

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS**  
**MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

**Raquel Cristina de Oliveira**

**Aprendendo a transformar calor em trabalho:** uma abordagem  
potencialmente significativa no ensino de máquinas térmicas a vapor

Juiz de Fora

2024

**Raquel Cristina de Oliveira**

**Aprendendo a transformar calor em trabalho:** uma abordagem potencialmente significativa no ensino de máquinas térmicas a vapor

Dissertação apresentada ao Polo 24 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de Juiz de Fora / Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Física na Escola Básica.

Orientador: Dr. Júlio Akashi Hernandez

Coorientadores: Dra. Giovana Trevisan Nogueira

Dr. Paulo Henrique Dias Menezes

Juiz de Fora

2024

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Oliveira, Raquel Cristina de.

Aprendendo a transformar calor em trabalho : uma abordagem potencialmente significativa no ensino de máquinas térmicas a vapor / Raquel Cristina de Oliveira. -- 2024.

110 f.

Orientador: Júlio Akashi Hernandes

Coorientadores: Giovana Trevisan Nogueira, Paulo Henrique Dias Menezes

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais, ICE/IFSEMG. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2024.

1. ensino de física. 2. termodinâmica. 3. máquinas à vapor. 4. aprendizagem significativa. I. Hernandes, Júlio Akashi, orient. II. Nogueira, Giovana Trevisan, coorient. III. Menezes, Paulo Henrique Dias, coorient. IV. Título.

## **Raquel Cristina de Oliveira**

**Aprendendo a transformar calor em trabalho:** uma abordagem potencialmente significativa no ensino de máquinas térmicas à vapor

Dissertação apresentada ao Polo 24 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de Juiz de Fora / Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Física na Escola Básica.

Aprovada em 27 de setembro de 2024.

### **BANCA EXAMINADORA**

**Prof. Dr. Paulo Henrique Dias Menezes - Coorientador**  
Universidade Federal de Juiz de Fora

**Profa. Dra. Denise Andrade do Nascimento**  
Universidade Federal de Roraima

**Prof. Dr. Alysson Miranda de Freitas**  
Universidade Federal de Juiz de Fora

Juiz de Fora, 19/09/2024.

---



Documento assinado eletronicamente por **Paulo Henrique Dias Menezes, Professor(a)**, em 02/10/2024, às 14:19, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Alysson Miranda de Freitas, Professor(a)**, em 04/10/2024, às 10:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Denise Andrade do Nascimento, Usuário Externo**, em 04/10/2024, às 12:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Ufjf ([www2.ufjf.br/SEI](http://www2.ufjf.br/SEI)) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **1993802** e o código CRC **030D3A1D**.

---

Dedico este trabalho ao meu filho, Vitor, e ao meu marido, Rodrigo. Vitor, sua alegria e curiosidade são minha inspiração diária. Rodrigo, seu apoio incondicional e amor me deram forças para chegar até aqui. A ambos, minha eterna gratidão e todo meu amor.

## AGRADECIMENTOS

A Deus pela força, sabedoria e saúde para seguir em frente durante toda essa jornada.

Agradeço a todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho. Em especial, ao meu marido Rodrigo e ao meu filho Vitor, pela compreensão e apoio durante as minhas ausências nos momentos em que mais precisaram de mim. Sem o suporte e o carinho de vocês, este trabalho não teria sido possível.

Sou profundamente grata a todos os professores do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), polo 24, pelo conhecimento compartilhado e pelas orientações que enriqueceram minha trajetória acadêmica. Aos amigos da turma MNPEF 2022, especialmente Débora, Isabela e Thaiza, agradeço por tornarem essa jornada mais leve e pelas valiosas trocas de experiências que vivemos juntos.

Aos alunos que participaram deste trabalho, meu sincero agradecimento. Vocês foram fundamentais para que esta pesquisa se concretizasse.

Gostaria de fazer um agradecimento especial ao meu orientador, Dr. Júlio Akashi, que infelizmente nos deixou quase ao final desta dissertação. Sua orientação, paciência e dedicação foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho. Sua ausência é sentida profundamente, e esta conquista é, de certa forma, também sua.

Agradeço à minha coorientadora, Dra. Giovana, minha gratidão por toda a orientação e incentivo ao longo desse percurso e aos professores Dr. Paulo Menezes e Dr. José Luiz Matheus Valle pelo suporte e pelos ensinamentos preciosos que me guiaram na etapa final desta dissertação.

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

## RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo geral desenvolver e aplicar uma sequência didática voltada para o ensino da termodinâmica e das máquinas térmicas a vapor no Ensino Médio, esse é um tema de grande relevância e essencial para uma compreensão mais completa e significativa do conteúdo. Para fundamentar essa proposta, o referencial teórico inclui conceitos de aprendizagem baseados nos estudos de Vygotsky e Ausubel e nas contribuições de Marco Antônio Moreira para o Ensino da Física. A sequência didática, elaborada segundo a metodologia de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS), integra atividades práticas e teóricas distribuídas em três etapas: uma introdução com vídeos e elaboração de mapas mentais, a construção e competição de barquinhos pop-pop e a pesquisa, construção e apresentação de máquinas térmicas a vapor, além da observação do funcionamento de um motor de Stirling. Os resultados obtidos demonstraram que os alunos envolvidos no projeto alcançaram uma compreensão dos aspectos técnicos e históricos das máquinas térmicas, validando a eficácia da abordagem metodológica proposta.

Palavras-chave: ensino da física; máquinas térmicas a vapor; termodinâmica; aprendizagem significativa.

## **ABSTRACT**

The general objective of this work is to develop and apply a didactic sequence aimed at teaching thermodynamics and thermal steam engines in high school, this is a topic of great relevance and essential for a more complete and meaningful understanding of the content. To support this proposal, the theoretical framework includes learning concepts based on the studies of Vygotsky and Ausubel and the contributions of Marco Antônio Moreira to the Teaching of Physics. The didactic sequence, prepared according to the Potentially Significant Teaching Units (UEPS) methodology, integrates practical and theoretical activities distributed in three stages: an introduction with videos and creation of mental maps, the construction and competition of pop-pop boats and research, construction and presentation of thermal steam engines, in addition to observing the operation of a Stirling engine. The results obtained demonstrated that the students involved in the project achieved an understanding of the technical and historical aspects of thermal machines, validating the effectiveness of the proposed methodological approach.

Keywords: teaching physics; steam heat engines; thermodynamics; meaningful learning.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Zonas de desenvolvimento segundo Vygotsky.....	20
Figura 2 - Esquema da máquina a vapor proposta por Watt.....	37
Figura 3 - (a) Termômetro digital – (b) Termômetro de álcool nas escalas Celsius e Fahrenheit.....	39
Figura 4 - Aferindo a temperatura de uma pessoa febril.....	39
Figura 5 - Transferência de calor do ambiente para o gelo.....	40
Figura 6 – Componentes da primeira lei da termodinâmica.....	41
Figura 7 - Representação de um cilindro com pistão movido por um gás.....	41
Figura 8 - Em (a) aumento da energia interna e em (b) diminuição da energia interna.....	42
Figura 9 - Esquema de um refrigerador.....	46
Figura 10 - Parte do calor recebido por uma máquina térmica é convertida em trabalho, enquanto o restante é rejeitado para um sumidouro.....	47
Figura 11 - Diagrama p-V no Ciclo de Carnot.....	49
Figura 12 - Diagrama T-s no Ciclo de Carnot.....	49
Figura 13 - Diagrama T-s na máquina de Stirling.....	51
Figura 14 - Diagrama p-V na máquina de Stirling.....	51
Figura 15 - Um regenerador é um dispositivo que toma energia do fluido de trabalho durante uma parte do ciclo e a devolve durante a outra parte do ciclo.....	52
Figura 16 - Esquema de ciclo de motor automotivo.....	52
Figura 17 – Ciclo de Otto – Diagramas p-V e T-s.....	53
Figura 188 – Funcionamento do motor a vapor.....	60
Figura 199 - Máquina a vapor com fonte de calor.....	61
Figura 20 – Protótipo da máquina térmica a vapor construída pela autora.....	61
Figura 21 – Alunos em atividade de pesquisa.....	62
Figura 22 – Material entregue para cada grupo para construção dos mapas.....	63
Figura 23 – Confecção dos mapas conceituais.....	63
Figura 24 – Mapa mental construído pelos alunos.....	65
Figura 25 – Mapa mental construído pelos alunos.....	66
Figura 26 – Material entregue para cada grupo para construção dos barquinhos.....	68
Figura 27 – Confecção dos barquinhos pelos alunos.....	68
Figura 28 – Confecção dos barquinhos pelos alunos.....	69
Figura 29 – Confecção dos barquinhos pelos alunos.....	69
Figura 30 – Competição dos barquinhos.....	71
Figura 31 – Apresentação dos alunos.....	72
Figura 32 – Apresentação dos alunos.....	72
Figura 33 – Apresentação dos alunos.....	73

Figura 34 – Apresentação dos alunos.....	73
Figura 35 – Carrinho motor de Stirling.....	74
Figura 36 – Funcionamento do carrinho motor de Stirling.....	75

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Etapas constitutivas de uma UEPS.....	30
Quadro 2 – Análise dos livros didáticos.....	54
Quadro 3 - Etapas da aplicação do produto.....	55

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>17</b>
2.1- TEORIA DA INTERAÇÃO SOCIAL DE LEV VYGOTSKY.....	17
2.2 A TEORIA DE VYGOTSKY COMO FUNDAMENTAÇÃO PARA AS ATIVIDADES DE DEMONSTRAÇÃO.....	21
2.3 A TEORIA DE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE DAVID AUSUBEL.....	23
2.4 A UTILIZAÇÃO DE VÍDEO EM SALA DE AULA.....	27
2.5 UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMETE SIGNIFICATIVA.....	28
2.6 O USO DE EXPERIMENTOS NAS AULAS DE FÍSICA.....	31
2.7 O USO DE MAPAS MENTAIS/CONCEITUAIS PARA AVALIAÇÃO DE APRENDIZAGEM.....	32
<b>3. A TERMODINÂMICA.....</b>	<b>36</b>
3.1 LEI ZERO DA TERMODINÂMICA.....	38
3.2 PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA.....	40
3.3 SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA.....	44
<b>3.3.1 Entropia: da ordem para desordem.....</b>	<b>44</b>
3.4 MÁQUINAS TÉRMICAS.....	46
<b>3.4.1 Máquina de Carnot.....</b>	<b>48</b>
<b>3.4.2 Máquina de Stirling.....</b>	<b>50</b>
<b>3.4.3 Ciclo de Otto.....</b>	<b>52</b>
<b>4. O PRODUTO EDUCACIONAL E A SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....</b>	<b>54</b>
4.1 DETALHAMENTO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	56
<b>4.1.1 Descrição da primeira etapa.....</b>	<b>56</b>
<b>4.1.1 Descrição da segunda etapa.....</b>	<b>57</b>
<b>4.1.3 Descrição da terceira etapa.....</b>	<b>57</b>
<b>5. ANÁLISE DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....</b>	<b>59</b>

5.1 DESCRIÇÃO DAS AULAS.....	59
<b>5.1.1 Primeira etapa - Aula 1: Introdução às atividades.....</b>	<b>60</b>
<b>5.1.2 Primeira etapa - Aula 2: Construção de mapas conceituais.....</b>	<b>62</b>
<b>5.1.3 Segunda etapa - Aula 3: Aplicação Prática -Construção dos barquinhos pop-pop.....</b>	<b>67</b>
<b>5.1.4 Segunda etapa - Aula 4: Competição dos barquinhos.....</b>	<b>70</b>
<b>5.1.5 Terceira etapa - Aula 5: Apresentação dos alunos.....</b>	<b>71</b>
<b>5.1.6 – Terceira etapa - Aula 6: Funcionamento do motor Stirling.....</b>	<b>74</b>
5.2 – CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A APLICAÇÃO.....	75
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>77</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>80</b>
<b>APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL.....</b>	<b>84</b>

## 1. INTRODUÇÃO

No contexto atual, o ensino de física no ensino médio tem enfrentado desafios significativos devido à falta de pré-requisitos dos estudantes ao se depararem com novos conceitos relacionados à disciplina. Entre as dificuldades apresentadas pelos alunos, destacam-se a carga horária reduzida da disciplina de física, a falta de estrutura adequada para dar suporte aos processos de ensino e de aprendizagem e a insuficiência de material didático específico. Essas dificuldades levam alguns professores de física a buscarem alternativas para enfrentarem esses desafios. Entre essas alternativas, destacam-se as metodologias e estratégias pedagógicas ativas, que têm o objetivo de estimular o interesse dos estudantes e ampliar a aprendizagem.

Na tentativa de contornar essas dificuldades, diversos pesquisadores e educadores têm investigado e desenvolvido novas metodologias e estratégias pedagógicas. Esses estudos, publicados em artigos científicos, dissertações, vídeos educacionais e outros meios, fornecem uma base teórica e prática para a implementação de abordagens mais eficazes no ensino de física.

Pesquisas recentes têm destacado a importância das metodologias ativas para engajar os alunos de maneira mais significativa. As metodologias ativas, ao envolver os alunos em atividades práticas e colaborativas, aumentam o interesse e a participação, facilitando a compreensão dos conceitos teóricos. Além disso, Berbel (2011) argumenta que incentivar os alunos a formular hipóteses e conduzir experimentos promove o desenvolvimento de habilidades críticas e analíticas, ampliando a autonomia no processo de aprendizagem.

Recursos online, como sites e plataformas educativas, também têm desempenhado um papel crucial na disseminação de boas práticas pedagógicas. Sites como o “Khan Academy” e o “YouTube Edu” oferecem uma vasta gama de vídeos e tutoriais sobre tópicos de física, permitindo que os alunos aprendam no seu próprio ritmo e revisitem conteúdos, conforme necessário.

A integração de metodologias ativas e tecnologias digitais no ensino de Física no ensino médio tem se mostrado uma estratégia eficaz para superar os desafios dessa disciplina. Estudos recentes indicam que essas abordagens não apenas tornam o aprendizado mais dinâmico e acessível, mas também promovem uma compreensão mais profunda dos conceitos científicos, elevando o engajamento dos alunos e a motivação em sala de aula.

Berbel (2011) argumenta que as metodologias ativas permitem que os alunos participem ativamente da construção do conhecimento, o que melhora o interesse e a autonomia dos estudantes (Educação Pública, 2011).

Além disso, pesquisas realizadas na Paraíba destacam que o uso de tecnologias digitais no ensino de Física pode proporcionar uma aprendizagem mais significativa, mesmo com os desafios estruturais enfrentados por algumas escolas públicas (Repositório Digital do IFPB, 2020).

Essas abordagens, quando bem implementadas, contribuem significativamente para melhorar a qualidade do ensino de Física, como apontam Santos et al. (2022), que analisaram as possibilidades e perspectivas associadas ao uso de tecnologias digitais e experimentação (Portal de Periódicos da UnB, 2022).

Esses estudos reforçam a ideia de que o uso de recursos tecnológicos e metodologias inovadoras pode transformar positivamente o ensino de Física no Brasil, promovendo um aprendizado mais duradouro e envolvente.

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC), implementada para reformular a educação básica no Brasil, trouxe mudanças significativas no ensino de física. A BNCC estabelece diretrizes que visam proporcionar uma educação mais contextualizada e significativa, adaptando o ensino às demandas contemporâneas e às novas abordagens pedagógicas. De acordo com a BNCC, o ensino de física deve ser estruturado de maneira a conectar os conceitos teóricos com situações do cotidiano, problemas reais e desafios atuais. Ela também destaca a importância de desenvolver competências essenciais nos estudantes, como a capacidade de “compreender e aplicar conhecimentos científicos em contextos diversos e situações-problema, utilizando procedimentos investigativos e argumentativos para a tomada de decisões fundamentadas” (Brasil, 2018, p. 367).

Essas diretrizes incentivam uma abordagem pedagógica que integra teoria e prática, proporcionando aos alunos experiências de aprendizagem mais dinâmicas e interativas. O objetivo dessa nova forma de abordagem pedagógica é desenvolver nos estudantes o pensamento crítico, a capacidade de resolver problemas e a habilidade de aplicar os conhecimentos adquiridos em contextos reais, promovendo assim uma aprendizagem significativa.

O Currículo Referência de Minas Gerais (CRMG) busca alinhar-se às diretrizes da BNCC, enfatizando a importância de uma educação contextualizada e significativa para os estudantes. Entretanto, é importante destacar que as diretrizes da BNCC e do CRMG trazem novos desafios, como a redução da carga horária de física no ensino médio. Essa redução

pode comprometer a profundidade e a qualidade do ensino desta disciplina, dificultando a implementação de metodologias que requerem mais tempo e dedicação, como as metodologias ativas.

No campo das metodologias ativas, as unidades de ensino potencialmente significativas (UEPS) (Moreira, 2011), visam conectar novos conhecimentos aos conhecimentos prévios dos alunos de maneira substantiva e não arbitrária. Isso é alcançado através de estratégias que promovem a compreensão profunda dos conceitos, como o uso de mapas conceituais, a experimentação prática e a resolução de problemas reais. Neste trabalho, entendemos que essa forma de abordagem pode ajudar a superar as dificuldades tradicionais do ensino de física e promover um aprendizado mais engajador e eficaz.

A escolha do tema "Aprendendo a Transformar Calor em Trabalho" foi motivada pelo reconhecimento de sua grande importância e interesse, tanto do ponto de vista científico quanto pedagógico. O estudo desse fenômeno está no cerne da termodinâmica, uma área fundamental da física que explica como a energia térmica pode ser convertida em trabalho mecânico. Esse conceito é essencial para compreender o funcionamento de diversas tecnologias que são parte do nosso cotidiano, como motores de automóveis, turbinas e usinas de energia.

Além disso, a história das máquinas térmicas a vapor oferece um contexto rico e fascinante, marcando um ponto de virada na Revolução Industrial e no desenvolvimento tecnológico global. Ao explorar como o calor pode ser transformado em trabalho, os alunos têm a oportunidade de compreender conceitos abstratos de maneira mais concreta e aplicada, o que torna o aprendizado mais dinâmico e estimulante.

A aplicação do produto educacional descrito neste trabalho foi estruturada para superar essas limitações, promovendo um ensino dinâmico e interativo. A implementação consistiu em seis aulas práticas, divididas em três etapas que integraram teoria e prática de maneira coesa. A primeira etapa envolveu uma introdução prática e teórica através de vídeos e manuseio de protótipos, estimulando a curiosidade e o pensamento crítico dos alunos, que também foram estimulados a construção de mapas mentais. Na segunda etapa focou na aplicação prática dos conceitos através da construção e competição de barquinhos pop-pop, promovendo a criatividade e a colaboração em grupo. A terceira e última etapa desafiou os alunos a pesquisar, construir e apresentar suas próprias máquinas a vapor, consolidando os conhecimentos adquiridos e permitindo uma exploração mais profunda e prática dos princípios teóricos. Ao final, a observação do funcionamento de um motor de Stirling proporcionou uma compreensão ainda mais abrangente e prática das leis termodinâmicas.

Cada etapa foi essencial para o desenvolvimento de uma experiência educacional completa e enriquecedora.

A metodologia utilizada fundamentou-se em abordagens pedagógicas ativas e potencialmente significativas, inspiradas na teoria socioconstrutivista de Vygotsky. Conforme exposto em sua obra "Pensamento e Linguagem" (2001), Vygotsky defende que a construção do conhecimento ocorre por meio da interação social, onde a mediação do conhecimento é fundamental. Nesse contexto, o uso de mapas mentais, vídeos motivadores e a participação dos alunos na construção de experimentos práticos foram estratégias-chave para engajar os estudantes e facilitar a compreensão dos conceitos de termodinâmica.

A utilização de mapas mentais, conforme descrita por Tony Buzan (2009), criador da técnica, promoveu uma organização visual do conhecimento, auxiliando os estudantes a sistematizarem informações complexas de maneira mais clara e acessível. Esse recurso se mostrou particularmente eficaz no ensino de ciências, permitindo que os alunos estabelecessem conexões entre diferentes conceitos de forma mais intuitiva.

A ênfase na interação social e na mediação do conhecimento buscou criar um ambiente de aprendizado colaborativo, onde os alunos pudessem compartilhar suas descobertas e construir um entendimento coletivo mais sólido. Essas abordagens foram escolhidas por sua eficácia comprovada em estudos educacionais, transformando o aprendizado de conteúdos complexos em experiências significativas e duradouras.

A proposta teve grande sucesso em promover uma compreensão mais aprofundada e significativa dos conceitos de termodinâmica e máquinas térmicas a vapor. Os alunos que participaram das atividades demonstraram um notável aumento de interesse e engajamento com o tema, especialmente por meio das atividades práticas, como a construção de barquinhos pop-pop e a elaboração de seus próprios protótipos de máquinas a vapor.

Além disso, foi possível observar uma evolução significativa na capacidade dos estudantes de relacionar os conceitos teóricos com aplicações práticas, o que valida a eficácia das metodologias ativas e experimentais adotadas. As etapas da sequência didática, fundamentadas nos princípios da aprendizagem significativa e do sócio-construtivismo, revelaram-se adequadas para superar as limitações do ensino tradicional, especialmente no que se refere à abordagem superficial observada nos materiais didáticos convencionais.

Com isso, o produto educacional desenvolvido não apenas cumpriu seus objetivos, mas também oferece um modelo replicável para outros professores que desejam enriquecer o ensino de física com atividades mais práticas e envolventes.

Este estudo está dividido em seis capítulos, incluindo esta introdução. No próximo capítulo será desenvolvido referencial teórico pedagógico baseado nas teorias de aprendizagem de Lev Vygotsky e de David Ausubel, com a devida importância da experimentação prática para o ensino de física.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A abordagem para o ensino e aprendizagem neste trabalho fundamenta-se nas teorias de Lev Semenovitch Vygotsky e David Ausubel. Essas teorias se alinham particularmente com a nossa proposta, tendo em vista estratégia metodológica, adotada para este estudo.

### 2.1- TEORIA DA INTERAÇÃO SOCIAL DE LEV VYGOTSKY

No início de sua carreira, Lev Semenovitch Vygotsky (1896-1934) dedicava-se à pesquisa no campo da criação artística, foi a partir de 1924, que sua trajetória profissional mudou totalmente quando resolveu concentrar-se na psicologia evolutiva, educação e psicopatologia. Vygotsky revolucionou ao sugerir os mecanismos pelos quais a cultura se integra à natureza e à individualidade de cada pessoa, defendendo que as funções psicológicas resultam de complexas atividades cerebrais.

