

UFACMNPEF

**Mestrado Nacional
Profissional em Ensino de
Física**



UM LIVRO PARADIDÁTICO COMO MATERIAL COMPLEMENTAR PARA O ENSINO E APRENDIZAGEM EM TERMODINÂMICA

Bruno de Lima Torres

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF) da Universidade Federal do Acre – polo 59, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Área de Atuação: Ensino de Física

Orientador:

Prof. Dr. Antonio Romero da Costa Pinheiro

Rio Branco – Acre

2026

UM LIVRO PARADIDÁTICO COMO MATERIAL COMPLEMENTAR PARA O
ENSINO E APRENDIZAGEM EM TERMODINÂMICA

Bruno de Lima Torres

Orientador: Prof. Dr. Antonio Romero da Costa Pinheiro

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

Dr. Antonio Romero da Costa Pinheiro – UFAC
Orientador/Presidente

Dr. Tiago de Jesus Santos – UFAC
Membro Titular Interno

Dr. Fábio Soares Pereira – IFAC
Membro Titular Externo

Dr. Carlos Henrique Moreira Lima – UFAC
Membro Suplente Interno

Dra. Luciene Batista da Silveira – UNIR
Membro Suplente Externo

Rio Branco – Acre

2026

FICHA CATALOGRÁFICA

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da UFAC

T693l Torres, Bruno de Lima, 1990-

Um livro paradidático como material complementar para o ensino e aprendizagem em termodinâmica / Bruno de Lima Torres; Orientador: Dr. Antonio Romero da Costa Pinheiro. - 2026.

165 f.: il.; 30 cm.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Acre, Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Ensino de Física, Mestre em Física, Rio Branco, 2026.

Inclui referências bibliográficas e anexos.

1. Livros paradidáticos. 2. Recursos tecnológicos. 3. Ensino de Física. I. Pinheiro, Antonio Romero da Costa (Orientador). II. Título.

CDD: 530

Bibliotecária: Nádia Batista Vieira CRB-11º/882

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, que por meio da sua graça nos capacita ao longo da vida, a minha esposa que tem me auxiliado por meio do seu suporte, conselhos e companheirismo e aos meus pais que me possibilitaram melhores oportunidades do que a que eles tiveram.

Agradecimentos

Agradeço, primeiramente, a Deus,^b Soberano e Criador dos céus e da terra.

Sou grato aos meus familiares pelo apoio e pela motivação.

Sou grato aos amigos que fiz ao longo da vida, inclusive, aos que cursaram o mestrado comigo na turma de 2023.

Aos professores do mestrado profissional pelas orientações, incentivos e ensinamentos.

À Instituição de Ensino Glória Perez, na qual foi aplicado o produto educacional na pesquisa.

Ao professor Leandro Luiz de Oliveira Cordeiro, docente do componente curricular de Física da Instituição de Ensino Glória Perez.

À UFAC, instituição onde obtive a minha graduação de Licenciatura Plena em Física.

Deixo um agradecimento especial ao meu orientador, Dr. Antonio Romero da Costa Pinheiro, exemplo de profissional a ser seguido, pelo incentivo, pela dedicação, pelo comprometimento, pelo suporte e pelo auxílio durante a construção desse trabalho.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoas de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.

1 No princípio era o Verbo, e o Verbo estava com Deus, e o Verbo era Deus. 2 Ele estava no princípio com Deus. 14 E o Verbo se fez carne e habitou entre nós, cheio de graça e de verdade, e vimos a sua glória, glória como do unigênito do Pai.

João 1: 1, 2 e 14

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sistema termicamente isolado contendo os recipientes A e B.....	27
Figura 2: Sistema termicamente isolado contendo os recipientes A e B e o termômetro C.....	27
Figura 3: Sistema termicamente isolado contendo os recipientes A e B e o termômetro C.....	27
Figura 4: Esquema de Funcionamento de uma Máquina Térmica.....	31
Figura 5: Aplicação do questionário número 1.....	38
Figura 6: Aplicação do questionário número 1.....	38
Figura 7: Respostas da questão 1 do primeiro questionário.....	44
Figura 8: Respostas da questão 2 do primeiro questionário.....	45
Figura 9: Respostas da questão 3 do primeiro questionário.....	45
Figura 10: Respostas da questão 5 do primeiro questionário.....	46
Figura 11: Respostas da questão 6 do primeiro questionário.....	47
Figura 12: Resposta da questão 7 do primeiro questionário.....	48
Figura 13: Resposta da questão 8 do primeiro questionário.....	48
Figura 14: Resposta da questão 10 do primeiro questionário.....	49
Figura 15: Aplicação da dinâmica do caixeiro viajante.....	50
Figura 16: Aplicação da dinâmica do caixeiro viajante.....	50
Figura 17: Ministração da aula expositiva.....	52
Figura 18: Ministração da aula expositiva.....	52
Figura 19: Aplicação do questionário número 2.....	53
Figura 20: Respostas da questão 1 do segundo questionário.....	54
Figura 21: Respostas da questão 2 do segundo questionário.....	55
Figura 22: Respostas da questão 3 do segundo questionário.....	55
Figura 23: Respostas da questão 5 do segundo questionário.....	56
Figura 24: Respostas da questão 6 do segundo questionário.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Casos Particulares da Primeira Lei da Termodinâmica.	31
Tabela 2: Relação de questões por quantitativo de respostas indicadoras de dificuldades por parte dos estudantes.	47
Tabela 3: Síntese das informações presentes no questionário 1 (teste) e no questionário 2 (pós-teste).	59

SUMÁRIO

RESUMO	ix
ABSTRACT	x
INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	12
2.1 Objetivo Geral	12
2.2 Objetivos Específicos	12
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
3.1 Teoria da Aprendizagem – Aprendizagem Significativa de David Ausubel	13
3.1.1 Condições para uma aprendizagem ser significativa	14
3.1.2 Aprendizagem Significativa é Diferente da Aprendizagem Mecânica ...	15
3.1.3 Estrutura Cognitiva	16
3.1.4 Subsúnciores	16
3.1.5 Diferenciação Progressiva	17
3.1.6 Reconciliação Integrativa	18
3.1.7 Organizadores Prévios	18
3.1.8 Assimilação Obliteradora	19
3.1.9 Obstáculo Epistemológico	20
3.1.10 Mapas Conceituais	20
3.1.11 Apontamentos Importantes	21
4. A TERMODINÂMICA E SUAS LEIS	25
4.1 Lei Zero da Termodinâmica	26
4.2 Primeira Lei da Termodinâmica	28
4.2.1 Processos Adiabáticos	29
4.2.2 Processos a Volume Constante	30
4.2.3 Processos Cíclicos	30
4.2.4 Expansões Livres	30
4.3 Segunda Lei da Termodinâmica e Entropia	31
4.3.1 Segunda Lei da Termodinâmica	31
4.3.2 Entropia	33
5. METODOLOGIA	35
5.1 Abordagem da Pesquisa	35
5.2 Público-alvo	36
5.3 Procedimentos Metodológicos	36
5.4 Coleta de Dados	37
5.5 Produto Educacional	40

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
6.1 Aplicação do Primeiro Questionário (Pré-teste).....	42
6.1.1 Considerações a respeito da Aplicação do Primeiro Questionário	42
6.1.2 Análise das questões de 1 a 3.....	43
6.1.3 Análise das questões de 4 a 10	46
6.2 Considerações a respeito da Aplicação da Dinâmica do Caixeiro Viajante	49
6.2.1 Relato de Dificuldades Encontradas.....	50
6.3 Considerações a Respeito da Aula Expositiva.....	51
6.4 Aplicação do Segundo Questionário (Pós-teste)	52
6.4.1 Considerações a Respeito da Aplicação do Segundo Questionário (Pós-teste).....	53
6.4.2 Análise das questões de 1 a 3	54
6.4.3 Análise das questões de 4 a 10	56
6.4.4 Análise da questão 11	59
6.5 Comparando resultados	59
7. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
APÊNDICES	67
Apêndice A – Questionários	68
Apêndice B – Sequência Didática.....	74
Apêndice C – Produto Educacional.....	82

RESUMO

UM LIVRO PARADIDÁTICO COMO MATERIAL COMPLEMENTAR PARA O ENSINO E APRENDIZAGEM EM TERMODINÂMICA

Bruno de Lima Torres

Orientador:

Dr. Antonio Romero da Costa Pinheiro

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação do Curso de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

O presente trabalho propõe o uso de um livro paradidático como material complementar no ensino de termodinâmica, com foco na Lei Zero e na Segunda Lei da Termodinâmica. O livro está disponível em formatos digital e impresso. A fundamentação teórica, baseada na Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, que enfatiza a importância do conhecimento prévio na assimilação de novos conhecimentos, e as Leis da Termodinâmica, orientam o desenvolvimento do produto educacional. A pesquisa adota uma abordagem qualitativa, observando a interação dos estudantes da segunda série do Ensino Médio da Escola Glória Perez, com o livro paradidático e seu papel na consolidação e/ou na construção de subsunçores no aprendizado. Para isso, serão aplicados questionários diagnósticos antes e depois da sequência didática construída, com o objetivo de avaliar o potencial do produto educacional para promover uma aprendizagem significativa. Ao final da pesquisa, os resultados obtidos sugerem que a proposta auxilia no ensino e na aprendizagem significativa na temática de termodinâmica.

Palavras-chave: Livros Paradidáticos; Recursos Tecnológicos; Ensino de Física; Aprendizagem Significativa; Leis da Termodinâmica.

ABSTRACT

A SUPPLEMENTARY BOOK AS A COMPLEMENTARY MATERIAL FOR THE TEACHING AND LEARNING OF THERMODYNAMICS

Bruno de Lima Torres

Advisor:

Dr. Antonio Romero da Costa Pinheiro

Master's dissertation submitted to the Graduate Program in the Professional Master's Degree in Physics Teaching (MNPEF), as part of the necessary requirements to obtain the title of Master in Physics Teaching.

The present work proposes using a supplementary book as complementary material in thermodynamics teaching, focusing on the Zeroth and Second Laws of Thermodynamics. The book is available in digital and print formats. The theoretical foundation, based on David Ausubel's Theory of Meaningful Learning, which emphasizes the importance of prior knowledge in the assimilation of new knowledge, and the Laws of Thermodynamics, guides the development of the educational product. The research adopts a qualitative approach, observing the interaction of students from the second year of High School at Escola Glória Perez, with the supplementary book and its role in consolidating or constructing subsumers in learning. To this end, diagnostic questionnaires will be administered before and after the didactic sequence is developed, to evaluate the educational product's potential to promote meaningful learning. At the end of the research, the results suggest that the proposal helps teach and facilitates meaningful learning in the thermodynamic topics.

Keywords: Supplementary Books; Technological Resources; Physics Teaching; Meaningful Learning; Laws of Thermodynamics.

INTRODUÇÃO

Atualmente estamos diante de uma transformação dinâmica no âmbito da educação. Podemos pontuar algumas causas que têm contribuído para essa mudança e que afetam diretamente a ação pedagógica dos docentes: o impacto na sociedade decorrente dos recursos tecnológicos; índices que indicam uma situação não favorável à educação nacional, especificamente no estado do Acre; e a implementação da Base Nacional Comum Curricular (BNCC).

Em nossos dias, estamos testemunhando um salto tecnológico sem precedentes. De acordo com Sartori (2018), o nosso planeta foi palco de Quatro Revoluções Industriais, das quais podemos destacar as duas últimas. A Terceira Revolução Industrial, conhecida como a “Era do Conhecimento”, garantiu a produção e disseminação do saber em grande escala, alcançando níveis nunca imaginados antes, saindo de um universo mais restrito para alcançar uma escala global; fronteiras que impediam a popularização e disseminação do conhecimento foram ultrapassadas por meio da invenção da internet, nos colocando diante de um mundo de possibilidades. A Quarta Revolução Industrial é resultado do surgimento da computação em nuvem, que possibilita o armazenamento e a manipulação de um grande acervo de conteúdos e informações de diversos tipos, provocando uma migração “sem volta” do físico para o digital e garantindo o acesso a uma vastidão de conteúdos em tempo real e maior portabilidade.

Além disso, é importante frisar que, atualmente, estamos testemunhando o surgimento de uma nova tecnologia que promete romper paradigmas associados ao fazer docente em sala de aula e trazer uma miríade de aplicações para a humanidade. Essa tecnologia é a Inteligência Artificial. Devido ao seu desenvolvimento e aprimoramento constantes, está em discussão a possibilidade de uma transformação disruptiva no cenário mundial, o que poderia desencadear a Quinta Revolução Industrial.

Não podemos negar que o perfil do estudante que encontramos nas nossas escolas é influenciado por uma sociedade que, em parte, está sendo moldada à luz dessa revolução tecnológica, pois, à medida que o homem

transforma o meio em que vive por meio da cultura, ele também é influenciado por esse mesmo meio, pela mesma cultura vigente, por meio de uma relação dialética (Vygotsky, 2001). Esse novo perfil de estudante é observado em salas de aula em todo o país e representa um desafio potencial às abordagens didáticas empregadas nesse contexto.

No que se refere à qualidade da educação oferecida nacionalmente e especificamente no estado do Acre, a partir da análise dos dados do Ideb (BRASIL, 2021), que corresponde a uma métrica importante para verificar as condições da educação promovida no Brasil e nos Estados, chega-se a resultados que merecem destaque: para a educação nacional, as modalidades de ensino Anos Finais e Ensino Médio chegam em 2023 com resultados inferiores quando comparados com as metas estipuladas para o fim do primeiro ciclo do Ideb, ou seja, em 2021 (BRASIL, 2024); quanto à educação do estado do Acre, temos uma situação semelhante, com as modalidades de ensino Anos Finais e Ensino Médio encerrando o mesmo período com resultados abaixo das metas estipuladas para o fim do primeiro ciclo do Ideb. Como mencionado anteriormente, as informações do Ideb são úteis para compreender o panorama educacional do país (Mendes, 2023).

É importante frisar que, durante esses períodos destacados, tivemos que lidar com a pandemia da Covid-19, o que afetou diretamente a qualidade da educação ofertada e os índices do Ideb (Batista, 2024). De modo geral, percebe-se tanto em âmbito nacional como local (estadual) uma queda no desempenho dos estudantes à medida em que eles vão progredindo ao longo das modalidades de ensino, alcançando o seu apogeu no Ensino Médio.

Outro fator que merece destaque por influenciar a qualidade do ensino oferecido em nosso país, e especificamente no Acre, é a formação dos professores regentes de cada disciplina. A partir dos dados referentes a “adequação da formação docente na Educação Básica” (BRASIL, 2024) verifica-se um número considerável de profissionais que trabalham no Ensino Fundamental Anos Finais e no Ensino Médio que possuem uma formação que não corresponde à sua área de atuação; essa realidade se torna ainda pior quando se observa o Ensino de Jovens e Adultos (EJA). Além disso, é possível

afirmar que grande parte dos profissionais que atuam em áreas diferentes da sua formação, inclusive os professores de Física, encontra-se na Educação Rural (ou do Campo), presente no Ensino Fundamental Anos Finais, no Ensino Médio e no EJA; para mais informações, conferir Pereira e Pinheiro (2020).

Outra problemática que deve ser enfatizada diz respeito à evasão escolar. A partir da análise dos dados sistematizados na plataforma “Busca Ativa Escolar” (A..., 2021) e tomando como referência os anos de 2020 e 2021, percebeu-se um aumento gradativo na porcentagem de abandono escolar à medida em que os estudantes progridem nas modalidades de ensino; no caso particular do estado Acre é válido destacar que os seus resultados são ainda maiores se comparadas com todo o restante do país. Portanto, é evidente que a escola tem sido um ambiente cada vez menos interessante para os estudantes, e parte desse motivo está na dificuldade na assimilação de alguns conteúdos, inclusive de física.

Por fim, é importante falar a respeito das mudanças provocadas no cenário da educação nacional advindas da implementação da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), que defende a promoção de uma educação integral, entendendo educação integral como aquela que não venha a conceber o indivíduo apenas no aspecto cognitivo, mas, em toda a sua inteireza. Porém, é importante pontuar que, desde a Lei de Diretrizes e Bases da Educação de 1996 (BRASIL, 1996), já se defendia uma educação integral, que ressaltava a necessidade da educação nacional dialogar com as demandas atuais da sociedade, perpassando pelo emprego adequado dos recursos tecnológicos. No entanto, a edição de 2018 da LDB (BRASIL, 2018a) acrescentou em seu artigo 35 um texto que apresenta a Base Nacional Comum Curricular como o documento responsável por nortear os direitos e objetivos da aprendizagem para o Ensino Médio, de modo que os currículos do Ensino Médio devem ser elaborados visando à formação integral do aluno e abrangendo as dimensões física, cognitiva e socioemocional.

A BNCC é agora uma referência para a elaboração das matrizes que compõe as avaliações nacionais (como no caso do Exame Nacional do Ensino Médio – ENEM) dos currículos ofertados pelas redes de ensino, seja em qual

esfera for: nacional, estadual e municipal; inclusive a educação acreana teve sua base de conteúdos adequada segundo os parâmetros da BNCC, de modo, que no ano de 2022 chegou-se ao fim a elaboração do Currículo Único de Referência para o Estado do Acre, um documento norteador para a educação do Estado do Acre. Além disso, os livros didáticos passaram a ser elaborados de acordo com o que é estruturado pela BNCC, tendo seus conteúdos reorganizados para contemplar não mais um componente curricular isolado (como antes), mas sim, sendo escritos de acordo com as áreas de conhecimento. No caso particular da Física, ela está inserida, junto com a Biologia e a Química, na Área de Ciências da Natureza e Suas Tecnologias, tendo seus conteúdos distribuídos de acordo com Competências e Habilidades comuns também à Biologia e à Química.

Diante do exposto, há necessidade de materiais didáticos e paradidáticos que auxiliem os professores no processo de transposição didática dos temas de física (Gonzaga, 2024). Embora a Física seja atualmente abordada dentro de uma área de conhecimento, assim como é proposto pela BNCC, visando inclusive a interdisciplinaridade, é preciso levar em consideração que como componente curricular estamos diante de uma área do saber ampla, composta por temas de grande relevância e com certos níveis de complexidade que podem ser desafiadores para o Ensino Médio, tanto para a assimilação por parte dos estudantes como para ser abordado pelo professor regente da disciplina. Além disso, um caminho interessante para amenizar os desafios concernentes à educação é fazer proveito das tecnologias digitais para auxiliar a abordagem didática do professor (Oliveira, Pinheiro, Lima, 2022); a partir do uso das tecnologias digitais é possível trabalhar a conscientização quanto ao uso responsável desses recursos bem como potencializar a aprendizagem dos estudantes, dialogando inclusive com a competência geral número 5 da BNCC:

Compreender, utilizar e criar tecnologias digitais de informação e comunicação de forma crítica, significativa, reflexiva e ética nas diversas práticas sociais (incluindo as escolares) para se comunicar, acessar e disseminar informações, produzir conhecimentos, resolver problemas e exercer protagonismo e autoria na vida pessoal e coletiva. (BRASIL, 2018b, p. 9)

Para apresentar uma abordagem sobre o uso de materiais paradidáticos, é interessante, primeiramente, analisar a relevância dos livros didáticos no contexto da educação nacional. Nesse caso, os livros didáticos são

disponibilizados pelo Programa Nacional do Livro Didático (PNLD). As editoras interessadas submetem as suas obras ao crivo de uma avaliação pedagógica coordenada pelo Ministério da Educação e Cultura (MEC). São utilizados alguns critérios para a análise dos materiais disponibilizados pelas editoras: a parte ética, que leva em conta a ausência de preconceitos e/ou estereótipos, a qualidade do material (tendo como parâmetro a área de conhecimento) e o nível de conformidade com a Base Nacional Comum Curricular (BNCC); vale frisar, que antes da BNCC tínhamos como referência os Parâmetros Curriculares Nacionais PCNs.

Realizada a seleção dos livros didáticos, em seguida, o MEC disponibiliza o Guia do Livro Didático (em formato digital) para as escolas que fazem parte das redes de ensino que aderiram formalmente ao PNLD, onde as instituições de ensino terão acesso às resenhas e informações detalhadas de todas as obras aprovadas.

A partir do que foi apresentado, podemos afirmar que os livros didáticos desempenham papel de suma importância nas redes de ensino das esferas federal, estadual e municipal. Reis et al. (2017) desenvolveram um trabalho que propõe uma discussão sobre as concepções de ciência e de experimentação em termodinâmica presentes em livros didáticos destinados às instituições públicas de ensino. Reis et al. (2017) propuseram uma pesquisa de abordagem qualitativa, do tipo documental. As coletas de informações foram realizadas em cinco livros didáticos, submetidos à análise e aceitos pelo Programa Nacional do Livro Didático referente ao ano de 2015. Foi realizada uma análise temática das obras selecionadas, de acordo com Bardin (1997), por meio do destaque de trechos que dialogassem com a proposta do trabalho mencionado; além disso, as obras tiveram suas abordagens sistematizadas segundo as teorias do currículo tradicionais, críticas e pós-críticas.

A partir da análise de Reis et al. (2017), verificou-se que os materiais didáticos sujeitos à análise reproduzem um modelo de ensino que dialoga com uma ciência marcada por influências do positivismo; inclusive, as práticas experimentais presentes nessas obras dão ênfase a um modelo de currículo tradicional que mantém e reforça o positivismo em sua natureza e concepção.

Nesse caso, quando falamos do positivismo no contexto educacional, estamos nos referindo a uma prática pedagógica que prioriza o que é considerado prático, útil, objetivo e claro, destacando um ensino enciclopédico e hierarquizado.

Tendo em vista que o livro didático ocupa um espaço de destaque no interior das instituições de ensino, fazendo parte da rotina do planejamento docente, é pertinente que haja uma reflexão constante em função da sua utilização, a fim de evitar o aprisionamento do professor e do processo pedagógico por ele.

De fato, os livros didáticos desempenham uma função importante no cenário da educação nacional, e mesmo sendo composto de pontos negativos, pois, não há livro didático perfeito, ele não deve ser deixado de lado na prática docente. No entanto, o livro paradidático surge como uma proposta interessante e mais uma ferramenta pedagógica passível de ser implementada na rotina dos discentes, podendo trazer benefícios à aprendizagem dos estudantes. Os PCN+ (BRASIL, 2002) e a Matriz Curricular de Referência do Exame Nacional de Ensino Médio (BRASIL, 2009) destacam a relevância da leitura no processo de aprendizagem. Sendo assim, são sempre bem-vindas práticas pedagógicas que fomentem o exercício da leitura e a discussão de textos como recurso didático.

Costa e Rodrigues (2018) publicaram um trabalho que tem como intuito investigar a possibilidade de abordar conteúdos de Física a partir da utilização de textos paradidáticos curtos, verificar a aplicabilidade de textos paradidáticos no ensino de Física, compreender se por meio do emprego de textos paradidáticos é possível aproximar o componente curricular de Física da realidade dos discentes, assim como, se é possível lecionar Física por meio do uso de um texto paradidático. O trabalho foi desenvolvido em duas turmas da terceira série do Ensino Médio, na modalidade de Educação de Jovens e Adultos (EJA), em duas escolas estaduais de Campo Maior – PI, sendo uma turma em cada escola.

A primeira etapa da pesquisa consistiu na ministração de uma aula expositiva, na qual, além dos métodos empregados, em apenas uma das turmas, foi utilizado um texto paradidático intitulado “O menino, o escuro e a Corrente Elétrica”. Na segunda etapa, ambas as turmas responderam ao mesmo

questionário, com perguntas sobre o conteúdo abordado na aula. A partir da análise dos resultados da pesquisa, percebeu-se que a turma que utilizou o texto paradidático apresentou desempenho superior ao da outra turma, tanto no aspecto quantitativo quanto no qualitativo. Desse modo, foi perceptível que os estudantes que fizeram uso do texto paradidático demonstraram interesse e disposição para estudar física, participação ativa nas aulas e se sentiram à vontade para apresentar suas opiniões.

Braga e Nunes (2023) publicaram um trabalho que apresenta uma crítica ao exclusivismo de ensinar Física Clássica nas escolas públicas. O principal objetivo é oferecer uma alternativa lúdica para ensinar Física das Partículas em turmas do Ensino Médio, sem recorrer ao formalismo matemático da Mecânica Quântica. O Modelo Padrão de Partículas Elementares foi abordado a partir da elaboração e a utilização de um livro paradidático que ilustra, por meio de diálogos, um sonho de um estudante do ensino médio cujo interesse por essa área de estudo foi despertado por meio de uma aula comum em sua escola. A partir desse sonho, ele conhece as partículas fundamentais e suas interações.

Durante a escrita do livro, Braga e Nunes (2023) adotaram alguns critérios visando maior êxito no projeto: um texto de linguagem acessível, presente no diálogo dos personagens, para melhor compreensão dos discentes; não se dá ênfase aos cálculos matemáticos (devido à sua complexidade) e, visando ser mais atrativo, tem-se o fator ludicidade por meio da ilustração do livro.

Braga e Nunes (2023) aplicaram o material paradidático em quatro turmas de terceira série do ensino médio em uma escola da rede estadual de ensino do Ceará. Inicialmente, todas as turmas passaram por aulas tradicionais, com suporte pedagógico em vídeos, para abordar o conteúdo de Física de Partículas. Das quatro turmas, duas delas receberam apenas a abordagem já mencionada, e outras duas, tiveram o contato com o livro paradidático, intitulado “Aventuras em Quantópolis”, por meio de leituras coletiva e individual, além disso, foi proposta uma peça teatral que retratou os personagens e situações do livro.

Após a aplicação do material paradidático, realizada no 4º bimestre, com base nos resultados obtidos, Braga e Nunes (2023) verificaram que a proposta de trabalho foi bem-sucedida. As turmas em que foi aplicado o livro paradidático

apresentaram melhor desempenho nas notas do quarto bimestre, tanto em relação aos bimestres anteriores quanto em comparação com as demais turmas. Vale destacar, que o trabalho aqui descrito é fruto de uma dissertação do Mestrado Nacional Profissional no Ensino de Física (MNPEF) apresentado à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), em Mossoró no ano de 2018.

Souza e Neves (2016) publicaram um artigo que está presente no Caderno Brasileiro de Ensino de Física que tem como objetivo abordar como um livro paradidático pode ser utilizado em sala de aula para tratar a respeito de conceitos de Física Quântica. O livro em questão é “Alice no País do Quantum”, de Robert Gilmore. Por meio da análise desse material, através dos critérios pontuados no artigo: Plano Fabular, Plano Metafórico, Plano Simbólico, Combinação dos Planos Literário e Científico e os Níveis Temporal e Espacial; chegou-se à conclusão de ele pode ser considerado um material viável para ser implementado dentro de sala, visando a aprendizagem em Mecânica Quântica, um assunto de notável dificuldade.

Rezende (2021) publicou uma dissertação de mestrado no Curso de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática, na Área de Concentração em Ciência da Educação. Trata-se de um trabalho que visa construir uma proposta de utilização da História e da Filosofia da Ciência para a modalidade de ensino médio, com o objetivo de contribuir para que os discentes edifiquem uma visão da Ciência como fruto das construções humanas, portanto, influenciada por fatores socioculturais de cada época. Além disso, tem-se como intenção investigar como a visão da ciência tem sido abordada pelos livros didáticos por meio da parte histórica neles presente.

Rezende (2021) implementou a pesquisa em três partes: a primeira parte, com foco no caráter qualitativo e descritivo, tem foco nos professores; a segunda parte, consistiu na escolha do conteúdo de Física do qual será explorada a parte histórica na elaboração do produto educacional; a terceira e última parte da pesquisa, de caráter qualitativo e do tipo bibliográfico, se destinou a realização de uma leitura crítica das doze coleções do componente curricular de Física, presentes no Guia do PNLD 2018, analisando a presença, apresentação e as

características do conteúdo histórico referente ao assunto escolhido para a escrita do produto educacional, na segunda parte da pesquisa.

Por meio da implementação do estudo conduzido por Rezende (2021), percebeu-se que os professores veem com bons olhos a possibilidade de abordar o conhecimento científico levando em consideração questões históricas, no entanto, a maior parcela dos livros didáticos analisados não apresentou o conteúdo histórico de forma plenamente satisfatória. Nesse caso, como produto educacional, foi elaborado um livro paradidático, visando auxiliar docentes e discentes, abordando a história das máquinas térmicas e o desenvolvimento das Leis da Termodinâmica.

Com base no que foi apontado nas pesquisas apresentadas nos parágrafos anteriores, podemos afirmar que a implementação de materiais paradidáticos no contexto do ensino pode gerar resultados positivos. Seguindo esse norte, como fruto desse trabalho de mestrado, será elaborado, como produto educacional, um livro paradidático (que poderá ser impresso) que aborde temas relacionados às leis da termodinâmica, mais especificamente a Lei Zero da Termodinâmica e a Segunda Lei da Termodinâmica (Entropia). A motivação por trabalhar com Termodinâmica se justifica por ser uma área da Física que lida diretamente com a energia e suas manifestações, tendo influência direta em nosso cotidiano e na compreensão do universo; além disso, a Lei Zero da Termodinâmica e a Segunda Lei da Termodinâmica têm implicações importantes e passíveis de serem abordadas em sala de aula e que nem sempre são trabalhadas com a devida atenção.

O livro paradidático é composto por 5 capítulos. Ao longo desses capítulos, a Termodinâmica será trabalhada de uma forma interdisciplinar, alinhando temáticas pertinentes ao interesse da Física com a Química e Biologia, disciplinas componentes da mesma área de conhecimento (Ciências da Natureza e Suas Tecnologias) e com a área de Ciências Humanas e Suas Tecnologias, dialogando com a Geografia e História; além disso, os conteúdos apresentados nos capítulos se relacionam com o cotidiano dos estudantes, seja por meio da temática desenvolvida ou por meio dos exemplos utilizados ao longo da argumentação.

A confecção do produto desta pesquisa foi embasada pelas seguintes prerrogativas: linguagem acessível para os estudantes e para os professores, considerando os diferentes perfis de docência e modalidades de ensino presentes na educação estadual; auxílio das tecnologias digitais por intermédio da utilização de QR Codes contendo explicações por meio de animações e vídeos, que complementam o conteúdo do texto do livro paradidático; por fim, pautar a sua escrita na Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel.

David Ausubel propõe, por meio do seu modelo teórico, que o processo de aprendizagem se dá por meio de uma relação direta entre o conhecimento prévio que o estudante possui e o novo conhecimento que lhe é apresentado. Cabendo ao professor, através do seu planejamento, a elaboração de materiais didáticos que propiciem essa relação entre os conhecimentos, sendo tais materiais considerados potencialmente significativos (Moreira, 2016).

A proposta de elaboração deste produto justifica-se pela necessidade de materiais paradidáticos que conversem com as questões já aqui ponderadas: as mudanças no contexto social decorrentes do avanço tecnológico, os resultados dos indicadores da qualidade da educação nacional e do Estado, e as mudanças no contexto educacional decorrentes da implementação da BNCC. As tecnologias digitais fazem parte do cotidiano de um número cada vez maior de pessoas, inclusive de grande parte dos estudantes inseridos na educação pública, de modo que, se usadas de maneira adequada, podem auxiliar na melhor aprendizagem.

Os resultados dos indicadores nacionais mostram a necessidade de repensar as medidas voltadas para a educação, inclusive no que diz respeito à qualificação dos profissionais que atuam em sala de aula; nesse caso, são sempre bem-vindos materiais paradidáticos que tenham uma linguagem adequada tanto para o estudante quanto para professores que demonstrem dificuldade com a Física, no caso dos professores, por questões relacionadas às divergências entre o currículo de sua formação e o currículo ofertado na educação básica.

Por fim, tendo em vista que a BNCC é referência nacional para a elaboração dos livros didáticos, os materiais que os profissionais hoje dispõe

abordam a Física dentro de um contexto interdisciplinar, inserido na área de Ciências da Natureza e Suas Tecnologias; tendo em vista que estamos vivenciando algo novo, é interessante a possibilidade de haverem materiais paradidáticos que se dediquem a apresentar temas da Física, destacando a importância do componente curricular e servindo de suporte ao professor a fim de ser utilizado no seu planejamento.

A dissertação está estruturada da seguinte forma: no segundo capítulo desse trabalho serão apresentados o Objetivo Geral e os Objetivos Específicos que nortearam a pesquisa empreendida. No capítulo 3 será abordado o referencial teórico, tendo como elemento básico a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel. O capítulo 4 apresentará uma revisão conceitual na área de termodinâmica. O capítulo 5 tratará da metodologia empregada no trabalho, com foco em uma pesquisa qualitativa. O capítulo 6 apresentará os resultados da aplicação do produto educacional, bem como a discussão de pontos considerados pertinentes à pesquisa. Por fim, o capítulo 7 apresentará as conclusões da pesquisa conduzida e as perspectivas futuras a partir desse trabalho.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

- Elaborar um material paradidático, com linguagem acessível e adequada à transposição didática, que aborde conteúdos de termodinâmica, com o propósito de subsidiar a prática docente do professor e promover uma aprendizagem significativa.

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar as principais dificuldades conceituais e pedagógicas relacionadas ao ensino de termodinâmica no contexto educacional investigado, por meio de um questionário.
- Sistematizar os conteúdos de termodinâmica a serem abordados no material paradidático, considerando o currículo vigente e o contexto de atuação docente.
- Desenvolver um material paradidático, fundamentado em linguagem acessível e em princípios de transposição didática, voltado ao ensino de termodinâmica.
- Propor estratégias pedagógicas e atividades didáticas que contextualizem os conceitos termodinâmicos e favoreçam a aprendizagem significativa.
- Utilizar o material paradidático em contexto real de ensino, analisando sua contribuição para a prática docente.
- Validar o material paradidático com base na análise dos resultados da aplicação dos questionários e das percepções dos estudantes envolvidos, identificando potencialidades e limitações do produto educacional.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Teoria da Aprendizagem – Aprendizagem Significativa de David Ausubel

A Aprendizagem Significativa é resultado da interação entre o conhecimento prévio de um indivíduo sobre uma temática específica e o novo conhecimento que lhe é apresentado. Sendo assim, é importante dar o devido destaque ao conhecimento prévio que uma pessoa detém; o teórico David Ausubel enfatiza sua relevância ao destacar que é a variável mais importante a ser considerada quando se almeja a aprendizagem significativa.

Segundo Ausubel et al. (1980, p. 137), “Se quiséssemos reduzir a psicologia educacional a um único princípio, este seria: — O fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já conhece”.

O conhecimento prévio é resultado do acúmulo de experiências a que uma pessoa é submetida. Quando falo de experiências, me refiro tanto a vida particular, que engloba contexto familiar, lugar onde reside, crenças, valores herdados entre outros, quanto a vida acadêmica, que inclui o nível de proficiência da pessoa, contatos com materiais de estudo diversificados (apostila, livros textos, clássicos da literatura entre outros). Esse conjunto de experiências somadas constitui o conhecimento prévio de uma pessoa e, como mencionado anteriormente, afeta diretamente a aprendizagem de novos conteúdos. Além disso, vale ressaltar que o conhecimento prévio tem uma faceta subjetiva; isto é, cada pessoa possui seu próprio repertório de conhecimentos prévios, pois acumula experiências de forma individual. Assim, cada um terá seus próprios conhecimentos prévios. No contexto da sala de aula, é muito importante que o professor leve isso em consideração ao longo da sua prática docente, pois esses conhecimentos podem potencializar uma aprendizagem mais relevante.

No momento em que existe a interação entre o conhecimento prévio e o novo conhecimento apresentado, acontece a modificação de ambos, esse processo é importante porque após esse contato ambos os conhecimentos passam por mudanças e se tornam mais consolidados, favorecendo assim a assimilação dessas informações por parte da pessoa; o conhecimento que a

pessoa já possui se torna mais fixado na memória, ao passo que a informação recente é absorvida com maior facilidade. Por exemplo: se um estudante percebe a relação entre a realidade local do seu bairro e uma aula sobre saneamento básico, ele atribuirá maior importância ao conteúdo ministrado na sala de aula e a sua realidade local será vista de outra perspectiva por esse estudante. Do ponto de vista cognitivo, ambos os conhecimentos interagem entre si, se modificam e se tornam mais favoráveis ao processo de assimilação desse estudante.

3.1.1 Condições para uma aprendizagem ser significativa

Podemos destacar que existem duas condições para alcançar uma aprendizagem significativa: um material potencialmente significativo e a predisposição do estudante.

Para um material satisfazer a condição de ser potencialmente significativo é necessário que ele dialogue adequadamente com os conhecimentos prévios dos estudantes e com a proposta da aula; nesse caso, trata-se de um material didático que tenha a capacidade de apresentar contextos, no entanto, me refiro a contextos no plural porque não se trata apenas da realidade local e distinta dos estudantes (que por natureza são muitas), mas, das próprias especificidades do componente curricular, incluindo elementos como a parte histórica, epistemológica e experimental.

Ao tratar sobre o ensino de matemática no Brasil, os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) de Matemática, mesmo não estando em vigor são válidos para a realização de reflexões e análises, mencionam que um equívoco muito comum à ideia de contexto é reduzi-lo às situações do cotidiano das pessoas. Segundo os PCN:

Outra distorção perceptível refere-se a uma interpretação equivocada da ideia de contexto, ao se trabalhar apenas com o que se supõe fazer parte do dia-a-dia do aluno. Embora as situações do cotidiano sejam fundamentais para conferir significados a muitos conteúdos a serem estudados, é importante considerar que esses significados podem ser explorados em outros contextos como as questões internas da própria Matemática e dos problemas históricos. Caso contrário, muitos conteúdos importantes serão descartados por serem julgados, sem uma análise adequada, que não são de interesse para os alunos

porque não fazem parte de sua realidade ou não têm uma aplicação prática imediata. (BRASIL, 1998, p. 23)

Embora esse texto seja direcionado ao ensino da matemática no contexto da educação básica, não é exagero estender esse modo de pensar às demais áreas do ensino, inclusive às Ciências da Natureza. Vale ressaltar, que um material didático nunca será plenamente significativo, mas apenas potencialmente significativo, visto que por mais elaborado que seja um material didático, ele sempre terá de interagir com os conhecimentos prévios de cada estudante, ficando à mercê da própria percepção individualizada de cada discente.

3.1.2 Aprendizagem Significativa é Diferente da Aprendizagem Mecânica

Quando o assunto é aprendizagem significativa, é necessário distingui-la de outro tipo de aprendizagem que é diametralmente oposta a ela, nesse caso, trata-se da aprendizagem mecânica (Moreira, 2012). Esse tipo de aprendizagem está associada à famosa “decoreba”, onde o estudante fica diante de um novo tipo de conhecimento, e o que se espera dele é guardar a informação na memória sem associações e com uma motivação apenas temporária, por exemplo, ser aprovado em uma avaliação, que irá apenas medir se o estudante detém a informação em sua cabeça, ao invés de verificar se esse mesmo estudante apresenta domínio da informação e é capaz de associá-la com situações cotidianas e aplicá-la a contextos diversos, segundo foi mencionado no próprio fragmento de texto dos PCNs.

