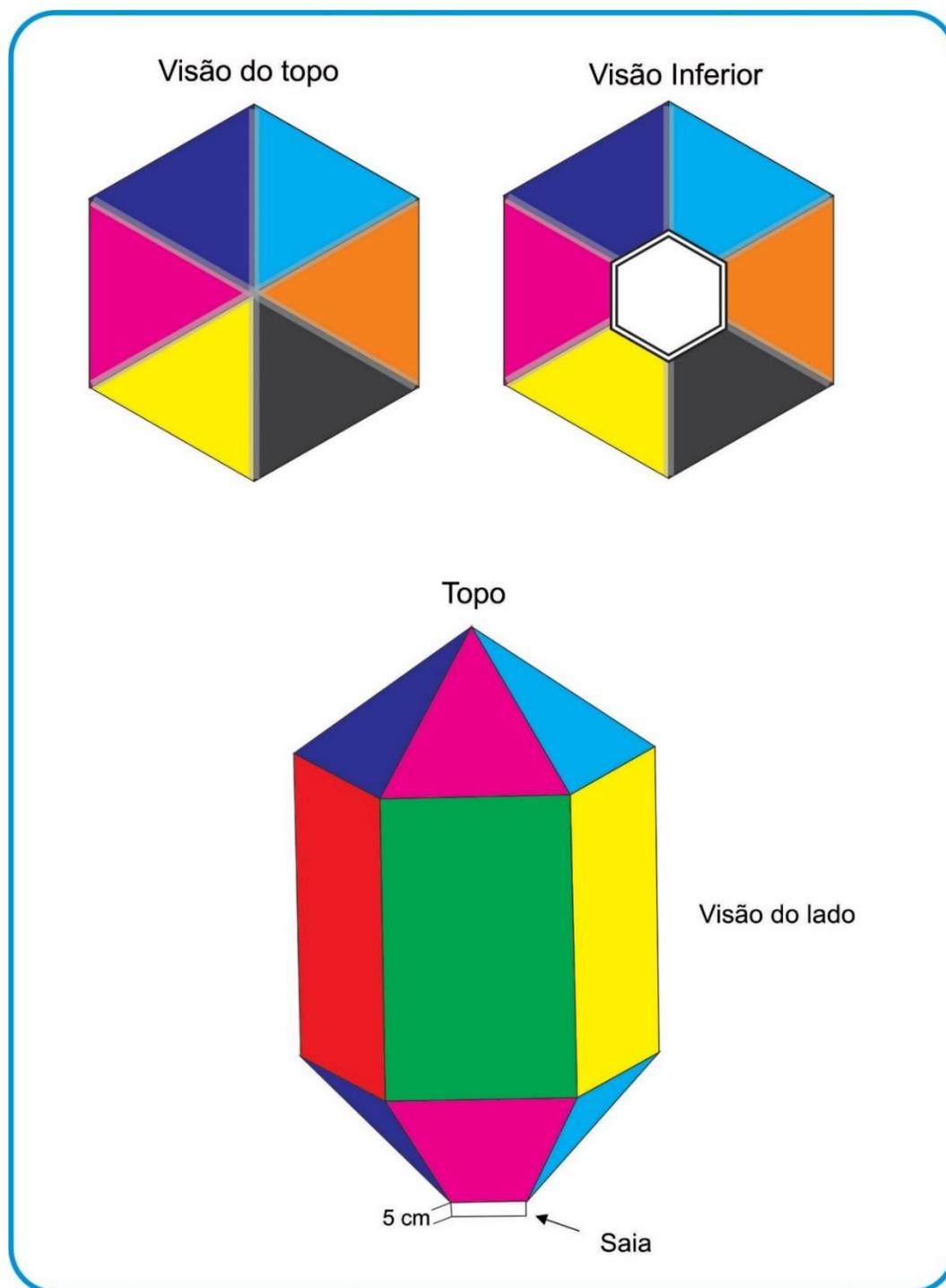
Nota: Esse tipo de corte vai gerar uma forma hexagonal, porém pode-se fazer cortes arredondados, alterando a forma do balão.

Diagrama 3 - Colando os painéis.



Fonte: O Autor (2021).

Diagrama 4 - Acabamentos e saia do balão.



Fonte: O 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>.

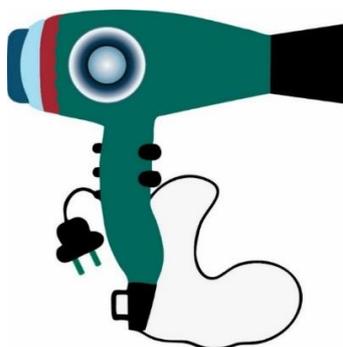


Passo 06 – Etapa final – testes dos balões

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: O 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 litros 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.



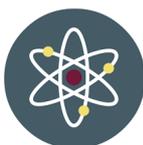
O experimento sugerido foi descrito no tópico **1.2.1**, no primeiro capítulo. (Vídeo do experimento no link: <https://www.youtube.com/watch?v=pkc4XbG8A0Y>).

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 retiram 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: O 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.

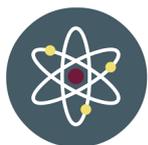
Sugestão de avaliação: no final desse encontro pode ser proposto um trabalho de pesquisa e debate que poderá ser apresentado como seminário ou mesa redonda no 4º encontro, valendo 20% da primeira nota. Os temas para esse trabalho encontram-se no **Apêndice C**.