Segundo a concepção de Vygotsky (*apud* Oliveira, 2010), a formação do indivíduo é moldada de acordo com o ambiente em que ele vive, o qual promove interações desde a infância, através de jogos e de brincadeiras, desencadeando comportamentos sociais. Dentro desse contexto, a criança se desenvolve ao interagir com diferentes tipos de pessoas, podendo ser com pares mais habilidosos ou com adultos, que introduzem elementos que se tornam símbolos no reconhecimento dos objetos do seu dia a dia, denominados como "signos".

A linguagem, especialmente por meio da fala, representa uma forma pela qual o indivíduo pode expressar seus pensamentos usando palavras para simbolizar objetos e ações. Um exemplo, é a palavra "cadeira" que geralmente é utilizada para descrever a um observador um objeto com características específicas, diferenciando-o de um sofá, assim, ao ouvir essa palavra, uma pessoa consegue mentalmente observar o objeto, desde que haja familiaridade com a associação entre a palavra e o item, atribuindo um caráter de "signo". É importante observar que, com base no exemplo mencionado anteriormente, duas pessoas podem conceber tipos diferentes de objetos identificados por esse mesmo 'signo'. Enquanto uma pessoa pode imaginar uma cadeira com quatro "pernas", outra pode visualizar uma cadeira com apenas três "pernas", tudo isso dependendo das experiências de cada indivíduo traz consigo. Com isso, fica claro que diferentes pessoas podem interagir de maneiras distintas com o mesmo signo, podendo atribuir a ele significados diversos.

No contexto escolar, sob essa mesma ótica, o desenvolvimento do aluno é impulsionado por interações intelectuais que são facilitadas por sistemas simbólicos, linguagem, diagramas elaborados pelo professor e interações sociais com os colegas de classe.

A interação com os colegas oferece ao aprendiz a oportunidade de trocar experiências, fazendo com que haja a percepção das diversas interpretações de um mesmo signo. Além disso, o papel do professor é o de um mediador da aprendizagem, não sendo o único detentor do conhecimento a ser transmitido.

Vygotsky (*apud* Oliveira, 2010), defende a ideia de que o desenvolvimento do discente está ligado ao que é definido por ele como Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP), uma diferença entre o que o aluno consegue fazer sozinho (desenvolvimento real) e o que consegue fazer com a assistência de um colega ou adulto (desenvolvimento potencial).

Seus estudos enfatizam que o desenvolvimento cognitivo do indivíduo advém da interação social, isto é, da interação com outros indivíduos e com o ambiente que o cerca. Ele salienta ainda que essa interação é responsável pela geração de novas experiências e conhecimentos, fazendo com que a aprendizagem se torne uma experiência social mediada por instrumentos, signos, linguagem e ações em conformidade com os conceitos utilizados.

Para Vygotsky (2007) o desenvolvimento humano é possibilitado por meio da interação do indivíduo com o meio em que ele está inserido. Os processos psicológicos mais complexos, como a consciência e o discernimento, aspectos que diferenciam os humanos dos outros animais, só se formam e se desenvolvem por intermédio do aprendizado advindo da sociabilidade dos indivíduos. Ainda segundo Vygotsky, a linguagem é o instrumento essencial para o fluir do pensamento que permite a elaboração do aprendizado.

Para Vygotsky, a educação vai além de uma mera aquisição de informações, ela é vista como uma das principais fontes de desenvolvimento e pode ser também considerada como a própria construção artificial do desenvolvimento de uma criança.

Vygotsky divergia das ideias de Piaget, uma vez que este último argumentava que as crianças atribuem significado, principalmente, por meio de suas ações no ambiente. Nos estudos de Vygotsky, ele enfatizava a importância da cultura e do contexto social no desenvolvimento infantil, que atua como um guia e como um facilitador do processo de obtenção de conhecimento. Ele partia do pressuposto de que os infantes necessitam operar de maneira eficaz e independente, podendo, assim, capacitarem-se para alcançar um estado mental de funcionamento mais avançado ao interagir com a cultura que o rodeia. Embora a criança desempenhe um papel ativo na aprendizagem, Vygotsky salientava que esse processo não acontece de forma isolada, contrastando com as ideias de Piaget.

Vygotsky defendia a importância dos conteúdos nos programas educacionais, porém, enfatizava os aspectos estruturais e instrumentais. Ele entendia que a existência da escola influencia diretamente na organização do tempo, do espaço e na interação social entre alunos, professores e o ambiente escolar, tendo como resultado os efeitos da escolarização.

Em sua teoria, Vygotsky introduziu o conceito de Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP), que representa a distância entre o conhecimento prévio e o conhecimento formal, bem como o potencial de aprendizado do indivíduo. Nesse contexto, a aprendizagem ocorre dentro dessa zona, na qual o conhecimento formal é algo que o sujeito consegue aplicar por si só, enquanto o conhecimento potencial necessita da assistência de terceiros para ser aplicado.

[...] Essa diferença entre doze e oito ou entre nove e oito, é o que nós chamamos a zona de desenvolvimento proximal. Ela é a distância entre o nível de desenvolvimento real, que se costuma determinar através da solução independente de problemas, e o nível de desenvolvimento potencial, determinado através da solução de problemas sob a orientação de um adulto ou em colaboração com companheiros mais capazes. (Vygotsky, 1991. p. 56)

De acordo com a teoria interacionista de aprendizagem proposta por Vygotsky, destaca-se a importância do contexto histórico-social e do papel fundamental da linguagem no desenvolvimento individual. Vygotsky enfatizava que o processo para a aquisição de conhecimento ocorre por meio da interação do sujeito com o ambiente, sendo o indivíduo um participante ativo que tem essa aquisição de conhecimento possibilitada pelas relações interpessoais e intrapessoais, um processo denominado por ele de mediação.

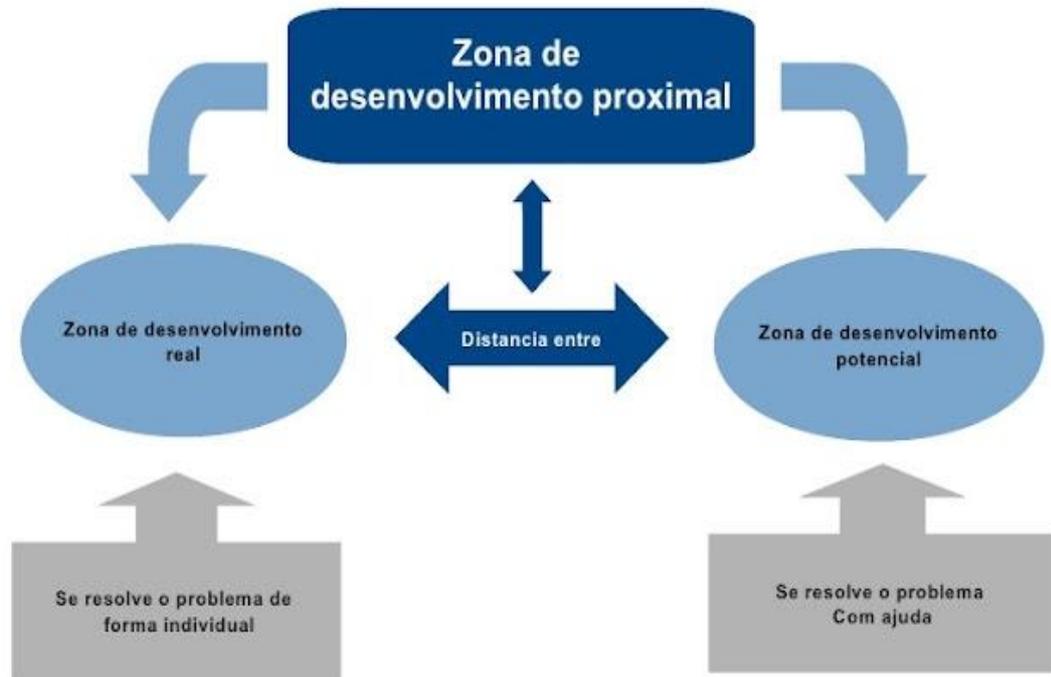
Na dinâmica escolar, visa a estruturação do pensamento humano mediante a organização de conhecimentos em áreas, como linguagem e ciências, e seguindo padrões estabelecidos, o professor desempenha o papel de mediador. A função do educador é empregar estratégias que incentivem os alunos a se tornarem independentes e a desenvolverem o seu potencial, criando novas Zonas de Desenvolvimento Proximal (ZDP).

Entre as diversas estratégias, uma delas consiste em promover trabalhos em grupo, utilizando-se de técnicas que estimulem e facilitem o aprendizado. Isso permite que os alunos construam o conhecimento de maneira coletiva, participando ativamente e colaborando uns com os outros. É um modo de criar ambientes que sejam propícios para a participação, para a colaboração e para o enfrentamento de desafios constantes.

Dentro da abordagem da teoria da aprendizagem de Vygotsky, há a compreensão de que o desenvolvimento e a aprendizagem se dão em diferentes níveis: o nível de desenvolvimento real, que corresponde à posição em que a criança se encontra, representando sua capacidade em um momento específico, e o nível de desenvolvimento potencial, que se

refere ao ponto até onde a criança pode progredir ou alcançar. Entre elas está a zona de desenvolvimento proximal. Essas zonas estão representadas na Figura 1.

Figura 1 - Zonas de desenvolvimento segundo Vygotsky



Fonte: Disponível em:

[https://4.bp.blogspot.com/UJxE6vi5ec/V3aV0rQJo8I/AAAAAAAAAHkA/Jqx0qR9243ctct\\_VQkUOt\\_o3ohXIHxshHwCLcB/s1600/123.jpg](https://4.bp.blogspot.com/UJxE6vi5ec/V3aV0rQJo8I/AAAAAAAAAHkA/Jqx0qR9243ctct_VQkUOt_o3ohXIHxshHwCLcB/s1600/123.jpg) / Acesso em: 02/03/2024

É na zona de desenvolvimento proximal que a aprendizagem irá acontecer. O professor, como mediador, deve estabelecer a ZDP com o aluno, haja vista que é a partir desse momento que o professor terá a oportunidade de ensinar ao aluno. Uma vez que não seja possível desenvolver a ZDP, o professor encontrará dificuldades para ensinar, não sendo uma tarefa fácil encontrar em qual ZDP o aluno está.

Em relação a ZDP, Vygotsky o define da seguinte forma:

Ela é a distância entre o nível de desenvolvimento real, que se costuma determinar através da solução independente de problemas e o nível de desenvolvimento potencial, determinado através da solução de problemas sob a orientação de um adulto ou em colaboração com companheiros mais capazes. (...) A zona de desenvolvimento proximal define aquelas funções que ainda não amadureceram, mas que estão em processo de maturação, funções que amadurecerão, mas que estão presentemente em estado embrionário. Essas funções poderiam ser chamadas de “brotos” ou “flores” do desenvolvimento, ao invés de “frutos” do desenvolvimento. (Vygotsky, 1999, p. 97).

A Zona de Desenvolvimento Proximal é o espaço no qual a aprendizagem se desenrola. Identificar exatamente em qual ZDP o aluno está inserido não é uma tarefa nada simples. Conforme mencionado por Oliveira (2010, p. 62) "A zona de desenvolvimento proximal é um campo psicológico em constante mudança: o que uma criança é capaz de fazer com auxílio hoje, poderá realizar sozinha no futuro." Essa identificação se torna particularmente desafiadora em contextos de sala de aula, levando-se em consideração que o professor, responsável por facilitar a transição da ZDP para o nível de desenvolvimento real, lida com dezenas de alunos, cada um em seu próprio estágio na ZDP.

## 2.2 A TEORIA DE VYGOTSKY COMO FUNDAMENTAÇÃO PARA AS ATIVIDADES DE DEMONSTRAÇÃO

Howe (1996) aponta que, segundo a teoria de Vygotsky, todo conhecimento de origem formal é considerado científico. Isso inclui áreas como ciências sociais, línguas, matemática, ciências físicas e naturais. Esses conhecimentos são sistemáticos e hierárquicos, sendo apresentados e assimilados dentro de um sistema de relações. Em contraste, o conhecimento espontâneo é composto por conceitos não sistemáticos e não organizados, baseados em situações particulares e adquiridos no contexto da experiência cotidiana. A diferença fundamental entre esses dois tipos de conhecimento é a presença ou ausência de um sistema estruturado. Vygotsky (2001) classifica todos os conceitos aprendidos na educação formal como científicos, enquanto os conceitos adquiridos de forma informal são considerados espontâneos. No entanto, ele destaca a singularidade cognitiva no processo de aquisição desses conceitos.

O desenvolvimento dos conceitos espontâneos e científicos - cabe pressupor - são processos intimamente interligados, que exercem influências um sobre o outro. [...] independentemente de falarmos do desenvolvimento dos conceitos espontâneos ou científicos, trata-se do desenvolvimento de um processo único de formação de conceitos, que se realiza sob diferentes condições internas e externas, mas continua indiviso por sua natureza e não se constitui da luta, do conflito e do antagonismo de duas formas de pensamento que desde o início se excluem. (Vygotsky, 2001, p. 261).

Estudos empíricos levaram Vygotsky a confirmar sua hipótese de que as crianças usam conceitos espontâneos antes de compreendê-los conscientemente, ou seja, antes de serem capazes de defini-los e operarem com eles de forma voluntária. Elas possuem o conceito e conhecem o objeto ao qual ele se refere, mas não têm consciência do próprio ato de pensar. Em contraste, o desenvolvimento de conceitos científicos segue uma trajetória oposta:

começa com sua definição verbal e formal, sendo aplicados em operações não espontâneas. Inicialmente, as crianças operam com esses conceitos em um nível de complexidade lógica que os conceitos espontâneos só alcançam no final de seu desenvolvimento. No entanto, as crianças só adquirem domínio e familiaridade com os conceitos científicos muito mais tarde, comparado aos conceitos espontâneos. Portanto, do ponto de vista da complexidade lógica, o desenvolvimento dos conceitos espontâneos é ascendente, enquanto o dos conceitos científicos é descendente.

Para Vygotsky, a mente da criança se comporta de maneira diferente quando lida com conceitos científicos em comparação aos conceitos espontâneos.

A relação dos conceitos científicos com a experiência pessoal da criança é diferente da relação dos conceitos espontâneos. Eles surgem e se constituem no processo de aprendizagem escolar por via inteiramente diferente que no processo de experiência pessoal da criança. As motivações internas, que levam a criança a formar conceitos científicos, também são inteiramente distintas daquelas que levam o pensamento infantil à formação dos conceitos espontâneos. Outras tarefas surgem diante do pensamento da criança no processo de assimilação dos conceitos na escola, mesmo quando o pensamento está entregue a si mesmo. [...] considerações igualmente empíricas nos levam a reconhecer que a força e a fraqueza dos conceitos espontâneos e científicos no aluno escolar são inteiramente diversas: naquilo em que os conceitos científicos são fortes os espontâneos são fracos e vice-versa, a força dos conceitos espontâneos acaba sendo a fraqueza dos conceitos científicos.” (Vygotsky, 2001, p. 263).

Vygotsky exemplifica suas afirmações comparando a lei de Arquimedes com o conceito de irmão. Segundo suas pesquisas, as crianças têm mais facilidade em formular a primeira do que o segundo. Isso ocorre porque o enunciado da lei de Arquimedes é apresentado formalmente pelo professor, enquanto é provável que a criança nunca tenha ouvido uma definição formal do conceito de irmão.

O desenvolvimento do conceito de irmão não começou pela explicação do professor nem pela formulação científica do conceito. Em compensação, esse conceito é saturado de uma rica experiência pessoal da criança. Ele já transcorreu uma parcela considerável do seu caminho de desenvolvimento e, em certo sentido, já esgotou o conteúdo fatural e empírico nele contido. Mas é precisamente estas últimas palavras que não podem ser ditas sobre o conceito lei de Arquimedes.” (Vygotsky, 2001, p. 264).

A atividade de demonstração experimental em sala de aula, especialmente no ensino de Física, está alicerçada em conceitos científicos, formais e muitas vezes abstratos. Contudo, essa prática se destaca por trazer um elemento concreto, diretamente observável, permitindo a simulação, em um ambiente controlado, da realidade informal que a criança vivencia fora da escola. Conforme argumenta Vygotsky (2001), as crianças formam suas concepções

espontâneas a partir de experiências cotidianas, mas essas experiências só adquirem significado pleno quando compartilhadas e mediadas por adultos ou colegas mais experientes, que fornecem os significados e explicações culturalmente atribuídos a essas vivências.

Dessa forma, o uso de demonstrações experimentais em sala de aula insere elementos de realidade e experiência pessoal no processo de pensamento do aluno, ajudando a preencher a lacuna cognitiva entre conceitos científicos e conceitos espontâneos. Segundo Vygotsky (2001), essa interação social é fundamental para o desenvolvimento cognitivo, uma vez que o aprendizado ocorre de maneira mais eficaz quando mediado por outros. A atividade experimental de demonstração, quando realizada coletivamente sob a orientação do professor, reproduz a experiência vivencial do aluno fora da sala de aula. Isso não só enriquece os conceitos espontâneos relacionados à atividade, mas também contribui para a apropriação de conceitos científicos, proporcionando-lhes a mesma força e riqueza das vivências pessoais (Zabala, 1998).

### 2.3 A TEORIA DE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE DAVID AUSUBEL

David Paul Ausubel, nascido em Nova York em 1918, é reconhecido por sua Teoria da Aprendizagem Significativa. Embora tenha semelhanças com as propostas de Piaget em alguns poucos aspectos, Ausubel desenvolveu uma abordagem cognitivista um tanto quanto distinta, buscando explicar os processos internos da mente humana relacionados à aprendizagem e à estruturação do conhecimento. Ele valorizava a aprendizagem por descoberta, mas também reconhecia os méritos da abordagem expositiva em sala de aula.

Moreira (2012) entende a aprendizagem significativa como aquela em que as ideias simbolicamente expressas interagem de forma substancial e não-arbitrária com o conhecimento prévio do estudante. A substancialidade refere-se a uma interação não literal, que vai além do aspecto literal, enquanto a não-arbitrariedade implica que essa interação não ocorre com qualquer ideia prévia, mas sim com a especificidade de um conhecimento e a sua relevância na estrutura cognitiva do aprendiz. Essa abordagem completa a concepção de:

A este conhecimento, especificamente relevante para uma nova aprendizagem, que pode ser, por exemplo, um símbolo já significativo, um conceito, uma proposição, um modelo mental, uma imagem, David Ausubel (1918-2008) o chamava de subsunçor ou ideia-âncora. Em termos simples, subsunçor é o nome que se dá a um conhecimento específico existente na estrutura de conhecimento do indivíduo, que permite dar-lhe significado a um novo conhecimento que lhe é apresentado ou que é descoberto por ele. Tanto por recepção como por descobrimento, a atribuição de significados a novos conhecimentos depende da existência de conhecimentos prévios

especificamente relevantes e da interação com eles. (Moreira, 2012, p. 30, tradução nossa).

É importante enfatizar que, para que a aprendizagem do aluno seja considerada significativa, é essencial que ele demonstre disposição para conectar, de maneira não-arbitrária e não-literal, os significados que ele consegue perceber nos materiais educativos potencialmente relevantes do currículo (Moreira, 1997). Em suma, a aprendizagem significativa ocorre quando o aluno está disposto a aprender e quando o material utilizado é relevante para ele.

Para Ausubel, na aprendizagem receptiva, o aluno é exposto ao conhecimento de forma estruturada e completa, recebendo o conteúdo já organizado e pronto para ser assimilado. Já na aprendizagem por descoberta, o aluno tem um papel mais ativo, sendo responsável por explorar, investigar e encontrar o que precisa ser aprendido, mas isso não implica que ele defina o conteúdo, e sim que ele se engaja na busca por compreender o que já foi programado para ser ensinado. Contudo, mesmo após a descoberta, a aprendizagem só se torna significativa na medida em que houver uma conexão entre os conhecimentos prévios na estrutura cognitiva e os novos conteúdos a serem apresentados. Dessa forma, a teoria de aprendizagem de Ausubel propõe a identificação e valorização dos conhecimentos prévios (subsunçores) para a construção de novas estruturas.

Ausubel considera que o indivíduo organiza e conecta o conhecimento, para integrá-lo à sua base cognitiva prévia, utilizando-se de "subsunçores" como elementos-chave. Esses subsunçores funcionam como pontes entre as ideias já existentes e os novos conhecimentos a serem assimilados. A aprendizagem significativa, segundo Ausubel, envolve a reorganização dos conhecimentos, com acomodação dos novos em consonância com esses subsunçores (Moreira, 1999a).

A integração de novos conhecimentos aos pré-existentes pode reformular os subsunçores, ampliando a capacidade dos estudantes para conectar e para agregar novos saberes aos seus significados. Ausubel enfatiza também o papel do professor para tornar a aprendizagem significativa para o aluno, utilizando-se de organizadores prévios e facilitando a evolução progressiva das ideias.

De acordo com as ideias de Moreira e Masini (2006), a relevância de priorizar a aprendizagem significativa é enfatizada em relação à aprendizagem mecânica. Isso acaba por implicar na necessidade essencial de contar com conceitos anteriormente já vistos, os quais viabilizam a ancoragem de novos conhecimentos. Contudo, na ausência desses conceitos, a aprendizagem mecânica se torna crucial, especialmente quando o indivíduo se encontra diante

de uma área completamente desconhecida por ele. Esses novos conhecimentos adquiridos, por sua vez, passam a desempenhar o papel de pontos de ancoragem para a assimilação de informações posteriores.

A aprendizagem significativa, quando ocorre, produz uma série de alterações dentro da estrutura cognitiva modificando os conceitos existentes e formando novas relações entre eles. Por isso, que a aprendizagem significativa é permanente e poderosa, enquanto a aprendizagem mecânica é facilmente esquecida e dificultada quando aplicada em novas situações de aprendizagem ou na solução de problemas. Numa situação de ensino aprendizagem, a tarefa do professor é a de mediação e não de mero transmissor de informações (Carvalho, 2002, p. 42).

Conforme as ideias de Ausubel, ambas as formas de aprendizagem se complementam, uma vez que a aprendizagem mecânica pode desencadear a aprendizagem significativa. É muito comum que alguém adquira o conhecimento de maneira mecânica para, posteriormente, perceber sua conexão com informações já familiarizadas. Ao longo do tempo, esses conhecimentos tornam-se mais complexos, atuando como pilares para a absorção de novas informações (Darroz; Santos, 2013).