Existem muitos exemplos que podem ser mencionados a respeito da aprendizagem mecânica, podemos destacar alguns: memorizar a tabela periódica dos elementos químicos ao invés de entender a sua utilidade e ser capaz de aplicá-la no estudo da química; decorar uma determinada quantidade de fórmulas de física e utilizá-las para resolver questões diretas, ao invés de entender a parte fenomenológica associada a esse conteúdo bem como a parte histórica na qual serviu como pano de fundo para que esse conhecimento fosse desenvolvido.

Diferente da aprendizagem mecânica, que trata de associações arbitrárias e que tem um curto prazo de validade na memória do estudante, a

aprendizagem significativa (Moreira, 2012) prioriza associações carregadas de intencionalidade, visando produzir não apenas o acúmulo de conhecimentos enciclopédicos que rapidamente serão perdidos, como, uma lousa que é rapidamente apagada, mas, uma reorganização na estrutura cognitiva do estudante, modificando o conhecimento que ele já possui e absorvendo o novo conhecimento, de modo, que essas informações sejam úteis para tornar o estudante um melhor cidadão e portador de uma formação mais consolidada.

3.1.3 Estrutura Cognitiva

Embora o conceito de estrutura cognitiva seja, de certo modo, abstrato, podemos entendê-la como o conjunto de informações que cada indivíduo possui (Silva, 2014). Sendo assim, o somatório de todas essas informações (que, no ato do estudo, se manifestam como conhecimentos prévios) constitui o que se conhece como estrutura cognitiva.

Como já foi dito anteriormente, cada pessoa tem seu próprio repertório de conhecimentos prévios; logo, é válido afirmar, no que diz respeito ao quantitativo de informações, que cada pessoa terá uma estrutura cognitiva individualizada (Silva, 2014). Porém, quando o assunto é a dinâmica de funcionamento, podemos afirmar que, em geral, a estrutura cognitiva de cada pessoa se comporta de maneira semelhante.

3.1.4 Subsunçores

Para compreender melhor o funcionamento da estrutura cognitiva, é preciso entender o que é um **subsunçor**. Quando falamos de subsunçor, referimo-nos ao conhecimento prévio propriamente dito; no entanto, não o abordamos de forma generalista, mas sim como parcelas traduzidas. Portanto, podemos pensar no subsunçor como a unidade dos conhecimentos prévios; inclusive, muitos autores o chamam de âncora no processo de assimilação (Moreira, 2012).

Portanto, uma estrutura cognitiva é composta por uma “infinidade” de subsunções que se interrelacionam, formando uma rede complexa de conhecimentos. Um subsunçor tem a capacidade de subordinar outros subsunçores, formando uma ligação hierárquica; ainda, um subsunçor pode

modificar-se e reorganizar-se na distribuição hierárquica que constitui a estrutura cognitiva de uma pessoa (Moreira, 2012).

Podemos então perceber o nível de complexidade de uma estrutura cognitiva: ela é formada por vários subsunçores, que se ligam entre si, formando uma configuração hierárquica, ao passo que esses mesmos subsunçores e a própria configuração se modificam constantemente em um processo dinâmico de interação com novos conhecimentos.

De acordo com Moreira (2012a, p. 5),

Novos subsunçores vão se formando; subsunçores vão interagindo entre si. A estrutura cognitiva está constantemente se reestruturando durante a aprendizagem significativa. O processo é dinâmico; o conhecimento vai sendo construído.

Do ponto de vista da aprendizagem, ocorrem dois processos com os subsunçores que contribuem para a promoção de uma aprendizagem significativa: Diferenciação Progressiva e Reconciliação Integrativa.

3.1.5 Diferenciação Progressiva

O Princípio da Diferenciação Progressiva é o processo de organização dos subsunçores (conhecimentos) na estrutura cognitiva. Essa organização se dá de forma hierárquica, considerando o nível de abrangência de cada subsunçor. Isto é, os conhecimentos mais gerais e inclusivos tendem a ocupar o lugar mais “alto” da hierarquia em comparação com os demais conhecimentos (Moreira, 2012).

Podemos citar, como exemplo, a física, ciência que estuda a natureza; fazem parte da sua estrutura vários ramos, como mecânica, termodinâmica, óptica, entre outros. Cada um desses ramos que compõem a física é composto por conhecimentos específicos. Ao se ter contato com o estudo da física, o estudante será conduzido a vê-la de acordo com a estrutura apresentada; do ponto de vista cognitivo, ocorre uma reorganização dos subsunçores, levando em consideração o grau de abrangência de cada um, formando, assim, uma configuração específica. Vale ressaltar novamente que essa configuração não é estática, mas está sujeita a mudanças à medida que a pessoa avança no seu aprendizado.

3.1.6 Reconciliação Integrativa

O Princípio da Reconciliação Integrativa se traduz na relação comparativa entre conhecimentos, quando o conhecimento prévio se encontra diante de um novo conhecimento. A partir do processo de comparação, será possível relacionar os conhecimentos com base em graus de semelhanças e diferenças (Moreira, 2012). Por exemplo, ao estudar a força elétrica a partir da Lei de Coulomb, é possível compará-la com a força gravitacional enunciada pela Lei da Gravitação Universal, e como fruto dessa comparação será perceptível semelhanças e diferenças: do ponto de vista matemático, as duas forças são descritas de forma semelhante, já no que diz respeito à parte fenomenológica, a força gravitacional é apenas de atração, já a força elétrica além de ser de atração, também é de repulsão.

Portanto, é válido dizer que a estrutura cognitiva se organiza e, em seguida, se reorganiza constantemente por meio dos princípios de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa, a partir da relação comparativa dos subsunçores com novas informações e, em seguida, da reconfiguração hierárquica desses mesmos subsunçores, partindo do maior para o menor grau de generalidade (Moreira, 2012).

3.1.7 Organizadores Prévios

Os organizadores prévios são ferramentas didáticas utilizadas para promover uma aprendizagem significativa (Jesus e Silva, 2004). Tendo em vista que se trata de ferramentas didáticas, os organizadores prévios devem ser elaborados pelo professor no ato do planejamento para a ministração das aulas. Eles auxiliam na assimilação do conteúdo a ser apresentado na aula, favorecendo a retenção das informações na memória.

Dependendo do grau de familiaridade que um estudante tenha com o conteúdo proposto, ele pode ser expositório ou comparativo (Jesus e Silva, 2004). Se o estudante tiver um conhecimento prévio acentuado, o organizador prévio apresentado deverá ser comparativo, permitindo ao estudante relacionar o conteúdo que já domina com o que será proposto pelo organizador prévio; porém, se o estudante tiver um conhecimento prévio reduzido ou nulo a respeito

do conteúdo da aula, o organizador prévio deverá ser expositivo, permitindo ao estudante perceber nexos com o conteúdo que será apresentado.

Na prática, sabendo que nossas turmas são compostas por estudantes de realidades distintas no que concerne à aprendizagem, um organizador prévio irá se situar nesse intervalo de expositório e comparativo, tendo em vista que alguns alunos apresentarão conhecimentos familiares ao proposto pelo organizador prévio, o que será diferente para outros estudantes.

Existem uma variedade de organizadores prévios; inclusive, eles podem ser utilizados com o apoio de vários recursos didáticos: enunciado, situação-problema, leitura introdutória, filmes, simulações, entre outros. Por exemplo, ao ensinar sobre os processos de transferência de calor, o professor pode trabalhar um texto em sua aula que aborda uma matéria jornalística a respeito de campanhas de distribuição de agasalhos; a partir de uma proposta dessa natureza, é possível promover um certo nível de identificação do estudante com o que será abordado na aula, além disso, ainda existe a possibilidade de trabalhar conhecimentos atitudinais associados ao conteúdo da aula exemplificada.

3.1.8 Assimilação Obliteradora

No que diz respeito à aprendizagem significativa, há que ser esclarecido que esse tipo de aprendizagem também está sujeito ao esquecimento. Esse processo é chamado de **assimilação obliteradora**. Devemos levar em consideração que o esquecimento é um processo natural no homem, portanto, com o passar do tempo iremos esquecer parte daquilo que estudamos e aprendemos. No entanto, o que diferencia a aprendizagem significativa da aprendizagem mecânica é o intervalo de tempo durante o qual essa informação permanece na memória e o volume de informação esquecida (Moreira, 2012).

Quando a aprendizagem é mecânica, ocorre rapidamente o esquecimento do que foi estudado, pois esse conhecimento foi utilizado apenas para um fim específico (como ser aprovado em uma avaliação). Além disso, o conhecimento se perde quase por completo ou até mesmo totalmente. Por outro lado, quando a aprendizagem é significativa, além do conhecimento permanecer

por mais tempo na memória, o esquecimento dele será sempre parcial, de modo, que esse conhecimento poderá ser lembrado e o seu resgate será mais simples de ser alcançado em comparação com o que acontece na aprendizagem mecânica.

3.1.9 Obstáculo Epistemológico

Pode acontecer que, durante o processo da aprendizagem significativa, um determinado conhecimento prévio venha a se apresentar como um empecilho para que o novo conhecimento seja assimilado pela pessoa. Em situações como essa, podemos afirmar que o conhecimento prévio se constitui em um **obstáculo epistemológico**.

É importante destacar que a ideia de obstáculo epistemológico está mais associada à obra do filósofo e poeta francês Gaston Bachelard, que entendia esse conceito como um entrave à aprendizagem, mais precisamente à construção do conhecimento científico; no entanto, esse conceito é passível de ser utilizado no contexto da teoria de David Ausubel (Moreira, 2012).

Em situações como essas, deve ocorrer um “esquecimento seletivo”, isto é, o abandono intencional desses conhecimentos considerados impróprios à promoção de uma aprendizagem significativa. Por exemplo, o conhecimento que uma pessoa possui sobre a Física Clássica, como a noção de realidade física, pode se apresentar como um obstáculo à aprendizagem da Mecânica Quântica, visto que, nesse ramo da Física, algumas concepções clássicas não têm validade. Nesse caso, é necessário adaptar o conhecimento dessa pessoa, sabendo que é importante encarar a Mecânica Quântica sob uma perspectiva diferente daquela que está presente na Física Clássica.

3.1.10 Mapas Conceituais

Dentro do universo da Teoria de Ausubel, os mapas conceituais surgem como uma ferramenta cujo objetivo é auxiliar na promoção de uma aprendizagem significativa, além disso, este recurso de aprendizagem é mencionado por alguns teóricos da aprendizagem como Moreira (2012a), sendo assim, é interessante apresentar um breve comentário a respeito dos mapas conceituais.

Os mapas conceituais são diagramas que representam as relações entre conceitos. Durante a sua confecção, deve ficar clara a distinção entre as ideias mais gerais e as menos gerais. Quanto à sua aplicabilidade, eles apresentam versatilidade, podendo ser usados para uma variedade de tarefas e por inúmeros profissionais, como a preparação de aulas, a exposição de informações, a redação de artigos científicos, a preparação de palestras, entre outras.

Dada a sua estrutura e possibilidade de comparar informações, os mapas conceituais são ferramentas adequadas para proporcionar a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa, vitais para o estabelecimento de uma aprendizagem significativa.

É importante ressaltar que os mapas conceituais não devem ser concebidos como instrumentos dogmáticos. Considerando que um mapa conceitual é fruto da interação entre o conhecimento prévio de um indivíduo e o que ele está estudando, cada mapa elaborado será particular, pois cada pessoa possui seu próprio repertório de conhecimentos prévios. Além disso, não há uma receita pronta para elaborar um mapa conceitual correto; podem ser usadas diferentes formas geométricas para envolver os conceitos, ou, se optar por não as utilizar, os conceitos podem ser ligados livremente com linhas retas, tracejadas ou tortas, e elas podem ter as dimensões que julgar necessárias.

Os mapas conceituais não são objetos que, uma vez elaborados, estão prontos e acabados; eles estão sujeitos à mudança contínua, pois, assim como é a aprendizagem, assim são os mapas conceituais; se modificam dinamicamente. Por exemplo, um mapa elaborado por um estudante na primeira série do ensino médio não será mais o mesmo quando comparado a outro mapa elaborado por esse mesmo estudante depois de um ano de estudos, porque esse aluno não é mais o mesmo em termos de aprendizagens adquiridas e consolidadas em sua estrutura cognitiva.

3.1.11 Apontamentos Importantes

Diante de tudo o que foi exposto em relação à Teoria das Aprendizagens Significativas de David Ausubel, faz-se necessário repensar a relação professor/aluno dentro da sala de aula, na qual aquela imagem do professor

como o detentor de todo o conhecimento e do estudante como um ser passivo que ouve tudo o que o professor tem a dizer e anota todo o conteúdo que é proposto no quadro está presente nas instituições de ensino (Moreira, 2012). A intenção não é desconstruir a autoridade do professor; pelo contrário, o professor é a figura de autoridade no interior da sala de aula; no entanto, nada impede que esse mesmo professor tenha um papel de mediador entre o que o estudante já sabe e o que será apresentado a ele em termos de conhecimentos. Sendo assim, é função do professor proporcionar condições para que esse conhecimento seja acessado pelos estudantes, promovendo a interação entre os conhecimentos prévios e o que está sendo apresentado pelo docente (Moreira, 2012).

Além disso, para que a aprendizagem significativa se concretize de fato, é necessário que o estudante saia de um estado passivo para um estado ativo, de modo, que esse estudante se torne o principal autor da sua aprendizagem, estando sempre disposto a usar aquilo que ele já conhece para aprender cada vez mais, investindo em um aprendizado a longo prazo, mas, com maior qualidade quando comparado com a aprendizagem mecânica. Vale ressaltar, que essa proposta do professor como um mediador e do aluno como um sujeito protagonista da sua aprendizagem dialoga adequadamente com o que é defendido para a educação básica de acordo com as orientações da Base Nacional Comum Curricular (Brasil, 2018b).

Um ponto que merece destaque é que a aprendizagem significativa não é necessariamente aprendizagem correta (Moreira, 2012). Se todas as prerrogativas correspondentes ao processo de obter uma aprendizagem significativa forem respeitadas, é bem provável que uma pessoa alcance a assimilação desejada; no entanto, isso não implica que esse conhecimento seja correto segundo os padrões científicos. Temos inúmeros exemplos de conhecimentos que não se adequam aos critérios da ciência, sendo melhor classificados como pseudociências; todavia, há pessoas que lhes atribuem credibilidade e, inclusive, demonstram domínio desses conhecimentos. Por exemplo: astrologia, terraplanismo, entre outros. Embora sejam conhecimentos que não são aceitos como verdades científicas, não se pode negar que aqueles que os detêm não tenham passado por uma aprendizagem significativa.

É válido afirmar que uma aprendizagem que foi mecânica em seu início pode convergir para uma aprendizagem significativa, pois todo conhecimento que fica guardado na memória por um longo período e que uma pessoa apresenta certo domínio, se não era, de fato, agora se configura como aprendizagem significativa. Inclusive, existem alguns conhecimentos que, em sua fase inicial, são puramente mecânicos, mas, com o passar do tempo e da sua utilização, acabam convergindo para uma aprendizagem significativa (Gomes et al., 2009). Por exemplo, um estudante pode aprender a tabuada por um processo mais laborioso, por meio da famosa decoreba, no entanto, à medida em que esse mesmo estudante for utilizando esse conhecimento para estudar outros conteúdos da matemática, essa aprendizagem que no seu início se deu de forma mecânica irá enveredar para uma aprendizagem significativa.

Uma aprendizagem significativa pode se efetivar de duas maneiras distintas: quando o conhecimento já vem pronto para o estudante (como uma teoria científica), nesse caso, chamada de **aprendizagem receptiva**; e quando esse conhecimento precisa ser obtido pelo estudante (como a realização de um experimento ou uma pesquisa que envolva levantamento e interpretação de dados), sendo assim, é chamada de **aprendizagem por descoberta**. O que leva a esses dois tipos de aprendizagens serem considerados como significativas reside no fato de haver intencionalidade pedagógica e interação com o conhecimento prévio dos estudantes. Tudo o que os estudantes aprendem nas escolas está entre os extremos da aprendizagem receptiva e da aprendizagem por descoberta, de modo que, em seu âmago, os conteúdos integram cada um desses tipos de aprendizagens significativas (Moreira, 2012).

Por fim, é importante lembrar que, quanto mais conhecimentos prévios uma pessoa tiver, melhor será o seu processo de assimilação, proporcionando, assim, uma aprendizagem significativa (Silva e Schirlo, 2014). Logo, é importante estar constantemente aprendendo coisas novas e diversificadas, fazendo uso de uma variedade de materiais de estudo disponíveis, como apostilas, livros, simulações, vídeos, filmes e outros materiais. Pois, quanto mais uma pessoa sabe, mais ela aprende.

No contexto desta pesquisa, faz-se necessário abordar os principais conceitos da termodinâmica com situações cotidianas que envolvem os conhecimentos prévios dos estudantes: um café quente sobre a mesa que esfria com o passar do tempo, utilizar um termômetro para aferição de temperatura, resíduos provenientes da queima de combustíveis entre outros, se configuram como subsunções importantes para ancorar a aprendizagem significativa.

4. A TERMODINÂMICA E SUAS LEIS

O tema para a elaboração do produto educacional é termodinâmica, um ramo da física que lida com a energia, suas transformações, possibilidades e limites. A sua importância é basilar para a física em geral e para a compreensão do universo e de tudo o que nos cerca (Halliday, Resnick e Walker, 2009).

Existem duas leis de conservação de extrema importância para a compreensão do funcionamento da natureza: a Lei de Conservação da Energia e a Lei de Conservação da Matéria, também conhecida como Lei de Lavoisier. Ambas lidam com grandezas que fazem parte do universo, e seu total deve permanecer, independentemente das interações e dos processos que ocorrem na natureza. Dessas duas grandezas que se conservam, temos a energia, uma das grandezas físicas de compreensão mais desafiadoras da ciência; até hoje não temos uma definição completamente satisfatória para a energia (e talvez nunca tenhamos), no entanto, podemos explicar à luz da ciência como a energia se comporta no universo, sendo que uma parte valiosa desse conhecimento está inserida na termodinâmica e suas leis.

A Física Clássica é composta por três ramos principais: Mecânica Newtoniana, Termodinâmica e Eletromagnetismo (Rocha et al., 2015); cada um desses ramos é válido para explicar a dinâmica do funcionamento do mundo em escala macroscópica. No caso particular da termodinâmica, ela lida com conceitos físicos que não são explicados pelas leis de Newton; além disso, a base fenomenológica desses conceitos é voltada ao mundo microscópico, como é o caso da temperatura. Inclusive, é válido destacar que a termodinâmica, como área de estudo, contribuiu para o resgate da teoria atômica, que, um tempo após sua gênese na Grécia Antiga, ficou relegada ao esquecimento.

A termodinâmica teve uma contribuição relevante nas transformações econômicas e sociais que aconteceram na Europa entre os séculos XVIII e XIX a partir do estabelecimento do modo de produção capitalista; foi através dos conhecimentos oriundos desse ramo da física aliados ao método científico proveniente da Revolução Científica que foi possível transformar os meios de produção por meio das inovações tecnológicas que culminaram no marco

histórico conhecido como Revolução Industrial, para mais informações conferir Souza e Cruz (2021).

Não é exagero afirmar que existiu uma relação simbiótica entre a Termodinâmica e a Revolução Industrial, sendo que a Termodinâmica contribuiu com o maquinário necessário para a modificação dos meios de produção e a Revolução Industrial trouxe consigo novos desafios inerentes a uma produção em larga escala, desafios esses que impulsionaram ainda mais a Termodinâmica como um ramo importante para a física.

Dentro desse ramo da física, serão dadas as ênfases de trabalho para a Lei Zero e a Segunda Lei da Termodinâmica; A Lei Zero foi escolhida devido à sua importância fundamental para o restante de toda a Termodinâmica, considerando o fato de a existência das outras Leis da Termodinâmica estarem subordinadas a Lei Zero; A Segunda Lei da Termodinâmica foi escolhida pelo seu nível de complexidade e por suas implicações: sendo uma lei de difícil compreensão, representa um desafio ao processo de transposição didática e às vezes é pouco abordada no Ensino Médio (Nogueira, 2020), no entanto, sua relação direta com os mecanismos que regem a vida revela a beleza de uma das leis fundamentais do universo.

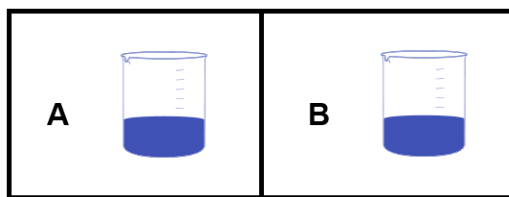
4.1 Lei Zero da Termodinâmica

Quando os corpos são submetidos a variações de temperatura, seja por aquecimento ou resfriamento, é possível observar mudanças físicas significativas. Por exemplo, mudanças de cor, alterações nas dimensões dos corpos e variações no valor da resistência elétrica.

Ao longo do tempo, homens habilidosos construíram instrumentos de medição de temperatura com base no que está escrito no parágrafo anterior. Esse é o caso do termômetro de mercúrio, que funciona com base na dilatação desse metal.

Vamos supor um sistema termicamente isolado, composto por duas seções, de modo que, em cada uma delas, haja um béquer contendo um líquido azul (recipientes A e B) aquecido até uma temperatura não registrada até o momento, conforme descrito na figura 1.

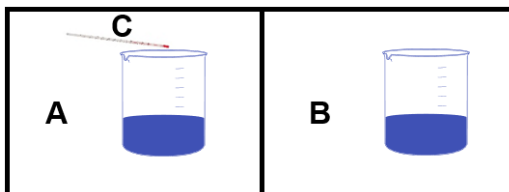
Figura 1: Sistema termicamente isolado contendo os recipientes A e B.



Fonte: adaptado da Plataforma Bing.

Em seguida, vamos colocar um termômetro **C** em contato com o recipiente **A**. Com o passar do tempo, o recipiente **A** e o termômetro **C** irão trocar energia entre si, até que as temperaturas de ambos se estabilizem, conforme descrito na figura 2.

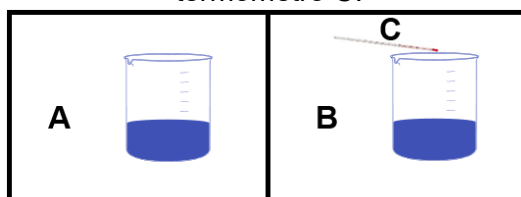
Figura 2: Sistema termicamente isolado contendo os recipientes A e B e o termômetro C.



Fonte: adaptado da Plataforma Bing.

Agora, o termômetro **C** será colocado em contato com o recipiente **B**. Quando isso ocorrer, percebe-se que, com o passar do tempo, a temperatura do termômetro **C** não sofre alteração no valor, conforme a figura 3.

Figura 3: Sistema termicamente isolado contendo os recipientes A e B e o termômetro C.



Fonte: adaptada da Plataforma Bing.

Mesmo não colocando os recipientes **A** e **B** em contato direto um com o outro, podemos afirmar conclusivamente que a temperatura do recipiente **A** é igual à temperatura do recipiente **B**. O que nos garante fazer dessa afirmação algo assertivo é o que está expresso pela Lei Zero da Termodinâmica: Se dois corpos A e B estão separadamente em equilíbrio térmico com um terceiro corpo C, A e B estão em equilíbrio térmico entre si (Halliday, Resnick e Walker, 2009).

Do ponto de vista matemático podemos escrever:

$$T_A = T_C, \quad (4.1)$$

$$T_B = T_C, \quad (4.2)$$

$$T_A = T_B. \quad (4.3)$$

Onde as variáveis T são as temperaturas de cada corpo conforme seus subíndices.

A Lei Zero da Termodinâmica, ou Equilíbrio Térmico, é uma das leis fundamentais do universo, por descrever o funcionamento dos sistemas físicos da natureza e por anteceder as demais Leis da Termodinâmica em grau de importância. Sendo assim, é válido afirmar que os processos físicos que regem a dinâmica de funcionamento da natureza ocorrem para uma finalidade: alcançar o equilíbrio térmico ou, de forma mais geral, o equilíbrio termodinâmico.

A Lei Zero é uma descoberta tardia, sendo formulada muitos anos depois da Primeira e da Segunda Leis da Termodinâmica, no entanto, a sua relevância teórica é fundamento para as outras leis que já haviam sido formuladas, devido a esse fato é que ela passou a ser chamada de Lei Zero da Termodinâmica.

4.2 Primeira Lei da Termodinâmica

Já se conhecia a respeito da energia mecânica e de sua conservação, por se tratar de um resultado obtido a partir das Leis de Newton; no entanto, ainda não se tinha a compreensão de como esse princípio poderia ser aplicado com sucesso a todos os sistemas físicos da natureza (Pires, 2011).

A Primeira Lei da Termodinâmica é uma extensão do Princípio de Conservação da Energia Mecânica, relacionando três modalidades de energia que sintetizam todas as interações da natureza (Rocha et al, 2015).

A Primeira Lei da Termodinâmica é escrita da seguinte forma:

$$\Delta E_{int} = E_{int,f} - E_{int,i} = Q - W. \quad (4.4)$$

Em que ΔE_{int} é a variação da energia interna do sistema físico entre o estado final e o estado inicial. Q é o calor, isto é, a energia transferida entre sistemas físicos devido à diferença de temperatura entre eles, e W é o trabalho, ou seja, a energia mecânica transferida entre os sistemas físicos (Halliday, Resnick e Walker, 2009). Esta lei pode ser escrita na forma diferencial,

$$dE_{int} = dQ - dW \quad (4.5)$$

O Trabalho, por corresponder à parte mecânica do sistema, quando aplicado ao contexto da Revolução Industrial, justifica o porquê de o conhecimento da Termodinâmica ter sido tão importante para o estabelecimento desse marco histórico. O trabalho é a modalidade de energia necessária para o funcionamento de uma máquina térmica, influenciando diretamente no seu desempenho e funcionalidade (Halliday, Resnick e Walker, 2009). Matematicamente o trabalho pode ser definido:

$$W = \int dw = \int \vec{F} \cdot d\vec{S} = \int (pA)(ds) = \int pA ds = \int_{V_i}^{V_f} p dV, \quad (4.6)$$

onde,

$$W = \int_{V_i}^{V_f} p dV. \quad (4.7)$$

Se a pressão é constante, pode ser reduzido à forma:

$$W = p\Delta V. \quad (4.8)$$

Existem quatro situações particulares decorrentes da Aplicação da Primeira Lei da Termodinâmica, que veremos a seguir.

4.2.1 Processos Adiabáticos

Esse processo é aquele que acontece tão rápido ou em um sistema tão bem isolado que não permite a troca de energia por meio de calor entre o sistema e o ambiente (Halliday, Resnick e Walker, 2009).

Fazendo $Q = 0$ na equação (4.4) chegamos à seguinte formulação matemática:

$$\Delta U_{int} = -W. \quad (4.9)$$

Portanto, se o sistema realiza trabalho sobre o ambiente ($+W$), a sua energia interna diminui de acordo com o valor do trabalho realizado. Se o ambiente realiza trabalho sobre o sistema ($-W$), a energia interna do sistema aumenta de acordo com o valor do trabalho realizado.

4.2.2 Processos a Volume Constante

Nesse processo, o volume do sistema não varia. De acordo com a equação (4.8), o trabalho depende da variação de volume no sistema, sendo assim, não havendo variação no volume, o trabalho realizado é nulo. Fazendo $W = 0$, na equação (4.4), chegamos à seguinte formulação matemática:

$$\Delta U_{int} = Q. \quad (4.10)$$

Portanto, se o sistema recebe do ambiente energia na forma de Calor ($+Q$), a energia interna do sistema aumenta de acordo com o valor dessa energia recebida. Se o sistema perde energia para o ambiente na forma de calor ($-Q$), a energia interna do sistema diminui de acordo com o valor da energia cedida para o ambiente.

4.2.3 Processos Cíclicos

Nesse processo, após as trocas de energia entre o sistema e o ambiente por meio de Calor Q e Trabalho W , o sistema volta às condições iniciais. Quando isso acontece, nenhuma propriedade intrínseca ao sistema (incluindo a sua Energia Interna) sofre modificação. Nesse caso, $\Delta U_{int} = U_{int,f} - U_{int,i} = 0$. Fazendo $\Delta U_{int} = 0$, na equação (4.4), chegamos à seguinte formulação matemática:

$$Q = W. \quad (4.11)$$

O Trabalho W realizado ao longo do processo deve ser igual à quantidade de energia transferida na forma de Calor Q , de modo, que a Energia Interna do sistema permaneça a mesma.

O entendimento dos processos cíclicos é de suma importância para o progresso tecnológico da sociedade, pois as máquinas térmicas funcionam com base nesses processos, incluindo as inovações que propiciaram a Revolução Industrial.

4.2.4 Expansões Livres

Tratasse de um processo adiabático onde nenhum Trabalho W é realizado. Nesse caso, temos $Q = W = 0$, e aplicando esse resultado na equação (4.4) chegamos à seguinte formulação matemática:

$$\Delta U_{int} = 0. \quad (4.12)$$

No caso desse processo, não há trocas de energia entre o sistema e o ambiente por meio de Calor Q e/ou por meio de Trabalho W . A tabela 1 apresenta um resumo dos casos particulares da Termodinâmica que foram abordados anteriormente.

Tabela 1: Casos Particulares da Primeira Lei da Termodinâmica.

Casos Particulares da Primeira Lei da Termodinâmica		
Processo	Restrição	Consequência
Adiabático	$Q = 0$	$\Delta U_{int} = -W$
Volume Constante	$W = 0$	$\Delta U_{int} = Q$
Ciclo Fechado	$\Delta U_{int} = 0$	$Q = W$
Expansão Livre	$Q = W = 0$	$\Delta U_{int} = 0$

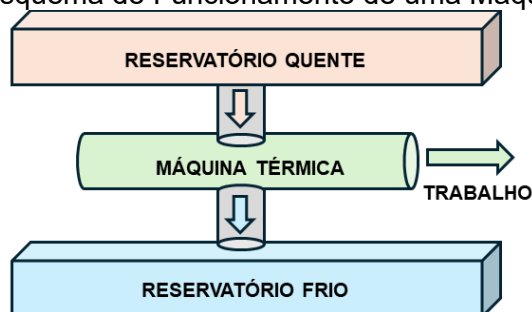
Fonte: Adaptado de Halliday, Resnick e Walker (2009).

4.3 Segunda Lei da Termodinâmica e Entropia

4.3.1 Segunda Lei da Termodinâmica

A Segunda Lei da Termodinâmica pode ser compreendida com base no funcionamento de uma máquina térmica. A máquina térmica é um dispositivo que opera em um processo cíclico, sendo composta de dois reservatórios, um quente e outro frio, é capaz de utilizar o Calor Q para produzir Trabalho W . Uma máquina térmica pode ser esquematizada segundo a representação da figura 4:

Figura 4: Esquema de Funcionamento de uma Máquina Térmica.



Fonte: Próprio Autor.

Vamos chamar a energia proveniente do reservatório quente de Q_1 , o Trabalho, energia útil no processo de funcionamento da máquina será chamado de W e a parcela da energia que fica armazenada no reservatório frio de Q_2 .

O rendimento (R) de uma máquina térmica é a relação entre o Trabalho (W) realizado em cada ciclo e a energia (Q_1) proveniente do reservatório quente em cada ciclo. Sendo escrito matematicamente como:

$$R = \frac{W}{Q_1}. \quad (4.13)$$

Aplicando o Princípio de Conservação da Energia de acordo com o que está proposto na figura 4, chegamos à seguinte expressão matemática:

$$Q_1 = W + Q_2. \quad (4.14)$$

Reorganizando a equação (4.14), temos:

$$W = Q_1 - Q_2. \quad (4.15)$$

Aplicando a equação (4.15) na equação (4.13), podemos expressar o rendimento de uma máquina térmica da seguinte forma:

$$R = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}. \quad (4.16)$$

A partir da equação (4.16) podemos expressar a Segunda Lei da Termodinâmica a partir da noção de rendimento de uma máquina térmica, inclusive, ela foi assim enunciada por Lord Kelvin (1824 – 1907). De acordo com Luz e Álvares (2006, p. 130) “É impossível construir uma máquina térmica que, operando em ciclo, transforme em trabalho todo o calor a ela fornecido”.

De modo geral, qualquer máquina térmica ou dispositivo presente na natureza, ao efetuar um ciclo, nunca conseguirá transformar integralmente em Trabalho todo o Calor proveniente do reservatório quente, de modo, que sempre haverá uma parcela de Calor destinada ao reservatório frio.

Na busca por melhorar o rendimento de uma máquina térmica por meio dos ciclos termodinâmicos, podemos destacar o trabalho teórico de Sadi Carnot (1796 - 1832). O Teorema de Carnot apresenta um limite referente ao rendimento de uma máquina térmica elaborada pelo homem, a partir da apresentação de um ciclo idealizado, conhecido como Ciclo de Carnot.

Além disso, o trabalho teórico de Carnot com adição da contribuição de Émile Clapeyron (1799 - 1764) propõe que o rendimento de uma máquina térmica depende das temperaturas dos reservatórios quente e frio, conduzindo à necessidade da existência de uma escala absoluta para a temperatura, o que mais tarde veio a ser a escala absoluta de Kelvin.

O rendimento para uma máquina térmica com ciclo correspondente ao Ciclo de Carnot pode ser calculado levando em consideração as temperaturas dos reservatórios quente e frio:

$$R = 1 - \frac{T_2}{T_1}, \quad (4.17)$$

onde, T_2 corresponde à temperatura da fonte fria e T_1 se refere à temperatura da fonte quente na escala Kelvin.

A equação (4.17) nos traz uma implicação interessante, derivada da Segunda Lei da Termodinâmica. Para que uma máquina que opere no Ciclo de Carnot tenha 100% de rendimento seria necessário que T_2 (que se refere à temperatura da fonte fria) fosse zero, o que é impossível dentro dos padrões da Segunda Lei da Termodinâmica, garantindo assim, o zero na escala Kelvin (absoluta), uma temperatura inatingível.

4.3.2 Entropia

Pela análise do funcionamento das máquinas térmicas, é possível perceber que sempre haverá uma parcela da energia utilizada no processo termodinâmico destinada ao reservatório frio, pois, a Segunda Lei da Termodinâmica garante que não pode haver 100% de rendimento em um ciclo de funcionamento. Essa parcela de energia não pode ser reutilizada em processos termodinâmicos.

Portanto, considerando a máquina térmica como um sistema isolado, à medida que os ciclos de funcionamento ocorrem, sempre haverá uma parcela de energia que se somará ao reservatório frio, de modo que o sistema considerado nunca retornará às condições iniciais.

Essa parcela de energia que fica presente no reservatório frio está associada a uma grandeza física chamada de entropia. A entropia, como princípio físico, é uma generalização da segunda lei da termodinâmica e apresenta uma propriedade muito importante para o entendimento da natureza, presente no seguinte postulado da entropia: “Se um processo irreversível ocorre em um sistema fechado, a entropia do sistema sempre aumenta” (Halliday, Resnick e Walker, 2009). Que pode ser formulado matematicamente assim:

$$\Delta S \geq 0, \quad (4.18)$$

onde S representa a Entropia e o sinal de $\geq$ se aplica aos tipos de processos presentes na natureza, processos reversíveis (idealizados) e processos irreversíveis.

Por fim, podemos afirmar que, enquanto a Primeira Lei da Termodinâmica refere-se à extensão do Princípio de Conservação da Energia, a Segunda Lei corresponde ao princípio que explica a distribuição da energia nos sistemas físicos da natureza, ao passo que a Entropia se refere à degradação da energia que ocorre em todos os processos naturais.

Portanto, neste capítulo, foi apresentada a revisão conceitual a respeito da termodinâmica, temática que irá abranger o objeto de estudo da pesquisa. O próximo capítulo tratará dos procedimentos metodológicos para alcançar os objetivos traçados.

5. METODOLOGIA

Neste capítulo, será apresentada a metodologia utilizada neste trabalho; portanto, serão apontados os caminhos trilhados para o levantamento de informações, que serão analisadas de acordo com o estudo proposto.

5.1 Abordagem da Pesquisa

A pesquisa foi conduzida segundo os moldes de uma abordagem qualitativa (Taquete e Borges, 2021), visando observar se o emprego de um livro paradidático sobre termodinâmica em aulas de física pode ser um aliado do professor em sua ação pedagógica na busca de promover uma aprendizagem significativa, contribuindo assim para a consolidação e/ou edificação de subsunçores que sejam relevantes para a aprendizagem dos estudantes nessa temática. Neves e Domingues (2007) argumentam que o ambiente natural é a fonte direta de onde o pesquisador obtém as suas informações a partir do processo de coleta de dados e, depois de coletadas as informações pertinentes, o pesquisador tende a analisá-las de forma indutiva, isto é, saindo do particular para o todo, fazendo generalizações.

Levando em consideração que a motivação do estudo está relacionada ao processo de aprendizagem de conteúdos de física, o “ambiente natural” em que será conduzida a pesquisa é a sala de aula. Embora seja um espaço amostral reduzido, é importante destacar que se trata de um espaço pluralizado de saberes, no qual cada estudante é um indivíduo dotado de um conjunto de interesses, motivações e conhecimentos prévios; essas variáveis afetam diretamente a práxis docente. De acordo com Neves e Domingues (2007 apud Minayo, 2004), a amostra ideal da pesquisa qualitativa é aquela que considera as múltiplas variedades do sistema em estudo. Portanto, podemos afirmar que, mesmo sendo a sala de aula um espaço amostral reduzido, é possível obtermos resultados que, respeitadas as devidas limitações, têm credibilidade notável e podem ser aplicados a outras realidades no âmbito educacional.

5.2 Público-alvo

A pesquisa foi conduzida na Escola de Ensino em Tempo Integral Glória Perez, localizada na Av. Brasil no Conjunto Xavier Maia, nas aulas do professor de Física Leandro Luiz de Oliveira Cordeiro, com estudantes da segunda série do Ensino Médio, das turmas “A” e “D”.

5.3 Procedimentos Metodológicos

A pesquisa foi desenvolvida por meio da aplicação de dois questionários (teste e pós-teste, disponíveis no Apêndice A) e da ministração de duas aulas. Os questionários foram aplicados em dois momentos: o primeiro foi disponibilizado para os estudantes antes da ministração das aulas, de modo, que a intenção foi diagnóstica, ou seja, verificar como está o nível de conhecimento prévio dos estudantes acerca do assunto que será ministrado nas aulas; o segundo (pós-teste) foi aplicado depois de ocorridas as aulas, desse modo, a intenção foi verificar se houveram ou não diferenças que pudessem ser pontuadas em relação ao que foi respondido pelos estudantes no questionário aplicado anteriormente. Sendo assim, obtivemos informações que nos permitiram analisar se o livro paradidático apresentado nas aulas pode ser ou não utilizado como uma ferramenta aliada do professor na busca da aprendizagem dos seus alunos.