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 macroscópico 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:

$$V = K_2T \therefore \frac{V}{T} = K$$

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, Charles. A Avaliação desmitificada. Porto Alegre: Artmed, 2001.
- HALLIDAY, David, 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.
- 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. Aprendiendo 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.
- VIRGIN BALLOON FLIGHTS. History of Ballooning. Disponível em: <https://www.virginballoonflights.co.uk/history-of-ballooning/>. Acesso em: 02 de janeiro de 2021.
- WALKER, Jearl. O Circo Voador da Física. 2ª Edição. LTC, 2008.
- YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. (2016). Física II - Termodinâmica e Ondas 14 ed. São Paulo: Pearson. p. 213-214.
- TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene, Física para Cientistas e Engenheiros - Vol. 1, 6a ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

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,

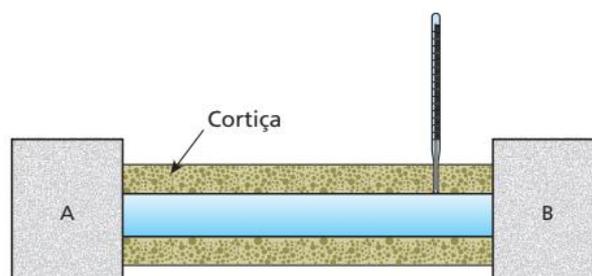
verificou-se que os valores lidos nos dois termômetros eram iguais. Qual a temperatura medida, em graus Celsius?

- 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.

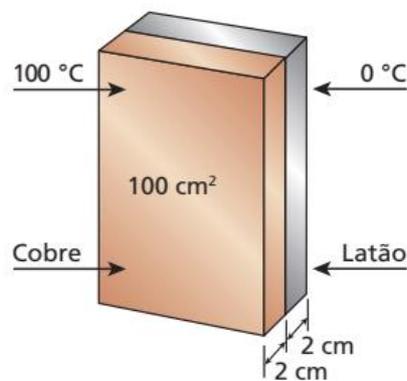
- a) Calor e energia térmica são a mesma coisa, podendo sempre ser usados tanto um termo como o outro, indiferentemente.
- b) Dois corpos estão em equilíbrio térmico quando possuem quantidades iguais de energia térmica.
- c) O calor sempre flui da região de menor temperatura para a de maior temperatura.
- 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.

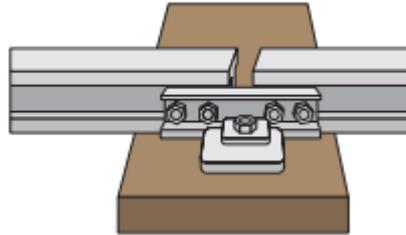
Questão 09 – (UEPA) A área total das paredes externas de uma geladeira é $4,0 \text{ m}^2$ e a diferença de temperatura entre o exterior e o interior da geladeira é $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Se a geladeira tem um revestimento de poliestireno com 25 mm de espessura, determine a quantidade de calor 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) $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, 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?

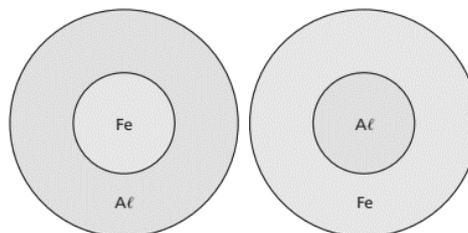
Questão 02 – Uma barra metálica de coeficiente de dilatação linear médio de $2 \cdot 10^{-5}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ é colocada no interior de um forno. Após a barra ter atingido o equilíbrio térmico, verifica-se que seu comprimento é 1% maior. Qual a temperatura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

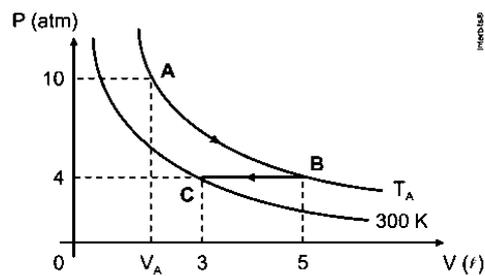


Se as duas peças forem aquecidas uniformemente, é correto afirmar que:

- 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.

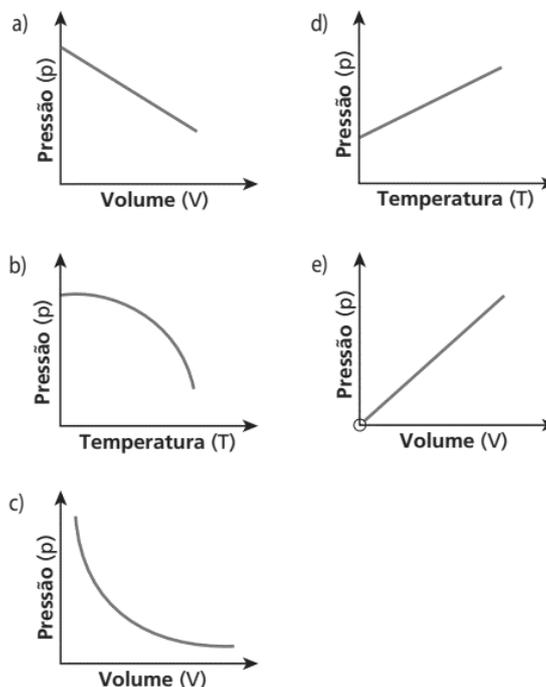
Questão 05 – Um posto recebeu 5.000 ℓ de gasolina em um dia muito frio, em que a temperatura era de $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. No dia seguinte, a temperatura aumentou para $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, situação que durou alguns dias, o suficiente para que a gasolina fosse totalmente vendida. Se o 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 $^{\circ}\text{C}^{-1}$)
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 Sistema 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

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

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

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

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