Primeiramente, é de extrema importância a presença de conceitos preexistentes na estrutura cognitiva do aprendiz. O conteúdo a ser assimilado deve apresentar uma lógica e estar interligado à estrutura cognitiva do estudante de forma não arbitrária ou literal, tornando-se potencialmente significativo.

Além disso, o aprendiz deve ter a disposição para aprender de maneira significativa, sem a intenção de meramente memorizar ou decorar o material. Segundo Ausubel, quando alguma dessas condições não se satisfaz, ocorre uma aprendizagem mecânica. Com o intuito de facilitar a aprendizagem significativa, Ausubel recomenda a utilização de organizadores prévios, os quais são introduzidos antes do material principal de aprendizagem, funcionando como pontes entre o conhecimento prévio e os novos temas a serem ensinados. Sobre isso, ele argumenta que a aprendizagem significativa ocorre quando as novas ideias se relacionam de maneira não-arbitrária, substituindo as já existentes. Essa aprendizagem substancial permite a capacitação do aluno para explicar o conteúdo com suas próprias palavras, demonstrando sua compreensão e significado acerca do assunto trabalhado.

As Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) são referenciadas na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel. Uma UEPS propõe uma série de atividades potencialmente significativas que deverão contemplar alguns princípios, com o intuito de possibilitar ao aprendiz uma interação significativa dos conceitos trabalhados. Moreira (2011) apresenta alguns destes princípios, entre os quais podemos destacar: o aluno é quem decide se

irá aprender significativamente ou não; o conhecimento prévio é o principal componente para a ocorrência da aprendizagem significativa; a relação entre o novo conhecimento e o que já se conhece pode ser feita utilizando-se organizadores prévios; as situações-problema devem possuir um nível de complexidade cada vez maior, e devem estabelecer relações e conexões com o novo conhecimento e, por fim, que a aprendizagem deve ocorrer mais frequentemente de maneira significativa e crítica ao invés da aprendizagem mecânica.

Moreira (2014) destaca as condições existentes para que a aprendizagem significativa proposta por Ausubel se realize. Uma delas é a necessidade de que ideias expressas simbolicamente se relacionam de forma não literal e não arbitrária ao conhecimento prévio relevante presente anteriormente na estrutura cognitiva do aluno. Logo, para ocorrer uma aprendizagem significativa, o material deve também ser potencialmente significativo, permitindo a conexão das ideias com a estrutura cognitiva do aluno.

Outra condição crucial é o desejo do aluno em aprender, pois mesmo diante de materiais potencialmente significativos, se o aluno não quiser reter efetivamente os conhecimentos adquiridos e tiver apenas a intenção de memorizá-los, reproduzirá um processo tradicional. Ademais, a aprendizagem significativa é efetiva somente quando o material tem o mesmo potencial significativo.

Moreira (2012) argumenta que o significado reside nas pessoas e não nos objetos. Dessa forma, não é certo afirmar que materiais instrucionais, livros ou aulas sejam intrinsecamente significativos. Ao contrário, o que se pode dizer é que são materiais potencialmente significativos, desde que possuam uma lógica significativa e que os indivíduos tenham os conhecimentos prévios adequados para atribuir significado aos conhecimentos transmitidos por esses materiais.

Em contraponto com a aprendizagem significativa, está a aprendizagem mecânica, na qual as novas ideias são memorizadas sem uma clara relação lógica com o conhecimento prévio, fato que não garante a retenção visando a longo prazo.

Ausubel, em alguns pontos, diverge das ideias de Piaget, por exemplo, ao destacar a aprendizagem por descoberta como sendo menos ideal. Ele alerta para a possibilidade de ambas as abordagens se tornarem mecânicas caso não haja uma conexão lógica entre as ideias pré-existentes e as novas que serão aprendidas.

A forma como um conteúdo é introduzido pode influenciar de maneira significativa seu êxito e sua relevância. Assim, ao invés de depender única e exclusivamente dos livros didáticos, Ausubel sugere a inclusão de uma variedade de materiais, como jornais, poesias, filmes, entre outros, para enriquecer a experiência educacional do aluno.

O professor, estando ciente de que as percepções dos alunos são únicas e são baseadas em suas próprias experiências prévias, deve buscar uma comunicação eficaz, adaptando o currículo e os materiais educativos à realidade dos alunos, facilitando uma maior interação, mais intensa e mais compreensível.

Adequar o currículo e os materiais didáticos à linguagem acessível e à interação pessoal é crucial para o sucesso do processo educacional, visto que proporciona condições iniciais para um aprendizado progressivo.

#### 2.4 A UTILIZAÇÃO DE VÍDEO EM SALA DE AULA

Moran (2002) destaca a capacidade do vídeo em explorar a observação, a visualização e a apresentação das mais diversas situações, pessoas, cenários, cores e relações espaciais. Entende-se essa ferramenta como sendo de suma importância para o ensino da física, uma vez que muitos conceitos se tornam mais compreensíveis quando o aluno pode visualizá-los, algo que nem sempre é possível apenas com a explicação teórica e verbal do professor.

O vídeo é uma forma de envolver o aluno no conteúdo e de o aproximar da teoria, conforme Moran (1995):

O vídeo parte do concreto, do visível, do imediato, próximo, que toca todos os sentidos. Mexe com o corpo, com a pele - nos toca e "tocamos" os outros, estão ao nosso alcance através dos recortes visuais, do close, do som estéreo envolvente. Pelo vídeo sentimos, experienciamos sensorialmente o outro, o mundo, nós mesmos (Moran, p. 1, 1995).

A escolha criteriosa de vídeos pelo professor torna-se fundamental para a integração efetiva no material didático. Segundo Moran (1995), ao apresentar um vídeo em sala de aula, o docente deve seguir etapas específicas. Antes de exibi-lo, é recomendável fornecer uma visão geral do que será apresentado a fim de evitar interpretações prévias e preconceitos em relação ao conteúdo. O professor deve assistir ao vídeo antes de todos para que possa avaliar sua qualidade e sua pertinência ao conteúdo proposto.

Durante a exibição, é sugerido fazer anotações das cenas essenciais e observar as reações do grupo. Após a reprodução, voltar ao início do vídeo e rever as partes mais cruciais e desafiadoras. Em casos em que há maior complexidade, é aconselhável reproduzi-lo novamente, direcionando a atenção dos alunos para cenas específicas, trilha sonora, diálogos e situações relevantes. A análise quadro a quadro das imagens significativas é benéfica, assim como também a observação do áudio, música, efeitos e frases-chave.

## 2.5 UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMETE SIGNIFICATIVA

A UEPS são sequências de ensino estabelecida teoricamente, direcionadas para a aprendizagem significativa, não mecânica (Moreira, 2012). Segundo o mesmo autor, a construção de uma UEPS segue um objetivo, uma filosofia e um marco teórico:

**Objetivo:** desenvolver unidades de ensino potencialmente facilitadora da aprendizagem significativa de tópicos específicos de conhecimento declarativo e/ou procedimental. **Filosofia:** só há ensino quando há aprendizagem e esta deve ser significativa; ensino é o meio, aprendizagem significativa é o fim; materiais de ensino que busquem essa aprendizagem devem ser potencialmente significativos. **Marco teórico:** a teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel (1968, 2000), em visões clássicas e contemporâneas (a exemplo de Moreira, 2000, 2005, 2006; Moreira e Masini, 1982, 2006; Masini e Moreira, 2008; Valadares e Moreira, 2009), as teorias de educação de Joseph D. Novak (1977) e de D. B. Gowin (1981), a teoria interacionista social de Lev Vygotsky (1987), a teoria dos campos conceituais de Gérard Vergnaud (1990; Moreira, 2004), a teoria dos modelos mentais de Philip Johnson-Laird (1983) e a teoria da aprendizagem significativa crítica de M. A. Moreira (2005). (Moreira, 2012, p. 45).

Todos estes elementos devem ser observados na construção de uma UEPS, visto que em seu objetivo são levados em consideração os conhecimentos declarativos e/ou procedimentais que se deseja despertar no estudante. Esse objetivo diz respeito à cognição, à formação do conhecimento significativo sobre pessoas, eventos, proposições e imagens na mente de quem aprende. Em relação à filosofia presente na construção de uma UEPS, reconhece que ela deve sempre buscar a aprendizagem significativa, pois é ela que assegura que o ensino, que foi pensado e materializado nas ações da unidade de ensino, realmente aconteça.

Diante dos aspectos mencionados, deve-se levar em conta o marco teórico de uma UEPS, que é a Teoria da Aprendizagem Significativa e, como sugestão, no marco teórico citado acima foi relacionada uma lista de autores que tratam dessa temática, ressaltando o precursor da citada teoria que foi David Paul Ausubel.

Perante a elaboração e edificação de uma UEPS outros pontos devem ser observados, como os princípios destacados por Moreira (2012):

O conhecimento prévio é a variável que mais influencia a aprendizagem significativa (Ausubel); - pensamentos, sentimentos e ações estão integrados no ser que aprende; essa integração é positiva, construtiva, quando a aprendizagem é significativa (Novak); - é o aluno quem decide se quer aprender significativamente determinado conhecimento (Ausubel; Gowin); - organizadores prévios mostram a relacionabilidade entre novos conhecimentos e conhecimentos prévios; - situações- problema podem

funcionar como organizadores prévios, dar sentido a conhecimentos novos e serem propostas em nível crescente de complexidade; - a “diferenciação progressiva, a reconciliação integradora e a consolidação” devem ser levadas em conta na organização do ensino (Ausubel); - a avaliação da aprendizagem significativa deve ser feita em termos de buscas de evidências; a aprendizagem significativa é progressiva; - um episódio de ensino envolve uma relação triádica entre aluno, docente e materiais educativos, cujo objetivo é levar o aluno a captar e compartilhar significados que são aceitos no contexto da matéria de ensino (Gowin); - essa relação poderá ser quadrática, na medida em que o computador não for usado apenas como material educativo, ou seja, na medida em que for também mediador da aprendizagem; a aprendizagem deve ser significativa e crítica, não mecânica (Moreira, 2012, p. 47).

Observa-se que os princípios citados acima são fios condutores que devem ser considerados no planejamento, na aplicação e na avaliação de uma unidade de ensino potencialmente significativa, pois a nitidez da relevância de tais princípios habilita a ação docente em perceber evidências de aprendizagem significativa nas atividades de interação com o conhecimento que o estudante venha a efetivar.

A proposta das UEPS de Moreira (2011) organiza-se em aspectos sequenciais, os quais listamos a seguir em oito etapas resumidas no Quadro 1.

Quadro 1: Etapas constitutivas de uma UEPS

<b>Aspectos sequenciais das UEPS</b>	
<b>Etapa 1</b>	Definição do Tópico Específico do que se propõe ensinar. Conhecimento declarativo e procedimentais, tais como aceitos no contexto da matéria de ensino;
<b>Etapa 2</b>	Proposição de situações-problema que levem o aluno a exteriorizar o que sabem sobre a matéria de Ensino. Ex: Mapas, questionamento, tempestade de ideias;
<b>Etapa 3</b>	Proposição de situações-problema em nível bem introdutório, levando em conta o conhecimento prévio - vídeos, problemas do cotidiano, que instiguem a necessidade de modelá-los mentalmente;
<b>Etapa 4</b>	Apresentação do conhecimento a ser ensinado, levando em conta a diferenciação progressiva, ou seja, partindo dos aspectos mais gerais e inclusivos do conhecimento, para os menos inclusivos e específicos;
<b>Etapa 5</b>	Retomada de aspectos mais gerais e inclusivos – reconciliação integrativa;
<b>Etapa 6</b>	Prosseguimento ao processo de diferenciação progressiva numa perspectiva integradora (vídeo, texto), com novas situações-problema em níveis maiores de complexidade;
<b>Etapa 7</b>	A avaliação da aprendizagem por meio da UEPS deve ser feita ao longo de sua implementação, registrando tudo que possa ser considerado evidência de uma aprendizagem significativa do conteúdo, também deve haver uma avaliação somativa individual;
<b>Etapa 8</b>	Avaliação da UEPS, que será considerada exitosa se a avaliação de desempenho dos alunos/professores fornecer evidências da aprendizagem significativa.

Fonte: autoria própria.

As etapas descritas contemplam processos importantes da aprendizagem significativa sendo necessário verificar desde o início do processo o avanço conceitual em relação aos subsunçores apresentados nas etapas iniciais, a diferenciação progressiva estabelecida no decorrer da evolução da complexidade das atividades desenvolvidas e a retomada integrativa do conhecimento estudado.

Dessa forma, o professor terá elementos para identificar de que forma ocorreu a aprendizagem do estudante e assim verificar os indícios da aprendizagem significativa. Sobre a avaliação, Moreira (2011, p. 5) destaca que “a aprendizagem significativa é progressiva, o domínio de um campo conceitual é progressivo; por isso, a ênfase é em evidências, não em comportamentos finais”. Assim entende-se que a avaliação de uma UEPS não pode ser reduzida a verificação final, mas sim de todo o processo desenvolvido ao longo das oito etapas das UEPS.

## 2.6 O USO DE EXPERIMENTOS NAS AULAS DE FÍSICA

O uso de atividades experimentais no ensino de Ciências, especialmente em Física, tem se tornado cada vez mais relevante no ambiente escolar. Essas atividades são ferramentas metodológicas que facilitam a aprendizagem, permitindo que os estudantes observem os fenômenos físicos ao seu redor. Além disso, a aplicação dessas atividades em sala de aula possibilita que os alunos testem e comprovem teorias, aumentando o interesse pelos temas abordados pelos professores.

Pode-se destacar a potencialidade da experimentação como suporte metodológico no ensino de Física, uma vez que os professores a consideram uma estratégia que contribui para as aulas, aliviando as dificuldades de compreensão dos alunos em relação aos conteúdos da disciplina. Isso está em consonância com o que é proposto pelos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN).

De acordo com Souza (2013, p. 13), “a realização de experimentos em Ciências representa uma excelente ferramenta para que o aluno concretize o conteúdo e possa estabelecer relação entre a teoria e a prática”. Os experimentos nas aulas de Ciências aumentam o interesse dos estudantes, permitindo que eles observem e investiguem os fenômenos estudados na teoria.

Os experimentos ajudam a despertar e manter a atenção dos alunos durante as aulas. Para isso, é essencial que o professor adote uma postura questionadora e use estratégias que

incentivem a participação dos alunos na atividade proposta (Oliveira, 2010). O docente deve lançar questionamentos, dando espaço para que os estudantes exponham suas ideias, que devem ser problematizadas pelo professor.

No entanto, somente o experimento não é suficiente para promover a aprendizagem. O papel do professor é fundamental para reformular as ideias dos alunos e abrir novos caminhos de investigação, tornando a sala de aula um ambiente interativo (Bizzo, 2002). Os experimentos devem ser orientados pelo professor, que deve apresentar questões investigativas relacionadas ao cotidiano dos alunos, criando problemas desafiadores e reais que incentivem a busca além da observação e manuseio dos experimentos.

As atividades experimentais devem permitir que os alunos testem hipóteses e verifiquem fenômenos físicos discutidos na teoria e observados ao seu redor. Isso proporciona uma participação ativa dos alunos, despertando sua curiosidade e desenvolvendo uma postura crítica e analítica sobre a realidade. Segundo Séré, Coelho e Nunes (2003), as atividades experimentais permitem que os alunos desenvolvam métodos de investigação, tendo uma visão mais crítica sobre as respostas alcançadas. A atividade experimental no ensino de Ciências pode ser uma ferramenta importante e eficiente que permite a criação de problemas reais, levando a um ensino contextualizado e ao estímulo de questões a serem investigadas, assim, os experimentos aproximam os estudantes de situações do dia a dia, tornando o ensino de Física mais significativo.

Portanto, é evidente que o uso de atividades experimentais nas aulas de Física pode ajudar os alunos a compreenderem e assimilarem melhor os conceitos físicos, aplicando os conhecimentos teóricos na prática. Isso contribui para o desenvolvimento de competências e habilidades na resolução de problemas, permitindo que os alunos revisem os conteúdos físicos de forma expressiva e facilitadora da aprendizagem (Laburú, 2006).

## 2.7 O USO DE MAPAS MENTAIS/CONCEITUAIS PARA AVALIAÇÃO DE APRENDIZAGEM

O mapa conceitual é uma ferramenta que pode ser usada tanto como estratégia de ensino/aprendizagem quanto como uma ferramenta avaliativa, entre outras possibilidades. No entanto, ele não deve ser aplicado de forma isolada, mas sim integrado a uma proposição teórica clara e a metas previamente estabelecidas. A adoção e implementação de mapas conceituais estão associadas às perspectivas e opções pessoais dos educadores, que refletem seus valores, crenças e posturas teóricas (Ontoria, 2005).

É importante destacar que o mapa conceitual está vinculado a um modelo educacional com características específicas: a) é centrado no aluno, não no professor; b) visa ao desenvolvimento de habilidades, em vez de apenas à repetição de informações; c) busca o desenvolvimento harmonioso de todas as dimensões da pessoa, não apenas das intelectuais (Ontoria, 2005; Moreira, 2006).

Essa estruturação se baseia na aprendizagem significativa, que consiste na integração de novos conceitos à estrutura cognitiva do aluno. A Teoria de Aprendizagem Significativa propõe que o conhecimento seja construído e se organize nas estruturas cognitivas do estudante de maneira hierárquica, nos quais os conceitos mais gerais e inclusivos devem subordinar os mais específicos e detalhados, assim gerando a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa (Moreira; Mansini, 1982).

Neste sentido, os mapas conceituais apresentam como ferramentas capazes de ilustrar a hierárquica dos conceitos, ao passo que também mostram a diferenciação progressiva e reconciliação integrativa, por meio da relação de subordinação e superordenação entre estes conceitos.

Com base na TAS, a construção de mapas conceituais a maneira proposta por Novak e Gowin desenvolvidos na década de setenta durante um programa de pesquisa realizado por Novak na Universidade de Cornell, no qual ele buscou acompanhar e entender as mudanças na maneira como as crianças compreendiam a ciência (Novak; Musonda, 1991).

Tais mapas são ferramentas que servem para estruturar e demonstrar o conhecimento graficamente, a partir de conceitos que se apresentam dentro de círculos ou quadrados, que são interligados por linhas que devem conter frases de ligação que expressam o significado da relação estabelecida entre estes conceitos (Novak; Cañas, 2010).

Neste sentido, os mapas conceituais “[...] não buscam classificar conceitos, mas sim relacioná-los e hierarquizá-los [...]” (Moreira, 2005, p. 38), por isso não devem ser confundidos com organogramas, diagramas de fluxo, mapas mentais ou quadros sinóticos, que possuem princípios diversos.

Os mapas mentais hierárquicos se colocam como um instrumento adequado para estruturar o conhecimento que está sendo construído pelo aprendiz colocando como instrumento facilitador da meta-aprendizagem, possibilitando um estudante aprender a aprender (Tavares, 2007, p. 74).

Os mapas conceituais estruturam-se, principalmente, de maneira hierárquica, devem ser construídos de modo que os conceitos mais abrangentes se disponham no topo e os mais particulares hierarquicamente mais abaixo, demonstrando assim a diferenciação progressiva e, a partir das interligações estabelecidas, a reconciliação integrativa.

Dito isso, Novak e Cañas (2010) estabelecem alguns passos para adequada elaboração de um mapa conceitual.

1. Instituir uma questão focal. Ou seja, uma pergunta que exemplifique a problemática que o mapa deve ajudar a resolver.
2. Identificar os conceitos-chave relacionados à questão focal. Geralmente em torno de 15 a 25 conceitos é o suficiente.
3. Listar os conceitos-chave de modo hierárquico. Ou seja, estabelecer uma escala ordena do conceito mais geral e inclusivo, que ficaria no topo da lista, até o conceito mais específico e menos geral, que ficaria na base dela.
4. Elaborar um mapa conceitual preliminar.
5. Revisar o mapa preliminar a fim de averiguar a necessidade de acréscimo de conceitos e ligações cruzadas. Elas são, no mapa, as ligações entre conceitos em diferentes segmentos ou domínios do conhecimento que ajudam a ilustrar como eles se relacionam.

É importante ressaltar que os passos descritos são, apenas, orientações de como elaborar de modo mais fácil e adequado um mapa, o que não significa que a execução de tais passos resultará em mapas “corretos”, principalmente porque esta ferramenta não subentende tal inferência de valor. Visto que os mapas conceituais expressam os significados pessoais atribuídos, seja pelo professor ou pelos alunos, aos conceitos, tem-se, portanto, um mapa e não o mapa (Moreira, 2005). A partir desta perspectiva, Moreira afirma:

Um professor nunca deve apresentar aos alunos o mapa conceitual de um certo conteúdo e sim um mapa conceitual para esse conteúdo segundo os significados que ele atribui aos conceitos e às relações significativas entre eles. De maneira análoga, nunca se deve esperar que o aluno apresente na avaliação o mapa conceitual “correto” de um certo conteúdo. Isso não existe (Moreira, 2005, p. 44-45).

Logo, o estudante apresentará um mapa que será o seu mapa e o importante não é se esse mapa está certo ou não, mas sim se ele dá evidências de que o aluno está aprendendo significativamente o conteúdo (MOREIRA, 2005).

Nesse sentido não existe o mapa correto, é preciso ponderar quais conceitos estão sendo utilizados em sua elaboração, qual hierarquia e conexões estabelecidas; pois nem tudo é válido, “[...] alguns mapas são definitivamente pobres e sugerem falta de compreensão.” (Moreira, 2005, p. 45).

De modo bastante significativo, mapas conceituais podem ser aproveitados como forma não tradicional de avaliação, sendo utilizados como ferramentas para averiguar evidências da aprendizagem significativa dos estudantes em diferentes momentos, a partir da estruturação conceitual que estes fazem de um determinado conhecimento na elaboração de diferentes mapas durante o processo de ensino e aprendizagem.

Como forma de avaliação não tradicional, os mapas conceituais devem ser avaliados de forma qualitativa, buscando compreender que significados os estudantes estabeleceram ao propor aquela hierarquia e relação entre os conceitos, sobre o conteúdo. Neste sentido, explicações orais e escritas sobre o mapa elaborado, também são válidas (Moreira, 2005).

No próximo capítulo, analisaremos as leis da termodinâmica e o funcionamento das principais máquinas térmicas, proporcionando o embasamento teórico essencial para a aplicação prática que será abordada posteriormente.