Em relação às aulas ministradas, elas foram presenciais, nesse caso, vale destacar que o ano letivo da escola já se encontrava no terceiro bimestre e que os estudantes das turmas em que foi aplicado o produto já haviam passado pelo estudo da termodinâmica com o professor regente da disciplina de física. Além disso, o conteúdo das aulas que foram ministradas durante a aplicação do produto educacional está de acordo com o que é proposto pelo Currículo Único de Referência do Estado do Acre, documento elaborado pela Secretaria de Estado de Educação e Cultura do estado do Acre, tendo como fundamentação o que está na Base Nacional Comum Curricular (BNCC), sendo ele utilizado também pelo professor regente da disciplina de Física.

No que diz respeito à sequência didática, disponível no Apêndice B, ela foi elaborada de acordo com o modelo da escola; é importante ressaltar que

algumas modificações foram necessárias para descrever as aulas organizadas em função de seus respectivos momentos. No documento em questão, apresenta-se a abordagem pedagógica adotada para a aplicação do produto educacional que integra esse trabalho, disponível no Apêndice C.

As aulas foram ministradas com duas abordagens diferentes: a Dinâmica do Caixeiro Viajante e a expositiva e dialogada. Considerando que se trata da aplicação do produto educacional, composto por uma sequência didática e por um livro paradidático.

Na primeira aula, utilizou-se a dinâmica do caixeiro viajante (para mais detalhes, consulte a sequência didática). A dinâmica do caixeiro viajante é uma metodologia ativa que possibilita o trabalho em grupo e a troca de conhecimentos, fomentando o protagonismo estudantil, sendo assim, é uma proposta viável para a aplicação do produto de forma integral em sala de aula, que devido a sua abrangência, seria necessário um período de tempo maior do que o correspondente a uma aula de 60 minutos para trabalhar os capítulos individualmente. Os textos foram utilizados nas aulas do professor regente, possibilitando que os estantes tivessem contato inicial com eles e, assim, facilitar o processo de aplicação do produto na primeira aula, na qual foi utilizada a dinâmica já mencionada.

Em relação à aula expositiva, ela foi preparada em slides e apresentada no *Data Show* e, no que se refere ao produto educacional, foram utilizadas algumas partes do seu conteúdo para complementar a explicação. Além disso, vale destacar que foram utilizadas algumas animações presentes no produto educacional por meio dos QR Codes, a ação se justifica pelo fato de alguns alunos terem mencionado que eles não sabiam da existência das animações nos textos (como será apresentado nos resultados e discussões), e, nesse caso, por meio da aula expositiva eles tiveram acesso a uma parcela dessas animações.

5.4 Coleta de Dados

A coleta de dados ocorreu por meio de questionários (disponíveis no Apêndice A). Eles foram aplicados em dois momentos distintos: a primeira aplicação (teste impresso) ocorreu antes do início das aulas nas turmas e a

segunda aplicação (pós-teste) foi realizada após a ministração das aulas; o questionário inicial teve a intenção de averiguar se os estudantes apresentaram conhecimentos prévios (subsunçores) que dialogassem com o produto educacional que foi aplicado na aulas, e, a partir da aplicação do segundo questionário intencionou-se verificar se houve alguma mudança após a aplicação do produto educacional que seja considerável, estando alinhada com a pesquisa conduzida. Estes momentos são ilustrados nas figuras 5 e 6.

Figura 5: Aplicação do questionário número 1.



Fonte: Próprio Autor.

Figura 6: Aplicação do questionário número 1.



Fonte: Próprio Autor.

Decorridas as aplicações dos questionários, pode-se afirmar que foi obtida uma quantidade de informações suficientes para servir aos propósitos do estudo conduzido.

Quanto ao modelo das perguntas, os questionários são compostos por questões objetivas e subjetivas, de modo que, em algumas questões objetivas, foi possível escolher mais de uma alternativa; em outras, a escolha foi restrita a

apenas uma alternativa; e, nas questões subjetivas, os estudantes tiveram que registrar suas respostas por escrito.

As questões 1 a 3 do primeiro questionário foram elaboradas com a intenção de formar uma ideia geral em relação ao perfil dos estudantes que foram alvo da pesquisa; nesse caso, se eles tinham o hábito da leitura, tendo em vista que o produto educacional (Apêndice C) se trata de um livro paradidático e ter um certo vislumbre da relação dos discentes com os recursos tecnológicos, dentro e fora da sala de aula, se costumam ser utilizados por eles para a aprendizagem, considerando que o produto educacional é composto de animações disponibilizadas por meio de QR Codes.

A primeira questão teve o intuito de verificar o que os estudantes costumavam fazer no seu tempo livre e, para isso, eles puderam marcar quantas alternativas julgavam pertinentes. A segunda questão visou verificar o que os estudantes costumam fazer com mais frequência quando têm acesso a recursos digitais. Para essa questão, eles deveriam marcar apenas uma das alternativas disponíveis. A terceira questão pretendia trazer informações sobre como os alunos percebem o emprego de recursos tecnológicos pelos docentes durante as aulas. Para essa questão, eles puderam marcar apenas uma das alternativas disponíveis.

As questões de 4 a 10 estão presentes em ambos os testes e na mesma ordem, elas tinham a intenção de realizar um levantamento diagnóstico a respeito do conhecimento prévio e ao mesmo tempo verificar por meio da comparação se houve algum progresso a respeito do conhecimento que os estudantes possuem em relação as Leis da Termodinâmica: Lei Zero da Termodinâmica, Primeira Lei da Termodinâmica e Segunda Lei da Termodinâmica.

A questão 4 tem como ênfase os conceitos físicos de Calor e Temperatura, sendo necessário associá-los a situações do cotidiano, e, para essa questão, os estudantes deviam registrar por escrito as respostas que eles considerassem mais adequadas.

A questão 5 tem como foco a Lei Zero da Termodinâmica, ou “Equilíbrio Térmico”, e sua relação com os fenômenos da natureza e com situações do

cotidiano. Os discentes podiam marcar quantas alternativas julgassem necessárias.

A questão 6 tem como ênfase a relação entre a Termodinâmica e a Revolução Industrial; nesse caso, os estudantes poderiam marcar quantas alternativas julgassem pertinentes.

As questões de 7 a 10 são todas do perfil em que os estudantes deviam registrar suas respostas por escrito. No que se refere ao conteúdo, elas abordam a termodinâmica de forma integral. Na questão 7 é necessário abordar a Segunda Lei da Termodinâmica e a Entropia tendo como base fenômenos e situações presenciadas no cotidiano dos estudantes; a questão 8 solicita aos estudantes explicarem a Lei Zero da Termodinâmica com as suas palavras; a questão 9 solicita aos discentes explicarem a Segunda Lei da Termodinâmica com as suas palavras; por fim, a questão 10 propõe a explicação da Entropia de acordo com as próprias palavras dos discentes.

No que se refere ao conteúdo do segundo questionário (aplicado no *Google Forms*), as questões de 1 a 3 tinham a intenção de verificar a percepção dos estudantes em relação à aplicação do produto educacional, nesse caso, as questões tiveram como embasamento os seguintes critérios, alguns inclusive, são pertencentes ao produto educacional (Apêndice C): linguagem acessível, emprego dos recursos tecnológicos, e a metodologia empregada ao longo das aulas. Todas essas questões são objetivas e os estudantes tiveram a opção de marcar apenas uma alternativa. A questão 11 teve como intenção deixar os estudantes à vontade para pontuar o que julgassem pertinente em relação ao livro paradidático, destacando pontos positivos e/ou negativos.

5.5 Produto Educacional

O produto educacional (Apêndice C) poderá ser utilizado à parte da pesquisa conduzida, sendo passível de impressão caso o profissional que venha a fazer uso do material considere conveniente, tendo como interesse primordial facilitar a compreensão dos estudantes a respeito da termodinâmica a partir da utilização de textos paradidáticos aliados com o emprego das tecnologias digitais, nesse caso, o uso de animações disponíveis em QR Codes. A intenção é que esse material seja mais uma ferramenta pedagógica, entre outras

disponíveis para auxiliar os professores da educação básica no que se refere à sua prática docente.

No que tange à linguagem, se trata de um material escrito de forma acessível aos profissionais que se mostrarem interessados em fazer uso dele, inclusive, foi levado em consideração durante a escrita do texto o fato de a realidade da educação nacional compreender em seu corpo docente um número considerável de profissionais com formações em outras áreas e que às vezes têm sobre os seus ombros a responsabilidade de lecionarem conteúdos que não se têm tanta familiaridade assim.

Com relação ao conteúdo do livro paradidático, são temas que incluem desde o nosso cotidiano até os mais intrigantes do universo, fazendo uma associação com a Termodinâmica, de modo, que se intenciona fomentar um novo olhar dos estudantes em torno da beleza inerente a esse ramo da Física, que traz muitas contribuições não apenas para a Física e/ou Ciências da Natureza, mas, para outras áreas do conhecimento.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos a partir da aplicação do produto educacional; além disso, serão analisados os pontos que merecem destaque.

6.1 Aplicação do Primeiro Questionário (Pré-teste)

Conforme o detalhamento dos procedimentos metodológicos, a partir da aplicação do primeiro questionário, podemos identificar e analisar as principais dificuldades conceituais e pedagógicas relacionadas ao ensino de termodinâmica no contexto educacional investigado.

6.1.1 Considerações a respeito da Aplicação do Primeiro Questionário

Antes da aplicação do primeiro questionário, foi explicado aos estudantes como deveriam se comportar durante o preenchimento das respostas, enfatizando que se trata de uma pesquisa de mestrado e que as respostas que apresentassem, independentemente de serem certas ou erradas, seriam de grande relevância para a obtenção de dados para a pesquisa.

Um dos pontos que vale ser destacado reside no fato de que mesmo com os estudantes ouvindo a respeito de como deveriam proceder durante o registro das suas respostas, foi verificado que alguns deles estavam tentando encontrar respostas para as questões em seus cadernos; nesse momento, houve uma intervenção lhes explicando que por se tratar de uma pesquisa científica, eles não podiam buscar respostas em nenhum lugar, mas, que eles se sentissem à vontade para escrever o que considerassem mais adequado, podendo inclusive, registrar respostas do perfil “não sei”, “não lembro” e outras, pois, cada uma dessas respostas seriam úteis no processo de análise do questionário.

Outro ponto digno de nota é que mesmo com uma orientação prévia e à disposição para esclarecer dúvidas, infelizmente, alguns estudantes preencheram os questionários de forma inadequada, o que invalidou o uso dessas respostas. Desse modo, de 40 questionários preenchidos, 10 foram descartados, totalizando 30 utilizados na análise.

Em relação aos questionários descartados, o critério aplicado para a invalidação deles foi que as primeiras questões foram respondidas de forma equivocada, principalmente no caso da questão 2, pois, era obrigatório marcar apenas uma alternativa, porém, a maioria dos questionários apresentaram mais de uma marcação. No caso da questão 1, em algumas situações, os estudantes acrescentaram informações ao lado das alternativas marcadas por eles, o que invalidou as suas respostas.

Mesmo com o descarte, existem alguns apontamentos em relação às respostas de 3 a 10 que devem ser destacados. O que foi marcado na questão 3, indica que os estudantes possuem familiaridade com o emprego de recursos tecnológicos para fins didáticos no interior da sala de aula. No que diz respeito a questão 4, que relaciona os conceitos físicos de calor e temperatura com o cotidiano, tivemos 5 respostas do perfil “não sei” e “não lembro” apresentadas pelos estudantes. Na questão 5, os estudantes marcaram respostas que indicam familiaridade com a relação entre o equilíbrio térmico e o cotidiano, no entanto, foram marcadas algumas alternativas que não tem relação direta com o equilíbrio térmico. Em relação a questão 6, foram marcadas algumas alternativas que indicam um certo grau de desconhecimento por parte dos discentes na relação entre a Termodinâmica e a Revolução Industrial. Por fim, no que tange às questões de 7 a 10, a grande maioria das respostas apresentadas foram do perfil “não sei” e “não lembro”.

As discussões em torno dessas questões serão apresentadas nos parágrafos seguintes.

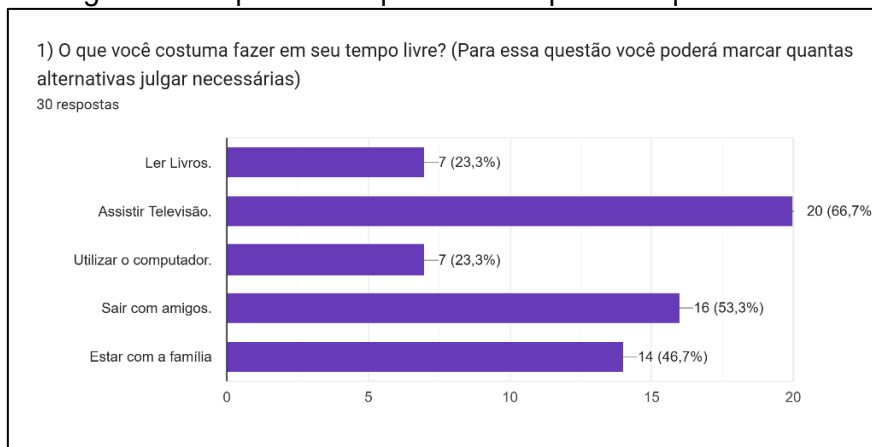
Por fim, mais um ponto que deve ser destacado é que, devido ao fato de o questionário ter sido preenchido de forma manuscrita, a caligrafia de alguns discentes dificultou a compreensão de algumas respostas registradas, mas, nesse caso, as respostas não foram invalidadas, como ocorreu no caso já mencionado.

6.1.2 Análise das questões de 1 a 3

A primeira questão teve o intuito de verificar o que os estudantes costumavam fazer no seu tempo livre, podendo, para essa questão, marcar quantas alternativas julgavam convenientes. Das opções disponíveis, as que

apresentaram maior quantitativo de marcações foram “Assistir televisão” e “Sair com amigos”; as opções menos marcadas foram “Ler livros” e “Utilizar o computador”. Os dados percentuais podem ser verificados na figura 7, a seguir.

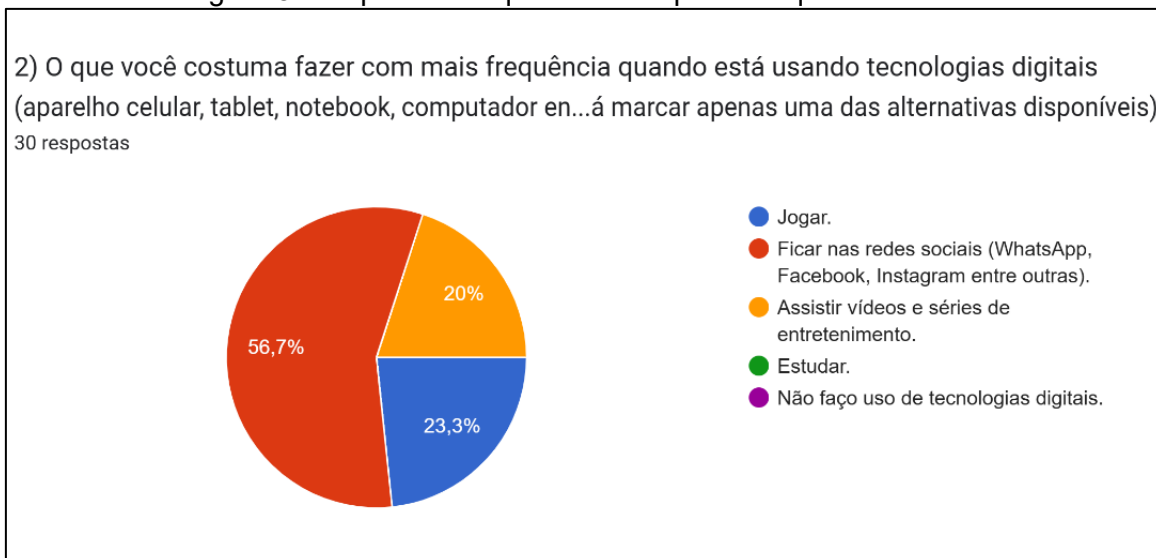
Figura 7: Respostas da questão 1 do primeiro questionário.



Fonte: Próprio Autor.

A segunda questão, que tem a pretensão de verificar o que os estudantes costumam fazer com mais frequência quando estão de posse dos recursos digitais, obteve como opção mais marcada “Ficar nas redes sociais (WhatsApp, Facebook, Instagram, entre outras)”, e a opção “Estudar” nem sequer apareceu entre as que foram marcadas por eles. Os discentes evidentemente praticam a leitura, pois é um dos critérios necessários para o uso das redes sociais; todavia, na maioria das vezes, trata-se de uma prática de leitura desvinculada dos estudos. Sendo assim, a leitura é um dos meios pelos quais os estudantes acessam informações, aumentando o seu repertório de conhecimentos; e, quanto mais conhecimentos prévios uma pessoa possui, maior é a sua tendência a aprender algo novo, mobilizando uma aprendizagem significativa (Silva e Schirlo, 2014). A porcentagem das respostas pode ser observada na figura 8, a seguir.

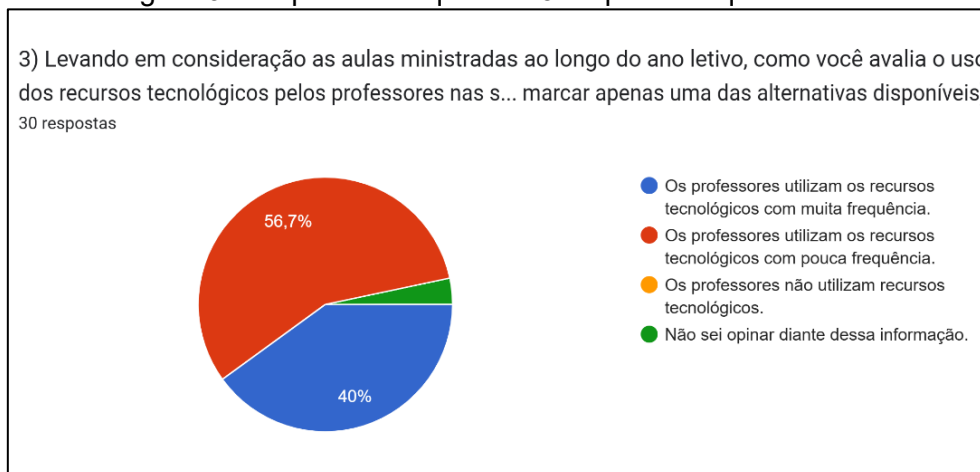
Figura 8: Respostas da questão 2 do primeiro questionário.



Fonte: Próprio Autor.

A terceira questão visa fornecer informações sobre a percepção dos estudantes quanto à utilização de recursos tecnológicos pelos professores em suas aulas. Das opções disponíveis, a maioria dos alunos marcaram a opção “Os professores utilizam os recursos tecnológicos com pouca frequência”, indicando assim que na percepção deles os professores fazem uso de recursos tecnológicos para fins pedagógicos, no entanto, esse uso se dá com pouca frequência. Mesmo que na perspectiva dos estudantes o emprego dos recursos tecnológicos nas aulas seja realizado com pouca frequência, é válido afirmar que eles já têm certa familiaridade com a utilização de recursos dessa natureza para fins pedagógicos, exercendo a função de organizadores prévios (Jesus e Silva, 2004). O registro percentual das respostas está disponível na figura 9, a seguir.

Figura 9: Respostas da questão 3 do primeiro questionário.



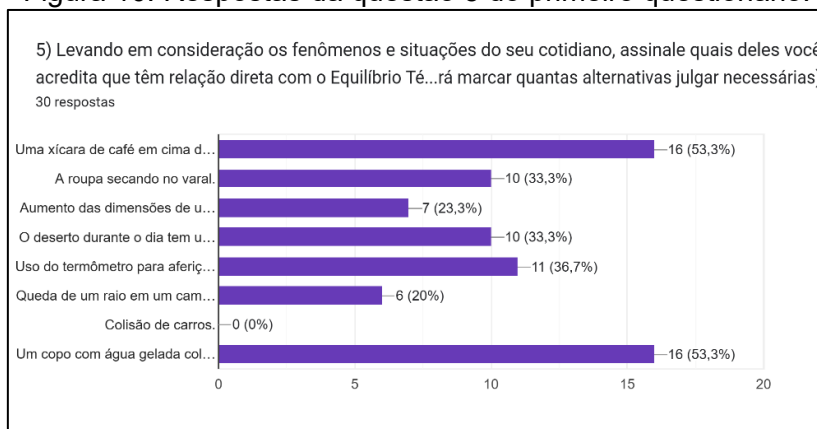
Fonte: Próprio Autor.

6.1.3 Análise das questões de 4 a 10

A questão 4 estabelece uma relação entre os conceitos físicos de calor e temperatura e situações do cotidiano. De todas as respostas apresentadas, foram registradas três respostas “não sei” e uma resposta “não lembro”, mas as demais indicam que a maioria dos estudantes consegue associar os conceitos físicos de calor e temperatura ao(s) seu(s) cotidiano(s). É válido afirmar que os estudantes possuem subsunçores associados a esses conceitos (Moreira, 2012).

A questão 5, que visa trabalhar a relação entre o equilíbrio térmico e os fenômenos naturais e situações cotidianas, teve como opções mais marcadas “Uma xícara de café em cima da mesa”, “Uso do termômetro para aferição da temperatura” e “Um copo com água gelada em cima da mesa”. As respostas marcadas indicam que os estudantes têm familiaridade com a Lei Zero da Termodinâmica e com a associação proposta. A capacidade em correlacionar o equilíbrio térmico com situações do cotidiano é indicadora do processo de diferenciação progressiva (Moreira, 2012). Os registros percentuais podem ser verificados na figura 10, a seguir.

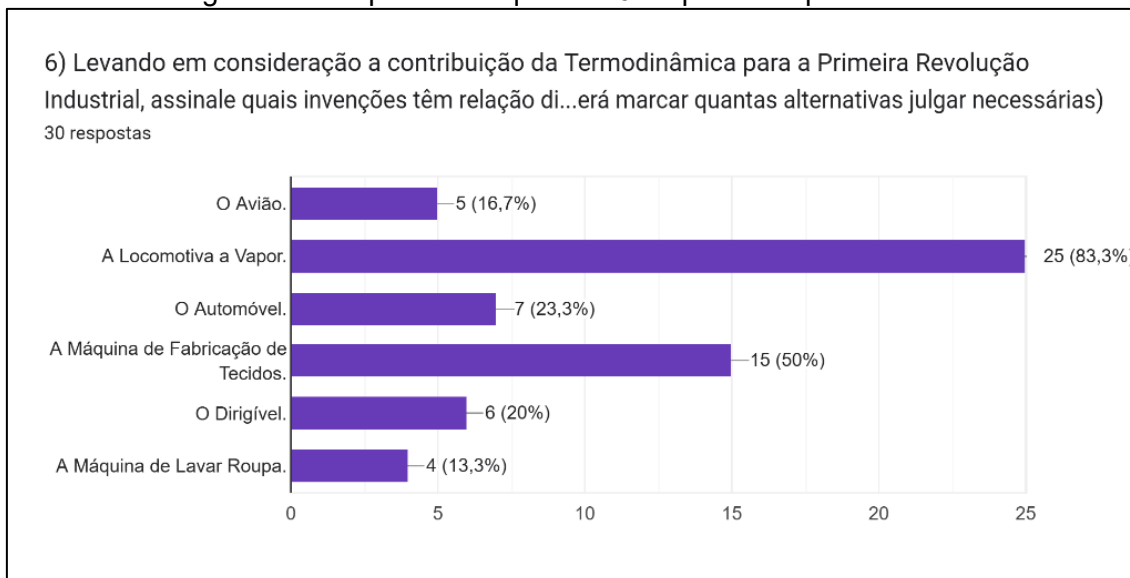
Figura 10: Respostas da questão 5 do primeiro questionário.



Fonte: Próprio Autor.

Na questão 6, que foca na relação entre a Termodinâmica e a Revolução Industrial, as alternativas mais escolhidas pelos discentes foram “A Locomotiva a Vapor” e “A Máquina de Fabricação de Tecidos”, o que indica que os estudantes possuem familiaridade com essa relação. Nesse caso, podemos verificar a presença do processo de reconciliação integrativa (Moreira, 2012). Os dados percentuais estão disponíveis na figura 11, a seguir.

Figura 11: Respostas da questão 6 do primeiro questionário.



Fonte: Próprio Autor.

Nas questões de 7 a 10, foram apresentados quantitativos consideráveis de respostas indicando dificuldades por parte dos estudantes em expressar, por escrito, conhecimentos relacionados à termodinâmica como um todo. As respostas como “não sei responder”, “não sei”, “não lembro”, “esqueci” e outras semelhantes indicam tais dificuldades. Essas dificuldades podem ser justificadas pelo desinteresse dos estudantes no hábito de leituras que sejam enriquecedoras para a sua estrutura cognitiva (Silva, 2014) e sua consequente dificuldade em expressar-se de forma escrita. A relação entre as questões e o número de respostas desse perfil pode ser verificada na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2: Relação de questões por quantitativo de respostas indicadoras de dificuldades por parte dos estudantes.

QUESTÃO	QUANTITATIVO
07	23
08	28
09	24
10	25

Fonte: Próprio Autor.

Apesar de os resultados indicarem dificuldades por parte da maioria dos estudantes em escrever a respeito da segunda lei da termodinâmica e da entropia, foi encontrada uma resposta que inclui a entropia e a desordem na mesma frase. Porém, esses temas podem ser considerados novos para os estudantes e a sua dificuldade é justificada pelo nível de abstração necessário para assimilá-los, apontando assim para uma possível aprendizagem mecânica

(Moreira, 2012), indicada pela dificuldade que os estudantes tiveram de encontrar associações com o cotidiano deles. A resposta mencionada nesse parágrafo está disponível na figura 12, a seguir.

Figura 12: Resposta da questão 7 do primeiro questionário.

7) Levando em consideração os fenômenos e situações que você já presenciou no seu cotidiano, diga quais deles você acredita que têm alguma relação com a Segunda Lei da Termodinâmica e Entropia? (Para essa questão você irá escrever a resposta que considerar mais adequada)

*as fontes a lei da atração e repulsão
e a entropia e a desordem*

Fonte: Próprio Autor.

A questão 8 apresenta uma resposta que fala a respeito da transferência de alguma coisa entre um corpo quente e um corpo frio; nesse caso, a resposta registrada é “Temperatura”. Outra resposta afirma que um objeto, podendo estar no estado sólido ou líquido, tem a tendência de ganhar ou perder “temperatura” a depender do “calor” ao qual é submetido. Essas respostas indicam um entendimento parcial dos estudantes a respeito do processo de equilíbrio térmico, no entanto, é possível afirmar que houve a presença dos processos de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa (Moreira, 2012) na busca de estabelecer a relação existente entre os conceitos de calor e temperatura com o processo de equilíbrio térmico. A seguir, na figura 13 está disponível a resposta apresentada por um estudante que relaciona os conceitos físicos de Calor e Temperatura.

Figura 13: Resposta da questão 8 do primeiro questionário.

8) Explique o Princípio do Equilíbrio Térmico ou Lei Zero da Termodinâmica com as suas palavras. (Para essa questão você irá escrever a resposta que considerar mais adequada, podendo inclusive utilizar exemplos para auxiliar na sua resposta)

um objeto líquido ou sólido tende a perder ou ganhar de perder temperatura de acordo com o calor a ser submetido.

Fonte: Próprio Autor.

Na questão 9, são apresentadas quatro respostas que relacionam a Segunda Lei da Termodinâmica à variação de energia. A questão 10 apresenta duas respostas que vinculam a Entropia à desordem, inclusive uma delas fala sobre a desordem de um sistema; temos outras duas respostas que relacionam a Entropia às palavras “natural” e “aumento”. Nessas questões faz-se necessário o domínio de abstrações inerentes aos conceitos físicos presentes nelas, a dificuldade dos estudantes em registrar suas respostas por escrito pode ser

indicadora da presença de aprendizagem mecânica (Moreira, 2012), resultando em um rápido esquecimento bem como da questão da escrita já problematizada nesse texto. Na figura 14, disponível a seguir, está registrada a resposta de um estudante que relaciona a entropia às palavras “natural” e “aumento”.

Figura 14: Resposta da questão 10 do primeiro questionário.

10) Explique o conceito de Entropia com as suas palavras. (Para essa questão você irá escrever a resposta que considerar mais adequada, podendo inclusive utilizar exemplos para auxiliar na sua resposta)

*É uma coisa que é um grau natural
que aumenta que o sistema para isso*

Fonte: Próprio Autor.

De modo geral, analisando as respostas dos estudantes registradas nesse questionário, é válido afirmar que os discentes não apenas têm acesso a recursos tecnológicos tanto na escola quanto fora dela, como também os utilizam. No entanto, esse uso não é necessariamente voltado a fins de aprendizagem. No que se refere à Termodinâmica como um todo, pode-se afirmar, mesmo considerando a diferença no desempenho das respostas objetivas em comparação com as respostas subjetivas, e as dificuldades apresentadas pelos estudantes já supracitadas, que os estudantes possuem conhecimentos prévios sobre a Lei Zero da Termodinâmica, a Primeira Lei da Termodinâmica e a Segunda Lei da Termodinâmica. Ou seja, é válido considerar a existência de subsunçores (Moreira, 2012) nos estudantes das turmas pesquisadas.

6.2 Considerações a respeito da Aplicação da Dinâmica do Caixeiro Viajante

Os detalhes da Dinâmica do Caixeiro Viajante estão presentes no final do Apêndice B. Inicialmente, os estudantes foram agrupados conforme a organização proposta na aula anterior; os que haviam faltado foram incluídos nos grupos e participaram das atividades normalmente. Após a organização dos grupos, foi explicado aos estudantes como seria a aplicação da dinâmica proposta e foram esclarecidas as possíveis dúvidas.

De modo geral, os estudantes se mostraram interessados, respeitaram o momento da aula e participaram ativamente da dinâmica. Portanto, é possível

afirmar que essa atividade foi bem-sucedida em ambas as turmas, como ilustrado nas figuras 15 e 16.

Figura 15: Aplicação da dinâmica do caixeiro viajante.



Fonte: Próprio Autor.

Figura 16: Aplicação da dinâmica do caixeiro viajante.



Fonte: Próprio Autor.

6.2.1 Relato de Dificuldades Encontradas

Mesmo considerando que a atividade foi implementada com sucesso em ambas as turmas, é interessante destacar algumas situações que ocorreram ao longo da aplicação do produto educacional.

Quanto a primeira turma, devido ao atraso de alguns estudantes, foi necessário inseri-los nos grupos que já estavam em atividade, sendo ainda importante orientar esses estudantes sobre como eles deveriam proceder em relação a dinâmica que estava sendo aplicada; em segundo lugar, alguns discentes tiveram dificuldade para entender a ordem das estações presente na dinâmica, o que afetou no tempo de reconfiguração dos grupos para o desenvolvimento da atividade; por fim, devido a essas dificuldades pontuadas,

foi necessário diminuir o tempo das estações, o que afetou no estudo do material utilizado e influenciou na sua análise como organizador prévio (Jesus e Silva, 2004).

No que se refere à segunda turma em que a dinâmica foi aplicada, a primeira situação a ser destacada foi que mesmo a atividade sendo explicada, e os estudantes sabendo que as anotações que eles viessem a realizar deveriam ser fruto da explicação de cada caixeiro viajante, foi percebido que alguns estudantes estavam copiando informações direto dos textos utilizados. Esse comportamento pouco engajado é indicador de um processo de aprendizagem mecânica (Moreira, 2012), sendo fruto de uma postura mais cômoda por parte dos estudantes.

Um segundo ponto que vale a pena ser mencionado, foi que mesmo explicando para os estudantes que o material utilizado por eles para leitura era composto de QR Codes com animações que tinham a intenção de complementar o que estava sendo apresentado no material, alguns estudantes afirmaram que não sabiam que os textos vinham compostos de QR Codes, influenciando na utilização deles como organizadores prévios (Jesus e Silva, 2004) durante a aplicação do produto educacional.

6.3 Considerações a Respeito da Aula Expositiva

Considerando que se trata de um produto na área de Termodinâmica, foi ministrada para os discentes uma aula que abordou a Lei Zero da Termodinâmica, a Primeira Lei da Termodinâmica e a Segunda Lei da Termodinâmica (incluindo a Entropia). Devido ao relato apresentado por alguns estudantes a respeito dos QR Codes durante a aplicação da Dinâmica do Caixeiro Viajante, foi feito o uso de algumas dessas animações para complementar as explicações apresentadas na aula expositiva, visando, assim, que os estudantes tivessem acesso a esse material.

Durante a aula, os estudantes foram respeitosos e demonstraram interesse na exposição do conteúdo; os QR Codes foram disponibilizados nos slides e foi dado um período para que os alunos acessassem cada uma das animações. De modo geral, é válido afirmar que o terceiro encontro com as turmas foi proveitoso, os estudantes prestaram atenção nas explicações, tiraram

dúvidas e demonstraram interesse no conteúdo da aula, corroborando para o fato de que um dos critérios para a aprendizagem significativa é a pré-disposição dos estudantes (Moreira, 2012)), como apresentado nas figuras 17 e 18.

Figura 17: Ministração da aula expositiva.



Fonte: Próprio Autor.

Figura 18: Ministração da aula expositiva.



Fonte: Próprio Autor.

6.4 Aplicação do Segundo Questionário (Pós-teste)

Com o intuito de evitar alguns problemas identificados no preenchimento do primeiro questionário (teste), o segundo questionário (pós-teste) foi elaborado na plataforma “Google Forms”. Nesse caso, os discentes preencheram o questionário através do uso dos seus aparelhos celulares. Desse modo, foram registradas ao todo 37 respostas e não foi necessário descartar nenhuma delas, como ocorreu na aplicação do primeiro questionário. O preenchimento do questionário pode ser visualizado na figura 19.

Figura 19: Aplicação do questionário número 2.



Fonte: Próprio Autor.

6.4.1 Considerações a Respeito da Aplicação do Segundo Questionário (Pós-teste)

Tratando a respeito da aplicação do segundo questionário, é pertinente afirmar que, de modo geral, a aplicação foi tranquila e com todos os estudantes participando do momento. No entanto, existem algumas questões que devem ser destacadas.

A primeira delas é o fato da presença de alguns alunos novatos nas turmas, sendo assim, esses estudantes não acompanharam a aplicação do produto, mesmo assim, a fim de não serem excluídos do momento da aula, eles também responderam ao questionário.

Outro ponto que deve ser mencionado reside no fato de alguns alunos terem utilizado inteligência artificial para responder algumas questões; mesmo diante da orientação de que se tratava de uma pesquisa de mestrado e que o objetivo era a obtenção de dados significativos para o propósito da pesquisa conduzida, houveram alguns alunos que fizeram uso do recurso da inteligência artificial para registrar suas respostas, o que evidencia uma tendência presente no cenário educacional de utilização da inteligência artificial de maneira inadequada, sendo assim, pode-se ressaltar que esse recurso foi usado inclusive para responder a questão 11, que tratava-se apenas de registrar os pontos positivos e/ou negativos encontrados no livro paradidático. Essas respostas foram excluídas do processo de análise realizado.

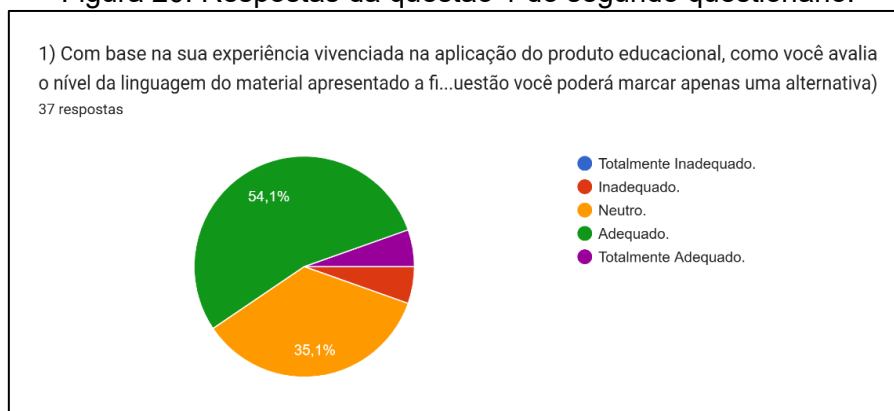
O uso deliberado da inteligência artificial pelos estudantes pode ser sinal de uma aprendizagem mecânica (Moreira, 2012), tendo em vista que a hipótese proposta pela teoria de Ausubel é que a motivação e disponibilidade para integrar conteúdos, nesse caso em particular, no processo da escrita, são condições facilitadoras para a aprendizagem significativa.

6.4.2 Análise das questões de 1 a 3

As questões de 1 a 3 substituíram as questões com mesma numeração do primeiro questionário que foi aplicado anteriormente para os estudantes.

A primeira questão leva em consideração o que os discentes acharam a respeito do nível da linguagem adotada pelo livro paradidático, tendo em vista, que um dos critérios utilizados na elaboração do produto educacional era que ele viesse a apresentar uma linguagem adequada para o seu manuseio em sala de aula e compreensão de um profissional que tivesse uma formação diferente do componente curricular de Física. Tratando-se de uma questão objetiva, onde, se poderia marcar apenas uma das alternativas disponíveis, a maioria dos estudantes (54,1%) considerou que o nível da linguagem do livro paradidático está “Adequado” para a aprendizagem deles, uma característica necessária para um organizador prévio (Jesus e Silva, 2004). É importante ressaltar que houve uma boa quantidade de estudantes (35,1%) que se manteve “neutra” nessa resposta. Os percentuais obtidos podem ser verificados na figura 20.

Figura 20: Respostas da questão 1 do segundo questionário.

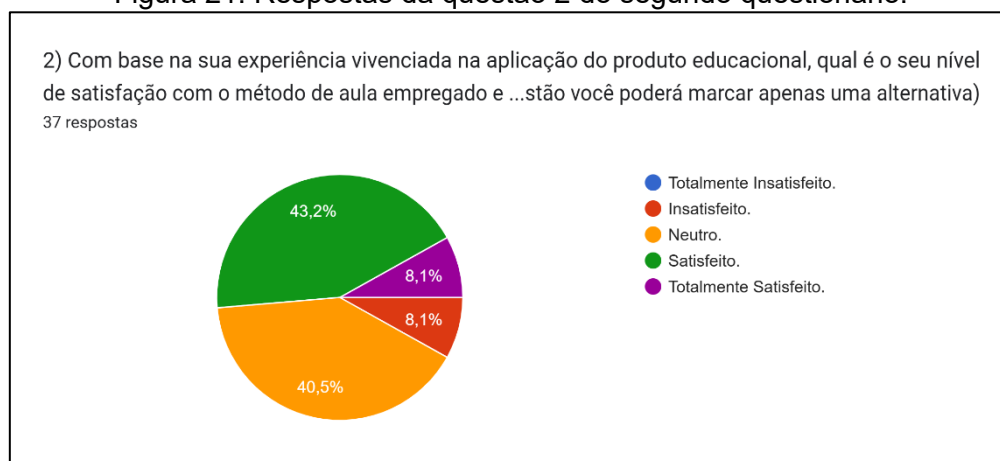


Fonte: Próprio Autor.

A segunda questão, que trata a respeito do nível de satisfação em relação ao método empregado na aula (dinâmica do caixeiro viajante) e dos textos disponibilizados para a leitura, podendo marcar apenas uma das alternativas

disponíveis, teve a maioria dos estudantes (43,2%) se apresentando “satisfeita”; vale ressaltar, que houve uma boa quantidade de discentes (40,5%) que se manteve “neutra”. Esses dados indicam que os organizadores prévios utilizados (Jesus e Silva, 2004) somados com a metodologia empregada na aula foram exitosos. Os percentuais podem ser visualizados na figura 21.

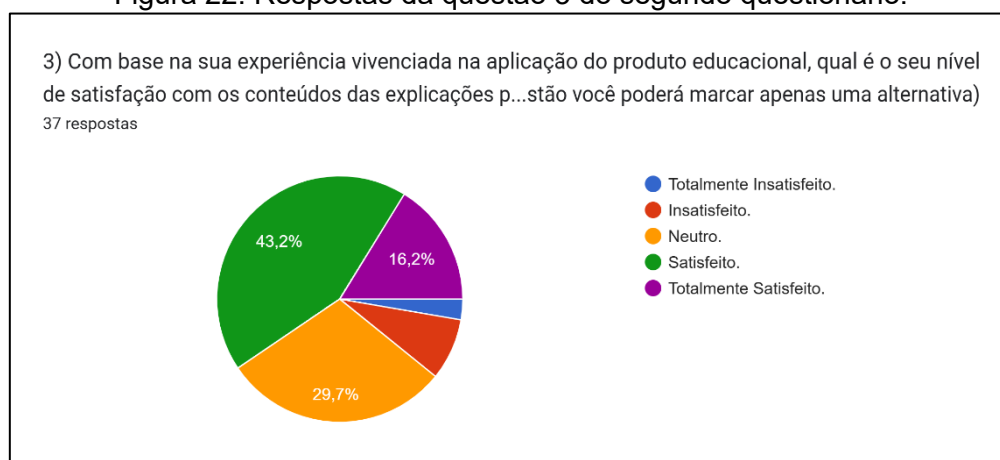
Figura 21: Respostas da questão 2 do segundo questionário.



Fonte: Próprio Autor.

A terceira questão, que tem o intuito de analisar o nível de satisfação com o conteúdo das explicações presentes nas animações, podendo marcar apenas uma das alternativas disponíveis, mostrou que a maioria dos estudantes (43,2%) se mostrou “satisfeita”; além disso, alguns discentes (16,2%) escolheram a opção “totalmente satisfeitos”. Um indicativo de que o uso desse organizador prévio foi bem aceito pelos estudantes (Jesus e Silva, 2004). Os percentuais estão sintetizados na figura 22.

Figura 22: Respostas da questão 3 do segundo questionário.



Fonte: Próprio Autor.

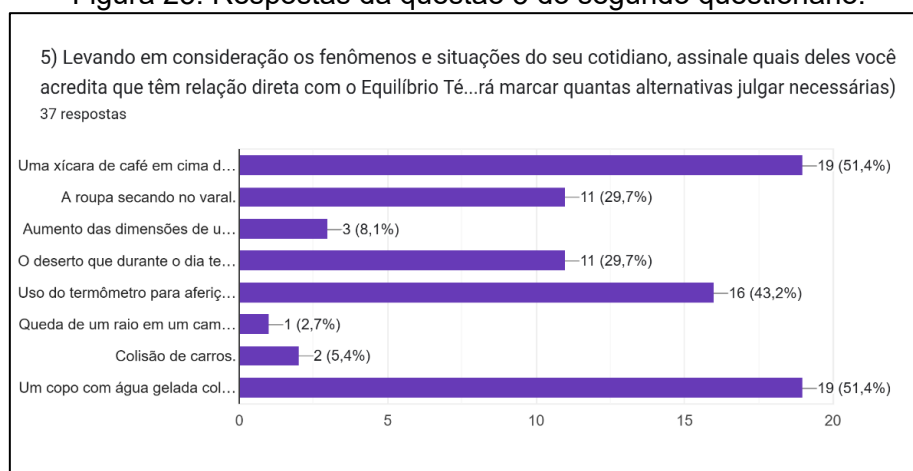
6.4.3 Análise das questões de 4 a 10

As questões que correspondem aos números 4 a 10 foram mantidas com o intuito de comparar as respostas com as apresentadas no primeiro questionário aplicado.

A questão 4 apresentou um aumento nas respostas que indicam dificuldades dos estudantes, o que sugere uma possível aprendizagem mecânica (Moreira, 2012). Algo positivo a destacar foi o fato de essa questão ter apresentado respostas que remetem ao produto educacional; tais respostas falam do uso do termômetro, mencionam a panela de pressão e as máquinas térmicas. Além disso, verificaram-se respostas que indicam que o calor se transfere e que o calor e a temperatura são distintos. Nesse caso, é possível afirmar a existência dos princípios de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa (Moreira, 2012).

Na questão 5, as opções que apresentaram mais marcações continuaram as mesmas, havendo uma pequena redução nas opções “Uma xícara de café em cima da mesa” e “Um copo com água gelada colocado em cima da mesa”, e um aumento na opção “Uso do termômetro para aferição da temperatura”. Levando em consideração a aplicação do produto educacional, o aumento dessa opção marcada pode indicar que ocorreram os processos de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa (Moreira, 2012). Os percentuais podem ser verificados na figura 23.

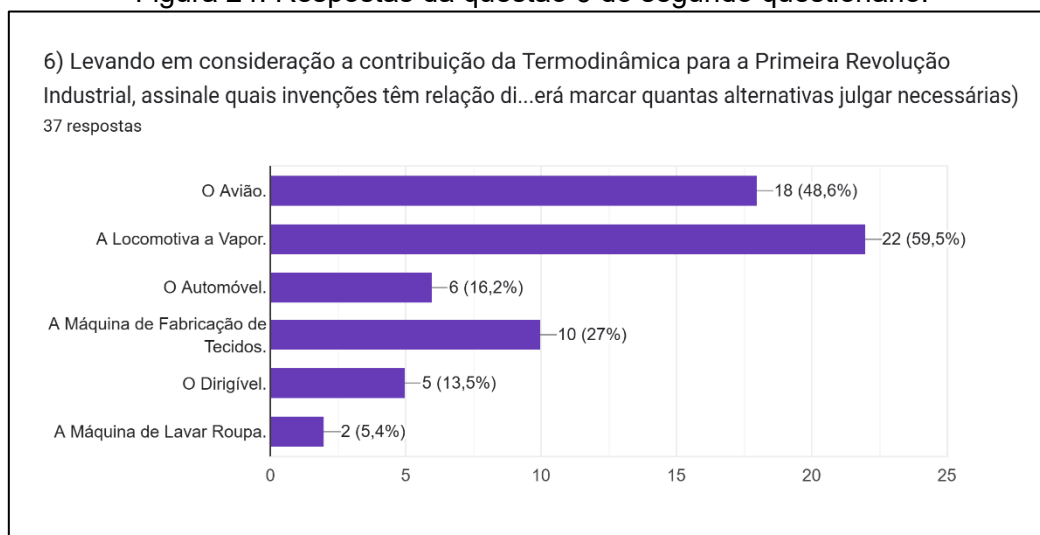
Figura 23: Respostas da questão 5 do segundo questionário.



Fonte: Próprio Autor.

Na questão 6, houve um aumento na marcação da opção “O Avião”, e as opções “A Locomotiva a Vapor” e “A Máquina de Fabricação de Tecidos” apresentaram diminuição no número de alternativas marcadas. O aumento da opção destacada anteriormente é fruto de uma correlação equivocada do avião com a Primeira Revolução Industrial. As porcentagens podem ser verificadas na figura 24.

Figura 24: Respostas da questão 6 do segundo questionário.



Fonte: Próprio Autor.

Em relação à questão 7, houve uma diminuição no número de respostas que indicam dificuldades por parte dos estudantes. Foram registradas algumas respostas que remetem ao período de aplicação do produto educacional (leitura do texto, Dinâmica do Caixeiro Viajante e aula expositiva). São elas: “derretimento do gelo”, “corpo humano e calor” e o fato de não vermos um copo quebrado se tornar novamente um copo inteiro. Além disso, foram registradas respostas que relacionam a Segunda Lei da Termodinâmica com a Entropia, vinculando-as com o resfriamento do café, gasto de energia ao arrumar o quarto e o fato de uma máquina a vapor não ser 100% eficiente. A partir dos registros dessas respostas temos indícios de que ocorreu o processo de reconciliação integradora (Moreira, 2012).

Se referindo a questão 8, percebeu-se diminuição na quantidade de respostas que indicam dificuldades por parte dos estudantes e o registro de respostas (mesmo com erros na forma de se expressar) que tratam a respeito da Lei Zero da Termodinâmica, afirmando que a temperatura de dois sistemas

ou objetos é a mesma e que se trata de uma tendência natural a se alcançar. A maneira em que a lei zero é apresentada nas respostas, apontando para sua importância basilar, é indicativa da ocorrência do processo de diferenciação progressiva (Moreira, 2012).

No que diz respeito à questão 9, houve uma diminuição no número de respostas que indicam dificuldades por parte dos estudantes. Além disso, verificou-se o registro de algumas respostas que remetem à aplicação do produto educacional: associação da entropia à desordem, degradação da energia útil e o fato de a desordem sempre aumentar conforme os processos naturais. Por fim, percebeu-se o registro de respostas que relacionaram a Segunda Lei da Termodinâmica à impossibilidade de uma máquina térmica ter 100% de rendimento, ao calor transferir-se de forma espontânea e à ordem da transferência ser do corpo quente para o corpo frio. Os conteúdos das respostas apresentadas são indicativos da ocorrência do processo de diferenciação progressiva (Moreira, 2012).

Finalmente, a questão 10 mostrou-se com diminuição no quantitativo de respostas que indicam dificuldades por parte dos estudantes; percebeu-se a presença de respostas vinculadas ao período de aplicação do produto educacional: derretimento do gelo, associação da energia e de objetos com a desorganização e a impossibilidade de viagem no tempo (estabelecendo um vínculo entre o tempo e Entropia). Além disso, verificou-se o registro de respostas que associam o conceito físico de entropia à desordem e à aleatoriedade, à tendência natural e à indisponibilidade de energia útil. As respostas apresentadas, destacando uma que propôs a correlação entre a entropia e o tempo, indicam a ocorrência de processos de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa (Moreira, 2012).

Analisando as questões de 7 a 10, com exceção da questão 8, é perceptível a influência positiva do produto educacional na resposta dos estudantes, indicando a possibilidade de um material paradidático ser utilizado como organizador prévio (Jesus e Silva, 2004), aliado do professor na sua ação pedagógica.

6.4.4 Análise da questão 11

A última questão do segundo questionário não constava no questionário anterior e foi inserida com o objetivo de obter informações sobre a percepção dos estudantes em relação ao produto educacional.

Alguns estudantes gostaram da Dinâmica do Caixeiro Viajante, aplicada no segundo encontro com as turmas, o que indica o interesse em propostas didáticas que fomentem o protagonismo deles. Também foram verificados registros de discentes que gostaram da explicação da aula expositiva, realizada no terceiro encontro com as turmas, o que aponta para o fato de que a aula expositiva também pode ter resultados exitosos e dignos de serem pontuados.

Por fim, alguns estudantes fizeram comentários positivos sobre o uso de QR Codes, inclusive apresentaram sugestões de melhoria, o que mostra que propostas pedagógicas que utilizam da tecnologia como recurso auxiliar podem ter resultados promissores no que diz respeito à promoção de uma aprendizagem significativa.

6.5 Comparando resultados

A seguir, na Tabela 3, serão apresentadas as informações das questões 4, 7, 8, 9 e 10, considerando os questionários aplicados.

Tabela 3: Síntese das informações presentes no questionário 1 (teste) e no questionário 2 (pós-teste).

Questão	Quantitativo de Questões		
	Respostas que indicam dificuldades (Teste)	Respostas que indicam dificuldades (Pós-Teste)	Respostas que remetem ao período de aplicação do Produto Educacional
4	4	12	5
7	23	18	5
8	28	21	0
9	24	23	2
10	25	20	3

Fonte: Próprio Autor.

A partir da análise das informações apresentadas na Tabela 3, é válido afirmar que após o período de aplicação do produto educacional, houve uma redução nas respostas (com exceção da questão 04) que indicam dificuldades por parte dos estudantes, e, com exceção da questão 08, foram encontradas

respostas em cada questão onde foi possível estabelecer correlações com as etapas de aplicação do produto educacional (leitura dos textos, aplicação da Dinâmica do Caixeiro Viajante e aula expositiva). Portanto, é possível afirmar que o produto educacional, inserido na rotina escolar dos estudantes, consolidou os conhecimentos prévios e proporcionou novas aprendizagens sobre a temática das Leis da Termodinâmica. Isto pode indicar a ocorrência de aprendizagem significativa, conforme Moreira (2012).

De modo geral, as informações obtidas a partir dos dados qualitativos e quantitativos sugerem que o produto educacional aplicado promoveu aprendizagem significativa segundo Ausubel, tendo em vista a ativação de subsunçores, a utilização de organizadores prévios que se mostraram eficientes e indícios da ocorrência dos processos de Diferenciação Progressiva e Reconciliação Integrativa. Mesmo havendo a ocorrência de aprendizagem mecânica, sobretudo nas questões que demandaram argumentação e escrita, contudo, os resultados reforçam que conforme defendido por Ausubel, a organização intencional do conteúdo por parte do professor aliada com a pré-disposição do estudante são de suma importância para a promoção de uma melhor aprendizagem.

7. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

Após decorridas as etapas que nortearam o processo de pesquisa, percebe-se que os estudantes apresentaram e ainda apresentam conhecimentos prévios sobre os conteúdos de termodinâmica. No que tange às dificuldades de escrita, é válido afirmar que não se trata de um problema restrito à área das Ciências da Natureza, e, mais precisamente, à Física. Pelo contrário, refere-se a um problema generalizado no contexto da educação nas esferas nacional e estadual (BRASIL, 2021), no qual o fomento da leitura é visto como uma alternativa interessante para auxiliar na superação gradual dessa problemática. Nesse caso, o livro paradidático aplicado na rotina escolar dos estudantes mostra-se como um possível aliado da aprendizagem e incentivador da prática da leitura no cotidiano dos discentes.

Além disso, o relato do uso da inteligência artificial para responder às questões do segundo questionário, mesmo os estudantes sendo orientados de que se tratava de uma pesquisa e as respostas deviam partir da compreensão deles, indica a existência de um problema nocivo no contexto da educação: o mau uso das tecnologias digitais. Tornando-se cada vez mais pertinente uma intervenção pedagógica em relação a esse problema, discutindo com os discentes o uso adequado e inadequado dos recursos tecnológicos para a produção acadêmica, respeitando os devidos limites éticos associados ao uso de tais recursos, onde, um dos caminhos que podem ser apontados é o da prudência e discernimento, considerando-os como ferramentas potencializadoras da aprendizagem humana e não um fim em si mesmos. Inclusive, é importante destacar que a Base Nacional Comum Curricular advoga a favor da educação digital, de modo que a sua competência geral número 5 se encarrega disso.

Com relação à implementação do livro paradidático na rotina escolar dos discentes, foi verificado que ele teve uma influência benéfica nas respostas dos estudantes, como pode ser verificado na tabela 3. Ocorreu uma redução nas respostas que indicam dificuldades por parte dos estudantes em todas as questões, exceto da questão 4. Além disso, houveram respostas que remeteram ao uso do produto educacional em todas as questões, exceto a questão 8.

No que diz respeito ao conteúdo do livro paradidático, os estudantes encontrarão um material que visa aguçar a curiosidade deles, incentivar o uso mais consciente dos recursos tecnológicos (vendo-os como instrumentos potencializadores da aprendizagem, nesse caso, principalmente as animações) e com uma linguagem acessível. Estará à disposição dos professores um material que os auxilie no planejamento e na ministração de suas aulas, considerando-o mais uma ferramenta pedagógica entre as muitas que estão à disposição dos professores.

Por fim, por meio desse livro paradidático, escrito na área da Termodinâmica, tem-se a intenção de trazer outro olhar sobre a Física, ou seja, um componente curricular que não se restringe apenas aos cálculos matemáticos, mas que está presente em nosso cotidiano e é composto por uma beleza inerente a ele. Além disso, tem-se como perspectiva, a partir dessa produção escrita, que ela venha a motivar a elaboração, em maior escala, de outros materiais dessa natureza no contexto educacional: paradidáticos e divulgadores da ciência em geral, fortalecendo o ensino e a aprendizagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUSUBEL, D. **biografia, teoria, contribuições, obras**. Maestrovirtuale.com, 2023. Disponível em: <<https://maestrovirtuale.com/david-ausubel-biografia-teoria-contribuicoes-obras/>>. Acesso em: 28 de setembro de 2023.

AUSUBEL, D. P., NOVAK, J. D., HANESIAN, H. **Psicologia educacional**. Tradução Eva Nick. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

BATISTA, D. P. **Impactos do COVID 19 na desigualdade entre as redes privadas e públicas de ensino. 2024.**

BRAGA, Francisco Levi Pereira; NUNES, Luciana Angélica da Silva. Elaboração e Utilização de um Livro Paradidático para uma Abordagem Conceitual do Modelo Padrão de Física de Partículas.

BRASIL. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep). **Resumo Técnico: Censo Escolar da Educação Básica 2021**. Brasília, DF: Inep, 2021.

BRASIL. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep). **Censo da Educação Básica 2023: notas estatísticas**. Brasília, DF: Inep, 2024.

BRASIL. **Lei de diretrizes e bases da educação nacional**. – 2. ed. – Brasília: Senado Federal, Coordenação de Edições Técnicas, 2018a.

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

BRASIL. Ministério de Educação e Cultura. **LDB - Lei nº 9394/96**, de 20 de dezembro de 1996.

BRASIL. Secretaria de Educação Fundamental. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Matemática** / Secretaria de Educação Fundamental. - Brasília: MEC / SEF, 1998.

Busca Ativa Escolar, disponível em: <<https://buscaativaescolar.org.br/>> Acesso em: 28 de outubro de 2024.

CARVALHO, L. O. R. et al. **Metodologia Científica - Teoria e Aplicação na Educação a Distância** – Petrolina – PE, 2019 (Livro Digital).

COSTA, Helton Tompson Lima; RODRIGUES, Micaías Andrade. Textos paradidáticos no Ensino de Física: uma proposta metodológica. **Revista Researchgate**, p. 121-140, 2018.

DE SOUZA, D. S. C., SILVA, B. V. C. **Termodinâmica e Revolução Industrial: Uma abordagem por meio da História e da Epistemologia da Ciência**. Latin-American Journal of Physics Education, v. 15, n. 1, p. 14, 2021.

GOMES, A. P. et al. **Ensino de ciências: dialogando com David Ausubel**. Revista Ciências & Ideias ISSN: 2176-1477, v. 1, n. 1, p. 23-31, 2009.

GONZAGA, M. **História da ciência e ensino de física: uma análise de livros didáticos após a base nacional comum curricular**. 2024.

HALLIDAY, D., RESNICK, R., WALKER, J. **Fundamentos de Física, volume 2: gravitação, ondas e termodinâmica**; tradução e revisão técnica Ronaldo Sérgio de Biasi. 8. Ed. – Rio de Janeiro: LTC, 2009.

JESUS, M. de; SILVA, R. C. O. **A Teoria de David Ausubel—O uso dos organizadores prévios no ensino contextualizado de funções**. VII Encontro Nacional de Educação Matemática—2004, 2004.

KOCHE, J. C. **Fundamentos de Metodologia Científica: teoria da Ciência e Iniciação à Pesquisa**. 34. Ed. – Petrópolis, RJ: Vozes, 2011.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. de A. **Metodologia científica: ciência e conhecimento científico, métodos científicos, teoria, hipóteses e variáveis**. 2. Ed. rev. e ampl. São Paulo (SP): Atlas, 1991. 249p.

LUZ, A. M. R., ÁLVARES, B. A. **Física**, volume 2. 1. Ed. – São Paulo: Scipione, 2006.

MEDEIROS, J. B. **Redação Científica: Prática de Fichamentos, Resumos, Resenhas**. 13. Ed. – São Paulo: Atlas, 2019.

MENDES, J. de S. C. **A avaliação dos resultados do IDEB e as políticas públicas adotadas pelo Sistema Educacional**. Revista Científica FESA, v. 3, n. 11, p. 99-109, 2023.

MOREIRA, M. A. **A Teoria da Aprendizagem Significativa: subsídios teóricos para o professor pesquisador em ensino de Ciências**. Porto Alegre, RS: Brasil, 2016.

MOREIRA, M. A. **Mapas conceituais e aprendizagem significativa**. 2012a.

MOREIRA, M. A. **O que é afinal Aprendizagem significativa?** Aula Inaugural do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais, Instituto de Física, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, MT, 23 de abril de 2010. **Curriculum, La Laguna, Espanha**, 2012b.

NEVES e DOMINGUES - **Manual de Metodologia da Pesquisa Científica** - Rio de Janeiro: EB/CEP, 2007.

NOGUEIRA, M. R. A. **Sequência didática para abordagem da Segunda Lei da Termodinâmica no ensino médio**. 2020.

OLIVEIRA, E. R., PINHEIRO, A. R. C., LIMA, C. H. M. **Quiz com Aplicativo Socrative para o Desenvolvimento de Conceitos de Física Moderna**. Revista do Professor de Física, v. 6, n. 3, p. 12-32, 2022.

PELIZZARI, A; KRIEGL, M. L; BARON, M. P; FINCK, N. T. L; DOROCINSKI, S. **I. Teoria da Aprendizagem Significativa Segundo Ausubel**. Rev. PEC, Curitiba, v.2, n.1, p.37-42, jul. 2001-jul. 2002.

PEREIRA, A. C.; PINHEIRO, A. R. C. **UMA DIDÁTICA EXPERIMENTAL NO PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM DE CINEMÁTICA NO 1º ANO DO ENSINO MÉDIO**. REAMEC - Rede Amazônica de Educação em Ciências e Matemática, Cuiabá, Brasil, v. 8, n. 2, p. 272–289, 2020.

PIRES, A. S. T. **Evolução das Idéias da Física**. 2. Ed. – São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.

REIS, Wellington Dutra dos; OLIVEIRA, Alexandre Lopes de; ARAÚJO, Flávia Monteiro de Barros. **Concepções de Termodinâmica e Experimentação em Livros Didáticos do Ensino Médio**. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC – 3 a 6 de julho de 2017.

ROCHA, J. F. M. et al. **Origens e Evolução das Ideias da Física**, 2. Ed. Salvador: EDUFBA, 2015.

RODRIGUES, A. de J. **Metodologia Científica**, 4. ed., rev., ampl. – Aracaju: Unit, 2011.

RONCA, A. C. C. **Teorias de Ensino: A Contribuição de David Ausubel**. Temas em Psicologia (1994), N° 03.

SARTORI, R. V. - **Novas linguagens e tecnologias educacionais**. 1. ed. - Curitiba [PR]: IESDE Brasil, 2018.

SILVA, S. de C. R.; SCHIRLO, A. C. **Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel: Reflexões Para o Ensino de Física Ante a Nova Realidade Social**. Imagens da Educação, v. 4, n. 1, p. 36-42, 2014.

SOUZA, Aguinaldo Robinson de; NEVES, Laura Aparecida dos Santos. O livro paradidático no ensino de Física: uma análise fabular, científica e metafórica da obra Alice no País do Quantum: A Física Quântica ao alcance de todos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 33, n. 3, p. 1145-1160, 2016.

TAQUETTE, S. R.; BORGES, L. **Pesquisa qualitativa para todos**. Editora Vozes, 2021.

VYGOTSKY, L.S. **Psicologia Pedagógica**. São Paulo: Martins Fontes, 2001.

APÊNDICES

Apêndice A – Questionários

QUESTIONÁRIO Nº 1 - TESTE

Caro estudante, este questionário faz parte de um levantamento de informações realizado pelo mestrando **Bruno de Lima Torres**, discente do Mestrado Nacional Profissional no Ensino de Física (**MNPEF**). A finalidade desse documento é buscar subsídios para o entendimento da sua compreensão a respeito do conteúdo de Termodinâmica, uma importante área de estudo da Física, a respeito de como você tem feito uso das tecnologias digitais, além de respaldar a prática de metodologias de ensino que visem assegurar uma melhor aprendizagem. Suas respostas são importantes para compormos um quadro avaliativo da situação e dos desafios enfrentados no seu cotidiano de estudante. Os dados que nos forem apresentados neste questionário não serão divulgados individualmente, sendo tratados somente por processos estatísticos e relatórios analíticos. Desde já agradecemos a sua colaboração e nos colocamos a sua disposição para quaisquer dúvidas e/ou informações complementares.

As questões serão de tipos diversificados, contendo questões onde será possível a marcação das alternativas que julgar pertinentes; questões onde será possível a marcação de apenas uma alternativa; por fim, questões onde você poderá registrar por escrito aquilo que julgar necessário para a resposta. **No final de cada questão haverá um texto em negrito semelhante a esse, visando orientá-lo sobre como a questão deve ser respondida.**

QUESTÕES

1) O que você costuma fazer em seu tempo livre? **(Para essa questão você poderá marcar quantas alternativas julgar necessárias)**

- a) Ler Livros.
- b) Assistir Televisão.
- c) Utilizar o computador.
- d) Sair com amigos.
- e) Estar com a família.

2) O que você costuma fazer com mais frequência quando está usando tecnologias digitais (aparelho celular, tablet, notebook, computador entre outros)? **(Para essa questão você irá marcar apenas uma das alternativas disponíveis)**

- a) Jogar.
- b) Ficar nas redes sociais (WhatsApp, Facebook, Instagram entre outras).
- c) Assistir vídeos e séries de entretenimento.
- d) Estudar.
- e) Não faço uso de tecnologias digitais.

3) Levando em consideração as aulas ministradas ao longo do ano letivo, como você avalia o uso dos recursos tecnológicos pelos professores nas suas aulas (datashow, pesquisa nos celulares, uso de aplicativos, uso de simuladores entre outros)? **(Para essa questão você irá marcar apenas uma das alternativas disponíveis)**

- a) Os professores utilizam os recursos tecnológicos com muita frequência.
- b) Os professores utilizam os recursos tecnológicos com pouca frequência.
- c) Os professores não utilizam recursos tecnológicos.
- d) Não sei opinar diante dessa afirmação.

4) Levando em consideração os fenômenos e situações que você conhece no seu cotidiano, diga quais deles você acredita que têm alguma relação com os conceitos físicos de calor e temperatura? **(Para essa questão você irá escrever a resposta que considerar mais adequada)**

5) Levando em consideração os fenômenos e situações do seu cotidiano, assinale quais deles você acredita que têm relação direta com o Equilíbrio Térmico? **(Para essa questão você poderá marcar quantas alternativas julgar necessárias)**

- a) Uma xícara de café em cima da mesa que esfria com o passar do tempo.
- b) A roupa secando no varal.
- c) Aumento das dimensões de uma barra de ferro quando aquecida.
- d) O deserto que durante o dia tem uma temperatura muito alta e à noite tem uma temperatura baixíssima.
- e) Uso do termômetro para aferição da temperatura.
- f) Queda de um raio em um campo aberto.
- g) Colisão de carros.
- h) Um copo com água gelada colocado em cima da mesa que esquenta com o passar do tempo.

6) Levando em consideração a contribuição da Termodinâmica para a Primeira Revolução Industrial, assinale quais invenções têm relação direta com esse período histórico? **(Para essa questão você poderá marcar quantas alternativas julgar necessárias)**

- a) O avião.
- b) Locomotiva a vapor.
- c) O Automóvel.
- d) Máquina de fabricação de tecidos.

e) O dirigível.

f) Máquina de lavar roupa.

7) Levando em consideração os fenômenos e situações que você já presenciou no seu cotidiano, diga quais deles você acredita que têm alguma relação com a Segunda Lei da Termodinâmica e Entropia? **(Para essa questão você irá escrever a resposta que considerar mais adequada)**

8) Explique o Princípio do Equilíbrio Térmico ou Lei Zero da Termodinâmica com as suas palavras. **(Para essa questão você irá escrever a resposta que considerar mais adequada, podendo inclusive utilizar exemplos para auxiliar na sua resposta)**

9) Explique a Segunda Lei da Termodinâmica com as suas palavras. **(Para essa questão você irá escrever a resposta que considerar mais adequada, podendo inclusive utilizar exemplos para auxiliar na sua resposta)**

10) Explique o conceito de Entropia com as suas palavras. **(Para essa questão você irá escrever a resposta que considerar mais adequada, podendo inclusive utilizar exemplos para auxiliar na sua resposta)**

QUESTIONÁRIO Nº 2 – PÓS-TESTE

Caro estudante, este questionário faz parte de um levantamento de informações realizado pelo mestrando **Bruno de Lima Torres**, discente do Mestrado Nacional Profissional no Ensino de Física (**MNPEF**). A finalidade desse documento é buscar subsídios para o entendimento da sua compreensão a respeito do conteúdo de Termodinâmica, uma importante área de estudo da Física, além de respaldar a prática de metodologias de ensino que visem assegurar uma melhor aprendizagem. Suas respostas são importantes para compormos um quadro avaliativo da situação e dos desafios enfrentados no seu cotidiano de estudante. Os dados que nos forem apresentados neste questionário não serão divulgados individualmente, sendo tratados somente por processos estatísticos e relatórios analíticos. Desde já agradecemos a sua colaboração e nos colocamos a sua disposição para quaisquer dúvidas e/ou informações complementares.

As questões serão de tipos diversificados, contendo questões onde será possível a marcação das alternativas que julgar pertinentes; questões onde será possível a marcação de apenas uma alternativa; por fim, questões onde você poderá registrar por escrito aquilo que julgar necessário para a resposta. *No final de cada questão haverá um texto em itálico semelhante a esse, visando orientá-lo sobre como a questão deve ser respondida.*

QUESTÕES

1) Com base na sua experiência vivenciada na aplicação do produto educacional, como você avalia o nível da linguagem do material apresentado a fim de favorecer a sua aprendizagem? *(Para essa questão você poderá marcar apenas uma alternativa)*

- a) Totalmente inadequada.
- b) Inadequada.
- c) Neutro.
- d) Adequada.
- e) Totalmente adequada.

2) Com base na sua experiência vivenciada na aplicação do produto educacional, qual é o seu nível de satisfação com o método de aula empregado e o material disponibilizado? *(Para essa questão você poderá marcar apenas uma alternativa)*

- a) Totalmente insatisfeito.
- b) Insatisfeito.
- c) Neutro.
- d) Satisfeito.
- e) Totalmente satisfeito.

3) Com base na sua experiência vivenciada na aplicação do produto educacional, qual é o seu nível de satisfação com os conteúdos das explicações presentes nas animações disponibilizadas através dos QR Codes? *(Para essa questão você poderá marcar apenas uma alternativa)*

- a) Totalmente insatisfeito.
- b) Insatisfeito.
- c) Neutro.
- d) Satisfeito.
- e) Totalmente satisfeito.

4) Levando em consideração os fenômenos e situações que você conhece no seu cotidiano, diga quais deles você acredita que têm alguma relação com os conceitos físicos de calor e temperatura? *(Para essa questão você irá escrever a resposta que considerar mais adequada)*

5) Levando em consideração os fenômenos e situações do seu cotidiano, assinale quais deles você acredita que têm relação direta com o Equilíbrio Térmico? *(Para essa questão você poderá marcar quantas alternativas julgar necessárias)*

- a) Uma xícara de café em cima da mesa que esfria com o passar do tempo.
- b) A roupa secando no varal.
- c) Aumento das dimensões de uma barra de ferro quando aquecida.
- d) O deserto que durante o dia tem uma temperatura muito alta e à noite tem uma temperatura baixíssima.
- e) Uso do termômetro para aferição da temperatura.
- f) Queda de um raio em um campo aberto.
- g) Colisão de carros.
- h) Um copo com água gelada colocado em cima da mesa que esquenta com o passar do tempo.

6) Levando em consideração a contribuição da Termodinâmica para a Primeira Revolução Industrial, assinale quais invenções têm relação direta com esse período histórico? *(Para essa questão você poderá marcar quantas alternativas julgar necessárias)*

- a) O avião.
- b) Locomotiva a vapor.
- c) O Automóvel.
- d) Máquina de fabricação de tecidos.
- e) O dirigível.
- f) Máquina de lavar roupa.

7) Levando em consideração os fenômenos e situações que você já presenciou no seu cotidiano, diga quais deles você acredita que têm alguma relação com a Segunda Lei da Termodinâmica e Entropia? *(Para essa questão você irá escrever a resposta que considerar mais adequada)*

8) Explique o Princípio do Equilíbrio Térmico ou Lei Zero da Termodinâmica com as suas palavras. *(Para essa questão você irá escrever a resposta que considerar mais adequada, podendo inclusive utilizar exemplos para auxiliar na sua resposta)*

9) Explique a Segunda Lei da Termodinâmica com as suas palavras. *(Para essa questão você irá escrever a resposta que considerar mais adequada, podendo inclusive utilizar exemplos para auxiliar na sua resposta)*

10) Explique o conceito de Entropia com as suas palavras. *(Para essa questão você irá escrever a resposta que considerar mais adequada, podendo inclusive utilizar exemplos para auxiliar na sua resposta)*

11) Com base na sua experiência vivenciada na aplicação do produto educacional, faça um comentário destacando um ou mais ponto(s) positivo(s) e/ou negativos(s) que você julgar pertinentes em relação ao produto educacional. *(Para essa questão você irá escrever a resposta que considerar mais adequada)*

Apêndice B – Sequência Didática

ESCOLA ESTADUAL GLORIA PÉREZ

PROFESSOR(A): Bruno de Lima Torres	COMPONENTE CURRICULAR: Física	SÉRIE: 2ª	TURMAS: A e D
COORDENADOR(A): Adailson Batista/André Andrade	CARGA HORÁRIA PREVISTA: 4 h	PERÍODO DE EXECUÇÃO:	

DELIMITAÇÃO TEMÁTICA

COMPETÊNCIA ESPECÍFICA [1]

Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global.

HABILIDADE: (EM13CNT102)

(EM13CNT102) Realizar previsões, avaliar intervenções e/ou construir protótipos de sistemas térmicos que visem à sustentabilidade, considerando sua composição e os efeitos das variáveis termodinâmicas sobre seu funcionamento, considerando também o uso de tecnologias digitais que auxiliem no cálculo de estimativas e no apoio à construção dos protótipos.

OBJETOS DE CONHECIMENTO

Leis da Termodinâmica:

- Lei Zero da Termodinâmica;
- Primeira Lei da Termodinâmica;
- Segunda Lei da Termodinâmica.

SITUAÇÕES DE APRENDIZAGENS

AULA 01

Carga horária [60] min.

1º MOMENTO:

Apresentar-se à turma e falar brevemente a respeito do Mestrado Nacional Profissional no Ensino de Física (MNPEF) e da aplicação do produto que acontecerá com os estudantes da turma.

2º MOMENTO:

Orientar os estudantes a respeito de como proceder no preenchimento do questionário. Em seguida, o questionário será aplicado para os estudantes. O questionário está disponível no **Apêndice A**.

3º MOMENTO:

Divisão de grupos: a turma será dividida em seis grupos; a finalidade dos grupos é para trabalharem todo o conteúdo do produto educacional do mestrado, pois, tratasse de um livro paradidático na área de

Termodinâmica composto por 05 capítulos. Cada grupo irá trabalhar com um dos capítulos do livro, com exceção do quinto capítulo, que por ser o mais extenso deles, será dividido para os grupos 05 e 06.

Obs: Os textos serão disponibilizados com antecedência para os grupos, sendo possível a leitura tanto na sua forma impressa e com auxílio da leitura de QR Code pelo celular e no formato digital.

AULA 02

Carga horária [60] min.

1º MOMENTO:

Os alunos serão organizados em grupos conforme a organização realizada na aula anterior. Após a organização dos grupos, será trabalhada a dinâmica do caixeiro viajante. Para detalhes sobre a dinâmica do caixeiro viajante, consulte o **Anexo 1**.

2º MOMENTO:

Aplicação da dinâmica do caixeiro viajante: Inicialmente, será explicado o funcionamento da dinâmica aos estudantes, o que levará cerca de 10 minutos. Em seguida, serão realizados cinco giros com o carteiro viajante, com 5 minutos para cada giro. Por último, o carteiro viajante retorna para o seu grupo inicial para receber as informações dos colegas. Essa ação levará cerca de 10 minutos.

AULA 03

Carga horária [60] min.

1º MOMENTO:

Inicialmente será explicado à turma que se trata de uma aula expositiva e em alguns momentos eles terão que fazer uso dos aparelhos celulares para acessar as animações via QR Code.

2º MOMENTO:

Aula expositiva: serão abordadas a Lei Zero da Termodinâmica, a Primeira Lei da Termodinâmica e a Segunda Lei da Termodinâmica. O conteúdo da aula será apresentado com o auxílio dos capítulos que irão ser reunidos para a formação do livro paradidático “Termodinâmica em Tópicos”, produto educacional correspondente ao Mestrado Nacional Profissional no Ensino de Física (MNPEF).

A aula foi desenvolvida por meio do uso de slides (**material disponível no Anexo 2**), inclusive, é importante destacar que em algumas lâminas do material foram disponibilizadas algumas animações presentes nos capítulos do livro paradidático por meio do QR Code, onde, a intenção é complementar a explicação da aula e submetê-los a análise dos alunos, tendo em vista, que em um momento posterior será aplicado um novo questionário, e, parte do questionário irá verificar a percepção que os estudantes tiveram das animações que fazem parte do livro paradidático.

AULA 04**Carga horária** [60] min.**1º MOMENTO:**

Retorno às turmas para aplicação do questionário número 2 (**disponível no Apêndice A**). Nesse momento, será explicado para os estudantes como proceder em relação ao preenchimento do questionário e serão tiradas as possíveis dúvidas.

2º MOMENTO:

O questionário número 2 será aplicado para os estudantes. Será utilizada a ferramenta “Google Forms” para efetuar o preenchimento do questionário, e os estudantes poderão colocar as suas respostas por meio dos seus smartphones ou em computadores no laboratório de informática.

ATITUDINAL ENVOLVIDO NAS SITUAÇÕES DE APRENDIZAGENS	INSTRUMENTOS DE AVALIAÇÃO	RECURSOS
- Trabalho em equipe para fortalecimento do espírito gregário e fomento da aprendizagem colaborativa. - Respeito mútuo.	Participação dos estudantes durante as aulas e atividades propostas.	- Notebook; - Data Show; - Textos impressos.

DEVOLUTIVA DA COORDENAÇÃO PEDAGÓGICA

Assinatura do(a) Coordenador(a)	Assinatura do(a) Professor(a)

ANEXOS

ANEXO 1 – DINÂMICA DO CAIXEIRO VIAJANTE

Dinâmica do Caixeiro Viajante.