### 3. A TERMODINÂMICA

A área da Física que estuda a relação entre calor e temperatura, energia térmica e outras formas de energia que faz parte da Física Clássica, aquela que estuda os fenômenos macroscópicos, é chamada de Termodinâmica (Rocha, 2011). Desde sempre estamos em contato constante com conceitos de temperatura e energia térmica através dos dias quentes e frios (trocas de calor), no uso de eletrodomésticos como a geladeira, o ar-condicionado, fornos e fritadeiras, por exemplo.

Embora conceitos como calor e temperatura fossem conhecidos há muito tempo, um melhor entendimento de seus significados deu-se apenas a partir dos séculos XVIII e XIX, a partir da Revolução Industrial, em que se rompeu o vínculo com o modelo de mercado da Idade Média, surgindo a produção capitalista. A evolução da Termodinâmica nesta época deu-se pelas soluções buscadas pela indústria, resultando em inovações tecnológicas como a máquina a vapor. Assim, muitas mudanças ocorreram na política, na sociedade e na economia através de conquistas científicas (Rocha, 2011).

Portanto, neste capítulo estudaremos a diferença entre calor e temperatura, as leis que regem os fenômenos de equilíbrio térmico, primeira e segunda leis da termodinâmica e entropia.

Desde os primórdios, o fogo está associado à noção de calor, através da tentativa e aperfeiçoamento do homem para próprio aquecimento fazendo, conservando e utilizando o fogo. E até mesmo a produção de calor pelo esforço físico, indica uma relação entre trabalho e calor no subconsciente. Já a temperatura, talvez a primeira grandeza a ser medida na Termodinâmica, sempre foi muito utilizada junto aos termos “quente e frio”, voltados à sensação térmica. A partir de registros ocidentais, sabemos que Galileu Galilei construiu um termômetro simples, o termoscópio de ar, dando partida aos diversos termômetros construídos posteriormente, como o termômetro de álcool de Ferdinando II, o termômetro de álcool de Fahrenheit depois substituído pelo termômetro de mercúrio (Rocha, 2011).

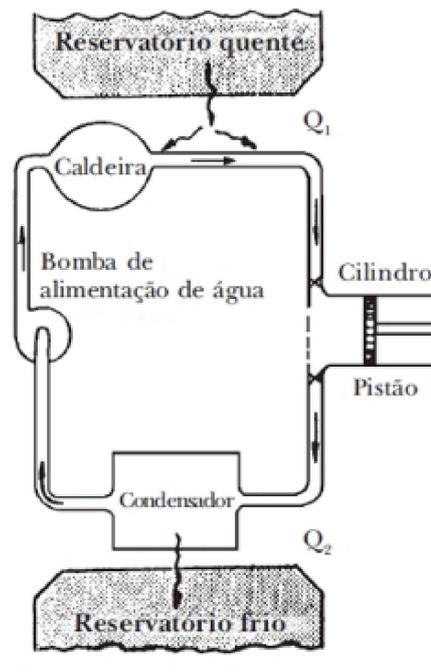
O princípio básico de funcionamento dos termômetros está diretamente relacionado ao equilíbrio térmico, ou seja, o vidro entra em equilíbrio térmico com o líquido, atingindo a mesma temperatura após determinado tempo. Com esta ideia inicial, Francis Bacon conseguiu concluir a partir da medição de temperatura entre três corpos em equilíbrio térmico que a temperatura é uma característica do corpo e não depende da sensação de quente e frio.

Devido à abordagem de conceitos abrangendo o calor, a máquina a vapor trouxe muitos benefícios para a indústria têxtil, principalmente. Máquina esta criada por Denis

Pappin em 1691, porém a primeira máquina a vapor a baixa pressão foi desenvolvida por Thomas Newcomen (1712). A máquina a vapor de baixa pressão foi uma das primeiras grandes inovações tecnológicas da Revolução Industrial, e um dos seus primeiros usos foi o bombeamento de água, especialmente em minas de carvão. Esses sistemas, como os desenvolvidos por Thomas Newcomen no início do século XVIII, utilizavam a condensação de vapor para criar um vácuo parcial e elevar a água de áreas subterrâneas. Embora fossem ineficientes comparados aos motores modernos, essas máquinas foram revolucionárias, pois permitiram o acesso a recursos anteriormente inacessíveis, como a água subterrânea em grandes profundidades (Rocha, 2011). Esse desenvolvimento abriu caminho para a evolução das máquinas a vapor de alta pressão, como as de James Watt, que posteriormente foram aplicadas em uma ampla gama de indústrias e sistemas de transporte.

Com o intuito de aperfeiçoar a máquina a vapor de Newcomen, proporcionando maior rendimento com menos calor fornecido, James Watt corrige alguns defeitos e faz modificações tornando-a mais econômica. Esta modificação é caracterizada pela inserção de um condensador pra evitar o resfriamento do cilindro. A água é o agente fluido do sistema, submetida a um processo cíclico operando entra a fonte quente e a fonte fria, como na Figura 2.

Figura 2 - Esquema da máquina a vapor proposta por Watt.



Fonte: Rocha (2011)

O esquema da Figura 2 ilustra uma caldeira que transforma a água em vapor devido à absorção de calor  $Q_1$  do reservatório quente. O pistão é deslocado pela passagem do vapor pelo cilindro, realizando trabalho. Assim, o vapor esfria após ceder calor  $Q_2$  para o reservatório frio e condensa voltando à fase líquida. No final, a água condensada é levada de volta para a caldeira, reiniciando o ciclo (Rocha, 2011).

Após essas modificações realizadas por Watt, a máquina a vapor passa a ser utilizada também em minas e barcos a vapor. Porém, o engenheiro francês Nicolas Joseph Cugnot foi o idealizador na utilização da máquina a vapor para transportar artilharia pesada em terra. E a primeira locomotiva a vapor foi criada em 1815 pelo engenheiro inglês George Stephenson. Quanto maior foi se tornando a aplicação da máquina a vapor, melhor passou a ser seu rendimento.

Diante deste contexto histórico, partiremos para as definições dos principais conceitos acerca do funcionamento de máquinas térmicas.

### 3.1 LEI ZERO DA TERMODINÂMICA

É recorrente muitas pessoas entenderem calor e temperatura como sinônimos. Portanto, precisamos definir bem estes conceitos para melhor compreensão das leis nesta e nas próximas seções.

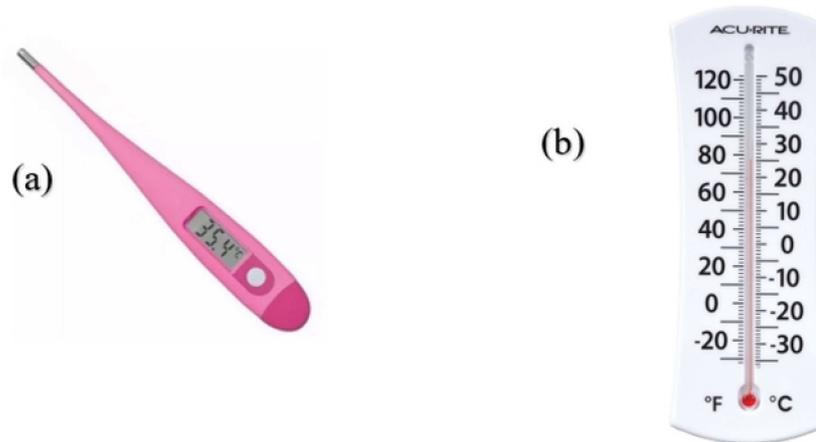
A temperatura pode ser definida como uma grandeza física que quantifica a energia cinética média das partículas em um sistema. Essa energia está associada ao movimento aleatório das moléculas, átomos ou íons que compõem a matéria. Quanto maior a energia cinética dessas partículas, maior será a temperatura do sistema.

O termômetro é o instrumento usado para medir a temperatura e existe uma lei que explica o funcionamento de um termômetro e ajuda na criação de várias escalas, as quais denominamos escalas termométricas. Essa lei é a **Lei Zero da Termodinâmica**.

Vamos pensar da seguinte maneira: para medirmos a temperatura de uma pessoa no estado febril, colocamos um termômetro digital, ou um termômetro de álcool, conforme a Figura 3, em contato com a pele, fazendo um pequeno isolamento entre as duas partes, aguardamos uns minutos e pronto, temos a temperatura observada, de acordo com a figura 4. Mas afinal, o que aconteceu com os corpos em contato? Pois bem, eles entraram em **equilíbrio térmico**, no qual a temperatura do vidro e do álcool se igualaram à do corpo. Portanto, a lei zero da termodinâmica diz que se dois corpos em equilíbrio térmico estão em contato térmico com outro corpo, todos estarão em equilíbrio térmico entre si. Então o

terceiro corpo pode não estar inicialmente em equilíbrio térmico com os outros dois corpos, mas estará depois de algum tempo.

Figura 3 - (a) Termômetro digital – (b) Termômetro de álcool nas escalas Celsius e Fahrenheit.



Fonte: Disponível em: <https://www.resilifarma.com.br/termometro-clinico-digital-multilaser-saude-colors-hc171-1-unidade> e [https://i5.walmartimages.com/seo/AcuRite-8-Analog-Thermometer-with-Easy-to-Read-Numbers-8-x2-x0-62-Not-Battery-Powered-Plastic\\_54db058c-bfdc-4c0b-9e02-d6aff27342e1\\_1.8b5b6e83edfb5bb471ccbc290c1e3690.jpeg](https://i5.walmartimages.com/seo/AcuRite-8-Analog-Thermometer-with-Easy-to-Read-Numbers-8-x2-x0-62-Not-Battery-Powered-Plastic_54db058c-bfdc-4c0b-9e02-d6aff27342e1_1.8b5b6e83edfb5bb471ccbc290c1e3690.jpeg) - - Acesso em 01/03/2024

Figura 4 - Aferindo a temperatura de uma pessoa febril.



Fonte: Disponível em: [https://img.freepik.com/fotos-premium/mulher-com-o-virus-da-gripe-deitada-na-cama-medindo-a-temperatura-com-um-termometro\\_118454-16790.jpg?w=1060](https://img.freepik.com/fotos-premium/mulher-com-o-virus-da-gripe-deitada-na-cama-medindo-a-temperatura-com-um-termometro_118454-16790.jpg?w=1060) – Acesso em: 01/03/2024

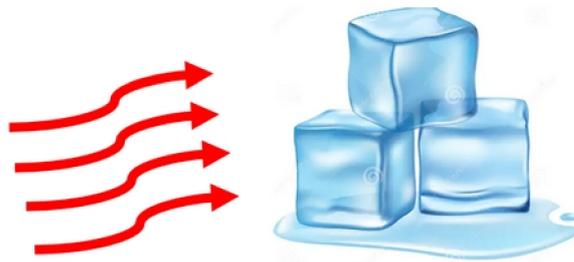
O calor está relacionado à troca de energia térmica e ao processo de equilíbrio térmico entre corpos? Sim, está diretamente relacionado. Quando corpos estão em contato térmico, mas com temperaturas diferentes, estes trocam energia térmica entre si (Figura 5). Essa troca de energia ocorre de forma espontânea e chamamos de **Calor**. A energia térmica é uma parte da energia interna, associada especificamente aos movimentos de rotação e translação das moléculas no nível microscópico, enquanto a energia interna inclui todas as formas de energia

das partículas do sistema, como a energia cinética e potencial. (Halliday, Resnick e Walker, 2012).

Assim, podemos definir calor como:

Sendo a energia de transferência entre corpos de temperaturas diferentes, sempre de um corpo mais quente para um corpo mais frio, de maneira espontânea. Quando os corpos desse sistema igualam suas temperaturas damos o nome de equilíbrio térmica e a troca de calor se cessa. (Hewitt, 2015, p. 287).

Figura 5 - Transferência de calor do ambiente para o gelo.



Fonte: Da autora (2024).

O calor de um corpo ou substância pode ser calculado e dado na unidade caloria (cal) ou em joule (J). A equivalência entre essas grandezas foi feita por James Prescott Joule e vale  $1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$ , aproximadamente.

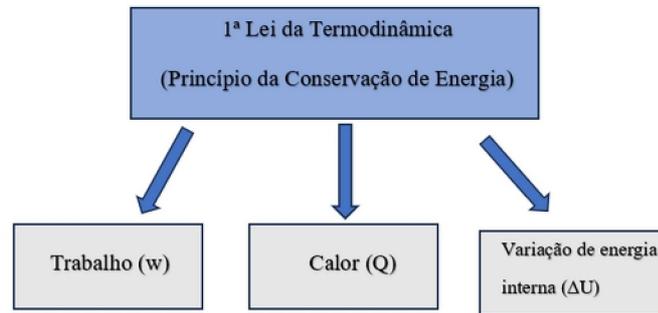
### 3.2 PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

Fazendo uma conexão com a subseção anterior, vimos que calor é transferência de energia relacionada à diferença de temperatura. E após as temperaturas se igualarem não há troca de calor. Então, a energia interna se mantém constante? Existem mais fatores que podem favorecer a mudança de energia interna?

Como começamos a explicar anteriormente, a energia interna é a soma das energias no interior de uma substância. A variação da energia interna depende da quantidade de matéria existente, da energia cinética de translação, rotação e movimento interno das moléculas e da energia potencial, por exemplo.

Na Figura 6, são ilustrados os três componentes principais da 1ª Lei da Termodinâmica, que contribuem para a conservação da energia dentro de um sistema físico.

Figura 6 – Componentes da primeira lei da termodinâmica.

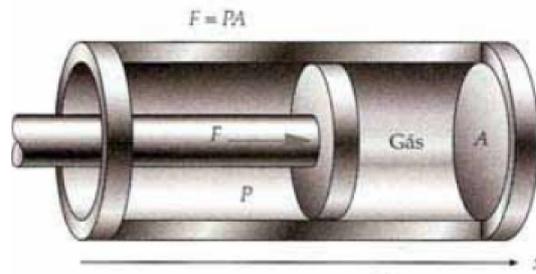


Fonte: Da autora (2024).

Assim, matematizando essa relação de energia,

$$\Delta U = Q - W, \quad (1)$$

Figura 7 - Representação de um cilindro com pistão movido por um gás.



Fonte: Tipler (2009)

na qual o trabalho  $W$  é dado por:

$$W = \vec{F} \cdot d\vec{x} = (pA) \cdot (dx) = p(Adx) \quad (2)$$

Ou seja, pressão  $p$  distribuída em determinada área  $A$  proporcionando deslocamento de moléculas  $dx$  (figura 7), podendo, portanto, alterar seu volume  $V$ . Com isso,

$$dW = p dV, \text{ considerando - se a pressão constante} \quad (3)$$

$$W = \int dW = \int_{v_f}^{v_i} p dV \quad (4)$$

Rescrevendo a equação (1) temos,

$$dU = dQ - p dV \quad (5)$$

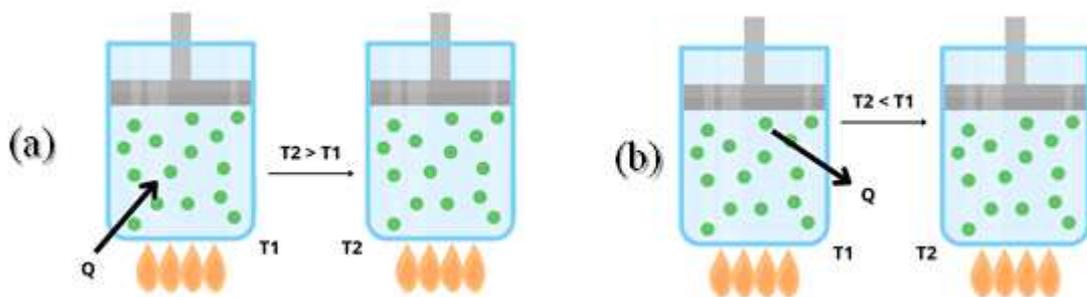
A variação da energia interna está diretamente relacionada à mudança de temperatura (calor sensível) ou mudança de estado físico da substância (calor latente).

Quando uma substância cede ou recebe calor, favorecendo mudança na temperatura  $T$  sem alteração do volume  $V$ , isto é, a volume constante, podemos reescrever

$$\Delta U = Q, W = 0 \quad (6)$$

Deste modo, se o sistema cede calor, sua temperatura diminui e a energia interna também. Se o sistema recebe calor, sua temperatura aumenta e conseqüentemente sua energia interna. Portanto, a variação da energia interna ocorre apenas pela troca de calor. Esse processo é chamado de **processo isovolumétrico/isocórico/isométrico** (Figura 8).

Figura 8 - Em (a) aumento da energia interna e em (b) diminuição da energia interna.



Fonte: Da autora (2024).

Quando  $Q=0$ , ocorre uma variação na energia interna do sistema, resultando em uma alteração na temperatura. Nesse caso, todo o trabalho realizado sobre ou pelo gás é convertido diretamente em uma mudança de temperatura do sistema. Isso significa que, ao realizar

trabalho, a energia interna do gás aumenta ou diminui, dependendo se o sistema está sendo comprimido ou se expandindo.

$$\Delta U = -W, \quad Q = 0 \quad (7)$$

Se o volume aumenta, a energia interna diminui. e o trabalho positivo (+W). No outro caso, se o volume diminui a energia interna aumenta devido ao trabalho realizado sobre o sistema (-W). Damos para este processo o nome de **processo adiabático**.

No **processo cíclico** em que as variáveis de estado (volume V, temperatura T e pressão p) trabalham em conjunto, toda quantidade de calor cedida ou recebida pelo sistema é utilizada para realizar trabalho W. Assim dizendo,

$$\Delta U = Q - W \quad (8)$$

$$0 = Q - W \quad (9)$$

$$Q = W \quad (10)$$

Agora, imagine um gás confinado em um recipiente a temperatura constante que sofre expansão livre, ao ser liberado para o ambiente. Não havendo troca de calor do ambiente para o gás ou do gás para o ambiente, a energia interna não se altera,

$$\Delta U = 0 \quad (11)$$

Essa expansão livre não pode ser controlada e mesmo que o gás esteja em equilíbrio térmico e pressão não constante, não é possível prever a trajetória da expansão.

A energia interna de um sistema é uma função de estado, o que significa que sua variação depende exclusivamente dos estados inicial e final do sistema, definidos por variáveis como pressão, volume e temperatura, e não pelo caminho do processo termodinâmico. E distinguirmos estes processos nos ajuda a compreender o princípio de conservação de energia, ou seja, a energia se conserva, havendo apenas transformação entre diferentes tipos de energia.

### 3.3 SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA

A segunda lei da termodinâmica explica de maneira simples que um corpo frio não pode ceder calor para um corpo quente e assim mudar sua temperatura “de forma espontânea”, já que isto pode ocorrer em sistema de forma forçada. E mesmo que isso acontecesse, poderia não violar a primeira lei da termodinâmica, desde que a energia fosse conservada. É possível inverter o fluxo de calor somente se realizamos trabalho sobre o sistema ou adicionamos energia de outra fonte, como nos condicionadores de ar, por exemplo.

Isso faz sentido porque, durante as trocas de calor, parte da energia transformada se torna menos útil do que a energia original, o que confirma a primeira lei da termodinâmica.

#### 3.3.1 Entropia: da ordem para desordem

Assim, ao pensar em trocas de calor e transformações de energia, é importante compreender a diferença entre processos reversíveis e irreversíveis. Nos processos reversíveis, o sistema pode retornar ao seu estado inicial sem deixar vestígios, como em uma transformação ideal que ocorre sem perda de energia. No entanto, na realidade, a maioria dos processos é irreversível, como no caso de uma xícara que, ao se quebrar em milhares de pedaços, não retorna espontaneamente ao seu estado original (Rocha, 2011).

Estes processos termodinâmicos estão totalmente relacionados ao funcionamento das máquinas térmicas, as quais apresentaremos na próxima seção. Carnot tinha ideia de uma máquina que funcionasse em ciclos num processo reversível, porém outros, como Kelvin e Clausius, postulam que nenhuma máquina térmica teria um rendimento de cem por cento, portanto os processos seriam irreversíveis durante a troca de calor. Assim, surge o conceito de entropia, ou seja, uma formulação teórica para o estudo de qualquer ciclo reversível (Rocha, 2011).

A variação de entropia, matematicamente, é definida como a razão entre o calor trocado e a temperatura em um processo reversível. Portanto, ela quantifica a mudança na desordem do sistema associada a essa troca de energia. A equação que relaciona a variação de entropia com o calor trocado e a temperatura é válida para processos reversíveis, onde a entropia do sistema pode ser calculada diretamente. No entanto, em processos irreversíveis, a entropia total do universo aumenta, pois há uma geração de entropia adicional que não se compensa pela troca de calor. Esse aumento irreversível reflete a tendência natural dos sistemas para um estado de maior desordem, de acordo com a segunda lei da termodinâmica.

$$\Delta S = S_f - S_i = \int_i^f \frac{dQ}{T} \quad (12)$$

Caso estejamos falando de um sistema muito grande, em que a variação da temperatura pode ser desprezada, teremos uma transformação isotérmica em que apenas o recebimento de calor fará variar a energia interna.

A variação da entropia depende da quantidade de calor cedida ou recebida pelo sistema e da temperatura na qual a transferência acontece. Por conseguinte,  $Q$  é a energia recebida ou cedida como calor e  $T$  a temperatura do sistema em Kelvin (Halliday; Resnick e Walker, 2012). A unidade pelo S.I. para entropia e variação de entropia é Joule por Kelvin (J/K).

A entropia, por ser uma variável de estado, a variação de entropia não depende de como ela passa de um estado para outro, mas apenas do estado inicial e final, ou seja, num sistema fechado, podemos substituir o processo irreversível para qualquer outro processo reversível. Deste modo é possível calcular a variação de entropia usando a Equação 8.

Podemos também relacionar a entropia através da segunda lei da termodinâmica. Sendo assim, “se um processo ocorre em um sistema fechado, a entropia do sistema aumenta se o processo for irreversível e permanece constante se o processo for reversível” (Halliday, Resnick e Walker, 2012).