A turma é dividida em grupos de acordo com a quantidade de textos ou assuntos disponíveis. Cada grupo irá receber um material, podendo ser combinadas diversas possibilidades: assuntos diferentes para cada texto, abordar um mesmo tema ou assunto em função de vários tipos ou gêneros literários, textos que abordam um mesmo tema ou assunto em visões de mundo opostas ou complementares etc.

Os grupos terão um intervalo de tempo (ex: 10 minutos) para se apropriar do conteúdo do material recebido. Em seguida, irão nomear um componente do grupo para ser o caixeiro viajante, sendo assim, cada grupo terá um caixeiro viajante.

Em seguida, os caixeiros viajantes irão se deslocar em cada grupo em forma de rodízio por períodos de tempos regulares (ex: 5 minutos) e farão a exposição do conteúdo do seu texto para cada grupo. À medida que os caixeiros socializam as suas impressões acerca dos textos, os componentes dos grupos em que os caixeiros se encontram irão fazer as anotações que julgarem pertinentes em seus cadernos de forma individualizada. Essas anotações podem ser realizadas em forma de tópicos, mapa conceitual ou texto corrido.

Terminado o período de rodízio, os caixeiros viajantes irão regressar para os seus respectivos grupos. Nesse momento, os componentes dos grupos irão socializar com os caixeiros viajantes os seus conhecimentos que estão registrados nas anotações que foram realizadas no momento do rodízio.

Desse modo, todos os estudantes irão se envolver de forma prática com o(s) conteúdo(s) trabalhado(s) em sala de aula.

ANEXO 2 – MATERIAL DA AULA EXPOSITIVA



0 LEI ZERO DA TERMODINÂMICA

- Conceitos físicos de Temperatura e Calor.
- Lei Zero da Termodinâmica.
- Relação entre a Lei Zero da Termodinâmica e os fenômenos naturais.

Temperatura: grandeza física que mede o grau de agitação das moléculas de um corpo.

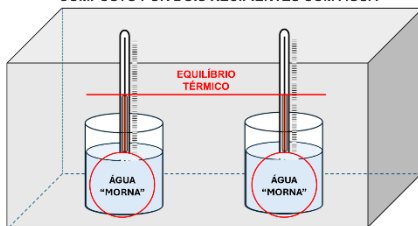
Calor: é uma modalidade especial de energia que é transferida de forma espontânea entre corpos devido a diferença de temperatura entre eles.

Lei Zero da Termodinâmica: dois corpos com diferentes temperaturas em um sistema físico isolado, irão espontaneamente trocar de energia por meio do calor, do que tem maior temperatura para o que tem menor temperatura, até que ambos alcancem a mesma temperatura.

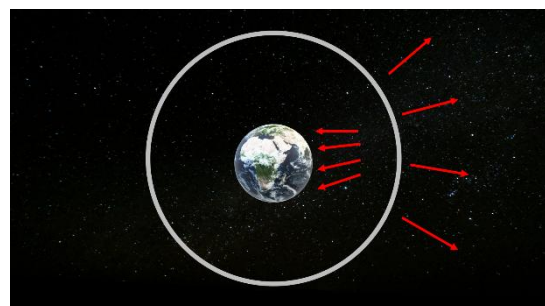
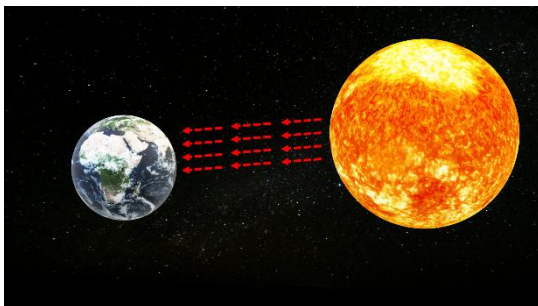
Sistema físico termicamente isolado composto por dois recipientes com água

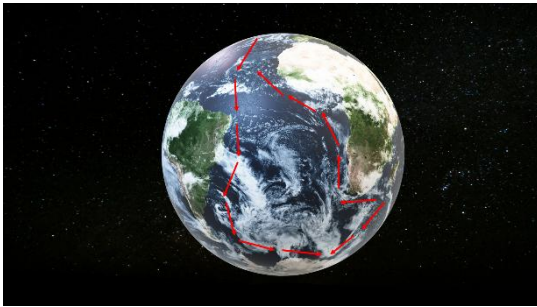
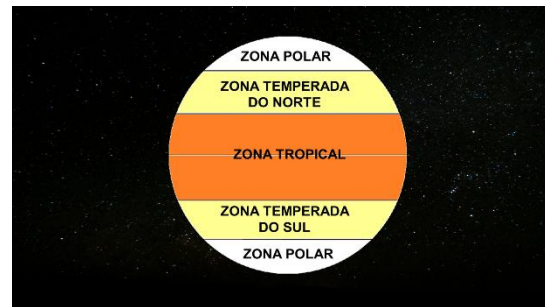
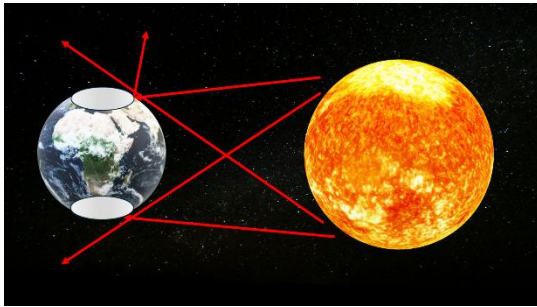
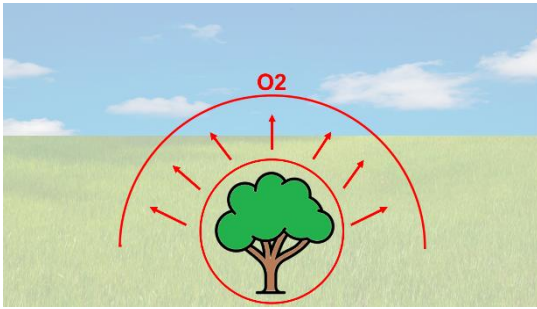
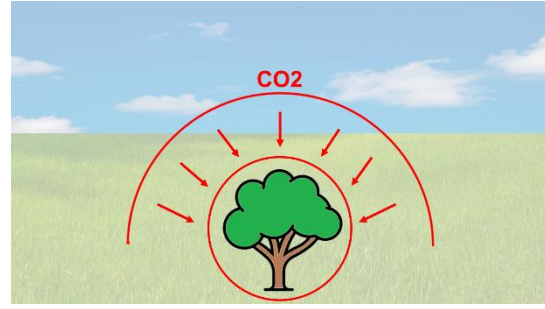
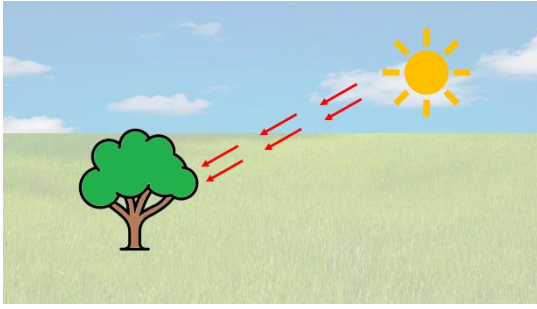


SISTEMA FÍSICO TERMICAMENTE ISOLADO
COMPOSTO POR DOIS RECIPIENTES COM ÁGUA



A Lei Zero da Termodinâmica é uma das leis fundamentais da natureza. Ela rege a dinâmica de funcionamento da natureza e do universo.





1 PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

- Princípio de Conservação da Energia.
- Primeira Lei da Termodinâmica.
- Sistemas Termodinâmicos.
- Painel de Pressão.
- Corpo Humano.

Princípio de Conservação da Energia: a energia não pode ser criada e nem destruída apenas transformada.

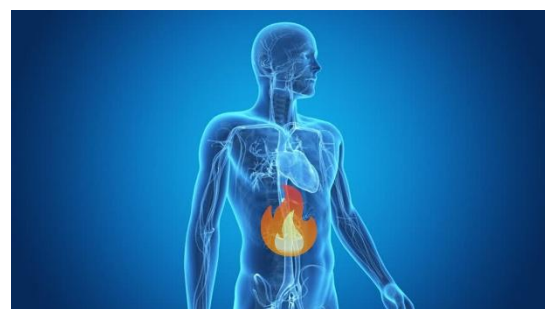
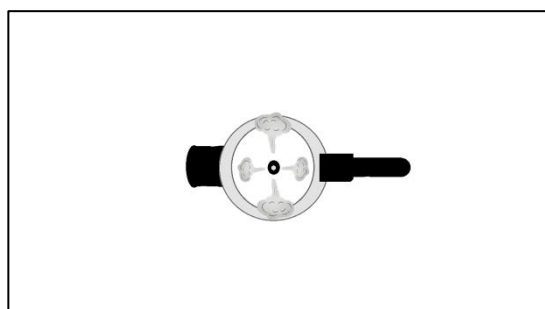
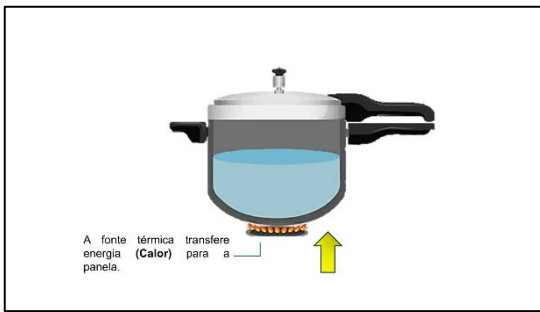
- **Implicação:** toda a energia que existe no universo agora sempre existiu nele desde o seu surgimento.

Primeira Lei da Termodinâmica: é uma extensão do princípio de conservação da energia, relacionando basicamente três modalidades de energias: energia interna, calor e trabalho.

$$\Delta U_{\text{int}} = Q + W + E_{\text{quí}}$$

Sistemas Termodinâmicos – Painel de Pressão





2 SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA E ENTROPIA

- Segunda Lei da Termodinâmica e Entropia.
- Processos reversíveis e irreversíveis.
- Funcionamento do corpo humano.
- Entropia e a Seta do Tempo.
- Entropia e o Fim do Mundo.



Segunda Lei da Termodinâmica: O calor flui **naturalmente** de um reservatório quente para um reservatório frio, mas, nunca o **contrário**. (Clausius)

Segunda Lei da Termodinâmica: É **impossível** transformar completamente uma dada quantidade de calor em trabalho. (Kelvin)

Entropia: é a grandeza física que representa a **degradação do calor**, ao se **propagar de uma fonte quente para uma fonte fria**.

É o **aumento da entropia** ou **degradação do calor**, que é responsável pela dinâmica dos fenômenos na natureza/universo.

Fenômenos Reversíveis e Irreversíveis: Os fenômenos reversíveis são aqueles que tem condições de retornar às condições iniciais, o que é impossível no caso dos fenômenos irreversíveis.

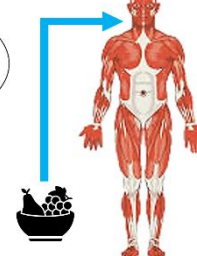
Os Fenômenos Irreversíveis contribuem para o aumento da **degradação do calor**, nesse caso, o **aumento da Entropia**.

Entropia e o Funcionamento do Corpo Humano



Entropia e o Funcionamento do Corpo Humano

Com a Entropia aumentando continuamente, o sistema (corpo humano) está fadado ao colapso, a não ser que ele receba energia proveniente de uma fonte externa a ele, daí a importância da alimentação.



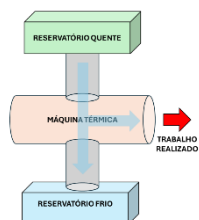
Entropia e a Seta do Tempo – Várias Situações



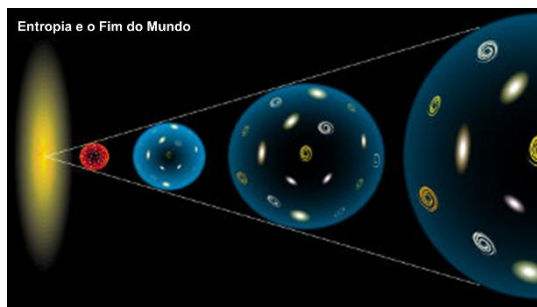
A Seta do Tempo



Entropia e o Fim do Mundo



Entropia e o Fim do Mundo



Apêndice C – Produto Educacional

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

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL DE ENSINO DE FÍSICA

Antonio Romero da Costa Pinheiro
Bruno de Lima Torres

Produto Educacional: Livro Paradidático de Termodinâmica em Tópicos.

Rio Branco, Acre

Março, 2026

Antonio Romero da Costa Pinheiro

Bruno de Lima Torres

Produto Educacional: Livro Paradidático de Termodinâmica em Tópicos.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Romero da Costa Pinheiro

**Parte integrante da dissertação
apresentada ao Programa de
Mestrado Nacional Profissional
em Ensino de Física - MNPEF,
como requisito para a obtenção do
título de Mestre em Ensino de
Física.**

Rio Branco, Acre

Março, 2026

APRESENTAÇÃO

O material que você tem em mãos trata-se de um produto educacional, resultante do período de estudo cursado no Mestrado Nacional Profissional no Ensino de Física (MNPEF), programa de mestrado ofertado pela Sociedade Brasileira de Física (SBF), sendo a Universidade Federal do Acre (UFAC) um dos polos promotores do mestrado.

O produto educacional é composto por uma sequência didática e um livro paradidático. O livro está disponível em formato PDF, mas pode ser impresso. Este documento está organizado da seguinte forma: Livro paradidático; Sequência de didática; Abordagem didática com Aula expositiva; e Abordagem didática com o Caixeiro Viajante, estas últimas como anexo à sequência didática.

Este produto educacional pode ser encarado como um material auxiliar no planejamento e na ministração das suas aulas de termodinâmica no ensino médio, tornando-se mais uma ferramenta pedagógica entre as disponíveis para uso na prática docente. Vale ressaltar que o professor poderá usar o livro na sua integralidade ou em partes. Sendo assim, o professor pode sentir-se à vontade para trabalhar o material à sua preferência, mas, neste documento há uma sequência didática de aplicação em sala de aula, que utiliza a dinâmica do Caixeiro Viajante e a aula expositiva dialogada como abordagens.

Antonio Romero da Costa Pinheiro e Bruno de Lima Torres



Termodinâmica em Tópicos

Bruno de Lima Torres
Antonio Romero da Costa Pinheiro

SUMÁRIO

Lista de Figuras.....	6
Prefácio.....	7
1. Dos Termômetros à Dinâmica de Funcionamento da Natureza.....	10
2. A Panela de Pressão: Um Sistema Termodinâmico do Nosso Cotidiano.....	20
3. A Termodinâmica Cuida da Sua Saúde, Você Deve Fazer o Mesmo.....	25
4. É Comum Vermos Uma Caneca Caindo de Uma Mesa e Quebrando, Por Que Não o Contrário?.....	32
5. Das Máquinas Térmicas ao Fim do Mundo.....	40
Referências Bibliográficas.....	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Desenho de adolescente com febre. Fonte: Meta A.I.	10
Figura 2: Animação – Termoscópio de Galileu. Fonte: Próprio Autor.	11
Figura 3: Animação – Termo Friends. Fonte: Próprio Autor.	12
Figura 4: Animação – Processo de Equilíbrio Térmico. Fonte: Próprio Autor.	15
Figura 5: Animação – A Dinâmica de Funcionamento da Natureza. Fonte: Próprio Autor.	16
Figura 6: O fitoplâncton é formado por um conjunto de micro-organismos fotossintetizantes. Fonte: retirada de Brasil Escola ^[32]	17
Figura 7: Animação – Variação da temperatura de acordo com a altitude. Fonte: Próprio Autor.	21
Figura 8: Animação – Funcionamento da panela de pressão. Fonte: Próprio Autor. ...	23
Figura 9: Animação – Transformação da energia presente no vapor de água que sai da panela de pressão. Fonte: Próprio Autor.	24
Figura 10: Cuidados no manuseio da panela de pressão. Fonte: retirado de Nedo Utilidades Domésticas ^[24]	24
Figura 11: Animação - Corpo Humano e Geração de Energia. Fonte: Próprio Autor. ..	27
Figura 12: Animação – Vias Metabólicas. Fonte: Próprio Autor.	28
Figura 13: Animação – Processos Irreversíveis no Corpo Humano. Fonte: Próprio Autor.	29
Figura 14: Pirâmide Alimentar: Fonte: Retirada de Educação na Mão ^[11]	31
Figura 15: Relógio Despertador. Fonte: Plataforma Bing.	32
Figura 16: Animação – Analisando fenômenos X ordem do tempo. Fonte: Próprio Autor.	33
Figura 17: Animação – Processos de Transformação da Energia. Fonte: Próprio Autor.	35
Figura 18: Animação – A Seta do Tempo. Fonte: Próprio Autor.	38
Figura 19: A cerâmica, uma das atividades mais antigas da história da humanidade, consiste no uso de argila como matéria-prima. Fonte: Meta A.I.	40
Figura 20: Com o desmatamento das florestas inglesas, a saída para a obtenção de matéria-prima foi a exploração do carvão mineral. Fonte: Meta A.I.	42
Figura 21: Animação – Experimento de Torricelli e os Hemisférios de Magdeburgo. Fonte: Próprio Autor.	43
Figura 22: Digestor de Papin. Fonte: Plataforma Bing.	44
Figura 23: Animação – Digestor de Vapor. Fonte: Próprio Autor.	45
Figura 24: Animação – Máquina de Savery. Fonte: Próprio Autor.	45
Figura 25: Animação – Máquina de Newcomen. Fonte: Adaptado da Plataforma Bing.	47
Figura 26: Aproveitamento no setor agrícola da máquina aperfeiçoada por Newcomen. Fonte: DA SILVA e ERROBIDART ^[8]	47
Figura 27: Animação – Máquina de Watt. Fonte: Próprio Autor.	48
Figura 28: Animação – Esquema de Funcionamento de Uma Máquina Térmica. Fonte: Próprio Autor.	51

PREFÁCIO

No que diz respeito ao conteúdo do livro, ele foi escrito dentro da temática de Termodinâmica, com o título “Termodinâmica em Tópicos”, e, está organizado em 5 capítulos. Além do texto escrito, ao longo dos cinco capítulos serão disponibilizadas animações com explicações, onde, a intenção é trazer suporte para o conteúdo escrito. Além disso, no segundo capítulo é disponibilizado um vídeo que trata dos cuidados que devem ser levados em consideração durante o manuseio da panela de pressão. As animações e o vídeo poderão ser acessados por meio de tablets e smartphones por meio dos QR Codes que estarão presentes nos textos. Com relação aos QR Codes, em alguns casos (a depender do aparelho utilizado), será necessário baixá-los para acessar o conteúdo.

O primeiro capítulo, intitulado “Dos Termômetros à Dinâmica de Funcionamento da Natureza”, apresenta um panorama da história da física associada à construção dos termômetros, trata a respeito dos conceitos físicos de calor e temperatura e fala sobre a Lei Zero da Termodinâmica dentro de um prisma que a coloca como uma das leis fundamentais da natureza/universo, explicando a dinâmica de funcionamento de situações do nosso cotidiano até fenômenos presentes na natureza/universo.

O segundo capítulo, intitulado “A Panela de Pressão: Um Sistema Termodinâmico do Nosso Cotidiano”, traz um texto que apresenta o funcionamento da panela de pressão, para isso, são abordados de forma concisa os estados físicos da matéria, como o valor da pressão afeta na mudança de estado físico da água, o conceito físico de pressão atmosférica e como o seu valor muda em relação a altitude e o processo de transformação da energia. Sendo assim, a intenção desse capítulo é mostrar a correlação existente entre o funcionamento da panela de pressão e a Termodinâmica, dando destaque à validação do Princípio de Conservação da Energia.

O terceiro capítulo, intitulado “A Termodinâmica Cuida da Sua Saúde, Você Deve Fazer o Mesmo”, propõe uma relação interdisciplinar entre Física, Biologia e Química. Nesse capítulo é abordado o conceito físico de energia, o Princípio de Conservação da Energia e a sua correlação com a Primeira Lei da

Termodinâmica; ainda mais, é mostrado que o Metabolismo, envolvendo as suas respectivas vias metabólicas, cuja existência é vital para o organismo, tem em seu funcionamento a necessidade de obedecer à Leis da Física; além disso, é apresentado o conceito físico de Entropia e mostrado como a Entropia está diretamente associada ao funcionamento do corpo humano. Esse capítulo, não apenas trabalha a Física, Química e Biologia de maneira interdisciplinar, mas, se apropria dos conhecimentos referentes a essas áreas do saber para mostrar o complexo processo existente para promover saúde no nosso organismo, fomentando assim um estilo de vida mais consciente e que promova melhor bem-estar para o nosso corpo.

O quarto capítulo, intitulado “É Comum Vermos Uma Caneca Caindo de Uma Mesa e Quebrando, Por Que Não o Contrário?”, inicia com uma pergunta, a intenção é trabalhar a instigante relação existente entre a Entropia e o fluxo do tempo. É trabalhado o conceito físico de tempo, partindo da dificuldade de explicá-lo, perpassando pelas ideias dos filósofos até a sua compreensão vinculada ao senso comum. Nesse capítulo, são abordados os fenômenos reversíveis e irreversíveis, pois, a sua compreensão é de fundamental importância para o entendimento do conceito físico de entropia. É apresentado o conceito físico de calor, dando destaque para o fato de ele ter uma peculiaridade em relação às outras modalidades de energia presentes no universo. É apresentada a relação existente entre Entropia e Calor, pois trata-se de uma ideia que precisa ser compreendida para posteriormente mostrar como a Entropia pode ser considerada como um parâmetro confiável para entendermos a passagem do tempo. A partir do que é argumentado ao longo desse capítulo, é possível chegarmos à resposta da pergunta apresentada no título, de modo que a resposta dela não se restringe apenas ao título do texto, mas é aplicável para a explicação de vários fenômenos físicos presentes na natureza e no universo.

O quinto e último capítulo, intitulado “Das Máquinas Térmicas ao Fim do Mundo”, apresenta uma abordagem histórica e teórica sobre as máquinas térmicas, incluindo a temática da existência do vácuo, algo de grande importância para o funcionamento de uma máquina térmica. É perceptível ao longo do capítulo que há uma relação de correspondência entre a construção de

máquinas térmicas cada vez mais sofisticadas, a Revolução Industrial e o desenvolvimento da Termodinâmica como um dos ramos de conhecimento mais importantes da Física. O esquema de funcionamento de uma máquina térmica, composta por uma fonte quente e outra fria, é utilizado como referência para a compreensão da Segunda Lei da Termodinâmica. Por fim, o texto traz uma discussão sobre as implicações cosmológicas da termodinâmica, mostrando que uma das consequências possíveis da validade das leis da termodinâmica é a morte térmica do universo.

Os estudantes irão encontrar um material que visa aguçar a curiosidade deles, incentivar a prática da leitura e o uso consciente dos recursos tecnológicos (nesse caso, principalmente as animações), pois, se utilizados de maneira adequada são potencializadores de aprendizagem; além disso, uma preocupação que foi levada em consideração durante a escrita do livro paradidático foi a necessidade de escrever com uma linguagem acessível.

Bruno de Lima Torres e Antonio Romero da Costa Pinheiro

CAPÍTULO

1

DOS TERMÔMETROS À DINÂMICA DE FUNCIONAMENTO DA NATUREZA

SOBRE O QUE VOCÊ APRENDERÁ (VAI APRENDER)

- Lei Zero da Termodinâmica
- Relação entre os Conceitos Físicos de Calor e Temperatura.
- Relação entre a Lei Zero da Termodinâmica e Situações do Cotidiano.
- Relação entre a Lei Zero da Termodinâmica e os Fenômenos Naturais.
- História da Física Associada à Construção dos Termômetros.

Um Adolescente com Febre

Um adolescente não se sente bem ao acordar pela manhã. Vai até o quarto dos pais e relata para a sua mãe que não está se sentindo bem. Ao colocar uma das mãos em sua testa, ela verifica que o seu filho está “mais quente” do que o normal.

Nesse momento, ela percebe que o seu filho não está bem; no entanto, a informação que se tem a respeito da saúde dele, além de ser mínima, não desfruta de muita credibilidade, pois essa informação até o momento é restrita aos seus sentidos (o tato), e os nossos sentidos podem nos confundir.

Para ter certeza a respeito da condição da saúde do seu filho, essa mãe vai até a sua sala

onde tem uma mesinha com uma gaveta; ao abrir a gaveta, ela retira de lá um termômetro e retorna para o seu quarto em direção ao seu filho, e, por meio da utilização do instrumento ela verifica que o termômetro está indicando uma temperatura de 38 °C, nesse caso, essa mãe tem agora diante dela uma



Figura 1: Desenho de adolescente com febre. Fonte: Meta A.I.

informação mais confiável que lhe auxilia a tomar uma melhor decisão, em seguida, ela leva o seu filho a um médico.

O termômetro e a sua aplicação ao longo da história

O instrumento utilizado anteriormente é de conhecimento da sociedade em geral e, provavelmente, você que está lendo esse texto já fez uso de um termômetro em algum momento da sua vida. O primeiro invento que se tem relato que é semelhante a um termômetro (por não ter graduação ainda) foi confeccionado por Galileu Galilei em 1592, chamado de Termoscópio de Galileu, o instrumento consistia em um bulbo de vidro e terminando em tubo fino. Os médicos da época passaram a utilizar o Termoscópio de Galileu para o mesmo fim que a mãe no parágrafo anterior utilizou o seu termômetro caseiro, verificar se uma pessoa estava com febre; no entanto, vale ressaltar que, tendo em vista que o conceito físico de temperatura ainda não era compreendido como hoje em dia, a verificação de uma pessoa estar ou não com febre era realizada por meio da comparação com uma pessoa saudável. A seguir, na Figura 2, o Termoscópio de Galileu será apresentado de forma mais detalhada, bem como a sua utilização para verificar se uma pessoa está ou não com febre.

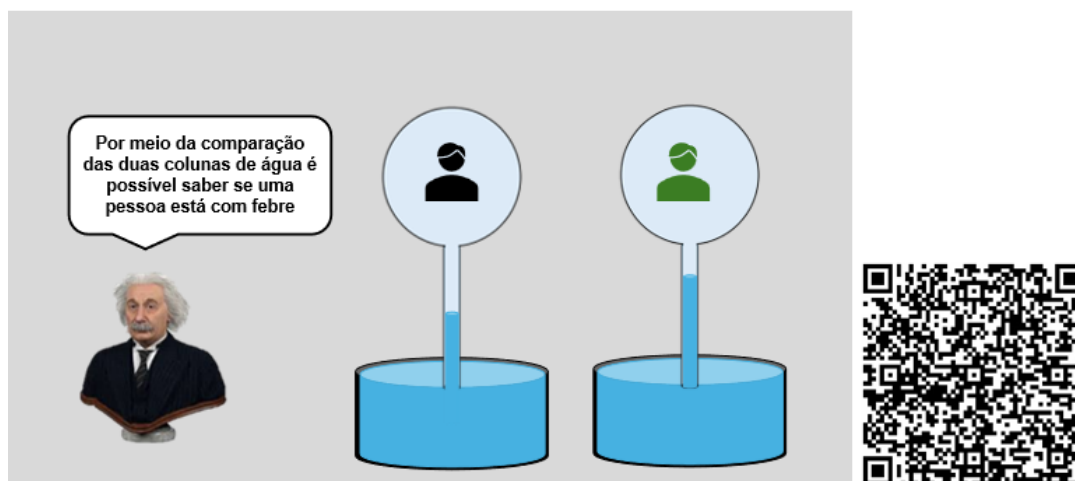


Figura 2: Animação – Termoscópio de Galileu. Fonte: Próprio Autor.

Usamos um termômetro quando estamos interessados em ter uma informação confiável a respeito da temperatura de um corpo, substância ou material qualquer, sendo assim, ele é amplamente utilizado em diversos contextos: indústria, laboratórios científicos, na medicina e até mesmo em residências (como já foi mostrado). Na história da ciência, a evolução do conceito

físico de temperatura chegando a como o entendemos hoje, isto é, a grandeza física que mede o grau de agitação das moléculas de um corpo^[18], foi influenciado diretamente pela construção e aperfeiçoamento dos termômetros, e, o aperfeiçoamento dos termômetros só foi possível a partir do estudo e de uma melhor compreensão das propriedades

Usamos um termômetro quando estamos interessados em ter uma informação confiável a respeito da medida da temperatura.

dos materiais. Qualquer propriedade sujeita à variação da temperatura pode ser utilizada para a construção de um termômetro; portanto, podemos afirmar que existem uma variedade de tipos de termômetros, cujo funcionamento é dependente de uma propriedade física específica: dilatação térmica, tensão elétrica, resistência elétrica, radiação emitida por um corpo, velocidade do som, mudança de cor entre outros.

A seguir, na Figura 3, será apresentado um termômetro utilizado para medição de temperatura em crianças, conhecido como Termo Friends.

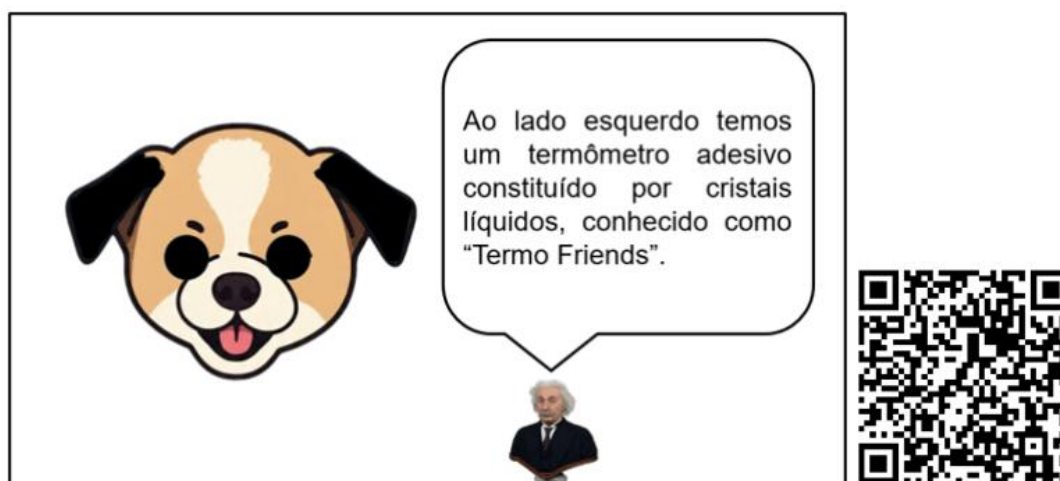


Figura 3: Animação – Termo Friends. Fonte: Próprio Autor.

No caso particular do termômetro da Figura 3, é composto por um material com propriedades interessantes: o cristal líquido. É sabido que em geral a matéria se apresenta na natureza em três estados físicos diferentes: o sólido, o líquido e o gasoso; o fator que diferencia cada estado da matéria está em sua configuração molecular no mundo microscópico, de modo, que o estado sólido é caracterizado por moléculas ocupando uma estrutura específica, a essa

estrutura dá-se o nome de cristalina, e o que mantém essas moléculas fixas nessa estrutura cristalina é uma força de natureza elétrica. À medida em que um corpo muda de estado físico a sua configuração molecular passa a ser desfeita, transitando do sólido (estrutura cristalina definida e moléculas com menor grau de liberdade para se movimentarem), passando pelo líquido (estrutura cristalina começa a ser desfeita e moléculas passam a ter maior grau de liberdade para se movimentarem) e chegando no gasoso (estrutura cristalina é desfeita e as moléculas passam a se movimentar com maior liberdade).

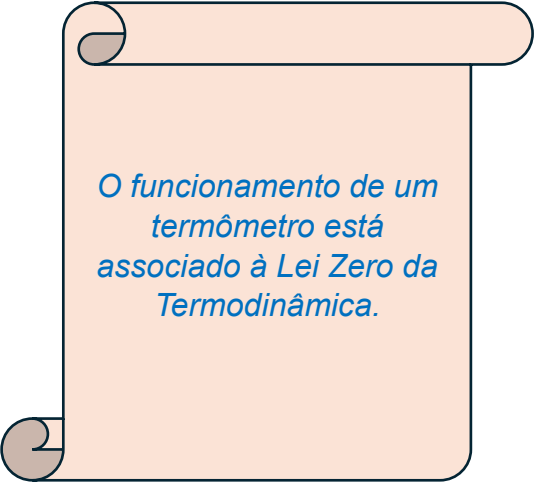
Quando falamos do cristal líquido, o próprio nome nos é indicativo: trata-se de um material encontrado na natureza que possui em seu comportamento características da matéria no estado sólido (o termo “cristal” é associado à estrutura cristalina do sólido) e no estado líquido (daí a terminologia “líquido”), ou seja, está no estado sólido e líquido ao mesmo tempo. Além disso, as moléculas de um cristal líquido (em sua maioria) possuem dimensões bem maiores do que o usual, podendo ter forma alongada ou de disco. Por causa dessas características apresentadas e outras mais, os cristais líquidos são materiais que possuem um vasto potencial de aplicações tecnológicas; inclusive, alguns cristais líquidos são sensíveis a pequenas variações de temperatura, de modo que, quando eles são submetidos à mudança de temperatura, apresentam mudança de cor. Essa característica pode ser utilizada para a confecção de termômetros, semelhantes ao que foi mostrado na Figura 3.

O termômetro e a Lei Zero da Termodinâmica

Sabemos que o termômetro é um instrumento capaz de nos informar a temperatura de um corpo com considerável confiabilidade. Como já foi mencionado, a sua criação e desenvolvimento propiciaram uma melhor compreensão do conceito físico de temperatura. Além disso, estimulou um crescente estudo e compreensão das propriedades físicas de diversos materiais. Diante disso, podemos formular a seguinte pergunta: por que devemos confiar na informação fornecida por um termômetro? A resposta para essa pergunta está presente na compreensão do funcionamento do próprio termômetro. O seu

funcionamento está associado a um princípio físico conhecido como equilíbrio térmico ou Lei Zero da Termodinâmica; podemos afirmar que a **Lei Zero da Termodinâmica**, que inicialmente parecia ser apenas uma suposição razoável que controlava o funcionamento dos termômetros, na verdade é uma das leis fundamentais da natureza/universo, a partir da qual podemos compreender

não apenas como um termômetro funciona, mas também entender a dinâmica de funcionamento da natureza na qual estamos envolvidos.



O funcionamento de um termômetro está associado à Lei Zero da Termodinâmica.

Para compreender o Equilíbrio Térmico ou Lei Zero da Termodinâmica, bem como os conceitos físicos de Temperatura e Calor é necessário considerar o fato de que ambos se relacionam. A temperatura é definida como a grandeza física que mede o grau de agitação das moléculas de um corpo; o calor é uma modalidade de energia transferida de forma espontânea entre corpos devido à diferença de temperatura entre eles^[18].

A partir desses conceitos apresentados podemos afirmar que Temperatura e Calor estão diretamente associados: corpos com temperaturas diferentes, em um determinado ambiente, irão trocar energia de forma espontânea, e essa modalidade de energia que é trocada pelos corpos é o que chamamos de calor. Diante do que foi apresentado até então, cabe-nos fazer algumas perguntas: Como sabemos a ordem em que se dá essa transferência de energia entre corpos? E essa energia é transferida indiscriminadamente ou haverá um limite para ela? Para encontrar as respostas dessas perguntas, observe a Figura 4 a seguir.

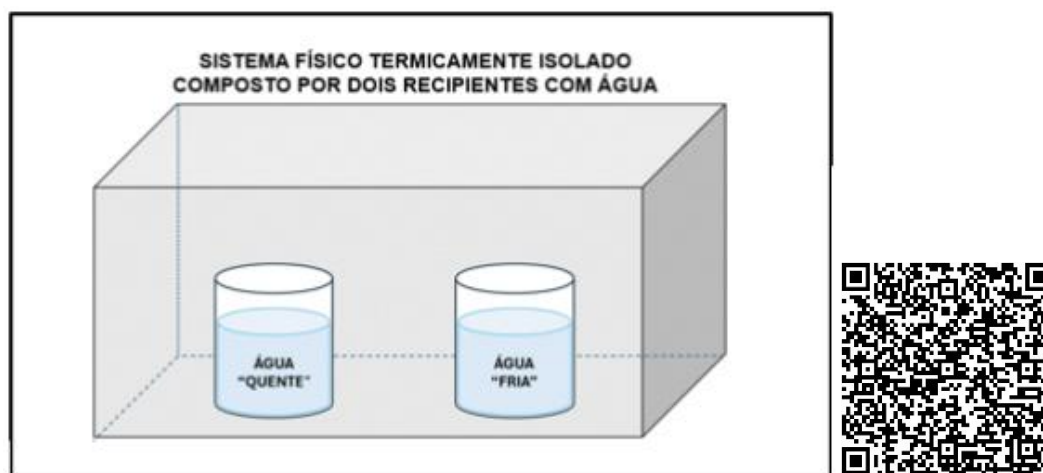


Figura 4: Animação – Processo de Equilíbrio Térmico. Fonte: Próprio Autor.

O sistema descrito na Figura 4 é composto por dois recipientes contendo água a diferentes temperaturas. Esse sistema está termicamente isolado, o que significa afirmar que ele não pode trocar energia com o ambiente externo a ele; a única possibilidade é de troca de energia entre os recipientes presentes no próprio sistema. Conforme mostrado, a temperatura do recipiente com água “quente” é maior do que a temperatura do recipiente com água “fria”, sendo assim, haverá uma troca espontânea de energia entre os recipientes, de modo que o recipiente com água “quente” irá ceder energia para o recipiente com água “fria”; à proporção em que o recipiente com água “quente” cede energia a sua temperatura irá diminuir, e à proporção em que o recipiente com água “fria” recebe essa energia a sua temperatura irá aumentar.

O processo irá continuar de forma espontânea e ininterrupta até que chegue o momento em que ambos os recipientes tenham a mesma temperatura; nesse caso, a água fica “morna”. A partir de então, não haverá mais troca de energia na forma de calor, pois o que possibilitava essa transferência de energia era a diferença de temperatura entre os recipientes. Esse estado em que os dois recipientes alcançam a mesma temperatura é chamado de **Equilíbrio Térmico**, e o princípio físico que descreve esse acontecimento é conhecido como **Lei Zero da Termodinâmica**^[18].

A Lei Zero da Termodinâmica e o Funcionamento da Natureza/Universo

Sendo a Lei Zero da Termodinâmica uma das leis fundamentais da natureza, podemos afirmar que existe uma tendência natural entre os corpos

com diferentes temperaturas de alcançar o equilíbrio térmico. Assim, o corpo de maior temperatura irá transferir energia na forma de calor para o de menor temperatura, sendo essa uma condição intrínseca à natureza. O processo ocorrerá continuamente até que seja alcançado o equilíbrio térmico. Portanto, partindo da premissa de que todos os corpos com diferentes temperaturas em um sistema físico trocam energia na forma de calor visando alcançar o equilíbrio térmico, podemos entender não apenas o funcionamento dos termômetros, mas, também compreender a dinâmica de funcionamento da natureza como um todo.