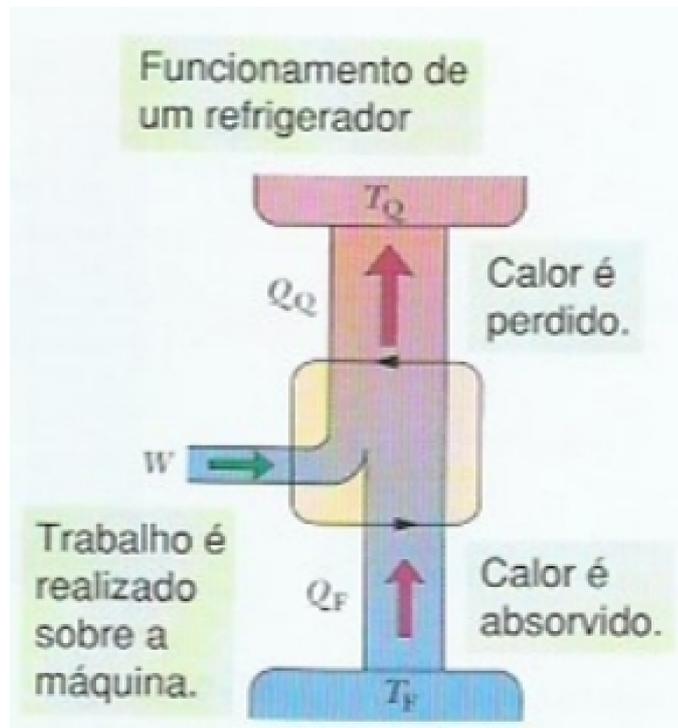
$$\Delta S \geq 0 \quad (13)$$

Uma outra representação da entropia no mundo real são os refrigeradores. De acordo com Halliday, Resnick e Walker (2012, p. 496) “em um refrigerador ideal todos os processos são reversíveis e as transferências de energia são realizadas sem as perdas causadas por efeitos como atrito e turbulências”.

Em um refrigerador ideal, onde todos os processos são reversíveis e não há perdas de energia por atrito ou turbulência, a entropia do sistema se mantém constante, pois em processos reversíveis a variação total de entropia é zero. O gás operando ciclicamente, como em um diagrama p-V, retorna ao seu estado inicial, resultando em nenhuma mudança de entropia no ciclo completo. No entanto, em sistemas reais, há um aumento inevitável de entropia devido a processos irreversíveis, o que diminui a eficiência e reflete a tendência natural da energia se dispersar, tornando-se menos útil para realizar trabalho.

Na Figura 9, está ilustrado os elementos de um refrigerador em que as duas setas horizontais no centro representam um gás ideal, por exemplo, operando ciclicamente como em um diagrama p-V (Halliday, Resnick e Walker, 2012).

Figura 9 - Esquema de um refrigerador

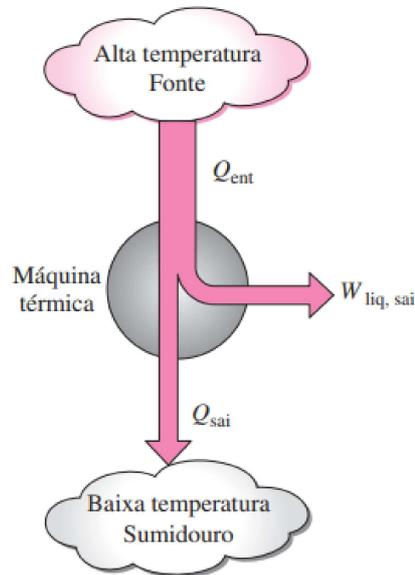


Fonte: Halliday, Resnick e Walker (2012).

### 3.4 MÁQUINAS TÉRMICAS

As máquinas térmicas são a representação real da entropia. Sem a compreensão da entropia, o mundo não teria vivenciado a Segunda Revolução Industrial no final do século XIX. E podemos definir **máquina térmica** como sendo um dispositivo que retira energia da fonte quente para realizar trabalho mecânico. Porém, veremos mais para frente que não há realmente uma máquina térmica com cem por cento de eficiência. As máquinas térmicas utilizam processos cíclicos em que tentam aproveitar maior quantidade de calor da fonte quente para realizar trabalho, como mostra a Figura 10 a seguir.

Figura 10 - Parte do calor recebido por uma máquina térmica é convertida em trabalho, enquanto o restante é rejeitado para um sumidouro



Fonte: Çengel; Boles (2013).

Na Figura 10,  $Q_{ent}$  é a quantidade de calor fornecida ao sistema;  $Q_{sai}$  é a quantidade de calor rejeitada pelo sistema;  $W_{sai}$  é a quantidade de trabalho realizado pelo sistema e; por fim  $W_{ent}$  é a quantidade de trabalho realizado no sistema.

Todas as máquinas térmicas possuem algumas características em comum, mesmo cada uma tendo suas especificidades. São elas (Çengel; Boles, 2013):

1. Fontes como energia solar, fornalha e reator nuclear, por exemplo, recebem calor de uma fonte à alta temperatura;
2. Convertem parte do calor em trabalho, em geral, na forma de eixo rotativo;
3. Rejeitam parte da energia para uma fonte fria (sumidouro) à baixa temperatura;
4. Operam em ciclos.

As máquinas térmicas utilizam um fluido durante o ciclo, chamado fluido de trabalho. Este fluido é utilizado durante a transferência de calor (Çengel e Boles, 2013).

Fundamentado pelo funcionamento de máquinas térmicas, podemos expressar o rendimento das mesmas a partir do desejo de se realizar trabalho líquido fornecendo calor ao fluido de trabalho. Dessa forma, a eficiência pode ser expressa por:

$$\text{Eficiência térmica} = \frac{\text{Saída líquida de trabalho}}{\text{Entrada total de calor}} \quad (14)$$

ou

$$\eta_t = \frac{W_{liq,sai}}{Q_{ent}} \quad (15)$$

Também pode ser representado por:

$$\eta_t = 1 - \frac{Q_{sai}}{Q_{ent}} \quad (16)$$

Onde:

$$W_{liq,sai} = Q_{ent} - Q_{sai} \quad (17)$$

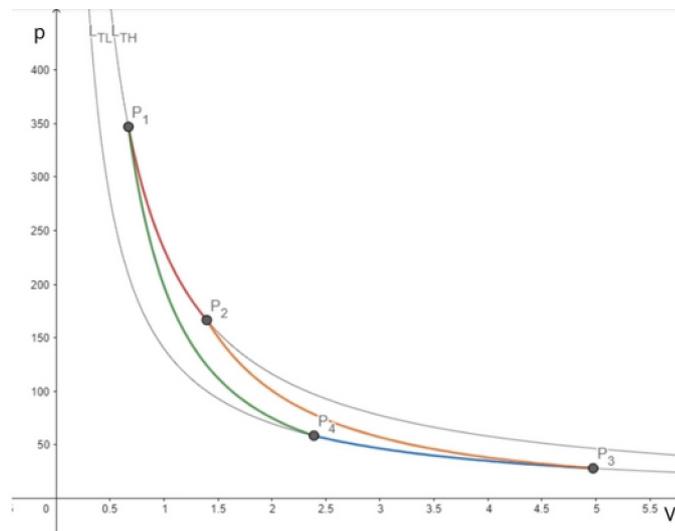
Após entender o funcionamento básico e rendimento de uma máquina térmica, discutiremos os tipos de máquinas térmicas que são relevantes para este trabalho.

### 3.4.1 Máquina de Carnot

Sadi Carnot teve o objetivo de determinar a eficiência de máquinas térmicas bem antes da primeira e segunda leis da termodinâmica, terem sido estabelecidas, estudando máquinas térmicas a partir do comportamento de uma máquina térmica ideal. Com esta idealização, foi possível para Carnot relacionar a eficiência ao trabalho útil pela energia cedia. Na máquina de Carnot todos os processos são reversíveis e desprezando perda de energia por atrito e turbulência.

Esse tipo de máquina realiza um ciclo composto por uma expansão isotérmica ( $P_1 \rightarrow P_2$ ), uma expansão adiabática ( $P_2 \rightarrow P_3$ ), uma compressão isotérmica ( $P_3 \rightarrow P_4$ ) e uma compressão adiabática ( $P_4 \rightarrow P_1$ ) como indicado no diagrama p-V da Figura 11.

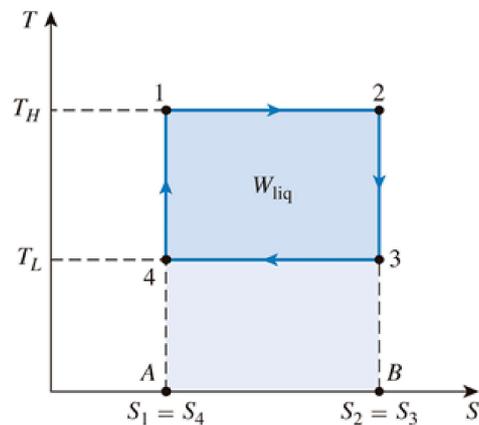
Figura 11 - Diagrama p-V no Ciclo de Carnot



Fonte: Imagem da autora (2024).

O diagrama T-s da figura 12 do ciclo de Carnot apresenta dois processos isotérmicos e dois adiabáticos. Durante a expansão isotérmica (1-2), a temperatura é constante e a entropia aumenta, enquanto na expansão adiabática (2-3), a entropia é constante e a temperatura diminui. Na compressão isotérmica (3-4), a entropia diminui com temperatura constante, e na compressão adiabática (4-1), a entropia é constante com aumento de temperatura. Segundo Çengel e Boles (2013), esse ciclo idealizado define o limite máximo de eficiência para máquinas térmicas.

Figura 12 - Diagrama T-s no Ciclo de Carnot



Fonte: Çengel e Boles (2013).

A começar pelo ciclo de Carnot, vale pensar em dois aspectos para melhorar o rendimento dessas máquinas: a produção de válvulas para distribuição correta de vapor e; descobrir quais máquinas em mesmas condições de funcionamento teriam rendimento máximo (Rocha, 2011). Estas questões são abordadas por Carnot em seus trabalhos.

Desta maneira podemos pensar em dois princípios:

1. A eficiência de uma máquina térmica irreversível é sempre menor que a eficiência de uma reversível operando entre os mesmos dois reservatórios.
2. A eficiência de todas as máquinas térmicas reversíveis operando entre os mesmos dois reservatórios é a mesma (Çengel e Boles, 2013, p. 433).

Com isto, temos a Equação 16 para encontrar a eficiência da máquina de Carnot num processo reversível. E podemos reescrevê-la em função das temperaturas absolutas já que para não haver perda de energia o sistema troca calor com as fontes apenas quando estão a mesma temperatura e não trocar calor nas outras etapas, então (Çengel e Boles, 2013)

$$\eta_t = 1 - \frac{T_L}{T_H} \quad (18)$$

em que  $T_L$  é a temperatura baixa e  $T_H$  é a temperatura alta.

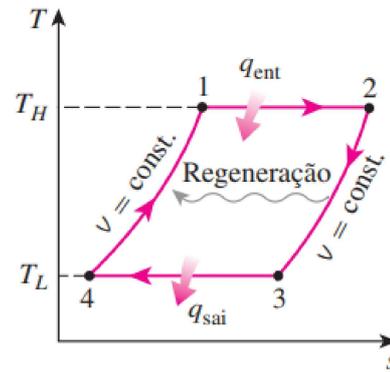
Em seguida, vamos discutir as diferenças entre a máquina de Carnot e a máquina de Stirling.

### 3.4.2 Máquina de Stirling

É muito importante lembrarmos que a Equação 18 pode ser usada para determinar o rendimento de máquinas térmicas cíclicas, como a máquina de Carnot. A máquina de Stirling funciona com duas etapas isotermas e duas etapas à volume constante, diferentemente da máquina de Carnot que possui duas etapas a processo adiabáticos (Halliday, Resnick e Walker, 2012).

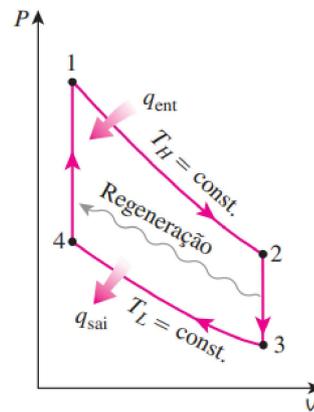
Logo, seguem os diagramas T-s (figura 13) e p-V (figura 14) do ciclo Stirling formado por quatro processos reversíveis, conforme mostrado na figura 13.

Figura 13 - Diagrama T-s na máquina de Stirling



Fonte: Çengel e Boles (2013).

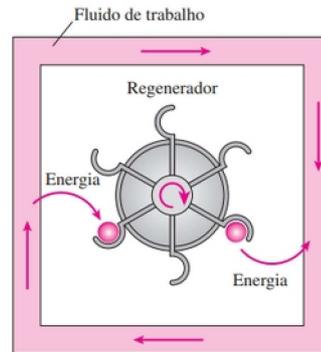
Figura 14 - Diagrama p-V na máquina de Stirling.



Fonte: Çengel e Boles (2013).

Outra diferença entre a máquina de Carnot e a máquina de Stirling é a regeneração (ocorrida no regenerador), um processo no qual o calor é transferido para um dispositivo de armazenamento térmico em determinada parte do ciclo, depois transferido de volta para o fluido de trabalho (Çengel e Boles, 2013). A seguir um esquema sobre essa regeneração representado na figura 15.

Figura 15 - Um regenerador é um dispositivo que toma energia do fluido de trabalho durante uma parte do ciclo e a devolve durante a outra parte do ciclo

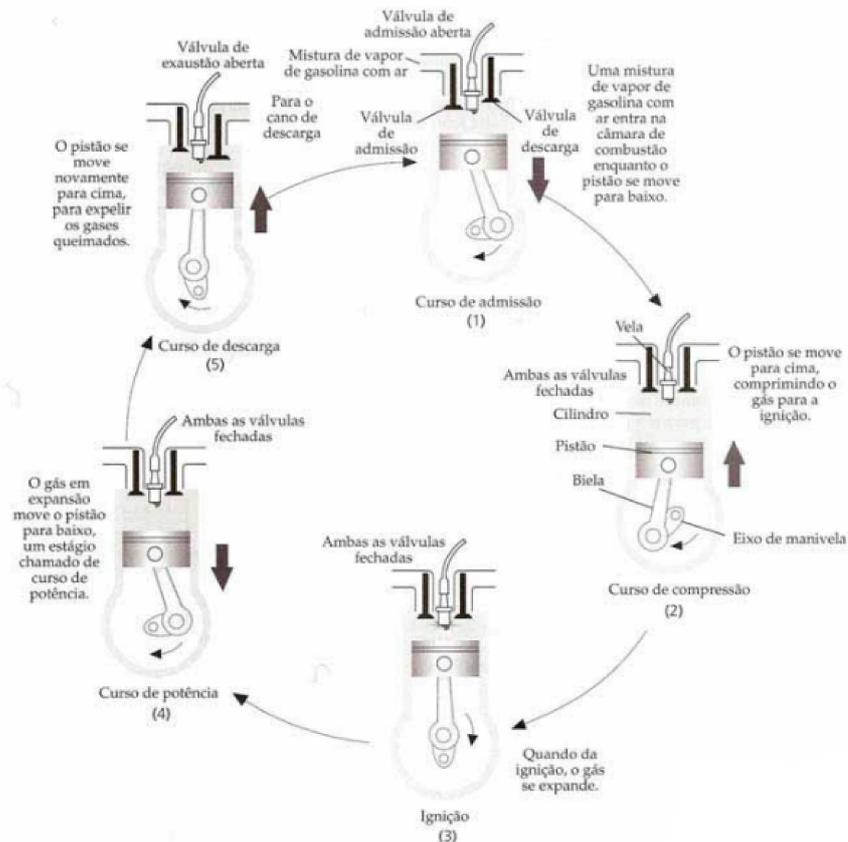


Fonte: Çengel e Boles (2013).

### 3.4.3 Ciclo de Otto

O ciclo de Otto é o nome dado para uma idealização dos processos do motor de combustão interna, aqueles usados em vários automóveis, com ciclo esquematizado na figura 16.

Figura 16 - Esquema de ciclo de motor automotivo

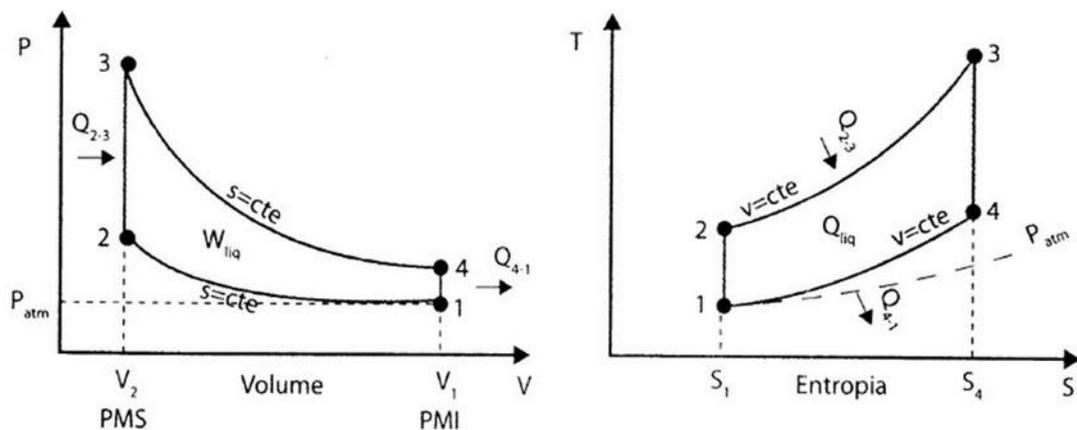


Fonte: Tipler (2009).

A válvula de exaustão ao permanecer fechada permite entrada de gasolina e ar na câmara de combustão permitindo o deslocamento do pistão para baixo. A gasolina entra em combustão a partir de liberação de uma faísca da vela de ignição. Depois ocorrem expansão e compressão dos gases aquecidos pelos pistões, desde modo realizando trabalho. O ciclo de Otto é composto por duas curvas adiabáticas e expansão e compressão durante o aquecimento à volume constante.

O ciclo Otto, representado pelos diagramas da figura 17 p-V (pressão versus volume) e T-s (temperatura versus entropia), descreve o funcionamento de motores de combustão interna. No diagrama p-V, o ciclo inclui a compressão adiabática (1-2), seguida pela combustão a volume constante (2-3), expansão adiabática (3-4), e exaustão a volume constante (4-1). No diagrama T-s, a compressão (1-2) e a expansão (3-4) são adiabáticas, mantendo a entropia constante, enquanto o aumento (2-3) e a diminuição (4-1) de temperatura ocorrem com variação de entropia, refletindo a adição e remoção de calor a volume constante.

Figura 17 – Ciclo de Otto – Diagramas p-V e T-s



Fonte: Çengel e Boles (2013).

Segundo Çengel e Boles (2013), esses diagramas são essenciais para entender a eficiência e o comportamento de motores baseados no ciclo Otto.

Com uma compreensão clara das leis da termodinâmica e do funcionamento das máquinas térmicas, estamos prontos para discutir a metodologia de pesquisa adotada neste estudo. No próximo capítulo, detalharemos o desenvolvimento e a aplicação do produto educacional, que visa integrar teoria e prática no ensino de física.

#### 4. O PRODUTO EDUCACIONAL E A SEQUÊNCIA DIDÁTICA

O produto educacional desenvolvido é uma Sequência Didática para abordagem do conteúdo de máquinas térmicas no Ensino Médio, elaborada e inspirada na metodologia de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS), que busca a participação ativa, autônoma e interativa dos alunos, conforme proposto por Moreira (2011). Este material foi estruturado para facilitar o ensino e a aprendizagem dos conceitos de termodinâmica e máquinas térmicas, com ênfase nas máquinas a vapor.

O ensino de física é frequentemente percebido como monótono pelos alunos devido à persistência do modelo tradicional, que se baseia principalmente na memorização de fórmulas. Essa abordagem, centrada na repetição mecânica de equações, contribui para a visão de que o aprendizado da disciplina é tedioso. A ênfase excessiva na memorização inviabiliza uma compreensão mais profunda e contextualizada dos conceitos físicos, dificultando assim a absorção do conhecimento de maneira mais significativa. Para promover uma experiência de ensino mais envolvente e eficaz, é fundamental explorar abordagens metodológicas inovadoras que estimulem a compreensão ativa e a aplicação prática dos princípios físicos.

Num primeiro momento, conduziu-se uma investigação bibliográfica para embasar a parte teórica relacionada ao ensino de Física e aos conceitos abrangidos na área da Termodinâmica. A seleção do tema "Máquinas Térmicas" para o desenvolvimento do nosso produto educacional fundamenta-se na constatação de que os livros didáticos, muitas vezes, negligenciam a devida importância a este tema crucial.

No Quadro 2, apresento a quantidade de páginas dedicadas ao conteúdo de máquinas térmicas por cada autor. Esta análise evidencia como cada livro didático aborda o tema, permitindo identificar a extensão e a profundidade com que as máquinas térmicas são tratadas em diferentes obras. O quadro detalha o número de páginas que cada autor dedica a este tópico específico, ressaltando variações significativas entre os materiais analisados.

Quadro 2 - Análise dos livros didáticos.

<b>Autor</b>	<b>Nome do livro</b>	<b>Espaço dedicado ao tema</b>
Ramalho, Nicolau e Toledo, 2015	Fundamentos da Física	4 páginas
Bonjorno e Clinton, 2002	História e Cotidiano	3 páginas
Sampaio e Calçada, 2005	Física volume único	½ página
Newton, Helou e Gualter, 2010	Física	5 páginas
Bonjorno, Clinton, Eduardo Prado e Casemiro, 2016	Física – Ensino Médio	3 páginas

Fonte: acervo da autora

Esta constatação destaca a necessidade de um material educacional mais aprofundado e abrangente sobre Máquinas Térmicas, para suprir essa lacuna e enriquecer o ensino da Termodinâmica.

O Quadro 3 apresenta detalhadamente as etapas da sequência didática para abordagem de máquinas térmicas no Ensino Médio. A primeira etapa envolveu uma introdução prática e teórica através de vídeos e manuseio do protótipo da máquina térmica a vapor, estimulando a curiosidade e o pensamento crítico dos alunos, que também foram estimulados a construção de mapas mentais. Na segunda etapa focou na aplicação prática dos conceitos através da construção e competição de barquinhos pop-pop, promovendo a criatividade e a colaboração em grupo. A terceira e última etapa desafiou os alunos a pesquisar, construir e apresentar suas próprias máquinas a vapor, consolidando os conhecimentos adquiridos e permitindo uma exploração mais profunda e prática dos princípios teóricos. Ao final, a observação do funcionamento de um carrinho que funciona com motor de Stirling proporcionou uma compreensão ainda mais abrangente e prática das leis termodinâmicas. Cada etapa foi essencial para o desenvolvimento de uma experiência educacional completa e enriquecedora.

Quadro 3 - Etapas da aplicação do produto.

<b>Etapa</b>	<b>Aula</b>	<b>Atividades Principais</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Materiais</b>	<b>Figuras</b>
Primeira etapa	Aula 1: Introdução às atividades	Exibição de vídeos sobre máquinas térmicas a vapor, questionamentos e manuseio de protótipo.	Relacionar teoria com prática, estimular perguntas e curiosidade.	Computadores/tablet e o Protótipo da máquina.	Figuras 18, 19 e 20.
Primeira etapa	Aula 2: Construção de mapas conceituais.	Construção de mapas usando materiais fornecidos.	Organizar conceitos de forma livre e intuitiva.	Kit com folha de EVA, caneta, papéis.	Figuras 21, 22, 23, 24 e 25.
Segunda etapa	Aula 3: Aplicação prática – Construção dos Barquinhos Pop-Pop.	Construção de barquinhos pop-pop em grupos após exibição de vídeo tutorial Manual do mundo)	Aplicar conceitos teóricos em atividade prática e lúdica.	Kit para construção dos barquinhos (materiais diversos).	Figuras 26, 27, 28 e 29.
Segunda etapa	Aula 4: Competição dos Barquinhos	Competição dos barquinhos construídos pelos alunos.	Avaliar desempenho prático, promover motivação e diversão.	-	Figura 30.

Terceira etapa	Aula 5: Apresentação dos alunos	Pesquisa, construção e apresentação de máquinas a vapor pelos alunos.	Aprofundar conhecimento, estimular criatividade e aplicação prática.	Materiais diversos para construção das máquinas.	Figuras 31, 32, 33 e 34.
Terceira etapa	Aula6: Funcionamento do motor de Stirling.	Observação e explicação do funcionamento de um carrinho com Motor de Stirling.	Reforçar entendimento teórico com aplicação prática.	Carrinho com Motor de Stirling.	Figuras 35 e 36.

Fonte: autoria própria

Cada etapa foi cuidadosamente planejada e executada para garantir um aprendizado significativo e integrado dos conceitos de termodinâmica e máquinas térmicas.

#### 4.1 DETALHAMENTO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A seguir, destacaremos as etapas da sequência didática desenvolvida para o ensino das máquinas térmicas a vapor, inspirada na Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) proposta por Moreira (2011). Esta abordagem visa promover uma aprendizagem significativa e contextualizada, integrando teoria e prática de forma engajadora e interativa. As etapas foram cuidadosamente planejadas para assegurar a construção do conhecimento através da interação social, mediação e aplicação prática dos conceitos científicos, conforme os princípios teóricos discutidos no Capítulo 2.

##### 4.1.1 Descrição da primeira etapa

Nessa primeira etapa, composta por duas aulas de 50 minutos cada, o objetivo é introduzir os conceitos iniciais de termodinâmica e a importância histórica e prática das máquinas térmicas. Para isso, serão utilizados vídeos motivadores e a construção de mapas mentais/conceituais para organizar e relacionar os conceitos aprendidos, evidenciando os conceitos prévios dos alunos.

**Aula 1 -Abordagem do tema e verificação do conhecimento prévio**

**Aula 2: Embasamento Teórico/Construção de mapas mentais/conceituais**

**Atividades:**

- Exibição de vídeos motivadores sobre a história e o funcionamento das máquinas térmicas a vapor.
- Discussão em grupo sobre o conteúdo dos vídeos.
- Introdução ao uso de mapas mentais/conceituais como ferramenta de aprendizagem.
- Orientação sobre como construir um mapa conceitual.
- Apresentação e discussão dos mapas conceituais elaborados pelos grupos.

#### **4.1.1 Descrição da segunda etapa**

Na segunda etapa, também composta por duas aulas de 50 minutos cada, o objetivo é envolver os alunos na construção e aplicação prática dos conceitos de termodinâmica e dos princípios de funcionamento das máquinas térmicas simples, por meio de atividades experimentais.

##### **Aula 3 - Aplicação Prática/ Construção dos Barquinhos Pop-pop**

##### **Aula 4 – Competição dos Barquinhos**

##### **Atividades:**

- Explicação sobre o funcionamento dos barquinhos pop-pop.
- Orientação sobre a construção dos barquinhos usando materiais simples.
- Alunos, em grupos, constroem seus próprios barquinhos pop-pop.
- Realização de uma competição para testar o desempenho dos barquinhos.
- Discussão sobre as variáveis que influenciam o desempenho das máquinas térmicas

#### **4.1.3 Descrição da terceira etapa**

Nessa última etapa, o objetivo é consolidar o aprendizado através da pesquisa, construção e apresentação de máquinas térmicas mais complexas, como o motor de Stirling. Seguindo os princípios da UEPS, os alunos realizarão pesquisas sobre diferentes tipos de máquinas térmicas e seus princípios de funcionamento. A etapa inclui a demonstração do funcionamento de um motor de Stirling por meio de um carrinho, evidenciando a aplicação dos conhecimentos adquiridos de maneira significativa e contextualizada. Esta culminação permite uma compreensão prática e aprofundada dos conceitos estudados, reforçando a aprendizagem de forma relevante e significativa.

**Aula 5: Consolidação e Apresentação das máquinas térmicas construída pelos alunos.**

**Aula 6: Apresentação e Funcionamento do Motor Stirling**

**Atividades:**

- Alunos pesquisam e escolhem uma máquina térmica para construir.
- Alunos apresentam suas máquinas térmicas, explicando os princípios de funcionamento.
- Demonstração do funcionamento de um motor de Stirling.
- Discussão final sobre o que foi aprendido ao longo das aulas e como os conceitos podem ser aplicados em contextos reais.

A avaliação da sequência didática foi realizada de forma contínua ao longo de todo o processo, inspirando-se nos princípios da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS). Essa abordagem permitiu a coleta de dados em diversos momentos, proporcionando uma visão ampla e detalhada do desenvolvimento dos alunos. Durante as atividades, foram utilizados diferentes instrumentos de avaliação, como observações diretas, discussões em grupo, análise de mapas conceituais e avaliações práticas, que auxiliaram na identificação das dificuldades e progressos dos alunos. Esse processo avaliativo contínuo garantiu que as intervenções pedagógicas fossem ajustadas conforme necessário, promovendo uma aprendizagem mais eficaz e significativa.

Após delinear a metodologia de pesquisa e a estruturação do produto educacional, passamos a aplicar essas estratégias em um contexto real de sala de aula. No próximo capítulo, descreveremos a aplicação prática do produto, apresentando as atividades desenvolvidas e a participação dos alunos no processo de construção do conhecimento.

## 5. ANÁLISE DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

O produto educacional apresenta-se como um recurso instrucional destinado aos professores da disciplina, sendo uma ferramenta que pode ser empregada durante as aulas que abordam o conteúdo de Termodinâmica.

A implementação do produto educacional ocorreu em agosto de 2023, em turmas de 2º ano de duas escolas particulares em Juiz de Fora. O processo foi conduzido em três etapas, conforme descrito no Quadro 1, sendo dedicadas duas aulas de 50 minutos para cada etapa. Em suma, a aplicação compreendeu um total de seis aulas, cada uma com a duração de 50 minutos, em ambas as instituições de ensino.

A metodologia adotada fundamentou-se na Teoria da Aprendizagem Significativa, visando não apenas a transmissão de conhecimento aos alunos, mas também estimulando sua participação ativa e engajamento na pesquisa. A estruturação da metodologia em etapas proporcionou aos alunos a oportunidade de explorar diferentes aspectos do tema abordado, promovendo uma aprendizagem mais profunda e significativa. Essa abordagem pedagógica buscou não apenas informar, mas também inspirar os estudantes a desenvolverem uma compreensão mais ampla e crítica, fomentando o pensamento independente e a aplicação prática dos conceitos aprendidos.

O contato inicial dos alunos com o conteúdo sobre máquinas térmicas ocorreu logo no início da aplicação da sequência didática, quando foram introduzidos aos conceitos básicos de termodinâmica e conversão de energia. Ao longo das atividades, esse conteúdo foi aprofundado gradualmente, com explicações mais detalhadas e experiências práticas que reforçaram o entendimento dos princípios de funcionamento dessas máquinas. Dessa forma, a abordagem permitiu que os alunos construíssem uma compreensão sólida e aplicada do tema à medida que progrediam nas etapas da sequência didática.

### 5.1 DESCRIÇÃO DAS AULAS

Conforme mencionado anteriormente, a sequência foi implementada em turmas de 2º ano de duas escolas particulares em Juiz de Fora. Na primeira escola, há duas turmas, uma composta por 30 alunos e outra por 28 alunos. Na segunda escola, existe uma turma com 32 alunos. Em ambas as escolas, organizei os alunos de cada turma em cinco grupos para a execução da sequência didática. Essa abordagem permitiu uma dinâmica eficiente,

considerando as características específicas de cada turma e favorecendo a participação ativa dos estudantes durante as atividades propostas.

### 5.1.1 Primeira etapa - Aula 1: Introdução às atividades

Considerando o conhecimento prévio dos alunos sobre calor, vapor e as leis da termodinâmica, iniciamos a dinâmica apresentando dois vídeos que demonstram o funcionamento de uma máquina térmica a vapor. No vídeo <https://www.youtube.com/watch?v=CATRaopEs1c>, entre os instantes 14:50 e 15:30, podemos verificar o funcionamento do motor a vapor, onde o vapor gerado na caldeira é direcionado para o cilindro, e a pressão do vapor empurra o pistão, conforme a Figura 18. Esse movimento do pistão é convertido em movimento rotativo por meio de um sistema de manivela e biela. A demonstração visualiza conceitos de termodinâmica, como a transformação de energia térmica em energia mecânica e a expansão do vapor para realizar trabalho.

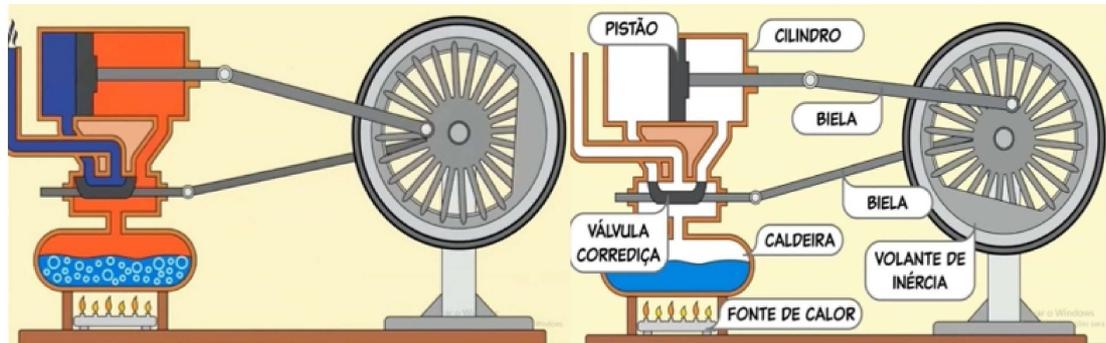
Figura 188 – Funcionamento do motor a vapor



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=CATRaopEs1c;55>

Nesse outro vídeo [https://www.youtube.com/watch?v=3u6\\_YalwUIE](https://www.youtube.com/watch?v=3u6_YalwUIE), no instante entre 6:55 até 7:18, pode-se verificar o funcionamento de uma máquina térmica a vapor, onde começa com a fonte de calor aquecendo a água na caldeira, transformando-a em vapor. Este vapor pressurizado entra no cilindro através da válvula corredeira, empurrando o pistão. O movimento linear do pistão é então convertido em movimento rotativo pela biela, que está conectada ao volante de inércia. O volante de inércia armazena energia cinética, garantindo um movimento contínuo e suave da máquina. Este processo demonstra a conversão de energia térmica em energia mecânica, conforme podemos verificar na figura 19.

Figura 19 - Máquina a vapor com fonte de calor



Fonte: [https://www.youtube.com/watch?v=3u6\\_YalwUIE](https://www.youtube.com/watch?v=3u6_YalwUIE)

Em seguida, proporcionou-se a oportunidade de manusear um protótipo da máquina térmica, construída pela professora (Figura 20), estimulando-os a fazer perguntas sobre o seu funcionamento.

Figura 20 – Protótipo da máquina térmica a vapor construída pela autora



Fonte: Da autora (2023)

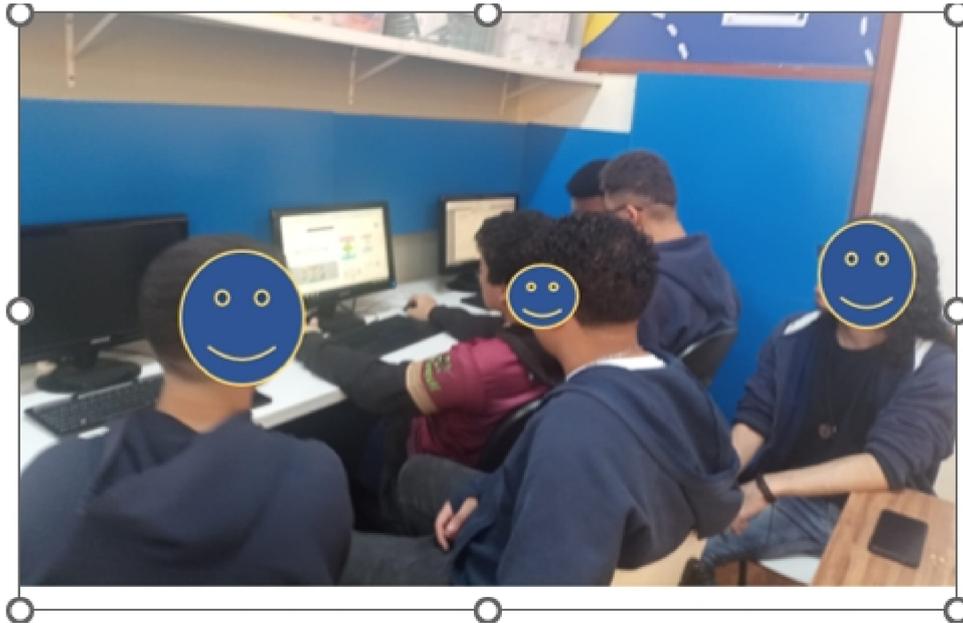
Destaco algumas perguntas feitas pelos alunos:

- *Como a transferência de calor ocorre dentro da máquina térmica?*
- *Quais são os componentes principais que possibilitam o funcionamento dessa máquina?*
- *Quais são as leis da termodinâmica que se aplicam a esse tipo de máquina?*

- *Como a máquina térmica converte a energia térmica em trabalho?*

Diante de perguntas sem respostas imediatas, os alunos foram encorajados a buscar as soluções por conta própria, utilizando fontes confiáveis e recursos acadêmicos, conforme ilustrado na Figura 21.

Figura 21 – Alunos em atividade de pesquisa



Fonte: Acervo da autora (2023)

Essa abordagem visa não apenas o desenvolvimento da habilidade de pesquisa, mas também cultivar a autonomia na busca por conhecimento, fortalecendo o pensamento crítico dos estudantes. A interação entre a teoria e a prática, aliada ao estímulo à curiosidade, busca proporcionar uma experiência educacional mais abrangente e significativa aos alunos.

### **5.1.2 Primeira etapa - Aula 2: Construção de mapas conceituais**

Logo após a pesquisa, cada grupo recebeu um kit contendo folha de EVA, caneta e vários papéis (Figura 22), e foram orientados a construir mapas conceituais como parte integrante da atividade proposta conforme Figura 23.

Figura 22 – Material entregue para cada grupo para construção dos mapas



Fonte: Acervo da autora (2023)

Figura 23 – Confeção dos mapas conceituais



Fonte: Acervo da autora (2023)

No entanto, é importante esclarecer que, na prática, o tipo de representação gráfica requerida foi um mapa mental. Essa ferramenta visual proporcionou aos estudantes a oportunidade de organizar conceitos de maneira mais livre e intuitiva, explorando conexões e

relações entre as ideias abordadas durante a atividade. O uso do mapa mental revelou-se uma abordagem eficaz para o desenvolvimento da compreensão conceitual e promoveu uma representação visual mais fluida e criativa do conhecimento adquirido. Observou-se que os alunos se dividiram entre a representação dos aspectos técnicos e dos aspectos históricos da máquina.

Alguns alunos optaram por focar o funcionamento intrínseco da máquina térmica a vapor. Seus mapas destacaram os componentes principais, os processos termodinâmicos envolvidos e as transformações de energia. Esses mapas refletiram uma compreensão aprofundada das características técnicas da máquina.

Outros alunos escolheram enfatizar o contexto histórico da máquina térmica a vapor, seus mapas traçaram a evolução da tecnologia desde os primórdios até os desenvolvimentos mais recentes. Eles destacaram inventores influentes, marcos importantes e as implicações socioculturais da adoção da máquina a vapor.

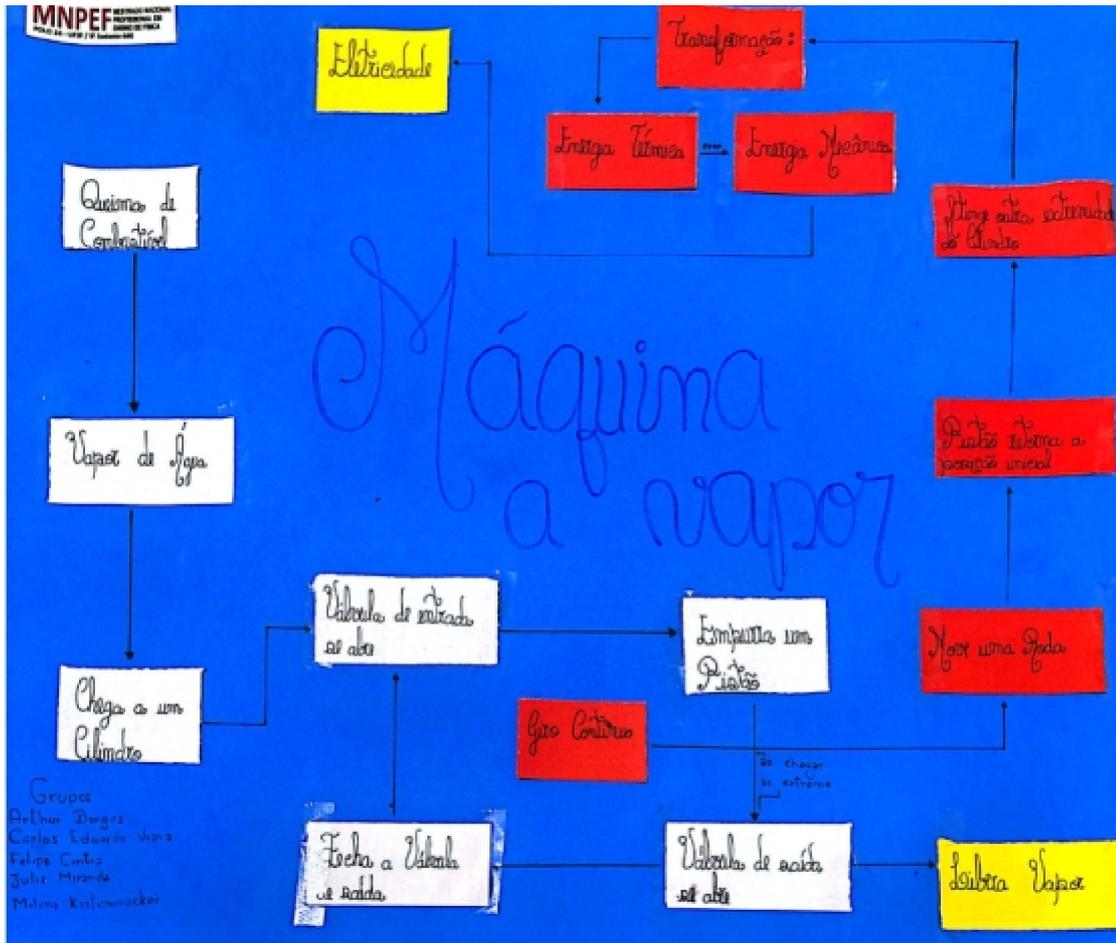
A diversidade de abordagens adotadas pelos alunos na construção dos mapas mentais ressalta a riqueza de perspectivas que a metodologia potencialmente significativa pode proporcionar. Essa abordagem permitiu que os alunos explorassem tanto os aspectos técnicos quanto os históricos, promovendo uma compreensão holística do tema.

A análise dos mapas mentais construídos pelos alunos, conforme ilustrado nas figuras 24 e 25, indicou indícios positivos quanto à abordagem metodológica empregada, embora seja necessária uma avaliação mais ampla para confirmar sua eficácia. A variedade de enfoques nas representações gráficas refletiu as distintas percepções dos alunos sobre a máquina térmica a vapor.

Os mapas mentais que abordaram o funcionamento da máquina (Figuras 24 e 25) sugerem uma compreensão inicial dos princípios termodinâmicos e dos componentes essenciais do dispositivo. Além disso, essa pesquisa promoveu uma compreensão aprofundada, já que os alunos foram capazes de articular os processos complexos envolvidos na conversão de calor em trabalho.