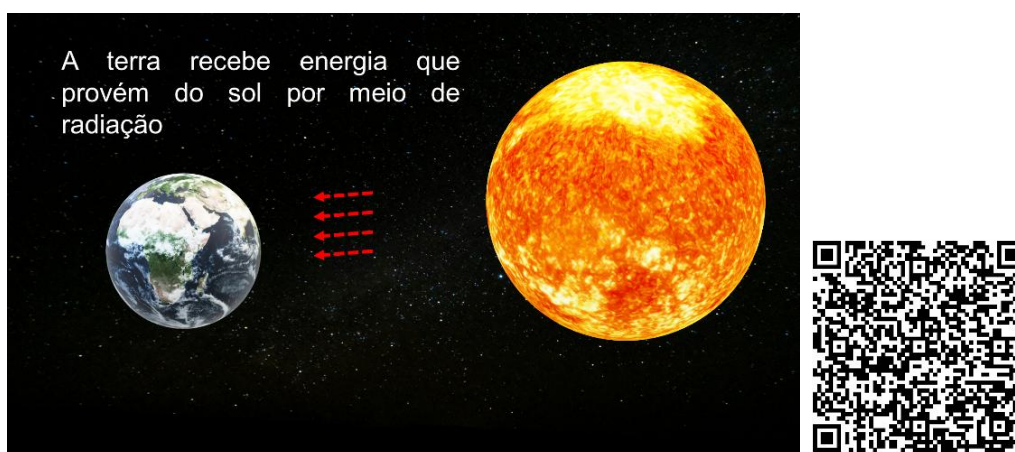


Figura 5: Animação – A Dinâmica de Funcionamento da Natureza. Fonte: Próprio Autor.

Na Figura 5, é possível perceber como a diferença de temperatura entre o sol e a Terra e a troca espontânea de energia entre eles são fundamentais para garantir ao nosso planeta a existência dos fenômenos naturais, e como tais fenômenos presentes no planeta contribuem para a existência de vida em toda a sua complexidade e para que a Terra venha a ter uma temperatura aproximadamente constante. Inclusive, tal temperatura é de suma importância para garantir a existência da vida em nosso planeta.

Sendo a Lei Zero da Termodinâmica uma das leis fundamentais da natureza, ela rege a dinâmica de funcionamento da natureza e do universo.

Inicialmente, tomando o Sol e a Terra como referências, eles estão separados por uma distância de 150 milhões de quilômetros^[17], de modo que há um vácuo entre eles. Sendo assim, a única forma de haver transferência de energia na forma de calor é por meio da radiação eletromagnética; é justamente dessa maneira que o Sol transfere energia para a Terra. Considerando a diferença de temperatura entre o Sol e a Terra, ele emite radiação eletromagnética que viaja pelo espaço a uma velocidade de 300 mil quilômetros por segundo e chega à Terra decorridos aproximadamente 8 minutos e 20 segundos.

Quando essa radiação atinge nosso planeta, ela interage primeiramente com a atmosfera. A atmosfera passa a ter um papel de grande relevância nesse momento, pois, ela atua como um filtro impedindo que parte dessa radiação, que é nociva para os seres vivos, entre em nosso planeta, permitindo a passagem de uma porção de radiação necessária para proporcionar a existência de vários fenômenos da natureza que são fundamentais para que o nosso planeta mantenha uma temperatura adequada para a vida. De toda a radiação que entra em contato com a atmosfera terrestre, 30% volta para o espaço e 70% é absorvida pela atmosfera^[28]; de toda a energia que fica no nosso planeta, dois terços vão para a parte seca e os oceanos. Como a maior parte do nosso planeta é composta por água, podemos afirmar que grande parte dessa energia é absorvida pelos oceanos. Além disso, levando em consideração que a água tem maior capacidade de absorver energia em comparação com a atmosfera, é válido dizer que o oceano é um grande reservatório de energia térmica.

As exuberantes florestas, compostas pelas mais diversas plantas e árvores, por meio da fotossíntese, produzem oxigênio e contribuem para a renovação das condições da nossa atmosfera. Todavia, as maiores fontes de oxigênio e de outros componentes que compõem o ar que nos envolve são os

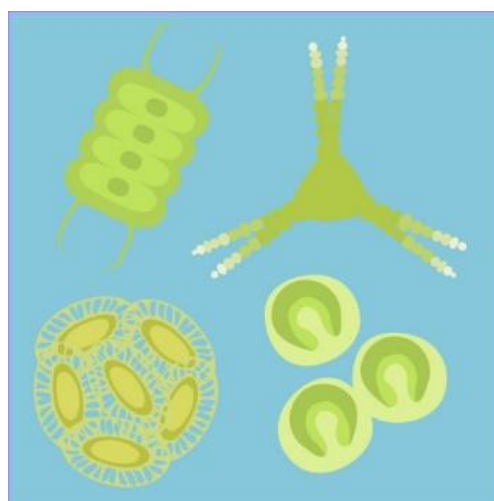


Figura 6: O fitoplâncton é formado por um conjunto de micro-organismos fotossintetizantes. Fonte: retirada de Brasil Escola^[32].

oceanos; a energia armazenada pelos oceanos é em grande parte aproveitada pelo fitoplâncton, um composto de microalgas e outros vegetais maiores que flutuam na superfície e nos primeiros metros do mar. O fitoplâncton, além de ser um componente fundamental na cadeia alimentar oceânica, também é um dos principais responsáveis pela renovação do estoque de oxigênio e de outros componentes presentes na atmosfera.

Como já foi mencionado, a energia que provém do Sol é absorvida de forma diferente ao longo das regiões do globo terrestre. Assim, podemos dividir o planeta em diferentes regiões e chamá-las de zonas térmicas^[16]. Temos a zona polar (presente nos polos sul e norte) e a zona tropical. A zona polar (norte e sul) tem uma temperatura reduzida, pois, é a parte do globo terrestre que é achatada, recebendo assim uma menor parcela de energia proveniente do sol. Além disso, pelo fato de a região ser branca, ela tem a tendência natural de refletir grande parte da energia que é recebida por meio de radiação, influenciando diretamente a baixa temperatura dessa região. A zona tropical irá absorver mais radiação, sendo assim, ela terá uma temperatura elevada em comparação com a temperatura da zona polar.

Nesse momento, é perceptível uma diferença de temperatura entre a zona tropical e a zona polar (extremos do planeta). A partir do que compreendemos da Lei Zero da Termodinâmica, a mesma lei que descreve o funcionamento dos termômetros, haverá troca espontânea de energia entre a região tropical e a polar; essa troca de energia será por convecção térmica e estará presente nos ventos e nas correntes marítimas, sendo ambas importantes para regular o funcionamento do nosso planeta.

Os ventos resultam de massas de ar de diferentes densidades distribuídas ao longo do globo terrestre. Devido a essas diferenças de densidade, ocorre o deslocamento de massas de ar, influenciando a temperatura dos ambientes e a formação das ondas do mar. As correntes marítimas são grandes porções de água que se deslocam pelos oceanos de um ponto a outro; dentre os fatores que são responsáveis por elas, podemos destacar os ventos e as diferenças de densidades das águas dos oceanos, provocadas pelas diferentes temperaturas e níveis de salinidade nas águas.

Nesse caso, temos deslocamentos de massas de água por meio de convecção ao longo das zonas térmicas do nosso planeta. Sendo assim, temos dois tipos de correntes marítimas: as correntes quentes, formadas por águas menos densas, que se deslocam na região superficial em velocidades elevadas (em comparação com as correntes frias) do trópico para os polos; por terem menor densidade, evaporam com mais facilidade, deixando uma alta umidade nas áreas onde atuam. As correntes frias são formadas por águas mais densas, deslocando-se em uma região abaixo da superfície com velocidade reduzida, dos polos para o trópico; por terem alta densidade, evaporam com mais dificuldade, deixando as áreas onde elas atuam com pouca umidade. De modo geral, as correntes marítimas influenciam a redistribuição de energia térmica e umidade no planeta, atuando como fatores climáticos. Além disso, elas influenciam diretamente a dinâmica de muitos ecossistemas marinhos. A atuação das águas, somada à força dos ventos (desgastando vales e rochas, provocando o surgimento de vários solos, trazendo a areia para a praia etc.) é responsável por esculpir as mais belas paisagens que estão diante de nós para admirarmos.

Por fim, podemos perceber que tanto os termômetros quanto o funcionamento dos mecanismos necessários para que o planeta tenha uma temperatura viável para a manutenção da vida podem ser compreendidos a partir de um mesmo princípio, a Lei Zero da Termodinâmica. Vale ressaltar ainda, que, diante da complexidade existente e do delicado equilíbrio entre os fenômenos térmicos necessários para garantir a existência da vida em nosso planeta, somos tomados de um senso de responsabilidade em relação ao modo como usufruímos e administramos os recursos naturais, pois esse delicado equilíbrio pode ser diretamente afetado por nossas ações.

CAPÍTULO

2

A PAINELA DE PRESSÃO: UM SISTEMA TERMODINÂMICO DO NOSSO COTIDIANO

SOBRE O QUE VOCÊ IRÁ APRENDER

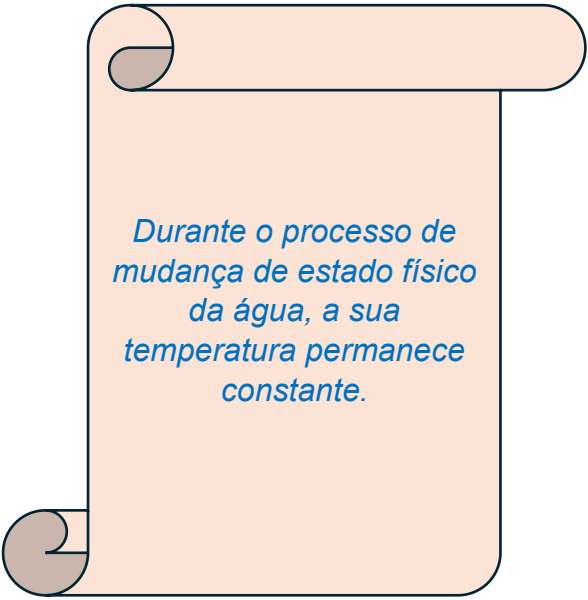
- Estados físicos da matéria.
- A Influência da Pressão na Mudança de Estado Físico da Água.
- Pressão Atmosférica.
- Transformação da Energia
- Física presente no funcionamento da Panela de Pressão

A Água e o Seu Uso na Preparação de Alimentos

Quem está habituado à prática de cozinhar sabe que a temperatura que a água atinge é algo de grande importância que deve ser levado em consideração durante o preparo dos alimentos. No entanto, é importante destacar que a água sofre mudança de estado físico (de água para vapor) quando atinge a temperatura de 100 °C, e quando isso acontece, a sua temperatura permanece constante, ou seja, se mantém nos 100 °C até que

toda a água mude integralmente de estado físico^[18]; para aqueles que cozinham isso não é interessante de acontecer, pelo contrário, se possível, quanto maior a temperatura que a água atinja sem mudar de estado físico melhor é para acelerar o preparo dos alimentos.

Nesse caso, temos uma questão em mente: é possível alterar o ponto de ebulição de uma substância, isto é, a temperatura necessária para passar do estado líquido para o gasoso? Não apenas é possível, como acontece no mundo em que vivemos; isso se deve à pressão atmosférica.



Durante o processo de mudança de estado físico da água, a sua temperatura permanece constante.

A Pressão Atmosférica e o Ponto de Ebulição da Água

A pressão atmosférica é a força que o ar exerce sobre a superfície do planeta Terra^[20]. Levando em consideração que o nosso planeta tem uma superfície irregular, composta por áreas altas e baixas, tomando o mar como referência (nível do mar), existem diferentes valores para a pressão

A pressão atmosférica é a força que o ar exerce sobre a superfície do nosso planeta.

atmosférica a depender da região do globo em que estivermos situados. A Figura 7 nos permite compreender melhor como a mudança da pressão atmosférica em diferentes lugares influencia o ponto de ebulição da água. Quanto mais próximo estiver o valor da altitude em relação ao nível do mar, mais próximo de 100 °C estará o ponto de ebulição da água. A partir da Figura 7, é possível perceber que existem dois lugares no Brasil com uma diferença perceptível na altitude (um em relação ao outro), influenciando o valor da temperatura que precisa ser atingido para a água entrar em ebulição. Para lugares onde a altitude é ainda maior em relação ao nível do mar, o ponto de ebulição da água sofre mudanças expressivas em seu valor; quanto maior a altitude, menor é o ponto de ebulição da água, dificultando assim a preparação dos alimentos.



Figura 7: Animação – Variação da temperatura de acordo com a altitude. Fonte: Próprio Autor.

Como foi mencionado, é possível modificar a temperatura de ebulição da água ajustando o valor da pressão à qual ela é submetida. No caso particular do

uso doméstico, a panela de pressão é um dispositivo capaz de ajustar a pressão interna, favorecendo assim a preparação dos alimentos^[22].

Observando o funcionamento da panela de pressão, podemos afirmar que se trata de um sistema termodinâmico. Vamos analisar a panela de pressão em três partes: a fonte de energia, o interior da panela e o pino móvel.

Fonte de Energia

No que diz respeito à fonte de energia, quando a panela é colocada em contato com a chama do fogão, a própria chama é a fonte que fornecerá energia à panela de pressão. É essa energia que, uma vez transferida para a panela de pressão, irá dar condições para que ela cumpra com o seu papel, ou seja, cozinhar os alimentos. Percebemos então que parte da energia térmica transferida para a panela é convertida em energia útil (usada para cozinhar os alimentos) e a outra parte da energia será dissipada para o ambiente em forma de vapor ao sair pelo pino móvel e no chiado que podemos ouvir à medida que o vapor sai da panela.

Interior da Panela

No interior da panela, ocorrerá uma elevação da pressão interna (ultrapassando o valor da pressão atmosférica naquele lugar). Essa elevação da pressão interna da panela modifica a temperatura de ebulição da água, aumentando o seu valor em relação ao ponto de ebulição conhecido (100 °C), proporcionando que os alimentos cozinhem mais rápido.

A água ferve quando suas bolhas, preenchidas de vapor de água, vencem a pressão atmosférica que as empurram para o fundo do recipiente. À medida que fornecemos energia, chega um ponto em que a pressão dentro da bolha de vapor supera a pressão externa e a bolha sobe. Ao chegar à superfície do líquido, o vapor é liberado. A partir daí, a energia fornecida é consumida na transformação do líquido em vapor e a temperatura permanece fixa. A Figura 8 nos permite entender melhor o que acontece durante o funcionamento da panela

de pressão, desde a transmissão da energia pela fonte de calor até a água atingir o ponto de ebulição.



Figura 8: Animação – Funcionamento da panela de pressão. Fonte: Próprio Autor.

O Pino Móvel

A panela de pressão é composta por uma válvula de segurança que tem um pino móvel, de modo que a válvula de segurança atua no controle da pressão interna na panela.

Quando a pressão no interior da panela atinge o seu limite máximo, o vapor de água tem força suficiente para deslocar o pino da válvula de segurança, eliminando o vapor. Quando isso acontece podemos afirmar que parte da energia fornecida é expulsa para o ambiente na forma de vapor; além disso, nesse momento nos deparamos com o processo de transformação da

Quando a pressão no interior da panela atinge o seu valor máximo, o vapor tem força suficiente para deslocar o pino da válvula de segurança, eliminando o vapor.

energia, onde, parte dessa energia dissipada se converte em energia cinética (movimento) atribuída ao movimento de rotação da válvula de segurança e em energia sonora atribuída ao chiado que ouvimos quando o vapor escapa da panela. A Figura 9 nos permite entender melhor o que acontece com a válvula de segurança quando o vapor é dissipado para o ambiente.

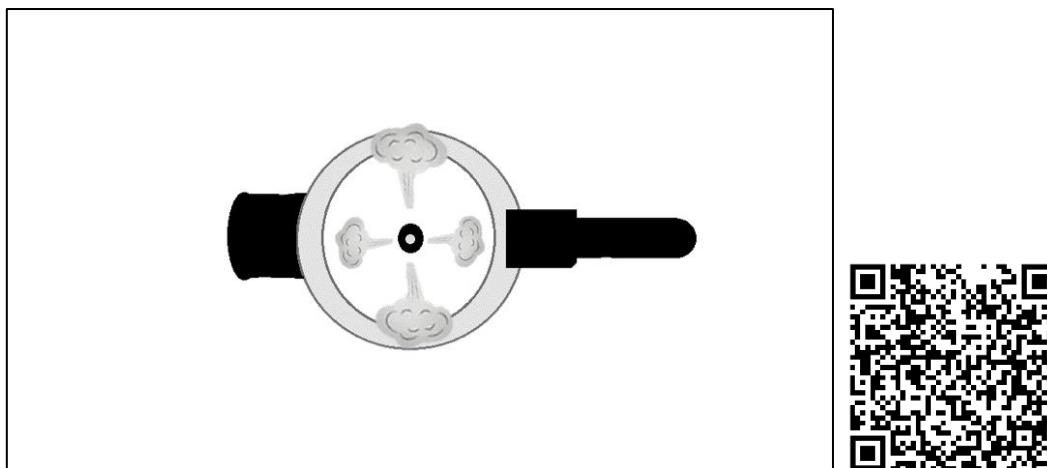


Figura 9: Animação – Transformação da energia presente no vapor de água que sai da panela de pressão. Fonte: Próprio Autor.

Cuidados com a Panela de Pressão

Por fim, vale frisar que, embora a panela de pressão seja um utensílio indispensável na cozinha, há cuidados a serem tomados quanto à sua manutenção, como a limpeza da panela (incluindo a válvula de segurança) e a utilização. Esses cuidados, uma vez negligenciados, podem acarretar problemas, inclusive a explosão da panela de pressão. Para mais informações sobre os cuidados a serem tomados com a panela de pressão, veja o conteúdo abaixo da figura a seguir.

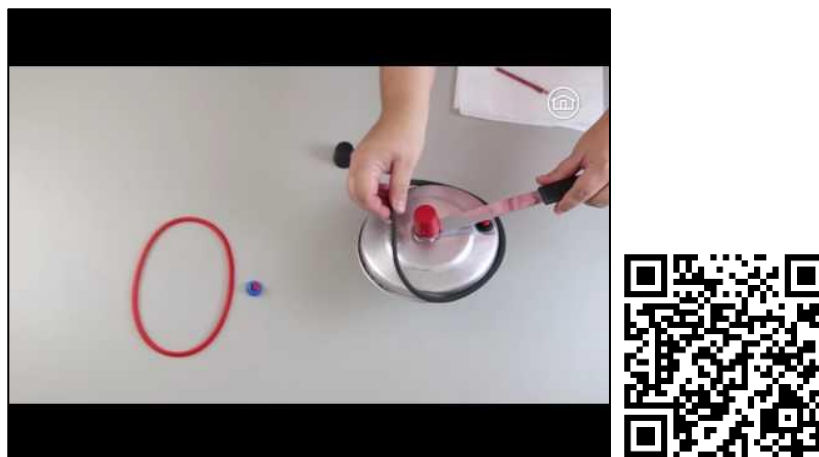


Figura 10: Cuidados no manuseio da panela de pressão. Fonte: retirado de Nedo Utilidades Domésticas^[24].

CAPÍTULO

3

A TERMODINÂMICA CUIDA DA SUA SAÚDE, VOCÊ DEVE FAZER O MESMO

SOBRE O QUE VOCÊ IRÁ APRENDER

- Princípio da Conservação da Energia.
- Primeira Lei da Termodinâmica.
- Processo Metabólico do Corpo Humano.
- Conceito Físico de Entropia.

O Conceito de Energia e o Princípio de Conservação da Energia

O conceito de energia não é tão simples de ser explicado por palavras; além disso, podemos afirmar que a sua compreensão plena ainda é um mistério para o ser humano. Por mais desafiadora que seja a sua compreensão, a energia é um conceito físico que desfruta de uma posição de prestígio tanto na ciência quanto entre nós, em nosso dia a dia. Provavelmente, não são estranhas para você expressões como “energia elétrica”, “faltou energia”, “você precisa

descansar para recuperar as suas energias” e “você precisa se alimentar bem, porque os alimentos te dão energia”. Se essas expressões te soam familiares e outras vêm à sua memória enquanto você lê esse texto, você, assim como eu, percebe o quanto tudo o que está à nossa volta se relaciona com a ideia de energia.

Existe um princípio básico da ciência que nos ajuda a compreender melhor a energia. Ele é conhecido como **Princípio de Conservação da Energia** e afirma que a “**energia não pode ser criada nem destruída, apenas transformada**”^[17]. Esse princípio traz duas implicações interessantes: a

Por mais desafiadora que seja a compreensão do que é energia, ela é fundamental para a nossa existência.

Tudo o que existe no universo tem seu funcionamento dependente do Princípio de Conservação da Energia.

primeira delas é que, se a energia não pode ser criada e nem destruída, ou seja, ela é uma quantidade que permanece constante, significa dizer que, desde o início do universo até o seu fim, essa quantidade permanece inalterada; a segunda implicação é que a energia pode ser transformada dentre todas as modalidades presentes na natureza e no universo. Assim, tudo o que existe tem sua dinâmica de funcionamento dependente do processo de transformação da energia em meio a todas as suas modalidades existentes, inclusive a nossa própria vida no aspecto biológico, como você verá adiante, obedece a essa regra.

A Primeira Lei da Termodinâmica

A **Primeira Lei da Termodinâmica** é uma extensão do **Princípio de Conservação da Energia**^[30], mostrando como se relacionam vários tipos de energias e sendo expresso matematicamente da seguinte forma:

$$\Delta U_{\text{int}} = Q + W + E_{\text{Quí}}$$

A Primeira Lei da Termodinâmica é uma extensão do Princípio de Conservação da Energia.

Geralmente, quando se estuda a **Primeira Lei da Termodinâmica**, o último termo da equação $E_{\text{Quí}}$ não é mencionado; no entanto, para explicar como a Termodinâmica afeta o funcionamento de um organismo e regula a vida, é necessário incluirmos esse termo, pois ele representa a energia química e o fato de ela estar presente em todos os seres vivos.

A **termoquímica** é um ramo da termodinâmica que estuda as variações da energia que ocorrem nas reações químicas, podendo essa energia ser liberada ou absorvida. Independentemente disso, ela se submete ao **Princípio de Conservação da Energia** e à **Primeira Lei da Termodinâmica**, portanto, a energia é resultante das reações químicas e resultado das transformações de energias, de modo, que as modalidades de energias disponíveis para essas transformações estão sintetizadas na equação da **Primeira Lei da**

Termodinâmica. Na Figura 11, será mostrado como o corpo humano gera energia.



Figura 11: Animação - Corpo Humano e Geração de Energia. Fonte: Próprio Autor.

O Metabolismo e as Vias Metabólicas

Você pode estar se perguntando: o que tudo isso tem a ver com o funcionamento do seu corpo e com a saúde? O fato é que o corpo humano tem um potencial gigantesco e um desempenho que pode ser comparado ao de uma máquina. Para desfrutarmos de todo o potencial do nosso corpo, é necessário um custo energético que está associado a um ciclo químico desempenhado pelo nosso corpo; esse ciclo químico é chamado de **metabolismo**. Sendo assim, o metabolismo é um processo natural e fundamental para manter o nosso organismo funcional e saudável^[13].

Das funções do metabolismo, podemos destacar a obtenção e a utilização de energia química. Portanto, o metabolismo é como uma usina geradora de energia presente nos organismos, e essa usina emprega os recursos disponíveis para a obtenção de energia química, vital para o funcionamento adequado dos organismos. Existem dois tipos de metabolismos, conhecidos como vias metabólicas: **catabolismo** e **anabolismo**^[13]. O catabolismo envolve a liberação de energia a partir da quebra de moléculas mais complexas em produtos mais simples, de modo que essa energia é utilizada em várias atividades empreendidas pelo organismo. O **anabolismo** envolve o emprego da energia obtida pelo organismo para a produção de moléculas complexas a partir de

moléculas simples, sendo necessário, por exemplo, para o crescimento e a manutenção do organismo.

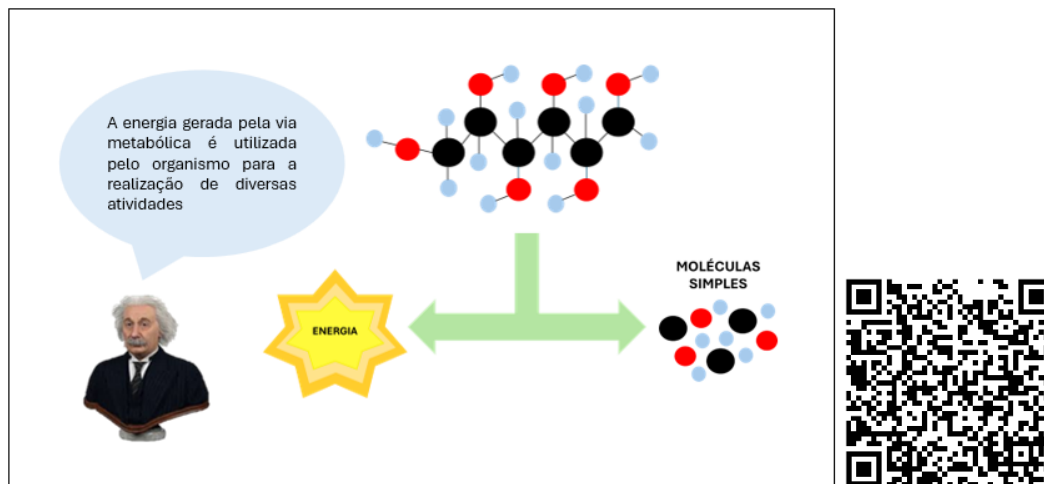


Figura 12: Animação – Vias Metabólicas. Fonte: Próprio Autor.

Podemos perceber que as duas vias metabólicas, **catabolismo** e **anabolismo**, são fundamentais para o funcionamento e a manutenção do organismo. Por estarem diretamente associadas com a energia química, podemos afirmar que o funcionamento do metabolismo obedece às Leis da Física, de modo, que a energia química

O funcionamento do metabolismo obedece às leis da Física, inclusive, o Princípio de Conservação da Energia.

bem como os demais tipos de energias que se fazem presentes no corpo humano são resultados da transformação da energia viabilizada pelo processo metabólico, além disso, os tipos de energias estão restritos ao que está descrito na equação da **Primeira Lei da Termodinâmica**. Ademais, é interessante considerar que o **catabolismo** e o **anabolismo** são **processos irreversíveis**, sendo assim, de toda energia envolvida no processo metabólico, haverá sempre uma fração dessa energia que não será reaproveitada, contribuindo assim, para o aumento da **Entropia** do sistema, que nesse caso é o próprio corpo humano.

A Entropia e o Corpo Humano

A **entropia** é uma grandeza física associada à “degradação” da energia^[29], entendendo-se que, quando se fala em “degradação”, significa dizer que sempre haverá uma porção da energia envolvida nos processos da natureza (e, nesse caso, no funcionamento do corpo humano) que irá se transformar em uma

O corpo humano, por si só, está fadado a atingir um valor máximo de entropia.

modalidade de energia que não poderá mais ser aproveitada. Pensando em um sistema físico isolado onde acontecem processos irreversíveis, podemos afirmar que o valor da Entropia aumentará continuamente até alcançar um valor máximo; quando isso acontecer, não haverá mais energia viável para ser utilizada pelo sistema, pois toda energia “degradou”.

Considerando que o corpo humano seja esse sistema isolado, podemos concluir que ele, por si só, está fadado a alcançar espontaneamente um valor máximo de sua entropia, e quando isso acontecer o processo metabólico não poderá mais ocorrer. Sendo a vida resultado de um metabolismo ativo, podemos afirmar que quando a entropia alcançar o seu valor máximo, o organismo irá alcançar a falência ou morte.

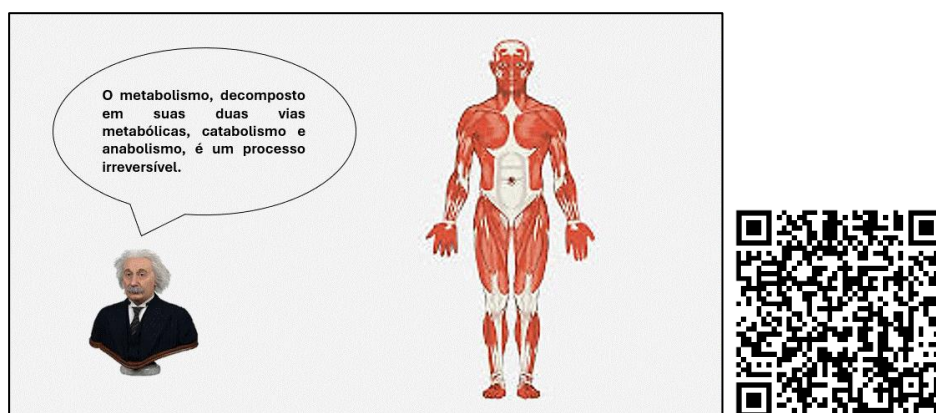
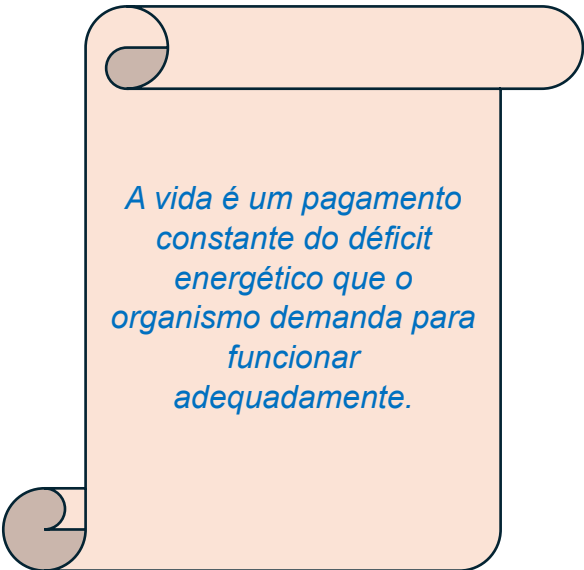


Figura 13: Animação – Processos Irreversíveis no Corpo Humano. Fonte: Próprio Autor.

A partir do que foi apresentado até o momento, podemos perceber que o funcionamento do corpo humano obedece aos padrões da termodinâmica e que a vida é um pagamento constante do déficit energético que o organismo demanda para funcionar de forma adequada. Sendo assim, dentro dos padrões da física, podemos afirmar que, o que se entende por **saúde** é resultado de um equilíbrio termodinâmico presente



*A vida é um pagamento
constante do déficit
energético que o
organismo demanda para
funcionar
adequadamente.*

no corpo humano, que envolve a necessidade de pagar o déficit energético necessário para manter ativo o metabolismo do organismo^[13]; existem momentos em que o corpo humano terá que lidar com situações adversas, como no caso de organismos invasores, como vírus, bactérias, fungos etc. Nesse caso, o organismo realizará sacrifícios com o intuito de preservar o funcionamento do metabolismo. Como consequência, aparecerão sinais de que o corpo humano não está dentro dos padrões de normalidade, ou seja, são sintomas que indicam uma **doença**.

De modo geral, a **vida** é um pagamento constante do déficit energético que o organismo demanda para o seu funcionamento; no entanto, à medida que o organismo envelhece, torna-se cada vez mais complexa a tarefa de suprir essa demanda energética, e, a longo prazo, a **entropia** alcançará um valor máximo, ou seja, o organismo está fadado à falência ou morte.

A Necessidade de Uma Alimentação Saudável.

Por fim, vale a pena encerrar esse capítulo conscientizando você, caro leitor, da necessidade de desenvolver hábitos de vida saudáveis, pois, é necessário que um sistema físico receba energia externa para impedir que a entropia alcance um valor máximo. Em outras palavras, é necessário que o corpo humano receba porções externas de energia a fim de serem aproveitadas pelo processo metabólico, sendo esse o caso da **alimentação**. Porém, como já

sabemos, não se trata apenas de ingerir qualquer alimento, mas de dar preferência àqueles que trarão benefícios ao corpo humano, enveredando para uma dieta alimentar equilibrada, como no exemplo presente na Figura 14. Trata-se de um esforço necessário para que você tenha uma melhor qualidade de vida.

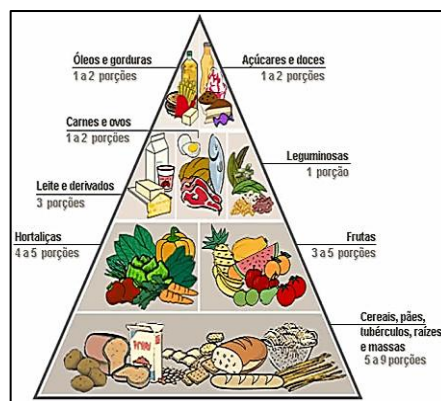


Figura 14: Pirâmide Alimentar:
Fonte: Retirada de Educação na
Mão^[11].

CAPÍTULO

4

É COMUM VERMOS UMA CANECA CAINDO DE UMA MESA E QUEBRANDO, POR QUE NÃO O CONTRÁRIO?

SOBE O QUE VOCÊ IRÁ APRENDER

- Conceito físico de tempo.
- Fenômenos Reversíveis e Irreversíveis.
- Conceito Físico de Entropia.
- Princípio de Conservação da Energia.
- Conceito Físico de Calor.
- Relação Entre Entropia e o Tempo.

A Dificuldade Para Explicar o Tempo

O tempo é algo que está diretamente associado à nossa rotina diária. Quando acordamos pela manhã ao som do despertador, lá está ele presente no horário marcado para nos despertar, quando nós tomamos banho, nos arrumamos e tomamos café da manhã preocupados em não chegar atrasados em nossos compromissos, lá está ele presente em nossa memória e regulando as nossas ações, até mesmo quando recebemos o pagamento no

final do mês por um serviço prestado, lá está o tempo, traduzido no valor monetário que recebemos, pois, o nosso salário é ajustado por horas trabalhadas.



Figura 15: Relógio Despertador.
Fonte: Plataforma Bing.

Sendo o tempo algo tão importante para nós, desde a Antiguidade, ele foi objeto de estudo empreendido pelo espírito humano, estando presente nos domínios da Filosofia e da Ciência e ocupando o pensamento dos mais prestigiados intelectuais e cientistas de cada época. Para Aristóteles^[21], o tempo é algo associado ao movimento, passando a existir quando é enumerado; para Kant^[21], o tempo é subjetivo, sendo uma intuição humana necessária para

fundamentar as nossas percepções da natureza. Por mais refinada que seja uma explicação sobre o que é o tempo e como ele se comporta, tais explicações não esgotaram a compreensão que temos a respeito dele.

O Tempo e o Senso Comum

Uma maneira minimamente razoável de entendermos como se dá a dinâmica de funcionamento do tempo é associá-lo às experiências corriqueiras do nosso cotidiano. Para isso, vamos fazer um simples exercício: serão apresentadas algumas situações na Figura 16, disponibilizada a seguir, e a sua tarefa será dizer quais delas estão acontecendo na ordem certa; caso prefira, você pode até mesmo registrar em seu caderno.



Figura 16: Animação – Analisando fenômenos X ordem do tempo. Fonte: Próprio Autor.

É bem provável que você não tenha tido dificuldades em realizar essa atividade, isso porque você já está condicionado a perceber qual dos fenômenos apresentados acontece na ordem correta. Além disso, sabemos intuitivamente que essa ordem correta obedece à passagem do tempo, tempo que é dividido em passado, presente e futuro. Sendo assim,

sabemos que nunca veremos uma pipoca voltando a ser milho, cacos quebrados de uma caneca sendo reconstituídos e voltando a ser uma caneca completa e uma pessoa idosa voltando a ser jovem, semelhante ao que acontece no filme

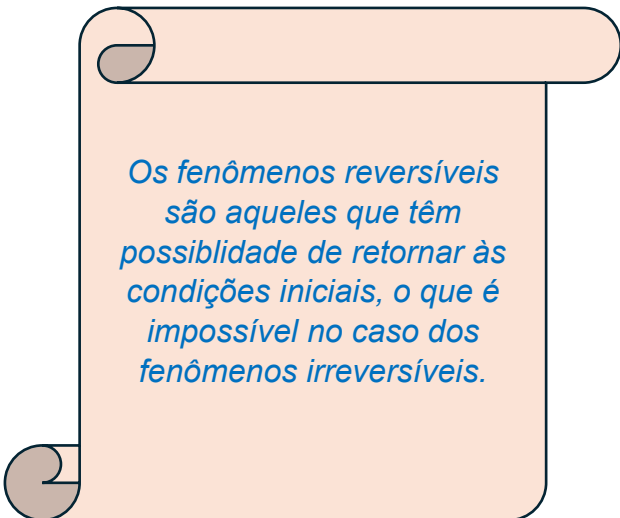
*Todos nós sabemos
que o tempo se divide
em passado,
presente e futuro.*

“O Curioso Caso de Benjamim Button” de David Fincher, que narra uma história de um homem que nasce idoso e rejuvenesce a cada dia que passa.

Diante do que foi apresentado, podemos perceber uma íntima ligação entre a ordem em que os fenômenos ao nosso redor acontecem e o fluxo do tempo. Podemos nos perguntar: por que as coisas ocorrem exatamente na ordem em que as vemos? Por que a dinâmica do tempo sempre se dá do passado para o futuro? A Física pode lançar luz sobre tais questionamentos a partir da compreensão dos **Fenômenos Reversíveis e Irreversíveis** e do conceito de **Entropia**.

Fenômenos Reversíveis e Irreversíveis

Os fenômenos reversíveis são aqueles que têm condições de retornar ao seu estado inicial, em contraste com os fenômenos irreversíveis^[18]. O nascer do sol que contemplamos todas as manhãs pode ser considerado um fenômeno reversível, pois, todos os dias se acordarmos cedo iremos testemunhar esse belo



Os fenômenos reversíveis são aqueles que têm possibilidade de retornar às condições iniciais, o que é impossível no caso dos fenômenos irreversíveis.

acontecimento, e, o movimento de translação da terra em torno do sol marcando aproximadamente 365 dias terrestre ou 1 ano também podem ser considerado um fenômeno reversível, inclusive, essa é uma data celebrada em todo o mundo.

Agora, voltando ao que é apresentado na Figura 16, podemos destacar a terceira situação, que se trata da caneca caindo e se quebrando em vários pedaços; podemos afirmar que esse acontecimento se refere a um fenômeno irreversível, pois, nunca veremos de forma espontânea os cacos da caneca se unirem, formando a caneca novamente. O mesmo acontece com o milho, que se torna pipoca, e, no processo de envelhecimento humano, todos são fenômenos irreversíveis.

Entender o porquê de os fenômenos ditos irreversíveis seguirem uma ordem definida, sendo incapazes de retornarem ao seu estado inicial é um dos pontos de partida para termos as respostas para as perguntas apresentadas a respeito do tempo.