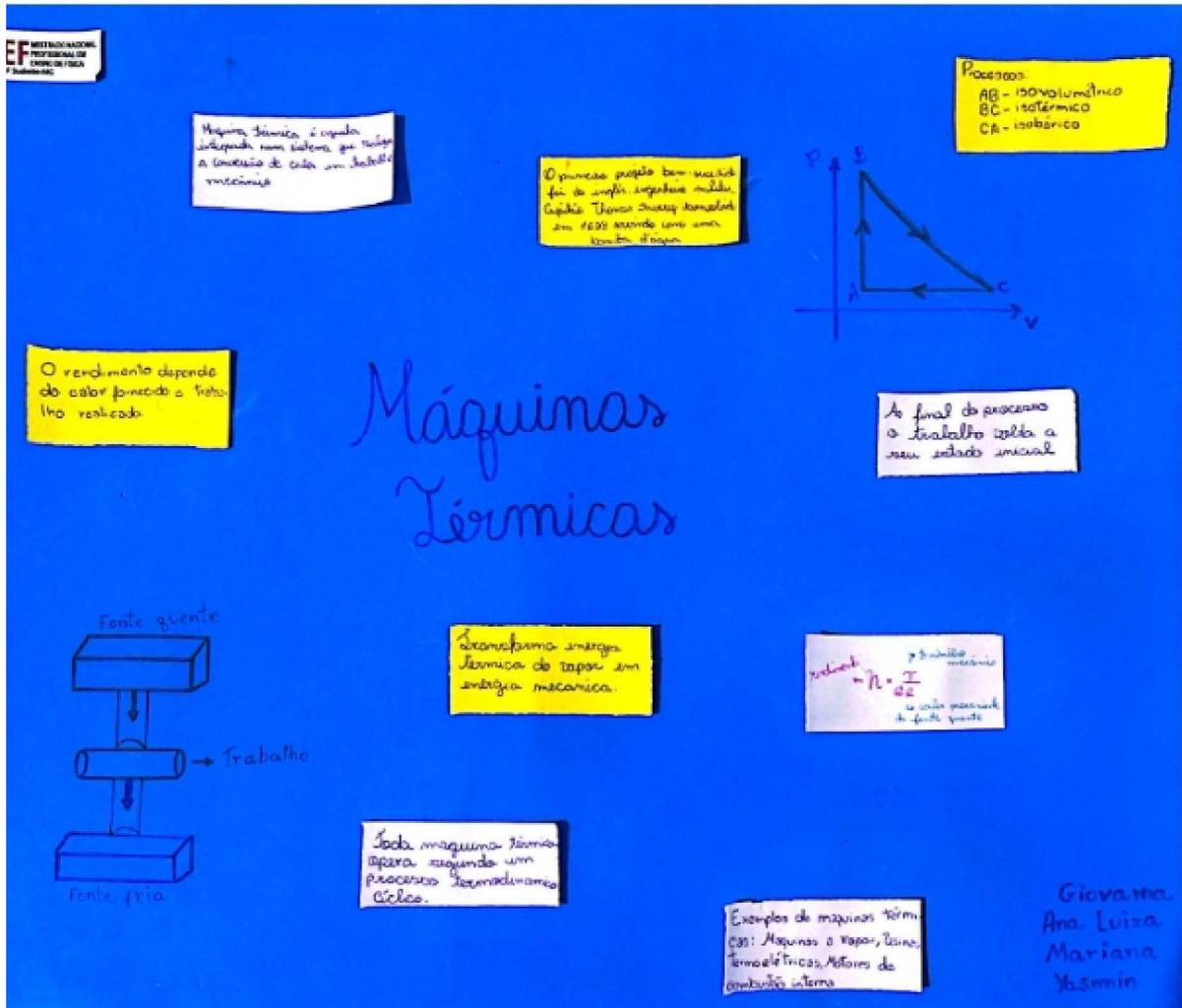
Por outro lado, os mapas mentais com foco na dimensão histórica ofereceram uma visão panorâmica da evolução da tecnologia e de seu impacto na sociedade.

Figura 24 – Mapa mental construído pelos alunos



Fonte: Acervo da autora (2023)

Figura 25 – Mapa mental construído pelos alunos



Fonte: Acervo da autora (2023)

A diversidade de abordagens evidenciada pelos mapas conceituais ressalta a importância de reconhecer múltiplas perspectivas ao abordar um tópico complexo. A abordagem metodológica adotada permitiu que os alunos se engajassem com o tema de maneira pessoal e significativa, o que resultou em representações gráficas únicas e enriquecedoras.

Embora a abordagem metodológica tenha mostrado resultados promissores, é importante reconhecer algumas limitações. Alguns alunos podem ter enfrentado dificuldades em sintetizar informações complexas em mapas conceituais.

### 5.1.3 Segunda etapa - Aula 3: Aplicação Prática -Construção dos barquinhos pop-pop

Nesta fase, foi abordada a importância de atividade prática para a compreensão e a aplicação dos conceitos teóricos abordados, ao mesmo tempo proporciona a criatividade e o trabalho em equipe.

Como parte do trabalho, foi inserida uma atividade prática que envolvesse a construção de barquinhos pop-pop. Esta decisão buscou proporcionar aos alunos uma experiência tangível e lúdica para aplicar os princípios aprendidos sobre máquinas térmicas, além de promover a aprendizagem por meio da experimentação.

Foi exibido um vídeo do canal "Manual do Mundo" [Como fazer um BARCO A VAPOR | barquinho pop pop \[EXPERIÊNCIA\] \(youtube.com\)](https://www.youtube.com/watch?v=...) que apresentava as etapas para a construção de barquinhos pop-pop e os materiais necessários para a construção que são: tesoura; estilete; 1 lata de refrigerante; cola quente; cola epóxi, fósforo ou isqueiro; 1 vela de aniversário; 3 canudos dobráveis; palitos de dente; 1 cartão de crédito ou carteirinha; isopor de bandeja de frios e moldes.

Esse tipo de embarcação, movida pela liberação de vapor d'água, proporcionou uma oportunidade intrigante para conectar o conceito de máquina térmica a uma aplicação prática do mundo real.

Os alunos foram organizados em seus devidos grupos para a realização de uma atividade prática, na qual cada equipe recebeu um kit (Figura 26) contendo todos os materiais para a construção do barquinho pop-pop. Na jornada de dar vida ao seu barquinho, consultaram as instruções fornecidas no link, colocando as mãos na massa durante o processo conforme ilustrado nas Figuras 27, 28 e 29.

Figura 26 – Material entregue para cada grupo para construção dos barquinhos



Fonte: Da autora (2023)

Figura 27 – Confeção dos barquinhos pelos alunos



Fonte: Acervo da autora (2023)

Figura 28 – Confeção dos barquinhos pelos alunos



Fonte: Acervo da autora (2023)

Figura 29 – Confeção dos barquinhos pelos alunos



Fonte: Acervo da autora (2023)

A iniciativa teve como propósito aplicar os princípios teóricos previamente explorados no mapa mental. Cada equipe, de forma autônoma, seguiu as diretrizes do vídeo, demonstrando como o calor pode ser transformado em movimento. O trabalho colaborativo e a experiência prática proporcionaram uma compreensão mais profunda dos conceitos abordados, enriquecendo assim a aprendizagem dos alunos.

#### **5.1.4 Segunda etapa - Aula 4: Competição dos barquinhos**

Após a construção dos barquinhos, foi promovida uma competição para avaliar o desempenho de cada embarcação, como podemos verificar na Figura 30. A competição compôs a criatividade, o trabalho em equipe e a aplicação prática dos conhecimentos adquiridos.

A atividade de construção de barquinhos pop-pop revelou-se uma estratégia eficaz para consolidar os conceitos de máquinas térmicas em uma aplicação concreta. A competição

dos barquinhos adicionou uma dimensão de diversão e motivação, tornando o aprendizado mais envolvente e memorável.

A inclusão da atividade prática de construção de barquinhos pop-pop reforça a importância de abordagens multidisciplinares e experiências concretas na educação. Essa atividade não apenas ilustrou os princípios da máquina térmica a vapor, mas também proporcionou um ambiente propício para a aplicação criativa do conhecimento.

Figura 30 – Competição dos barquinhos



Fonte: Acervo da autora (2023)

As equipes vencedoras da competição foram presenteadas com caixa de bombons e, para celebrar a participação de todos os alunos, foram distribuídas balas de chocolate, proporcionando um doce reconhecimento pelo esforço dedicado à construção dos barquinhos pop-pop. A escola, com seu comprometimento notável, abraçou plenamente esse trabalho, compreendendo, incentivando os alunos e divulgando no Instagram oficial.

### 5.1.5 Terceira etapa - Aula 5: Apresentação dos alunos

Nesta última fase, os alunos foram motivados a realizar pesquisas sobre máquinas térmicas e seu funcionamento, seguido da construção e apresentação das mesmas. Esta etapa representou uma oportunidade para os alunos se aprofundarem ainda mais no tema, aplicarem suas habilidades de pesquisa e engajarem-se em um processo criativo.

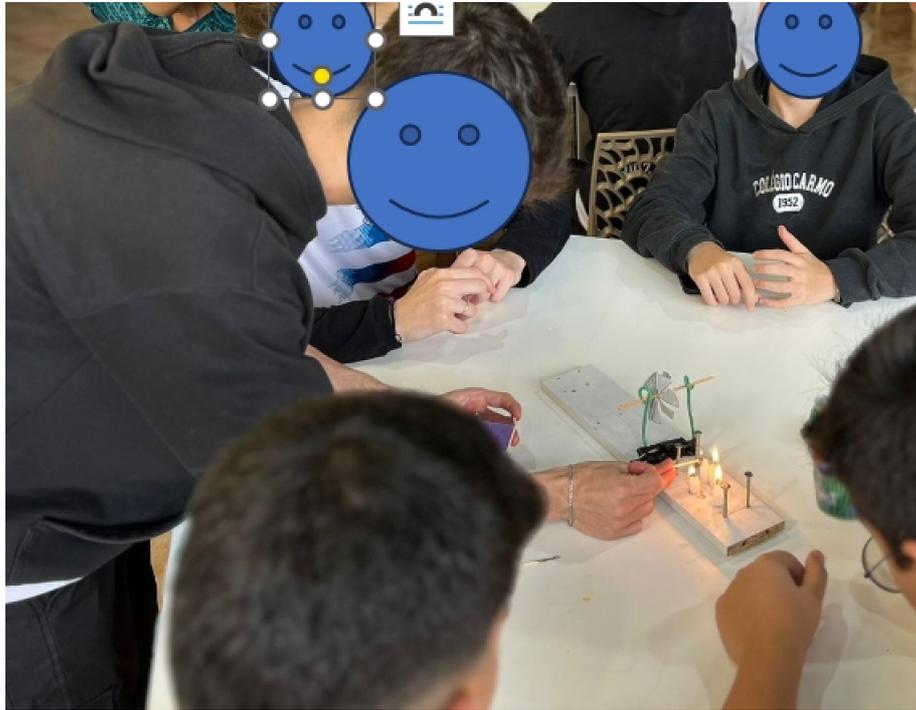
Com base nas pesquisas realizadas em casa, os alunos foram desafiados a projetar, construir e apresentar suas próprias máquinas a vapor, conforme ilustrado nas figuras 31, 32, 33 e 34. Cada grupo teve a oportunidade de aplicar sua compreensão dos princípios de funcionamento das máquinas a vapor na criação de um dispositivo funcional. Essa atividade não apenas consolidou os conhecimentos adquiridos, mas também estimulou a criatividade e a aplicação prática dos conceitos e fortaleceu a relação entre os conceitos teóricos e suas aplicações no mundo real.

Figura 31 – Apresentação dos alunos



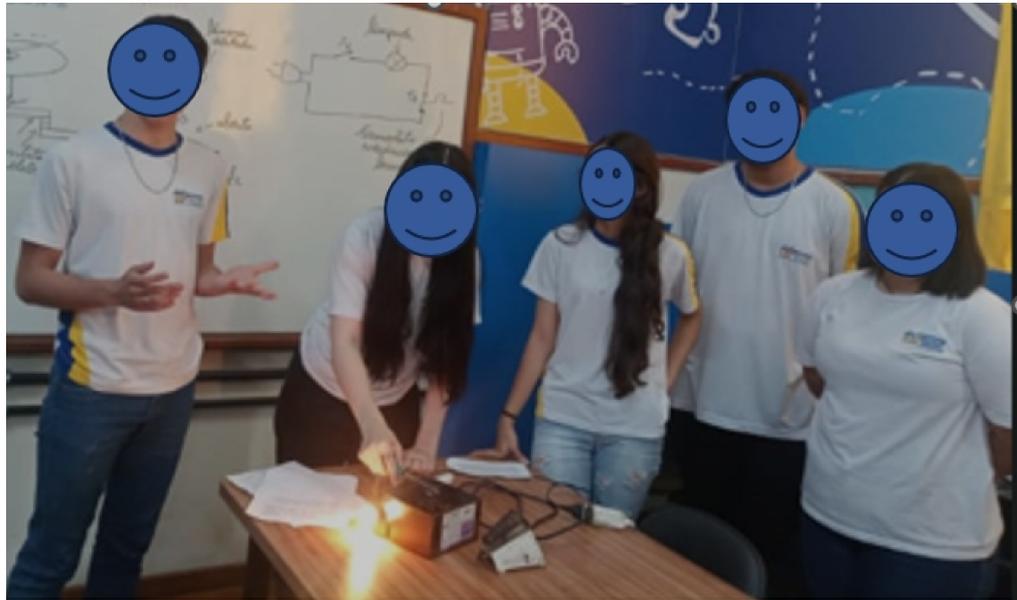
Fonte: Acervo da autora (2023)

Figura 32 – Apresentação dos alunos



Fonte: Da autora (2023)

Figura 33 – Apresentação dos alunos



Fonte: Acervo da autora (2023)

Figura 34 – Apresentação dos alunos



Fonte: Acervo da autora (2023)

Os protótipos é uma versão simples de uma máquina a vapor, construída com uma lata de alumínio que pode atuar como caldeira. A ideia é que, ao aquecer a água dentro da lata, o vapor gerado exerça pressão e gere movimento, possivelmente para acionar rodas e fazer o veículo se deslocar ou a hélice girar. Esse tipo de projeto é comumente associado ao conceito de um "barquinho pop-pop". Nestas máquinas, a energia térmica fornecida por uma fonte de calor (possivelmente uma vela ou uma resistência) é convertida em energia cinética. O calor aquece a água na lata, transformando-a em vapor, que se expande e empurra o ar ou a água ao redor, criando o movimento. Esse processo ilustra a conversão de energia térmica em energia mecânica, um princípio fundamental das máquinas térmicas.

Essa atividade não apenas consolidou os conhecimentos adquiridos, mas também estimulou a criatividade e a aplicação prática dos conceitos e fortaleceu a relação entre os conceitos teóricos e suas aplicações no mundo real.

### 5.1.6 – Terceira etapa - Aula 6: Funcionamento do motor Stirling

Após a apresentação, os alunos tiveram a oportunidade de observar o funcionamento de um carrinho movido por um motor de Stirling, conforme ilustrado nas Figuras 35 e 36. Aproveitando o interesse demonstrado pelos alunos, abordamos conceitos que necessitavam de maior esclarecimento, como a diferença entre os ciclos de Carnot e Stirling, a eficiência térmica e os princípios de funcionamento dos motores térmicos. Isso proporcionou uma compreensão mais sólida das leis termodinâmicas e dos ciclos envolvidos.

Figura 35 – Carrinho motor de Stirling



Fonte: Acervo da autora (2023)

Figura 36 – Funcionamento do carrinho motor de Stirling



Fonte: Acervo da autora (2023)

A interação direta com a aplicação prática do motor de Stirling não apenas cativou a atenção dos estudantes, mas também ofereceu uma oportunidade valiosa para reforçar o entendimento teórico, garantindo um aprendizado mais abrangente e integrado.

## 5.2 – CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A APLICAÇÃO

Na primeira etapa, a introdução às atividades envolveu a exibição de vídeos práticos sobre o funcionamento de máquinas térmicas a vapor. Questionamentos instigantes foram lançados aos alunos, incentivando-os a relacionar o conteúdo com aplicações práticas do cotidiano. A oportunidade de manusear um protótipo da máquina térmica enriqueceu ainda mais a experiência.

A construção de mapas conceituais, na segunda etapa, proporcionou aos alunos uma ferramenta visual para organizar conceitos de maneira livre e intuitiva. Os mapas mentais revelaram diferentes perspectivas, destacando tanto os aspectos técnicos quanto históricos da máquina térmica a vapor. A diversidade de abordagens evidenciou a riqueza de insights proporcionada pela metodologia.

A terceira etapa incorporou uma atividade prática de construção de barquinhos pop-pop, promovendo a aplicação concreta dos conceitos aprendidos. A competição subsequente adicionou uma dimensão de diversão e motivação, tornando o aprendizado mais envolvente e memorável. A análise dos barquinhos refletiu o sucesso da abordagem prática.

A fase final incentivou os alunos a realizarem pesquisas, projetar, construir e apresentar suas próprias máquinas a vapor. Essa etapa aprofundou a compreensão do tema, estimulou a criatividade e fortaleceu a relação entre os conceitos teóricos e suas aplicações práticas.

Na última aula, os alunos tiveram a oportunidade de observar o funcionamento de um carrinho movido pelo Motor de Stirling. Essa experiência prática permitiu abordar conceitos específicos das leis termodinâmicas e ciclos, proporcionando uma compreensão mais sólida. A interação direta com a aplicação prática do motor de Stirling cativou a atenção dos estudantes, garantindo um aprendizado mais abrangente e integrado.

A abordagem multidisciplinar, a experimentação prática e a aplicação criativa do conhecimento demonstraram ser elementos-chave para uma experiência educacional abrangente e significativa. A metodologia empregada incentivou a participação ativa dos alunos, estimulou a autonomia na busca por conhecimento e consolidou a compreensão dos princípios das máquinas térmicas.

Com a aplicação prática do produto educacional documentada e analisada, voltamos nossa atenção para a avaliação dos resultados e as considerações finais sobre a eficácia da abordagem proposta. No capítulo seguinte, apresentaremos nossas conclusões e recomendações para futuras pesquisas.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação da sequência didática desenvolvido para o ensino das máquinas térmicas a vapor revelou-se alinhada com os princípios teóricos apresentados no Capítulo 2, especialmente no que tange ao sócio-construtivismo de Vygotsky. A utilização de diferentes metodologias, tais como vídeos motivadores, mapas mentais/conceituais, demonstrações experimentais e experimentos realizados pelos próprios alunos, permitiu uma abordagem diversificada e rica em interações sociais, fundamentais para a construção do conhecimento, conforme Vygotsky (1987). Além disso, a teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel contribuiu para a eficácia dessa abordagem, ao destacar a importância de conectar novas informações com conhecimentos prévios dos estudantes, facilitando a assimilação e retenção do conteúdo. Moreira (2011), por sua vez, enfatiza que a interação e a mediação durante o processo de ensino são cruciais para aprofundar a compreensão dos conceitos e promover uma aprendizagem mais efetiva. Dessa forma, a sequência didática não apenas se alinha com o sócio-construtivismo, mas também incorpora a ideia de que o aprendizado é enriquecido por meio da integração de diferentes metodologias e da mediação social.

Os experimentos desenvolvidos durante o projeto, como a construção de barquinhos pop-pop e a competição entre eles, são claros exemplos da aplicação prática dos conceitos científicos em um ambiente colaborativo. Vygotsky (1987) argumenta que o aprendizado ocorre de forma mais eficaz através da interação social e da mediação por pares e professores mais experientes, um conceito central em sua teoria sociocultural.

Na obra "A Formação Social da Mente", Vygotsky (2000) explora o conceito de Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP), que descreve a distância entre o nível de desenvolvimento atual de uma criança e o potencial que pode ser alcançado com o suporte de outros mais capacitados. Ele afirma que o aprendizado se dá de forma mais eficiente quando os alunos recebem ajuda de adultos ou colegas mais experientes, permitindo-lhes realizar tarefas que não conseguiriam fazer sozinhos. No contexto deste trabalho, o professor atuou como o mais experiente, desempenhando o papel de mediador no processo de aprendizagem. Essa mediação proporcionou aos alunos a oportunidade de explorar e compreender conceitos complexos de maneira mais aprofundada, permitindo-lhes alcançar um nível de desenvolvimento que, sem o suporte adequado, seria difícil de atingir.

A utilização de vídeos motivadores e introdutórios foi uma estratégia eficaz para captar a atenção dos alunos e introduzir conceitos complexos de maneira visualmente acessível. De acordo com Moran (2002), o vídeo é uma ferramenta poderosa que explora a

observação e a visualização, facilitando a compreensão de conceitos físicos abstratos que, de outra forma, seriam difíceis de assimilar apenas através de explicações verbais.

Os mapas mentais e conceituais foram utilizados como ferramentas para a organização e avaliação do conhecimento, seguindo a abordagem destacada por Moreira (2011). Esses mapas permitiram que os alunos conectassem novas informações a conhecimentos prévios de maneira significativa, alinhando-se com os princípios da aprendizagem significativa. Além disso, a diversidade de abordagens adotadas na construção dos mapas refletiu a variedade de perspectivas e a profundidade do entendimento dos alunos sobre o tema, corroborando a importância da interação social e da mediação na construção do conhecimento.

As demonstrações experimentais e os projetos desenvolvidos pelos alunos desempenharam um papel crucial na aplicação prática dos conceitos teóricos. Essas atividades não apenas forneceram uma compreensão mais profunda dos princípios termodinâmicos envolvidos nas máquinas térmicas a vapor, mas também promoveram a autonomia dos alunos na busca pelo conhecimento. A competitividade introduzida como elemento motivador durante as atividades práticas incentivou os alunos a se engajarem mais intensamente no processo de aprendizagem, tornando a experiência educacional mais dinâmica e envolvente.

A implementação do produto educacional possibilitou cumprir os objetivos propostos, integrando teoria e prática de maneira significativa e engajadora. De acordo com Moreira (2011), essa integração é fundamental para promover uma aprendizagem efetiva e contextualizada. Os resultados obtidos evidenciam que os alunos não apenas assimilam os conceitos científicos relacionados às máquinas térmicas a vapor, mas também desenvolvem habilidades essenciais, como trabalho em equipe, resolução de problemas e capacidade de apresentar e defender suas ideias. Essas competências são fortalecidas por meio de práticas educativas que envolvem interação social e aplicação prática do conhecimento, corroborando a eficácia do produto educacional em proporcionar uma experiência de aprendizagem enriquecedora e integrada.

Ao final do projeto, os alunos demonstraram uma compreensão aprofundada tanto dos aspectos técnicos quanto históricos das máquinas térmicas. A abordagem metodológica baseada no sócio-construtivismo de Vygotsky mostrou-se eficaz, promovendo um ambiente de aprendizado interativo e colaborativo, essencial para a construção do conhecimento científico.

A abordagem multidisciplinar, a experimentação prática e a aplicação criativa do conhecimento mostraram-se eficazes para uma experiência educacional significativa. A

metodologia incentivou a participação ativa dos alunos, estimulou a autonomia na busca por conhecimento e consolidou a compreensão dos princípios das máquinas térmicas.

Para futuras aplicações, recomenda-se a continuidade do uso de métodos que incentivem a aprendizagem ativa e a interação social. A introdução de tecnologias educacionais, como simulações e realidade aumentada, pode enriquecer ainda mais a experiência de aprendizagem. Além disso, a ampliação do escopo dos projetos para incluir outras áreas da física e ciências pode proporcionar uma compreensão mais holística e integrada dos conceitos científicos.

Em resumo, o desenvolvimento e a aplicação deste produto educacional representam um avanço significativo na abordagem pedagógica para o ensino de máquinas térmicas a vapor, promovendo uma aprendizagem significativa e duradoura entre os alunos.