Entropia no Contexto da Termodinâmica

Os acontecimentos dos fenômenos irreversíveis estão diretamente associados à energia, pois, para eles acontecerem, é necessário que haja envolvimento de energia em cada processo. Sabemos do **Princípio de Conservação da Energia**^[17] que a energia pode ser apenas transformada e que é por meio da transformação da energia que os fenômenos da natureza acontecem, inclusive aqueles que são irreversíveis. Podemos agora retornar à situação 3 da Figura 16 e interpretá-la em função das transformações de energias; isso pode ser verificado na Figura 17 que será mostrada a seguir.

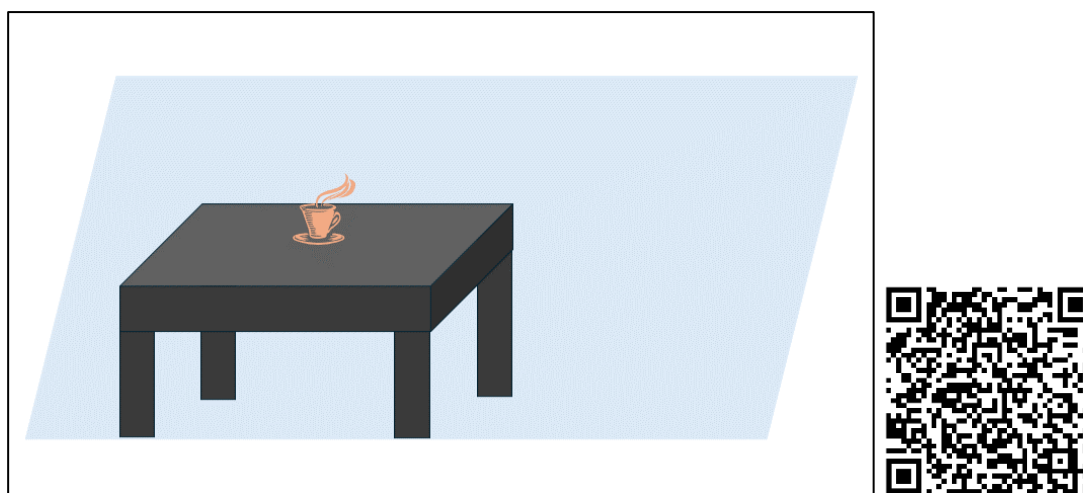


Figura 17: Animação – Processos de Transformação da Energia. Fonte: Próprio Autor.

A partir da Figura 17, percebemos que há vários tipos de energia envolvidos em um simples acontecimento corriqueiro, como o do caso de uma caneca caindo no chão e quebrando. Podemos perceber a validade do **Princípio de Conservação da Energia**, tendo em vista que todas as modalidades que se fizeram presentes no fenômeno observado não vieram a existir (não foram criadas), mas, são manifestações da transformação da energia cinética da caneca ao ser empurrada e da energia potencial gravitacional presente na caneca ao cair de uma altura em relação ao chão.

No entanto, o que é curioso não é o fato do Princípio de Conservação da Energia ser validado, mas, o fato de o inverso não poder acontecer em nosso cotidiano mesmo não havendo nada no Princípio do Conservação da Energia que possa impedi-lo, pois, tratasse apenas de transformação da energia. Assim, para que os cacos se juntassem e formassem novamente a caneca, de acordo com o **Princípio de Conservação da Energia** seria necessário apenas a transformação de energia no sentido inverso. Porém, como já foi mencionado, isso não acontece na prática; na verdade, existe um limite imposto pela própria natureza que impede que os cacos da caneca se tornem caneca novamente, e o mesmo se aplica a todos os fenômenos irreversíveis que acontecem no universo. Esse limite está descrito na **Segunda Lei da Termodinâmica**, no conceito de **Entropia**^[18].

Entropia Como Um Parâmetro Confiável Para Entender a Ordem do Tempo

A palavra **Entropia** é de origem grega^[29], apontando para o termo transformação. É sobre isso que se trata a grandeza física entropia, refere-se à transformação da energia. É importante lembrar que nenhuma das situações descritas na Figura 16 viola o **Princípio de Conservação da Energia**, pois ele mostra apenas que a energia necessita de ser transformada durante os fenômenos da natureza, não indicando uma ordem específica para isso acontecer. No entanto, quando falamos de entropia, estamos nos referindo à grandeza física que impõe limites para os processos de transformação da energia na natureza e no universo.

Para entendermos como a entropia dita a ordem da transformação da energia nos processos irreversíveis, é necessário compreendermos que o **Calor** é uma modalidade especial de energia em comparação com as demais que existem no universo: todas as demais modalidades de energia podem ser convertidas integralmente em **Calor**; no entanto, o contrário não pode acontecer. O simples ato de esfregar as mãos é um exemplo para compreendermos isso: quando esfregamos as mãos (você pode fazer isso agora mesmo), temos a presença de energia cinética associada ao movimento de fricção.

A energia cinética, devido ao atrito das mãos, é transformada em energia térmica ou calor (dissipado para o ambiente): porém, o contrário não acontece, ou seja, o calor não pode ser revertido em energia cinética. O mesmo ocorre com os demais fenômenos que acontecem à nossa volta, como os que foram apresentados nas animações: para o milho se transformar em pipoca é necessária uma transformação de energia, e o

calor resultante desse processo não pode ser reaproveitado para ser transformado em outra modalidade de energia. Da mesma forma, quando a caneca quebrou, uma parcela da energia presente no processo se transformou em calor, e esse calor não pode ser reaproveitado ou transformado em outra modalidade de energia; é por isso que, dentro dos padrões naturais, é possível uma caneca quebrar em vários pedaços, porém, nunca veremos os pedaços se juntarem para formar a caneca novamente, pois, o calor dissipado não pode ser reaproveitado.

Portanto, podemos afirmar que o universo tem um “saldo” de energia útil para ser utilizado em todos os processos da natureza, esse “saldo” é regulado pela Entropia, à medida em que a energia é transformada (utilizada) nos processos demandados pela natureza e universo, esse saldo diminui na proporção em que a Entropia aumenta. Sendo assim, a entropia marca o saldo de energia útil existente no universo. Em outras palavras, a Entropia representa o nível de degradação da energia presente no universo, onde, quando utilizamos o termo “degradação” não estamos afirmando que a energia deixará de existir,



*A Entropia impõe limites
para a transformação da
energia.*

*O Calor é uma modalidade
especial de energia.*

mas, que essa energia não pode mais ser reaproveitada nos processos que regem o funcionamento da natureza.

Diante disso, entendemos que a natureza como um todo, durante sua dinâmica de funcionamento, evolui espontaneamente de uma condição de baixa entropia (elevado saldo de energia útil) para uma alta entropia (baixo saldo de energia útil).

*Podemos vincular a
passagem do tempo ao
aumento da entropia.*

É possível associarmos o processo de aumento da entropia à variação do tempo, de modo, que no passado de um fenômeno natural temos uma baixa entropia e no futuro teremos uma alta entropia, logo, a variação da entropia é um parâmetro confiável para analisarmos a passagem do tempo em um sistema físico. Sendo assim, a variação da entropia dita a ordem do tempo ou dita a **seta do tempo**, como apresentado na Figura 18 a seguir:

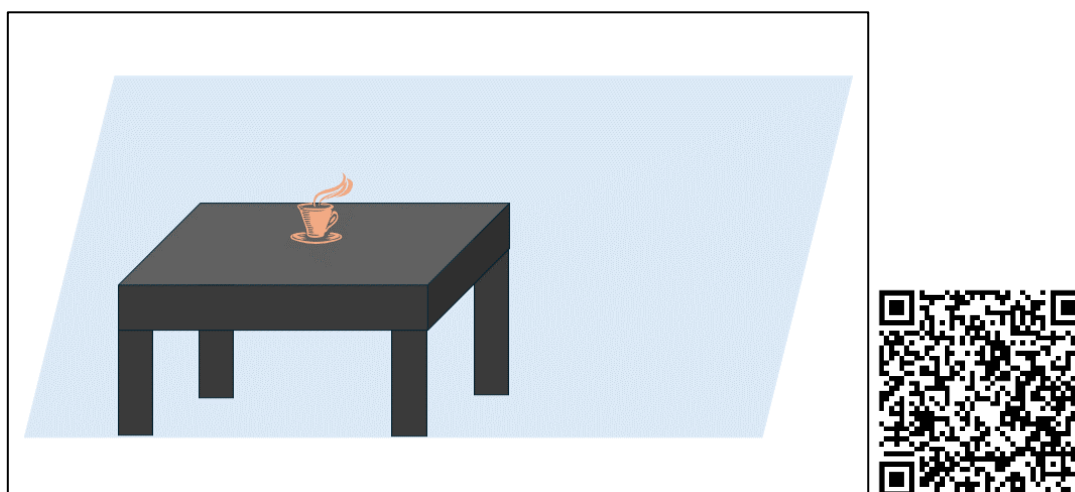


Figura 18: Animação – A Seta do Tempo. Fonte: Próprio Autor.

A **Segunda Lei da Termodinâmica** estabelece que a entropia em um sistema físico não pode diminuir, apenas aumentar^[18]. Levando em consideração que a entropia marca a seta do tempo, podemos afirmar que para o tempo regressar em seu sentido (como no caso dos cacos se tornarem caneca novamente) seria necessária uma diminuição na entropia, o que, de acordo com os padrões da Segunda Lei da Termodinâmica seria impossível. Portanto, concluímos que é impossível regressar no tempo, pois, para isso acontecer, seria

necessário transpor os limites impostos pelo próprio universo, limites esses que são descritos pela Entropia e a Segunda Lei da Termodinâmica. Por isso, é comum vermos uma caneca caindo e se quebrando em vários cacos, mas, nunca veremos o contrário acontecer.

CAPÍTULO

5

DAS MÁQUINAS TÉRMICAS AO FIM DO MUNDO

SOBRE O QUE VOCÊ IRÁ APRENDER

- Breve panorama da Utilização das Máquinas Térmicas.
- A importância e a influência das máquinas térmicas na Revolução Industrial.
- Influência das máquinas térmicas no desenvolvimento da Termodinâmica.
- A Termodinâmica e suas implicações para o Fim do Mundo.

O Conceito de Industrialização

Quando o assunto é industrialização, é importante destacar que podemos abordá-lo dentro de duas perspectivas diferentes: de forma ampla refere-se à atividade de criar objetos a partir da utilização de matéria-prima; ao longo da história da humanidade temos empregado diversas técnicas e manipulado a matéria-prima para fins de obtenção dos mais variados objetos, independente da atividade, seja ela no individualizado artesanato a partir do trabalho manual e de técnicas tradicionais e características de cada cultura presente no mundo, ou de um labor coletivo com a utilização de ferramentas e máquinas, alcançando uma produção em maior escala, a premissa é sempre a mesma: manipular e transformar a matéria-prima em um objeto que venha a ter alguma utilidade

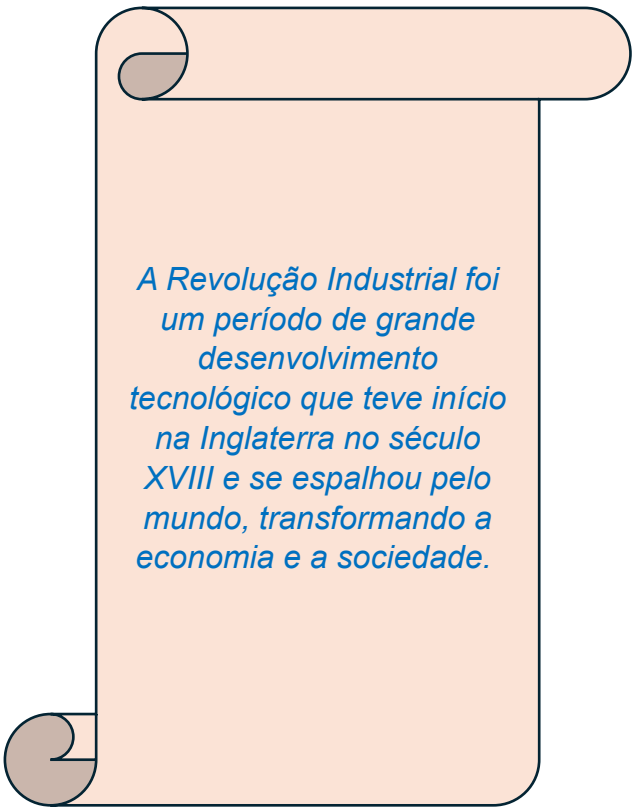


Figura 19: A cerâmica, uma das atividades mais antigas da história da humanidade, consiste no uso de argila como matéria-prima. Fonte: Meta A.I.

para o homem. De forma mais restrita, a industrialização está vinculada a um período histórico específico do século XVIII e do início do século XIX, que trouxe uma série de transformações que abrangeram diversas facetas (econômicas, sociais, técnicas e científicas), conhecida como Revolução Industrial.

A Revolução Industrial

A Revolução Industrial foi um evento histórico que se iniciou na Inglaterra no fim do século XVIII^[30]. Para que tal evento fosse possível, foi necessária uma relação de complementação mútua entre as mudanças no tecido social e o progresso do conhecimento científico, traduzido inicialmente em recursos tecnológicos para produção. De todos os países da Europa, podemos nos questionar o porquê de a Revolução Industrial ter iniciado na



A Revolução Industrial foi um período de grande desenvolvimento tecnológico que teve início na Inglaterra no século XVIII e se espalhou pelo mundo, transformando a economia e a sociedade.

Inglaterra. Isso se deve ao fato de a Inglaterra ser o país que tinha o ambiente mais favorável para esse acontecimento; houve uma transição do modo de apropriação das terras através da revolução agrícola, tendo em vista que antes o uso das terras se dava de forma comunitária.

Existem uma infinidade de assuntos de grande relevância no contexto de transformação social, que podem ser explorados para fins de aprendizagem. No entanto, será dada ênfase ao campo das Ciências da Natureza, isto é, ao desenvolvimento tecnológico/científico que foi basilar para a Revolução Industrial e que serviu de norte para o progresso tecnológico/científico testemunhado ao longo da história e chegando até os dias de hoje.

Início da Exploração das Minas de Carvão

O advento de mecanismos cada vez mais sofisticados de produção passou a requerer uma necessidade cada vez maior de matéria-prima, o que ocasionou um desmatamento cada vez mais intenso das florestas inglesas para a obtenção de carvão vegetal e, com o passar do tempo, foi necessária a busca por outro recurso natural. A próxima alternativa foi buscar outra fonte de energia, e, nesse caso, essa fonte viável foi o carvão mineral. Dada a condição geológica do solo inglês, que permitiu a acumulação de matéria orgânica ao longo de milhões de anos, o carvão mineral era uma matéria-prima abundante.

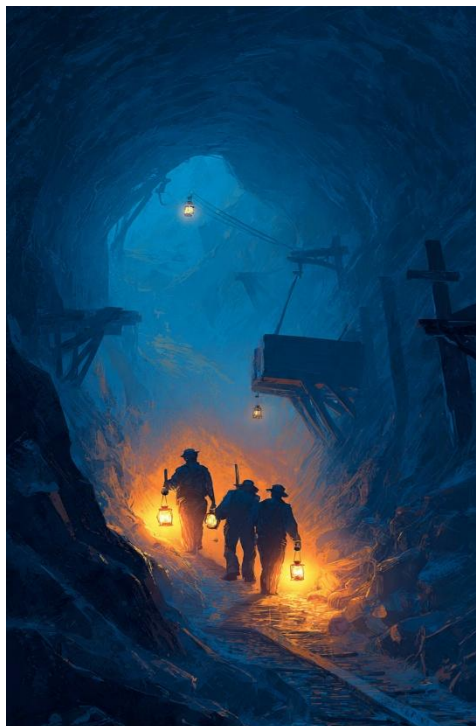


Figura 20: Com o desmatamento das florestas inglesas, a saída para a obtenção de matéria-prima foi a exploração do carvão mineral. Fonte: Meta A.I.

Horror Vacui

A partir de então iniciou-se a exploração das minas de carvão, e devido a demanda crescente graças ao processo de industrialização, foi necessário ampliar a profundidade das minas, chegando ao ponto de ultrapassar o nível do mar. Nesse momento, começaram a aparecer alguns problemas com inundações, pois, algumas escavações atingiam os lençóis freáticos, o que atrapalhava o processo de extração do carvão mineral.

O funcionamento das máquinas térmicas depende diretamente da manipulação do vácuo.

Diante desse cenário, passou-se a empreender esforços para a construção de máquinas capazes de bombear água que provinha dos lençóis freáticos para fora das minas; nesse contexto, diversos inventores imprimiram tempo e expertise na construção de máquinas que viessem a suprir essa necessidade e, dessa forma, ganharem dinheiro por meio da obtenção de patentes para sua utilização.

O funcionamento das máquinas térmicas está diretamente associado ao aproveitamento de algo que até momentos atrás era motivo de debate entre filósofos (desde a Antiguidade) e cientistas, **o vácuo**. Embora os atomistas Leucipo e Demócrito defendessem a existência do vácuo, para Aristóteles, o vácuo era uma impossibilidade lógica, de acordo com a sua compreensão, não fazia sentido conceber um universo que tivesse o “vazio” em alguma parte^[3]. Sendo Aristóteles um dos filósofos mais influentes da história da humanidade, as suas ideias prevaleceram até o período medieval, momento em que os escolásticos cunharam o termo em latim “**Horror Vacui**” para expressar a ideia aristotélica da inexistência do vácuo.

O que, para nós, hoje em dia, é tratado como algo “óbvio”, ou seja, a existência do vácuo, ele só veio a ser aceito no âmbito científico depois de várias discussões e experimentos. Nesse caso, podemos destacar duas experiências que historicamente serviram para mostrar a existência do vácuo e ao mesmo tempo a influência da pressão atmosférica: O **experimento de Evangelista Torricelli** e os **Hemisférios de Magdeburgo**. A apresentação dessas experiências está na Figura 21, disponível a seguir.

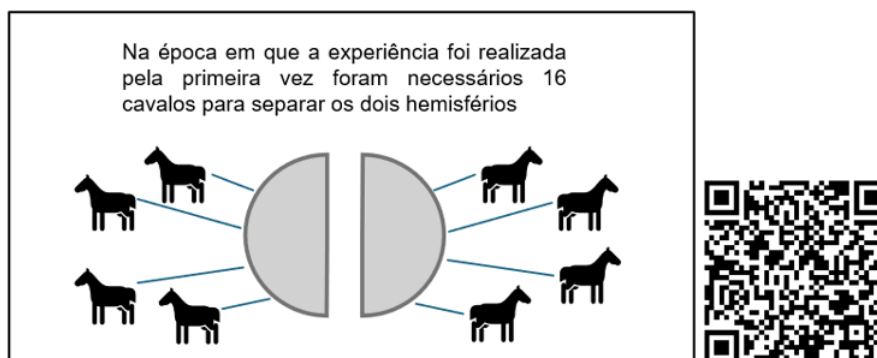


Figura 21: Animação – Experimento de Torricelli e os Hemisférios de Magdeburgo.
Fonte: Próprio Autor.

O experimento de Torricelli consiste em um tubo de vidro fechado em uma de suas extremidades. O tubo fica completamente cheio de mercúrio e é colocado em uma bacia contendo mercúrio. Parte do mercúrio irá descer pelo tubo; No entanto, a presença da pressão atmosférica irá impedir que o mercúrio derrame e ficará um espaço com vácuo dentro do tubo. Inclusive, esse experimento foi utilizado para calcular o valor da pressão atmosférica com base na altura da coluna de mercúrio.

Os Hemisférios de Magdeburgo consiste em uma experiência histórica que se trata de dois hemisférios metálicos que são unidos, em seguida, por meio de uma bomba se extrai o ar que estava dentro da esfera, criando um vácuo. Nesse caso, devido à existência do vácuo, a pressão atmosférica impede que os hemisférios sejam separados, de modo que na época foram necessários 16 cavalos para conseguir separar os hemisférios.

Digestor de Papin

A partir da descoberta da existência do vácuo, foi possível inventar novos dispositivos. No ano de 1679, Denis Papin (1647 – 1713) criou o **Digestor de Vapor**, também chamado de **Marmita de Papin**. A sua invenção foi precursora do Autoclave, da panela de pressão e da máquina a vapor. O Digestor de Vapor consistia em um recipiente com uma tampa encaixada de forma justa; esse recipiente confinava água, uma vez aquecida, devido ao aumento da pressão interna no recipiente, o ponto de ebulição da água era aumentado

consideravelmente (semelhante ao que acontece em uma panela de pressão); além disso, o seu projeto era composto por uma válvula de segurança, visando assim evitar explosões.

Foram vários os resultados práticos dessa invenção, desde seu uso na culinária até a utilização em hospitais para a esterilização de instrumentos

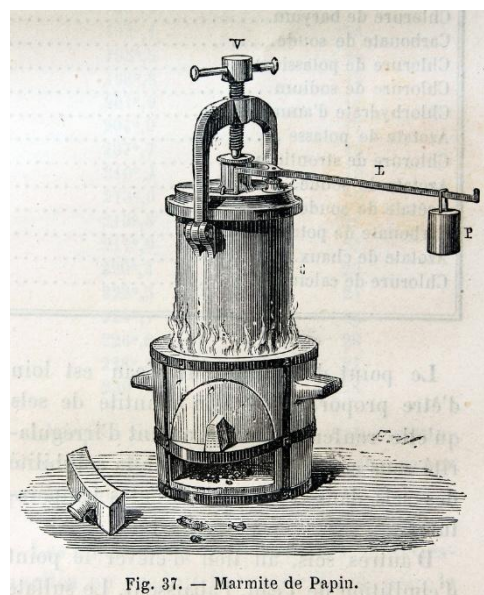


Fig. 37. — Marmite de Papin.

Figura 22: Digestor de Papin. Fonte: Plataforma Bing.

cirúrgicos e também na indústria do papel. Percebendo que o vapor levantava a tampa do recipiente, Papin expandiu esse conceito para utilizar o vapor de forma intencional para movimentar um pistão em um cilindro, de modo que essa ideia veio a ser de suma importância para a construção do motor a vapor. A seguir, na Figura 23, será apresentado o funcionamento do digestor de vapor elaborado por Papin.

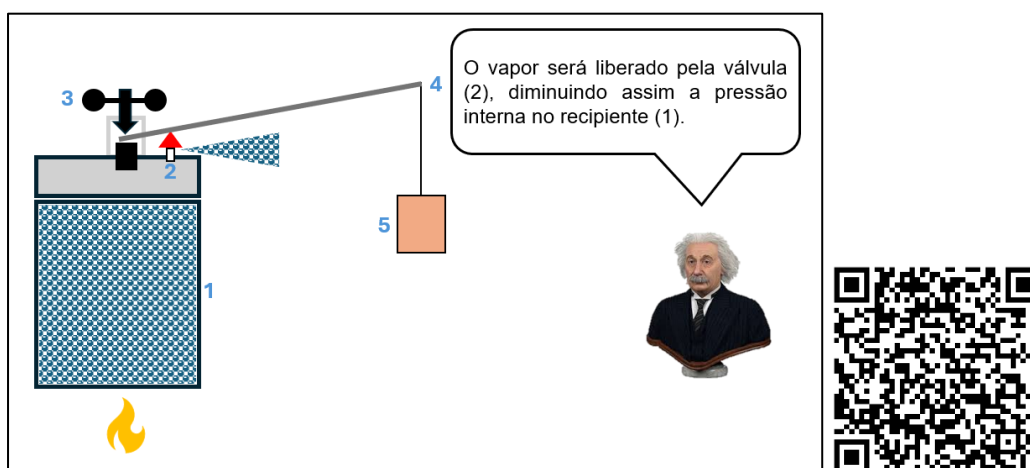


Figura 23: Animação – Digestor de Vapor. Fonte: Próprio Autor.

Máquina de Savery

O construtor militar Thomas Savery (1650 – 1715), obteve em 1698 um registro de direito de exploração comercial. A partir das ideias de Dênis Papin, tendo como referência o princípio de funcionamento de uma máquina a vapor, construiu um dispositivo com a finalidade retirar águas das minas de carvão. Um aspecto revolucionário da máquina de Savery em comparação com as já existentes era a utilização do vácuo. A seguir, na Figura 24, será apresentado o funcionamento da máquina de Savery.

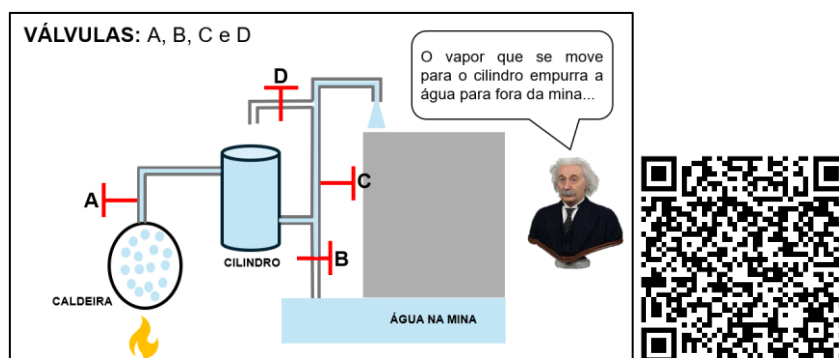
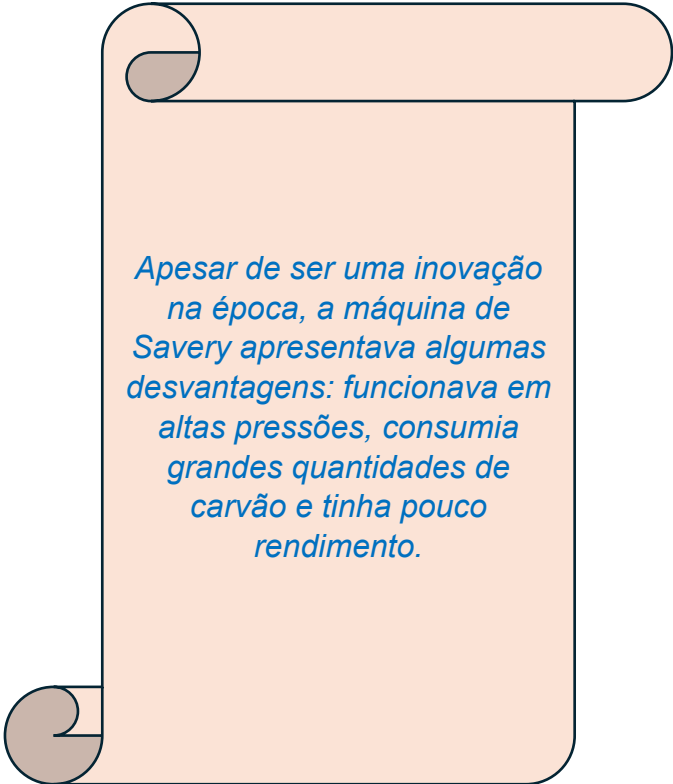


Figura 24: Animação – Máquina de Savery. Fonte: Próprio Autor.

A máquina construída por Savery era composta por uma caldeira que era utilizada para produzir o vapor que adentrava um recipiente controlado por meio de uma tubulação com uma válvula. Era adicionado no recipiente água fria, devido a presença da água fria, o vapor se condensava. Dessa maneira, produzia-se um vácuo parcial que, em conjunto com a pressão atmosférica, era utilizado para, por meio da elevação, retirar a água do interior da mina.

Por mais que seja considerada uma inovação para a época, a máquina de Savery apresentava algumas desvantagens em seu uso, pois, funcionava em altas pressões e consumia grandes quantidades de carvão, além disso, apresentava pouco rendimento, tendo em vista que a maior parte da energia utilizada pela máquina era empregada para gerar vapor. Aliás, o desafio de obter



Apesar de ser uma inovação na época, a máquina de Savery apresentava algumas desvantagens: funcionava em altas pressões, consumia grandes quantidades de carvão e tinha pouco rendimento.

máquinas térmicas que operassem com rendimento cada vez melhor, somada à necessidade de se alcançar profundidades cada vez maiores nas minas, foi o problema que serviu de mola propulsora para impulsionar o progresso cada vez mais engenhoso das máquinas térmicas.

Máquina de Newcomen

O inventor Thomas Newcomen (1664 – 1729), após obter autorização, construiu uma réplica da máquina de Savery. Ao analisar a referida máquina, Newcomen propôs algumas mudanças para aperfeiçoá-la. A seguir, na Figura 25, será apresentado o funcionamento da máquina de Thomas Newcomen.

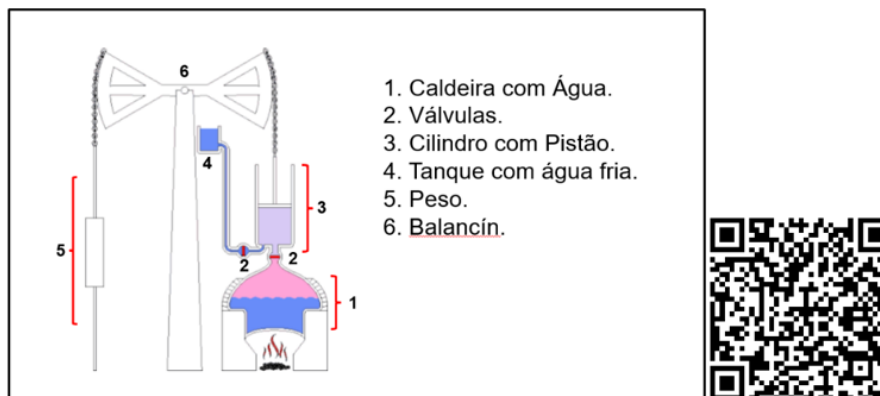


Figura 25: Animação – Máquina de Newcomen. Fonte: Adaptado da Plataforma Bing.

A máquina de Newcomen tinha um sistema mecânico que possuía uma caldeira abaixo do cilindro, gerando uma pressão inferior em comparação à máquina de Savery. A máquina possuía uma parte que ficava fixa em uma parede sólida, possibilitando o movimento das suas extremidades, de modo que em uma das extremidades ficava a carga que se almejava mover e na outra o pistão que se movimentava no interior do cilindro.

Um ponto positivo que merece destaque na máquina de Newcomen é o fato de ela apresentar um sistema básico de automação e controle, possibilitando o abrir e fechar automáticos das válvulas, diminuindo assim o risco à segurança dos trabalhadores que manuseavam a máquina. Além disso, com o emprego

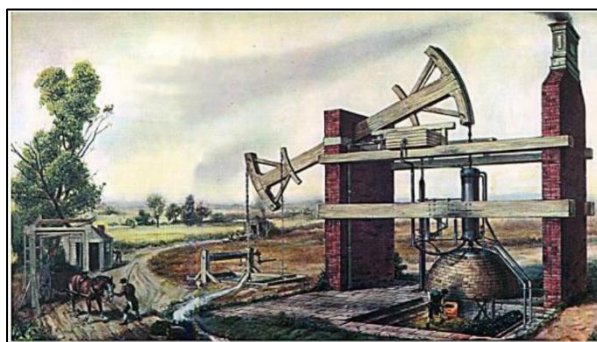


Figura 26: Aproveitamento no setor agrícola da máquina aperfeiçoada por Newcomen. Fonte: DA SILVA e ERROBIDART^[8].

da máquina de Newcomen, houve uma ampliação do uso de máquinas a vapor em diferentes setores, aproveitando-se da possibilidade da utilização do vapor para realizar movimento.

Máquina de Watt

Mesmo com toda essa evolução, resultado de grande parte dos inventores trabalharem priorizando o conhecimento prático, chegou um momento em que apenas o conhecimento técnico não atendia às demandas e necessidades que surgiam em relação ao uso das máquinas térmicas; podemos exemplificar, a crescente demanda por estanho, cobre, chumbo e carvão tornaram necessária

a extração cada vez mais profunda nas minas. Era vital o surgimento de novas tecnologias para auxiliar na retirada de águas das minas e favorecer o desenvolvimento econômico e social. Essa demanda evidente influenciou um desenvolvimento mais teórico da física.

Nesse período, as universidades escocesas passaram por uma transformação, transitando de instituições relativamente pequenas e com ênfase na formação de clérigos e advogados para centros intelectuais importantes para forjar a identidade da Escócia, inclusive, tendo influência direta no Iluminismo escocês. Dentre os centros intelectuais, é válido mencionar a Universidade de Glasgow^[8], que proporcionou o intercâmbio entre os profissionais de máquinas térmicas, cientistas e pesquisadores, tornando-se um solo fértil para a implementação de inovações que influenciaram a Revolução Industrial. Sendo assim, as universidades escocesas foram ambientes que possibilitaram a construção de uma correlação entre saberes práticos e teóricos, proporcionando avanços científicos.

Dentre aqueles atraídos pelo ambiente acadêmico escocês, podemos destacar James Watt (1736 - 1819). Levando em consideração a sua experiência técnica, Watt foi direcionado para o conserto dos equipamentos utilizados por professores em aulas experimentais, que eram oferecidas nos cursos de engenharia. Foi dessa maneira que ele teve acesso à máquina de Newcomen, a partir de então, passou a estudar sobre os conhecimentos científicos associados a ela, visando assim encontrar soluções para os problemas técnicos presentes na máquina de Newcomen. Com base nos estudos realizados, Watt projetou uma máquina apresentada na Figura 27, a seguir.

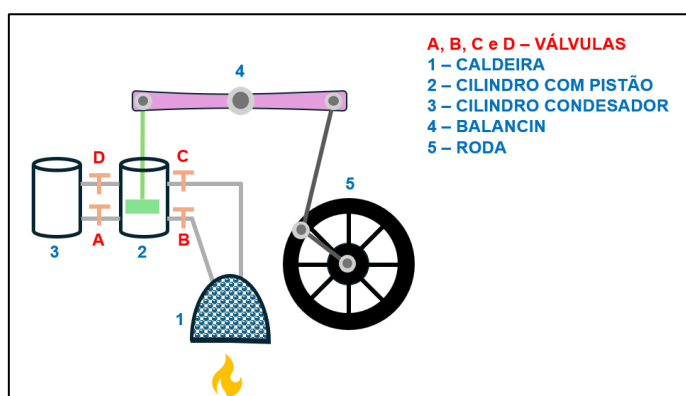


Figura 27: Animação – Máquina de Watt. Fonte: Próprio Autor.

Watt percebeu que no aparato de Newcomen, grande parte da energia utilizada para aquecer a água (tornando-a vapor) era perdida no processo de resfriamento do cilindro, influenciando o rendimento da máquina. Dentre as modificações realizadas, criou-se o condensador, um reservatório destinado especificamente ao resfriamento do vapor. A partir dessa modificação não era mais necessário que um mesmo reservatório ficasse responsável pelo aquecimento e o

resfriamento do vapor, mas, passaram-se a ter dois reservatórios distintos para cada atividade, o que proporcionou economia de carvão, tornando a máquina mais eficiente.

O que se iniciou com a necessidade da construção de máquinas cada vez mais competentes na tarefa de retirar água das minas de carvão desenvolveu-se progressivamente com a utilização do vapor como força motriz, ampliando a utilização das máquinas em outros setores. Na área do transporte, podemos destacar o uso das **locomotivas a vapor** e no setor da produção, vale frisar a construção de **máquinas de confecção de tecidos**. Além disso, aos poucos, as máquinas a vapor passaram a substituir a tração animal, sendo necessário propor uma correlação entre a capacidade de uma máquina e a atuação de cavalos.

Nesse caso, surgiu o **Cavalo-Vapor**, uma unidade de medida emblemática, pois a sua nomenclatura aponta para uma característica notável do século XVIII, a mecanização. É importante frisar que tal desenvolvimento, que foi um marco na Revolução Industrial, continuou acontecendo em um ritmo cada vez mais acelerado, passando pela descoberta da eletricidade, a descoberta da internet, proporcionando o fenômeno da globalização, a utilização da tecnologia

Dentre as modificações realizadas por Watt na elaboração da sua máquina, podemos destacar a criação do condensador.

O Cavalo-Vapor é uma unidade de medida que resume bem o que ocorreu no período da Revolução Industrial.

em nuvem para armazenamento e gestão da informação e chegando até os nossos dias com o advento da inteligência artificial, e a tendência é que esta evolução prossiga ainda mais trazendo uma incógnita para o futuro.

Sadi Carnot

Em termos tecnológicos podemos afirmar categoricamente que o futuro é incerto, além disso, não é exagero afirmar que nós ainda seremos testemunhas de significativos avanços daqui alguns anos. No entanto, apropriando-se dos conhecimentos da termodinâmica associados ao funcionamento das máquinas térmicas, é possível termos um vislumbre do futuro do universo.

É importante lembrar que, em determinado momento, o desenvolvimento técnico das máquinas térmicas andou de mãos dadas com o conhecimento teórico, envolvendo inclusive a natureza do calor e o conceito físico de temperatura. Os resultados obtidos por tais estudos favoreceram ainda mais o processo de mecanização na Inglaterra, fortalecendo-se ainda no contexto naval. Com vantagens no âmbito militar, a Inglaterra buscou ser detentora da hegemonia no campo da exploração colonial, o que motivou inúmeros conflitos com a França, sendo esta derrotada pela Inglaterra nas disputas navais.

Visando sobrepujar a Inglaterra na área bélica, a França aproximou cada vez mais o meio acadêmico da esfera militar, envolvendo estudantes revestidos de forte sentimento nacionalista, que passaram a investir tempo e expertise na produção de armamentos. Entre esses estudantes, podemos destacar Sadi Carnot (1796 - 1832), um jovem talentoso na área das ciências naturais.

De acordo com o ponto de vista de Carnot, um dos motivos primordiais para a vitória inglesa era o fato de suas máquinas térmicas estarem em melhor estágio de

O calor flui espontaneamente de um corpo com maior temperatura para um corpo com menor temperatura.

É impossível extrair trabalho do calor sem, ao mesmo tempo, descartar algum calor.

evolução; assim, ele passa a dedicar esforços para aperfeiçoar as máquinas térmicas francesas. A partir das análises realizadas, Carnot chegou à conclusão de que o calor flui de forma espontânea de um corpo com maior temperatura para um corpo de menor temperatura e que, devido à presença do atrito nas máquinas, esse processo não acontece do tipo vice-versa; inclusive, o atrito é um dos principais responsáveis pelo baixo rendimento das máquinas. Mesmo com a morte precoce em razão de uma epidemia de cólera em Paris em 1832, Carnot deixou um legado com o seu trabalho, que foi primordial para os avanços da teoria do calor e o funcionamento das máquinas térmicas.

Por meio do processo de indução, Sadi Carnot chegou à seguinte lei geral: “É impossível extrair trabalho do calor sem, ao mesmo tempo, descartar algum calor”^[29]. Embora ele não tenha dado a devida atenção a esta lei, mais tarde, ela veio a ser descrita como a Segunda Lei da Termodinâmica, portanto, foi “descoberta” (embora não oficializada como tal) antes da Primeira Lei da Termodinâmica. Esta lei implica na impossibilidade de se utilizar totalmente a energia presente na fonte quente para realização de trabalho.

Rudolf Clausius e Lord Kelvin

A partir dos trabalhos de Sadi Carnot e tendo como referência o Princípio de Conservação da Energia, que já era conhecido em sua época, Rudolf Clausius (1822 – 1888) concluiu que uma máquina térmica é um dispositivo que aproveita a energia contida no reservatório quente para realizar trabalho e o que resta da energia que estava no reservatório quente fica armazenado no reservatório frio. A partir da Figura 28, apresentada a seguir, é possível observar o esquema de funcionamento de uma máquina térmica.

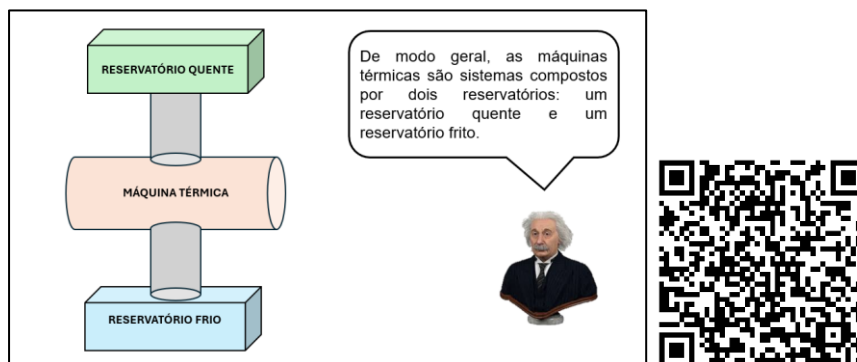


Figura 28: Animação – Esquema de Funcionamento de Uma Máquina Térmica. Fonte: Próprio Autor.

Por meio de seus estudos, Clausius chegou a uma formulação complementar à definição apresentada anteriormente para a Segunda Lei da Termodinâmica : O calor flui naturalmente de um reservatório quente para um reservatório frio, mas nunca o contrário^[29].

William Thomson (1824 – 1907) ou Lord Kelvin foi outro cientista que trouxe muitas contribuições para o estudo da termodinâmica, apresentando inclusive a sua formulação complementar para a Segunda Lei da Termodinâmica, que pode ser definida da seguinte forma: É impossível transformar completamente uma dada quantidade de calor em trabalho^[29].

A partir do que foi apresentado até o momento, podemos afirmar que o calor é uma modalidade especial de energia, pois as outras modalidades de energia podem ser completamente convertidas em calor; no entanto, o calor não pode ser convertido integralmente em outras modalidades de energia. Por exemplo, uma pessoa esfregando as mãos, nesse ato, será empregado o uso de energia

O calor flui naturalmente de um reservatório quente para um reservatório frio, mas nunca o contrário.

É impossível transformar completamente uma dada quantidade de calor em trabalho.

cinética associada ao movimento das mãos e, devido ao atrito presente no processo, haverá uma conversão de energia cinética em energia térmica (calor). O fato interessante a se mencionar é que o calor (fruto da transformação da energia cinética) não poderá ser transformado novamente em energia cinética; ou seja, o processo exemplificado tem apenas um sentido de ocorrência.

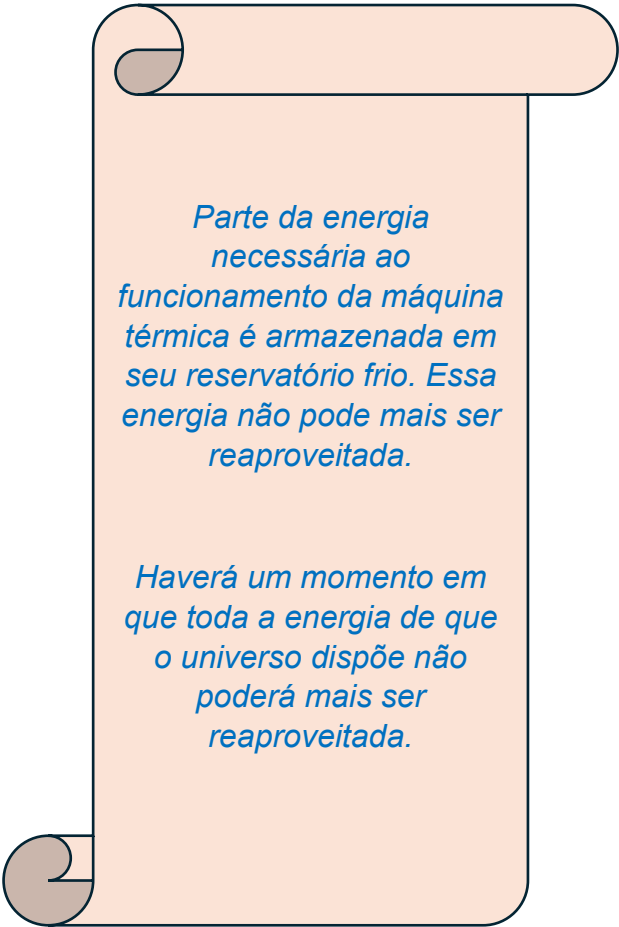
Implicações Cosmológicas das Leis da Termodinâmica

Com a contribuição dos trabalhos dos cientistas destacados até o momento, inclusive Emanuel Clausius e Lord Kelvin, temos a consolidação das bases da Termodinâmica, sendo esta, um ramo da Física que passou a ter a sua compreensão expandida no decorrer do século XIX por intermédio das

abordagens estatística e cosmológica. Sendo assim, aplicando o mesmo modelo de máquina térmica apresentado na Figura 28 para comparar com o desenvolvimento do universo, partindo de sua origem e chegando aos dias de hoje, podemos apresentar uma análise termodinâmica da evolução do universo.

Nesse caso, desde o início do seu desenvolvimento, o universo tem utilizado a energia disponível de forma semelhante à que a máquina térmica utiliza em relação ao seu reservatório quente. A máquina térmica utiliza a energia presente no seu reservatório quente para realizar trabalho (tarefa que deve ser desempenhada pela máquina), de modo semelhante, o universo faz uso da energia que ele tem disponível para a realização de trabalho. Nesse caso, as possibilidades são várias: Formação de galáxias, processo de fusão nuclear que acontece no interior das estrelas, movimento dos planetas em um sistema solar (como é o caso do nosso) e até mesmo todos os fenômenos naturais que acontecem em nosso planeta, e os exemplos não param por aí, você, inclusive pode pensar em vários outros exemplos que cabem nesse assunto.

Uma parcela da energia envolvida no processo de funcionamento de uma máquina térmica fica armazenada em seu reservatório frio, essa energia, por sua vez, não será mais aproveitada em outros processos. De modo semelhante, considerando todos os fenômenos que existem no universo, existe uma fração dessa energia que se converterá em uma modalidade de energia que não poderá mais ser aproveitada. Vale frisar que ela não deixará de existir, pois, não pode violar o Princípio de Conservação da Energia; o que acontecerá é que ela continuará



Parte da energia necessária ao funcionamento da máquina térmica é armazenada em seu reservatório frio. Essa energia não pode mais ser reaproveitada.

Haverá um momento em que toda a energia de que o universo dispõe não poderá mais ser reaproveitada.

existindo no universo, mas não poderá ser reutilizada para realizar trabalho.

Pensando a longo prazo (na escala dos milhares de anos), o universo irá continuar utilizando a sua reserva de energia para realizar trabalho, como resultante desse trabalho realizado sempre haverá uma fração de energia que não poderá ser mais reutilizada; à proporção em que isso acontece, a porção de energia disponível para ser utilizada irá diminuir e a porção de energia que não poderá mais ser reutilizada irá aumentar gradualmente no universo. Tendo em vista que isso está acontecendo ininterruptamente (inclusive agora), haverá um momento no universo em que toda a energia de que ele dispõe não poderá mais ser utilizada para realizar trabalho; nesse momento, todos os fenômenos que existem no universo, incluindo aqueles que são de nosso conhecimento e aqueles que ainda iremos conhecer, irão cessar. Esse acontecimento é chamado pela comunidade científica de **morte térmica do universo**^[29]; nesse momento, todo o universo alcançaria o equilíbrio térmico.

Quando olhamos para a nossa história, podemos afirmar que as questões relacionadas ao fim do mundo sempre inquietaram a mente humana. São vários os povos que apresentaram/apresentam pelo menos uma versão do fim do mundo; sendo assim, algo no mínimo curioso é o fato de vários povos que surgiram no palco de nosso planeta em diferentes épocas e localidades geográficas, cada um deles de acordo com a sua cultura e cosmovisão apresentarem registros daquilo que vem a ser o fim do mundo. De modo semelhante, a ciência tem em parte uma versão para o fim do mundo; é importante destacar que a ciência não tem todas as respostas concernentes às questões que giram em torno do fim do mundo, existem muitas perguntas que seguem em aberto em relação a essa temática, além disso, aquilo que hoje é plenamente aceito na comunidade científica pode não ser mais aceito amanhã, pois, o conhecimento científico não é imutável. Deixando clara a importância do que foi afirmado anteriormente, a termodinâmica nos permite ter um vislumbre de como o mundo irá acabar, sendo a morte térmica do universo uma resposta adequada dentro dos padrões científicos para essa questão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BERNALDO. 1 - **Termologia e Óptica na Sociedade**. [Blog]. In: Bernaldo Exatas. [S. l.], 23 mar. 2018. Disponível em: <https://bernaldoexatas.blogspot.com/2018/03/1-termologia-e-optica-na-sociedade.html>. Acesso em: 11 agosto 2025.
- [2] BORGES, Ernesto P. Irreversibilidade, desordem e incerteza: três visões da generalização do conceito de entropia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 4, pág. 453-463, 1999.
- [3] CAVAGNOLI, Rafael. Breve História da Termodinâmica (I): Máquinas Térmicas e a Revolução Industrial. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 47, p. e20240367, 2025.
- [4] CINDRA, José Lourenço; TEIXEIRA, Odete Pacubi Baierl. Calor e temperatura e suas explicações por intermédio de um enfoque histórico. **Filosofia e história da ciência no Cone Sul: 3º Encontro. Campinas: AFHIC**, 2004.
- [5] CINDRA, José Lourenço; TEIXEIRA, Odete Pacubi Baierl. Discussão conceitual para o equilíbrio térmico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 21, n. 2, p. 176-193, 2004.
- [6] CORREIA, Jornandes Jesús; LIMA, Ludiane Silva; MAGALHÃES, Livia Diana Rocha. Obstáculos epistemológicos e o conceito de calor. **Sitientibus Série Ciências Físicas**, v. 4, p. 1-10, 2008.
- [7] DA CRUZ FILHO, Solon Pereira. O tempo e a física. **Veritas (Porto Alegre)**, v. 41, n. 162, p. 323-331, 1996.
- [8] DA SILVA, Geilson Rodrigues; ERROBIDART, Nádia Cristina Guimarães. Termodinâmica e Revolução industrial: Uma abordagem por meio da História Cultural da Ciência. **História da Ciência e Ensino: construindo interfaces**, v. 19, p. 71-97, 2019.
- [9] DATHEIN, Ricardo. Inovação e Revoluções Industriais: uma apresentação das mudanças tecnológicas determinantes nos séculos XVIII e XIX. **Publicações DECON Textos Didáticos**, v. 2, n. 3, p. 45-49, 2003.

[10] DE PÁDUA, Antonio Braz et al. Termodinâmica clássica ou termodinâmica do equilíbrio: aspectos conceituais básicos. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 29, n. 1, p. 57-84, 2008.

[11] EDUCAÇÃO NA MÃO. **Pirâmide alimentar: o que é?** [S. l.], 2024. Disponível em: <https://www.educacaonamao.com.br/piramide-alimentar-o-que-e/>. Acesso em: 12 janeiro 2026.

[12] ESCOLA SUPERIOR DE ENFERMAGEM DO PORTO. **Marmita de Papin**. In: Museu Virtual da ESEP. Porto. Disponível em: <https://museu.esenf.pt/index.php/marmita-de-papin/>. Acesso em: 10 janeiro 2026.

[13] FINGER, Eduardo. A termodinâmica como princípio motriz do sistema imune. **Einstein (São Paulo)**, v. 10, p. 386-388, 2012.

[14] FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. **Como funciona a panela de pressão?** In: Mundo Educação. Goiânia. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/como-funciona-panela-pressao.htm>. Acesso em: 06 novembro 2024.

[15] FUNSECOM – APERIPÊ TV. **Riscos e cuidados com a panela de pressão** [S. l.], 26 jan. 2015. 1 vídeo (04 min 05 s). Publicado pelo canal FUNSECOM – Aperipê TV. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=g3A_hn5yxPw. Acesso em: 10 janeiro 2026.

[16] GUITARRARA, Paloma. "Zonas térmicas da Terra"; *Brasil Escola*. Disponível em: <https://brasilestela.uol.com.br/geografia/zonas-termicas-terra.htm>. Acesso em: 05 maio 2025.

[17] HALLIDAY, D., RESNICK, R., WALKER, J. **Fundamentos de Física, volume 1: mecânica**; tradução e revisão técnica Ronaldo Sérgio de Biasi. 9. Ed. – Rio de Janeiro: LTC, 2009.

[18] HALLIDAY, D., RESNICK, R., WALKER, J. **Fundamentos de Física, volume 2: gravitação, ondas e termodinâmica**; tradução e revisão técnica Ronaldo Sérgio de Biasi. 8. Ed. – Rio de Janeiro: LTC, 2009.

[19] HELERBROCK, Rafael. **Equilíbrio térmico**. In: Mundo Educação. Goiânia. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/equilibrio-termico.htm>. Acesso em: 25 abril 2025.

[20] HELERBROCK, Rafael. "Pressão atmosférica"; *Brasil Escola*. Disponível em: <https://brasilestola.uol.com.br/fisica/pressao-atmosferica.htm>. Acesso em: 10 janeiro 2026.

[21] LEITE, Viviane B.; ANDRADE-NETO, Antônio V. Conceitos de espaço, tempo e movimento na Mecânica Clássica e na Teoria da Relatividade. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 45, p. e20220321, 2023.

[22] MELO, Pâmella Raphaella. "Como funciona a panela de pressão"; *Brasil Escola*. Disponível em: <https://brasilestola.uol.com.br/quimica/funcionamento-panela-pressao.htm>. Acesso em: 05 novembro 2024.

[23] MOURA, Marcos; AGUIAR, Carlos Eduardo. Entropia e a Segunda Lei da Termodinâmica I. A Seta do Tempo. **Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro**, 2016.

[24] NEDO UTILIDADES DOMÉSTICAS. **Cuidados com a Panela de Pressão** [S. l.], 15 jun. 2016. 1 vídeo (01 min 23 s). Publicado pelo canal Nedo Utilidades Domésticas. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=eW-9ygd2mvQ>. Acesso em: 10 janeiro 2026.

[25] OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS. **Thomas Newcomen**. In: Museo Virtual. [S. l.]. Disponível em: http://historico.oepm.es/museovirtual/galerias_tematicas.php?tipo=INVENTOR&xml=Newcomen,%20Thomas.xml. Acesso em: 18 agosto 2025.

[26] OLIVEIRA, Elisângela Magela. Transformações no mundo do trabalho, da revolução industrial aos nossos dias. **Caminhos de Geografia**, v. 5, n. 11, p. 84-96, 2004.

[27] PELEGRINI, Milton. As nossas imagens do tempo e como ele começou. **Ghrebh-Revista de Comunicação, Cultura e Teoria da Mídia, São Paulo**, v. 1, n. 1, p. 2020-229, 2002.

[28] PELLEGRINI, Carlos Henrique. TERRA E OCEANOS-FONTE DA VIDA. **Revista Análise**, v. 3, n. 5, p. 25-30, 2002.

[29] PIRES, A. S. T. **Evolução das Idéias da Física**. 2. Ed. – São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.

[30] ROCHA, J. F. M. et al. **Origens e Evolução das Ideias da Física**, 2. Ed. Salvador: EDUFBA, 2015.

[31] SANTOS, Lourival Santana; ARAÚJO, Ruy Belém de. A revolução industrial. **História Econômica e Geral**, 2018.

[32] SANTOS, Vanessa Sardinha dos. "O que é fitoplâncton?"; *Brasil Escola*. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/biologia/o-que-e-fitoplancton.htm>. Acesso em: 16 agosto 2025.

[33] UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO. Departamento de Física. **Marmita de Papin**: Saiba Mais. In: Museu Virtual de Física da UFOP. Ouro Preto. Disponível em: <https://physicsvirtualmuseum.ufop.br/thermodynamics/marmita-de-Papin-saibamais.html>. Acesso em: 04 julho 2025.

SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Para o uso do livro paradidático em sala de aula, sobre temas relacionados à termodinâmica, foi elaborada uma sequência didática com ênfase na Lei Zero e na Segunda Lei da Termodinâmica. Esta sequência didática foi aplicada na escola estadual Glória Pérez com carga horária prevista de 4 horas, na segunda série do Ensino Médio, mas pode ser replicada em qualquer escola em turmas com a mesma temática de ensino, tendo o cuidado de fazer as adaptações necessárias.

ESCOLA ESTADUAL GLORIA PÉREZ

PROFESSOR(A): Bruno de Lima Torres	COMPONENTE CURRICULAR: Física	SÉRIE: 2^a	TURMAS: -----
COORDENADOR(A): -----	CARGA HORÁRIA PREVISTA: -----	PERÍODO DE EXECUÇÃO: -----	

DELIMITAÇÃO TEMÁTICA

COMPETÊNCIA ESPECÍFICA [1]

Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global.

HABILIDADE: (EM13CNT102)

(EM13CNT102) Realizar previsões, avaliar intervenções e/ou construir protótipos de sistemas térmicos que visem à sustentabilidade, considerando sua composição e os efeitos das variáveis termodinâmicas sobre seu funcionamento, considerando também o uso de tecnologias digitais que auxiliem no cálculo de estimativas e no apoio à construção dos protótipos.

OBJETOS DE CONHECIMENTO

Leis da Termodinâmica:

- Lei Zero da Termodinâmica;
- Primeira Lei da Termodinâmica;
- Segunda Lei da Termodinâmica.

SITUAÇÕES DE APRENDIZAGENS

1º MOMENTO:

Iniciar a aula dando boas-vindas aos estudantes e preencher o registro diário de classe.

2º MOMENTO:

Apresentar à turma o livro paradidático Termodinâmica em Tópicos e falar brevemente a respeito do seu conteúdo.

3º MOMENTO:

Organizar a turma em 06 grupos, considerando que o último capítulo do livro é o mais extenso, ele será trabalhado por dois grupos.

O critério de organização dos grupos pode ser de acordo com a preferência do professor, podendo utilizar sorteios, combinação dos números da chamada, deixar os alunos à vontade para formarem os grupos, dentre outras possibilidades.

4º MOMENTO:

Após a divisão dos grupos, os textos serão disponibilizados para os estudantes (de acordo com a distribuição dos grupos) com antecedência, por meio de mídia física e/ou digital. Nesse caso, eles terão o prazo de uma semana para se apropriarem do conteúdo do texto para participarem da dinâmica que será aplicada em sala de aula.

5º MOMENTO:

Aplicação da dinâmica do caixeiro viajante: Inicialmente será explicado o funcionamento da dinâmica para os estudantes, sendo necessário cerca de 10 minutos. Em seguida, serão realizados 05 giros com o carteiro viajante, sendo necessários 8 minutos para cada giro. Por último, o carteiro viajante retorna para o seu grupo inicial para receber as informações dos colegas, essa ação irá levar cerca de 10 minutos.

Para mais informações a respeito da dinâmica do Caixeiro Viajante, verificar o **Anexo 1**.

6º MOMENTO:

Aula expositiva: serão abordadas a Lei Zero da Termodinâmica, a Primeira Lei da Termodinâmica e a Segunda Lei da Termodinâmica. A aula será ministrada com o auxílio do conteúdo do livro paradidático Termodinâmica em Tópicos.

A aula foi desenvolvida por meio do uso de slides (**material disponível no Apêndice 1**). Parte do conteúdo dos slides é composto pelas animações explicativas que fazem parte do material paradidático.

ATITUDINAL ENVOLVIDO NAS SITUAÇÕES DE APRENDIZAGENS	INSTRUMENTOS DE AVALIAÇÃO	RECURSOS
- Trabalho em equipe para fortalecimento do espírito gregário e fomento da aprendizagem colaborativa. - Respeito com a fala do colega.	Participação dos estudantes durante as aulas.	- Notebook; - Data Show; - Textos impressos.

APÊNDICE 1 – SLIDES DA AULA EXPOSITIVA



O LEI ZERO DA TERMODINÂMICA

- Conceitos físicos de Temperatura e Calor.
- Lei Zero da Termodinâmica.
- Relação entre a Lei Zero da Termodinâmica e os fenômenos naturais.

Temperatura: grandeza física que mede o grau de agitação das moléculas de um corpo.

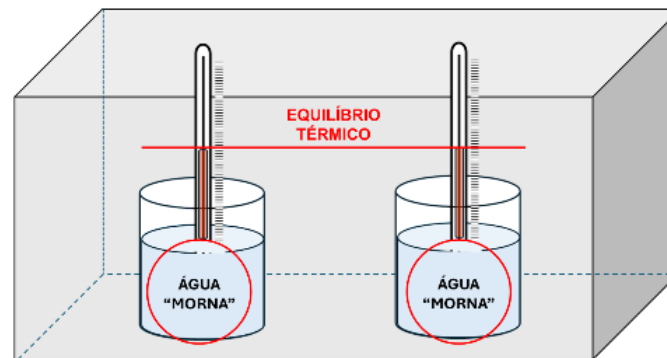
Calor: é uma modalidade especial de energia que é transferida de forma espontânea entre corpos devido a diferença de temperatura entre eles.

Lei Zero da Termodinâmica: dois corpos com diferentes temperaturas em um sistema físico isolado, irão espontaneamente trocar de energia por meio do calor, do que tem maior temperatura para o que tem menor temperatura, até que ambos alcancem a mesma temperatura.

Sistema físico termicamente isolado composto por dois recipientes com água

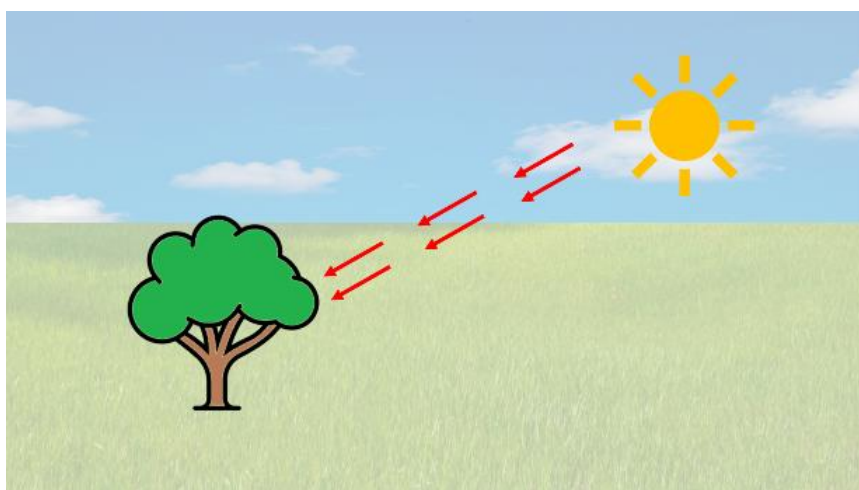
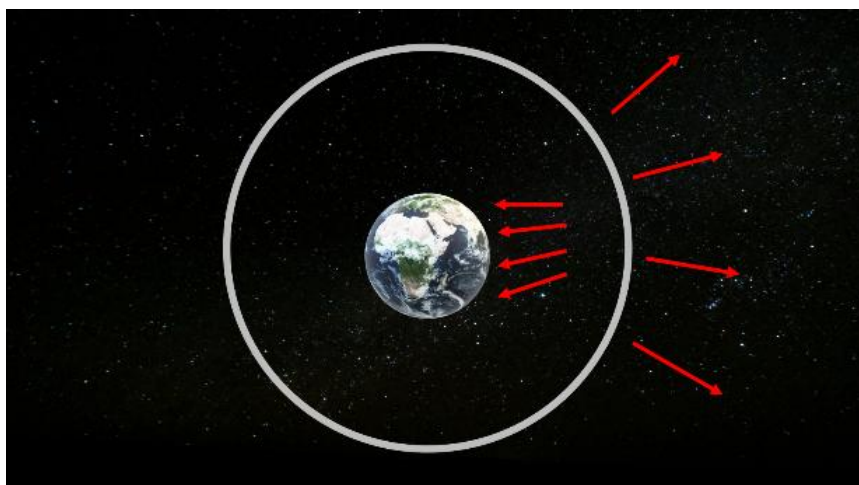
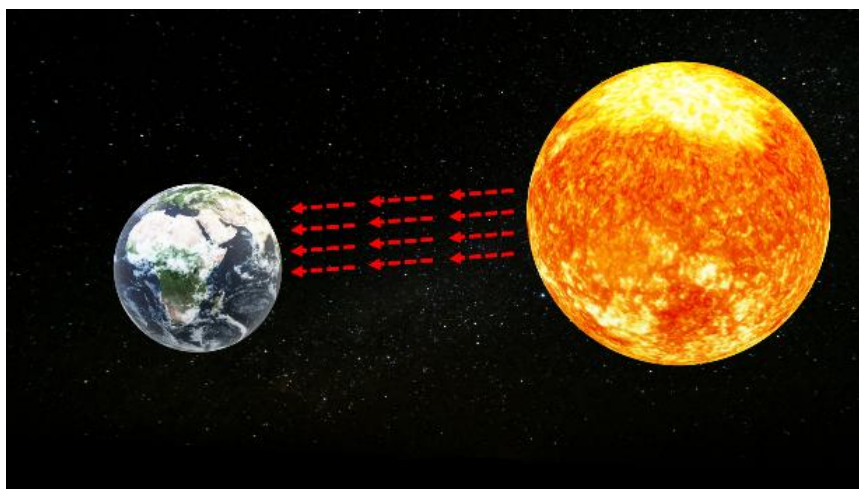


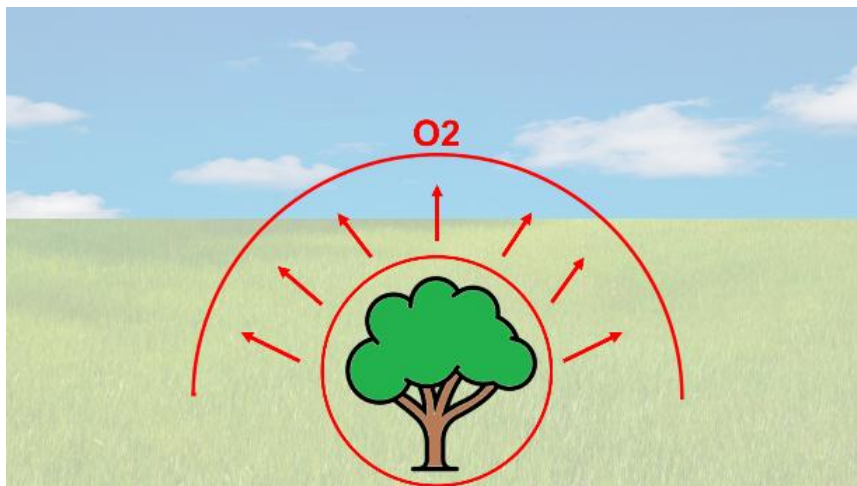
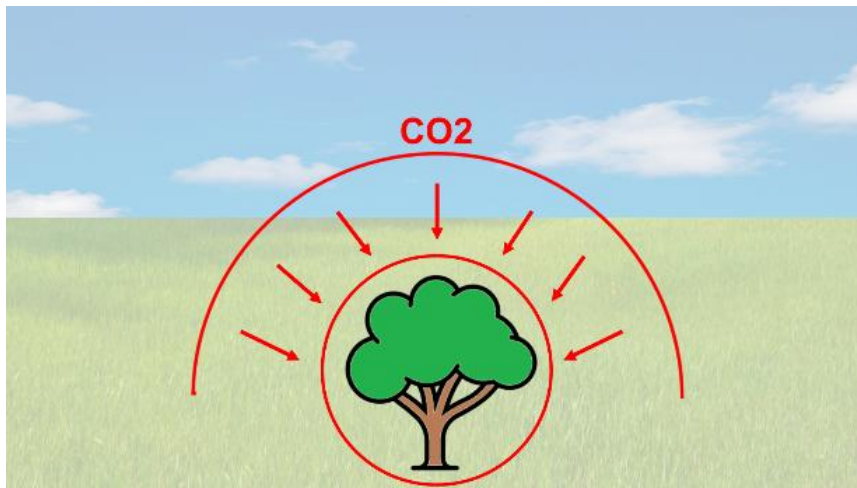
SISTEMA FÍSICO TERMICAMENTE ISOLADO
COMPOSTO POR DOIS RECIPIENTES COM ÁGUA

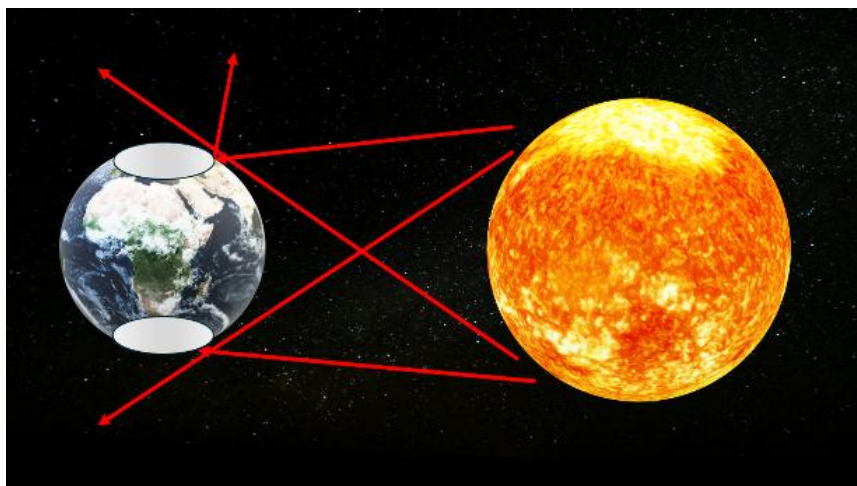


A Lei Zero da Termodinâmica é uma das leis fundamentais da natureza. Ela rege a dinâmica de funcionamento da natureza e do universo.









1 PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

- Princípio de Conservação da Energia.
- Primeira Lei da Termodinâmica.
- Sistemas Termodinâmicos.
 - Painela de Pressão.
 - Corpo Humano.

Princípio de Conservação da Energia: a energia não pode ser criada e nem destruída apenas transformada.

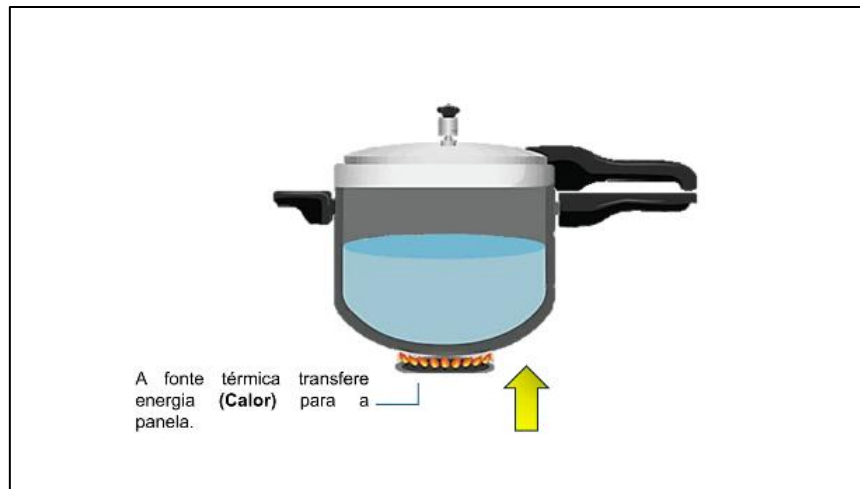
- **Implicação:** toda a energia que existe no universo agora sempre existiu nele desde o seu surgimento.

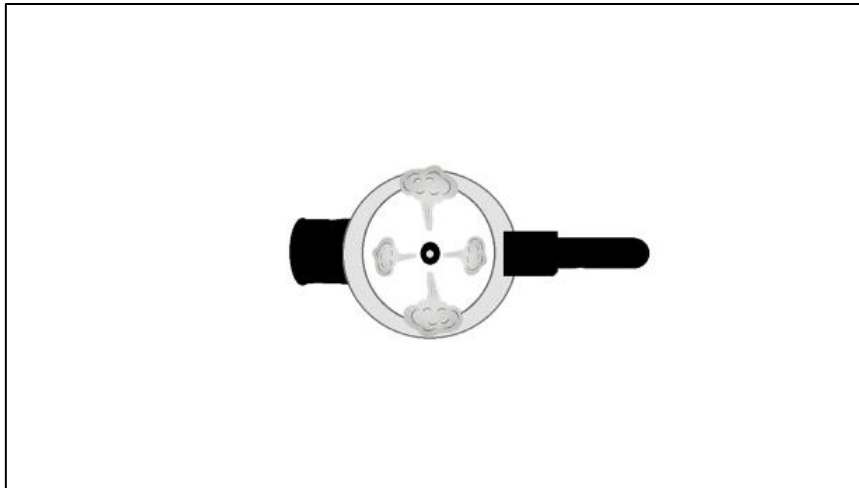
Primeira Lei da Termodinâmica: é uma extensão do princípio de conservação da energia, relacionando basicamente três modalidades de energias: energia interna, calor e trabalho.

$$\Delta U_{\text{int}} = Q + W + E_{\text{Quí}}$$

Sistemas Termodinâmicos – Painela de Pressão







Sistemas Termodinâmicos – Vias Metabólicas



2 SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA E ENTROPIA

- Segunda Lei da Termodinâmica e Entropia.
- Processos reversíveis e irreversíveis.
- Funcionamento do corpo humano.
- Entropia e a Seta do Tempo.
- Entropia e o Fim do Mundo.

Esquema de Funcionamento de uma Máquina Térmica



Segunda Lei da Termodinâmica: O calor flui **naturalmente** de um reservatório quente para um reservatório frio, mas, nunca o **contrário**. (Clausius)

Segunda Lei da Termodinâmica: É **impossível** transformar completamente uma dada quantidade de calor em trabalho. (Kelvin)

Entropia: é a grandeza física que representa a **degradação do calor** ao se **propagar de uma fonte quente para uma fonte fria**.

É o **aumento da entropia** ou **degradação do calor** que é responsável pela dinâmica dos fenômenos na natureza/universo.

Fenômenos Reversíveis e Irreversíveis: Os fenômenos reversíveis são aqueles que tem condições de retornar às condições iniciais, o que é impossível no caso dos fenômenos irreversíveis.

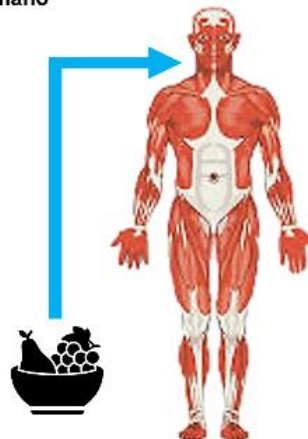
Os Fenômenos Irreversíveis contribuem para o aumento da **degradação do calor**, nesse caso, o **aumento da Entropia**.

Entropia e o Funcionamento do Corpo Humano



Entropia e o Funcionamento do Corpo Humano

Com a Entropia aumentando continuamente, o sistema (corpo humano) está fadado ao colapso, a não ser que ele receba energia proveniente de uma fonte externa a ele, daí a importância da alimentação.



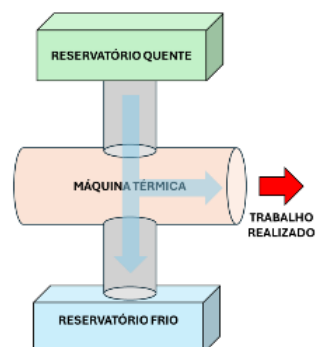
Entropia e a Seta do Tempo – Várias Situações

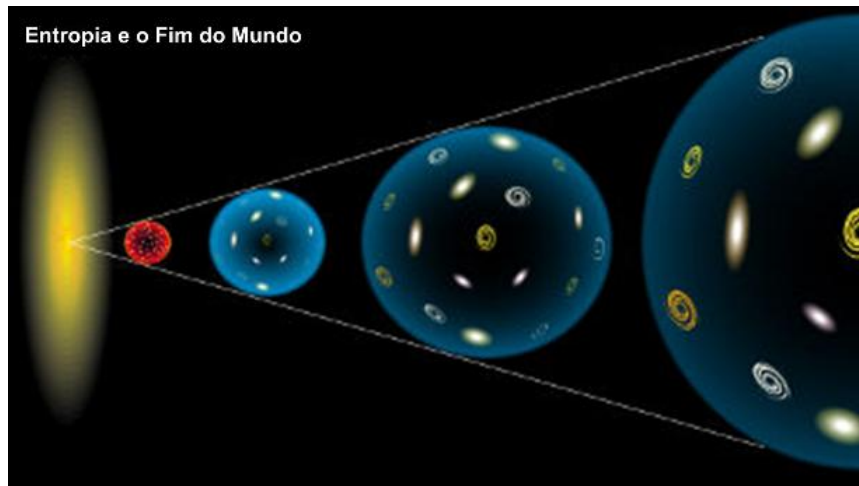


A Seta do Tempo



Entropia e o Fim do Mundo





ANEXO 1 – DINÂMICA DO CAIXEIRO VIAJANTE

A turma é dividida em grupos de acordo com a quantidade de textos ou assuntos disponíveis. Cada grupo irá receber um material, podendo ser combinadas diversas possibilidades: assuntos diferentes para cada texto, abordar o mesmo tema ou assunto em diferentes tipos ou gêneros literários, textos que abordam o mesmo tema ou assunto em visões de mundo opostas ou complementares, etc.

Os grupos terão um intervalo de tempo (ex: 10 minutos) para se apropriar do conteúdo do material recebido. Em seguida, irão nomear um componente do grupo para ser o caixeiro viajante, sendo assim, cada grupo terá um caixeiro viajante.

Em seguida, os caixeiros viajantes irão se deslocar em cada grupo em forma de rodízio por períodos de tempo regulares (ex: 5 minutos) e farão a exposição do conteúdo do seu texto para cada grupo. À medida que os caixeiros socializam as suas impressões acerca dos textos, os componentes dos grupos em que se encontram irão fazer, de forma individualizada, as anotações que julgarem pertinentes em seus cadernos. Essas anotações podem ser realizadas em forma de tópicos, mapa conceitual ou texto corrido.

Terminado o período de rodízio, os caixeiros viajantes regressarão aos seus respectivos grupos. Nesse momento, os componentes dos grupos irão socializar com os caixeiros viajantes os seus conhecimentos que estão registrados nas anotações que foram realizadas no momento do rodízio.

Desse modo, todos os estudantes irão se envolver de forma prática com o(s) conteúdo(s) trabalhado(s) em sala de aula.