## REFERÊNCIAS

- BATISTA, P.; MACIEL, P.; ANDRADE, C.; FREITAS, B. **O uso das tecnologias digitais no ensino de física: recursos, percepções e desafios**. Repositório Digital do IFPB, 2020. Disponível em: [https://repositorio.ifpb.edu.br/&#8203;;contentReference\[oaicite:1\]{index=1}](https://repositorio.ifpb.edu.br/&#8203;;contentReference[oaicite:1]{index=1})
- BERBEL, Neusi Aparecida Navas. **As metodologias ativas e a promoção da autonomia de estudantes**. Seminário: Ciências sociais e humanas, v. 32, n. 1, p. 25-40, 2011.
- BIZZO, Nélio. **Ciências: fácil ou difícil**. São Paulo: Ática, 2002.
- BONJORNO, L.; CLINTON, A. **História e Cotidiano**. São Paulo: Editora Moderna, 2002.
- BONJORNO, L.; CLINTON, A.; PRADO, E.; CASEMIRO, R. **Física – Ensino Médio**. São Paulo: Editora Moderna, 2016.
- BRASIL. **Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular - BNCC**. Brasília: MEC, 2018.
- BRASIL. **Ministério da Educação. Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências Naturais**. Brasília: MEC/SEF, 2002.
- BRASIL. **Ministério da Educação. Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio**. Brasília: MEC/SEF, 2000.
- BUZAN, TONY. (2009). **Mapas Mentais e sua Elaboração**. Rio de Janeiro: Sextante.
- CARVALHO, L. **Aprendizagem significativa no ensino fundamental - Uma experiência no ensino da ciência**. Revista Científica da Universidade do Oeste Paulista. Presidente Prudente, 2002.
- ÇENGEL, Yunus A.; BOLES, Michael A. **Termodinâmica**. 7. ed. Porto Alegre: Bookman Editora, 2013.
- DARROZ, Luiz M.; SANTOS, Flávia Maria T. dos. **Astronomia: Uma Proposta Para Promover a Aprendizagem Significativa de Conceitos Básicos de Astronomia na Formação de Professores em Nível Médio**. Cad. Bras. Ens. Fís., v. 30, n. 1, p. 104-130, abr. 2013.
- DOS SANTOS, A. M.; FERREIRA, M.; SILVA FILHO, O. L.; DA SILVA VERDEAUX, M. F.; LESSA DO COUTO, R. V. **Ensino de Física: possibilidades e perspectivas associadas ao uso de tecnologias digitais e experimentação**. Revista do Professor de Física, v. 6, n. 2, p. 1–9, 2022. DOI: 10.26512/rpf.v6i2.44949. Disponível em: [https://periodicos.unb.br/index.php/rpf/article/view/44949&#8203;;contentReference\[oaicite:2\]{index=2}](https://periodicos.unb.br/index.php/rpf/article/view/44949&#8203;;contentReference[oaicite:2]{index=2}).
- GEOGEBRA. **Gráfico elaborado pelo autor**. Disponível em: <https://www.geogebra.org>.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física: óptica e física moderna**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. v. 4.

HEWITT, P. **Física conceitual**. 12. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

HOWE, A. C. **Development of science concepts within a Vygotskian framework**. Science Education, v. 80, n. 1, p. 35-51, 1996.

LABURÚ, Carlos Eduardo. **Fundamentos para um experimento cativante**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 23, n. 3, p. 383-405, 2006.

MINAS GERAIS. **Secretaria de Estado de Educação. Currículo Referência de Minas Gerais: ensino fundamental e ensino médio**. Belo Horizonte: SEE-MG, 2018. Disponível em: <https://curriculo.educacao.mg.gov.br>.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa: teoria e textos complementares**. São Paulo: Livraria da Física, 2011.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa: da visão clássica à visão crítica**, Instituto de Física, UFRGS, Porto Alegre, RS, 2005.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. S. **Aprendizagem Significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Moraes, 1982.

MOREIRA, M. A. **Mapas conceituais e aprendizagem significativa**, UFRGS, Porto Alegre, RS, 2012.

MOREIRA, M. A. **Mapas conceituais e diagramas V. Instituto de Física**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.

MOREIRA, M. A. **Teorias de aprendizagem**. 2. ed. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, 2014.

MOREIRA, M. A. **Teorias de aprendizagem**. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, 1999.

MOREIRA, M. A.; BUCHWEITZ, B. **Novas estratégias de ensino e aprendizagem: os mapas conceituais e o Vê epistemológico**. Lisboa: Plátano, 1993.

MOREIRA, M. A.; MASINI, Elcie F. S. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. 2. ed. São Paulo: Centauro, 2006.

MOREIRA, M. A. **Unidades de Ensino Potencialmente Significativas – UEPS. 2012**. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/~moreira/UEPSport.pdf>.

MORAN, J. M. **Desafios da televisão e do vídeo à escola**. Revista Comunicação e Educação, São Paulo, v. 22, n. 4, p. 35, nov. 2002.

MORAN, J. M. **O vídeo na sala de aula. Comunicação & Educação**. São Paulo: ECA-Ed. Moderna, p. 27-35, jan./abr. 1995. Disponível em: <http://www.eca.usp.br/prof/moran/vidsal.htm>.

NOVAK, J. D.; CAÑAS, A. J. **A teoria subjacente aos mapas conceituais e como elaborá-los e usá-los**. Práxis Educativa, Ponta Grossa, v.5, n.1, p. 9-29, jan./jun. 2010. Disponível em: <http://www.redalyc.org/html/894/89413516002/>. Acesso em: 23 jun. 2022.

NOVAK, J. D.; MUSONDA, D. A twelve-year longitudinal study of science concept learning. **American Educational Research Journal**, v. 28, n. 1, p. 117-153, 1991.

NEWTON, R.; HELOU, E.; GUALTER, E. **Física**. São Paulo: Editora Saraiva, 2010.

OLIVEIRA, Marta Kohl. **Vygotsky: aprendizado e desenvolvimento - Um processo sócio-histórico**. São Paulo: Scipione, 1993 (reimpressão 2010).

ONTORIA, A. **Mapas conceituais: uma técnica para aprender**. São Paulo: Loyola, 2005.

RAMALHO, F.; NICOLAU, C.; TOLEDO, P. **Fundamentos da física**. São Paulo: Editora Moderna, 2015.

ROCHA, J. F. (Ed.). **Origens e evolução das ideias da física** [livro eletrônico]. 2. ed. Salvador: EDUFBA, 2011. Disponível em: <https://scielo.org>.

SAMPÁIO, J.; CALÇADA, F. **Física volume único**. São Paulo: Editora Scipione, 2005.

SÉRÉ, Marie-Geneviève; COELHO, Suzana Maria; NUNES, António Dias. **O papel da experimentação no ensino da física**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 20, n. 1, p. 30-42, 2003.

SOUZA, A. C. **A experimentação no ensino de ciências: importância das aulas práticas no processo de ensino-aprendizagem**. Medianeira: UFPR, 2013.

TAVARES, R. Construindo mapas conceituais. **Ciênc. cogn.**, Rio de Janeiro, v. 12, p. 72- 85, nov. 2007. Disponível em: [http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1806-58212007000300008&lng=pt&nrm=iso](http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-58212007000300008&lng=pt&nrm=iso). Acesso em 23 jun. 2022.

TIPLER, P.; MOSCA, G. **Física para cientistas e engenheiros: mecânica, oscilações e ondas, termodinâmica**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009. v. 1.  
Vídeo como fazer um barquinho pop-pop - Disponível em: <https://youtu.be/QHcXqpYGJ8M?si=FQ4FkNjH6WYLI7JZ>.

VÍDEO. **Funcionamento de uma máquina térmica a vapor** - Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=CATRaopEs1c;55>

VÍDEO. **Funcionamento de uma máquina térmica a vapor** - Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=3u6\\_YalwUIE](https://www.youtube.com/watch?v=3u6_YalwUIE).

VÍDEO. **Como fazer um barquinho pop-pop** - Disponível em: <https://youtu.be/QHcXqpYGJ8M?si=FQ4FkNjH6WYLI7JZ>.

VYGOTSKY, Lev Semyonovich. **A formação social da mente: o desenvolvimento social da mente**. São Paulo: Martins Fontes, 2007.

VYGOTSKY, L. S. **A construção do pensamento e da linguagem**. São Paulo: Martins Fontes, 2001.

VYGOTSKY, L. S. **A formação social da mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores**. 2. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1999.

VYGOTSKY, L. S. **Pensamento e linguagem**. 4. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1991.

VYGOTSKY, Lev Semenovich. **Pensamento e linguagem** (JL Camargo, trad.). 1987.

VYGOTSKY, L. S. (2001). **A construção do Pensamento e da Linguagem**. São Paulo: Martins Fontes.

ZABALA, ANTONI. (1998). **A prática educativa: Como ensinar**. Porto Alegre: Artmed.

**APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS**  
**MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

**RAQUEL CRISTINA DE OLIVEIRA**

**SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA ABORDDAGEM DE MÁQUINAS  
TÉRMICAS NO ENSINO MÉDIO**

JUIZ DE FORA

2024

**RAQUEL CRISTINA DE OLIVEIRA**

**SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA ABORDAGEM DE MÁQUINAS TÉRMICAS  
NO ENSINO MÉDIO**

Este produto educacional é parte integrante da dissertação: “Aprendendo a transformar calor em trabalho: uma abordagem potencialmente significativa no ensino de máquinas térmicas a vapor”, desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 24 – UFJF / IF Sudeste-MG, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Dr. Júlio Akashi Hernandez

Coorientadores: Dra. Giovana Trevisan Nogueira

Dr. Paulo Henrique Dias Menezes

JUIZ DE FORA

2024

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pelo apoio financeiro oferecido durante a realização deste trabalho.

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

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Protótipo da máquina térmica a vapor construída pela autora.....	10
Figura 2 – Funcionamento do motor a vapor.....	11
Figura 3 – Máquina a vapor com fonte de calor.....	11
Figura 4 – Material para construção dos mapas.....	12
Figura 5 – Cortes da latinha.....	13
Figura 6 – Dobras da latinha.....	14
Figura 7 – Molde colado na latinha.....	15
Figura 8 – Dobras no molde.....	15
Figura 9 – Colocação dos canudos.....	16
Figura 10 – Ajuste dos canudos.....	16
Figura 11 – Ajuste dos canudos nos moldes.....	17
Figura 12 – Molde do barquinho.....	18
Figura 13 – Ajuste do canudinho no molde do barquinho.....	19
Figura 14 – Carrinho motor de Stirling.....	20

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 – Etapas da aplicação do produto.....	21
--	----

## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>6</b>
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>8</b>
<b>3. O PRODUTO EDUCACIONAL.....</b>	<b>10</b>
3.1 – VÍDEOS E PROTÓTIPO DA MÁQUINA TÉRMICA A VAPOR.....	10
3.2 – CONSTRUÇÃO DE MAPAS CONCEITUAIS.....	12
3.3 – CONSTRUÇÃO DOS BARQUINHOS POP-POP.....	12
<b>4. A SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....</b>	<b>21</b>
4.1 – DESCRIÇÃO DA AULA 1 – INTRODUÇÃO AS ATIVIDADES.....	22
4.2 – DESCRIÇÃO DA AULA 2: CONSTRUÇÃO DE MAPAS CONCEITUAIS.....	22
4.3 – DESCRIÇÃO DA AULA 3 – APLICAÇÃO PRÁTICA – CONSTRUÇÃO DOS BARQUINHOS POP-POP.....	23
4.4 – DESCRIÇÃO DA AULA 4 – APLICAÇÃO PRÁTICA – COMPETIÇÃO DOS BARQUINHOS.....	23
4.5 – DESCRIÇÃO DA AULA 5 – APRESENTAÇÃO DAS MÁQUINAS TÉRMICAS FEITA PELOS ALUNOS.....	24
4.6 – DESCRIÇÃO DA AULA 6 – FUNCIONAMENTO DO MOTOR DE STIRLING.....	24
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>25</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>26</b>

## 1. APRESENTAÇÃO

Caro(a) Professor(a),

Este produto educacional foi desenvolvido com o intuito de fornecer a você uma sequência didática estruturada e detalhada para abordar o conceito de máquinas térmicas em sala de aula. Reconhecendo a importância de métodos de ensino que vão além da teoria e incluem atividades práticas e significativas, esta proposta busca enriquecer o aprendizado dos alunos através de experiências concretas e interativas.

O presente trabalho tem a intenção de contribuir com o ensino de máquinas térmicas, buscando complementar o conteúdo oferecido pelos livros didáticos e apoiar uma compreensão mais aprofundada dos princípios envolvidos no funcionamento dessas máquinas. O foco em máquinas térmicas a vapor, apesar de sua importância histórica e prática, muitas vezes não recebe a devida atenção nos currículos escolares, o que justifica a escolha desse tema para o desenvolvimento do produto educacional.

Cada fase dessa sequência didática para abordagem de máquinas térmicas no ensino médio, foi elaborada e inspirada na metodologia de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS), que busca a participação ativa, autônoma e interativa dos alunos, conforme proposto por Moreira (2011).

A primeira etapa envolve uma introdução prática e teórica através de vídeos e manuseio do protótipo da máquina térmica a vapor, estimulando a curiosidade e o pensamento crítico dos alunos, que também foram estimulados a construção de mapas mentais.

A segunda etapa foca na aplicação prática dos conceitos através da construção e competição de barquinhos pop-pop, promovendo a criatividade e a colaboração em grupo.

A terceira e última etapa desafia os alunos a pesquisar, construir e apresentar suas próprias máquinas a vapor, consolidando os conhecimentos adquiridos e permitindo uma exploração mais profunda e prática dos princípios teóricos.

Ao final, sugere-se a observação do funcionamento de um carrinho que funciona com motor de Stirling com o objetivo de proporcionar uma compreensão ainda mais abrangente e prática das leis termodinâmicas. Cada uma dessas etapas é essencial para o desenvolvimento de uma experiência educacional completa e enriquecedora.

Este material foi estruturado para facilitar o ensino e a aprendizagem dos conceitos de termodinâmica e máquinas térmicas, com ênfase nas máquinas a vapor. Essa abordagem pedagógica valoriza a construção do conhecimento a partir das experiências prévias dos estudantes,

integrando novas informações de forma que façam sentido e se conectem com o que já sabem. Para isso, foram utilizadas estratégias que estimulam a participação ativa dos alunos, como a elaboração de mapas mentais, a realização de experimentos práticos e a apresentação de projetos. Essas atividades são projetadas para engajar os alunos na pesquisa e no aprendizado colaborativo, incentivando a curiosidade, o pensamento crítico e a aplicação prática dos conceitos teóricos. Assim, os alunos não são meros receptores de informações, mas protagonistas de seu próprio processo de aprendizado, desenvolvendo habilidades cognitivas e socioemocionais que contribuirão para sua formação integral.

Esperamos que este material sirva como uma ferramenta útil e inspiradora em sua prática docente, proporcionando aos seus alunos uma compreensão mais profunda e significativa dos conteúdos de termodinâmica.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A abordagem para o ensino e aprendizagem deste trabalho fundamenta-se nas teorias de Lev Semenovitch Vygotsky e nas contribuições de Marco Antonio Moreira sobre aprendizagem significativa. Essas teorias se alinham particularmente com a nossa proposta, tendo em vista o contexto do tema que estamos explorando, tornando-se, assim, os pilares teóricos essenciais para este estudo. Vygotsky destaca a importância das interações sociais e da Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) no desenvolvimento cognitivo dos alunos. Moreira, por sua vez, enfatiza que a aprendizagem significativa ocorre quando novas informações são integradas de maneira substantiva e não-arbitrária aos conhecimentos prévios do aluno, promovendo uma compreensão profunda e duradoura. O uso de mapas conceituais é uma ferramenta eficaz tanto para ensino/aprendizagem quanto para avaliação, mas deve ser integrado a uma proposta teórica clara e objetivos específicos. Sua aplicação reflete os valores, crenças e posturas teóricas dos educadores, centrando-se no aluno, desenvolvendo habilidades e promovendo uma aprendizagem significativa (Ontoria, 2005; Moreira, 2006).

A aprendizagem significativa, conforme Ausubel, Novak e Hanesian (1980), ocorre quando novas informações são conscientemente relacionadas a conhecimentos prévios do aluno. Para isso, é crucial identificar o que o aluno já sabe e introduzir novos conceitos com base nesse conhecimento. Esta abordagem facilita a formação de conexões duradouras e relevantes, alterando a estrutura cognitiva do aluno e promovendo uma aprendizagem profunda e aplicável.

Os subsunçores ou conhecimentos prévios funcionam como ancoradouros para novas informações, sendo essenciais para a aprendizagem significativa (Moreira; Buchweitz, 1993; Ontoria, 2005). O professor deve investigar esses conhecimentos prévios e usar organizadores prévios quando necessário, para facilitar a integração do novo material (Moreira, 1997). Moreira (2011) destaca que a aprendizagem significativa ocorre quando ideias expressas simbolicamente interagem de maneira substantiva e não-arbitrária com conhecimentos previamente existentes na estrutura cognitiva do aluno. Isso significa que a nova informação se relaciona de forma relevante e profunda com o que o aluno já sabe, não apenas de maneira superficial ou decorativa.

A teoria sócio-construtivista de Vygotsky destaca a importância das interações sociais na aprendizagem. Segundo Vygotsky, o desenvolvimento do aluno é impulsionado por essas interações, que ocorrem na Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP), onde o aluno pode realizar tarefas com ajuda, promovendo o desenvolvimento cognitivo.

Na metodologia aplicada ao ensino de máquinas térmicas a vapor, a utilização de vídeos, protótipos e demonstrações experimentais incentiva a interação, a autonomia na busca pelo conhecimento e a aplicação prática dos conceitos. A construção de mapas conceituais e a competição de barquinhos pop-pop refletem essa abordagem, consolidando o aprendizado por meio de atividades práticas e colaborativas. A apresentação final das máquinas a vapor demonstra como a aprendizagem é mediada pela interação social e pelo ambiente, confirmando os princípios de Vygotsky sobre o papel das experiências e das interações na formação do conhecimento.

Em suma, a metodologia promove uma aprendizagem significativa ao integrar conhecimentos prévios com novos conceitos, utilizando ferramentas e interações sociais para facilitar a compreensão e aplicação prática dos conteúdos, alinhando-se aos princípios teóricos de Vygotsky e da aprendizagem significativa conforme descritos por Moreira.

### 3. O PRODUTO EDUCACIONAL

O produto educacional é uma sequência didática composta por um conjunto de atividades práticas e teóricas distribuídas em seis aulas, organizadas em três etapas principais, como podemos verificar no quadro 1 abaixo. O contato inicial dos alunos com o conteúdo sobre máquinas térmicas ocorreu logo no início da aplicação da sequência didática, quando foram introduzidos aos conceitos básicos de termodinâmica e conversão de energia. Ao longo das atividades, esse conteúdo foi aprofundado gradualmente, com explicações mais detalhadas e experiências práticas que reforçaram o entendimento dos princípios de funcionamento dessas máquinas. Dessa forma, a abordagem permitiu que os alunos construíssem uma compreensão sólida e aplicada do tema à medida que progrediam nas etapas da sequência didática.

#### 3.1 – VÍDEOS E PROTÓTIPO DA MÁQUINA TÉRMICA A VAPOR

Para o início da sequência didática sugere que se possível leve um protótipo de uma máquina térmica a vapor, para que os alunos manuseiem e entenda o seu funcionamento e passe alguns vídeos onde mostra o funcionamento da máquina térmica a vapor. A construção do protótipo (figura 1) foi inspirada no tutorial do canal "Super Dicas" ([https://www.youtube.com/watch?v=XphT\\_nDh8Ys](https://www.youtube.com/watch?v=XphT_nDh8Ys)) contudo, não é necessário que você o construa para esta sequência de ensino.

Figura 1 - Protótipo da máquina térmica a vapor construída pela autora.



Fonte: Acervo da autora (2023)

No vídeo <https://www.youtube.com/watch?v=CATRaopEs1c>, entre os instantes 14:50 e 15:30, podemos verificar o funcionamento do motor a vapor, onde o vapor gerado na caldeira é direcionado para o cilindro, e a pressão do vapor empurra o pistão, conforme a figura 2. Esse movimento do pistão é convertido em movimento rotativo por meio de um sistema de manivela e biela. A demonstração visualiza conceitos de termodinâmica, como a transformação de energia térmica em energia mecânica e a expansão do vapor para realizar trabalho.

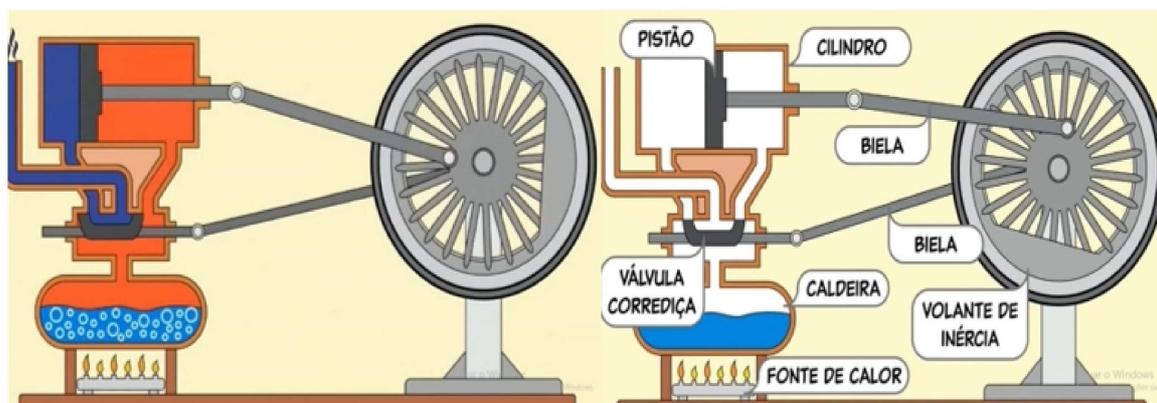
Figura 2 – Funcionamento do motor a vapor



Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=CATRaopEs1c;55>

Nesse outro vídeo [https://www.youtube.com/watch?v=3u6\\_YalwUIE](https://www.youtube.com/watch?v=3u6_YalwUIE), no instante entre 6:55 até 7:18, pode -se verificar o funcionamento de uma máquina térmica a vapor, onde começa com a fonte de calor aquecendo a água na caldeira, transformando-a em vapor. Este vapor pressurizado entra no cilindro através da válvula corredeira, empurrando o pistão. O movimento linear do pistão é então convertido em movimento rotativo pela biela, que está conectada ao volante de inércia. O volante de inércia armazena energia cinética, garantindo um movimento contínuo e suave da máquina. Este processo demonstra a conversão de energia térmica em energia mecânica, conforme podemos verificar na figura 3.

Figura 3 – Máquina a vapor com fonte de calor

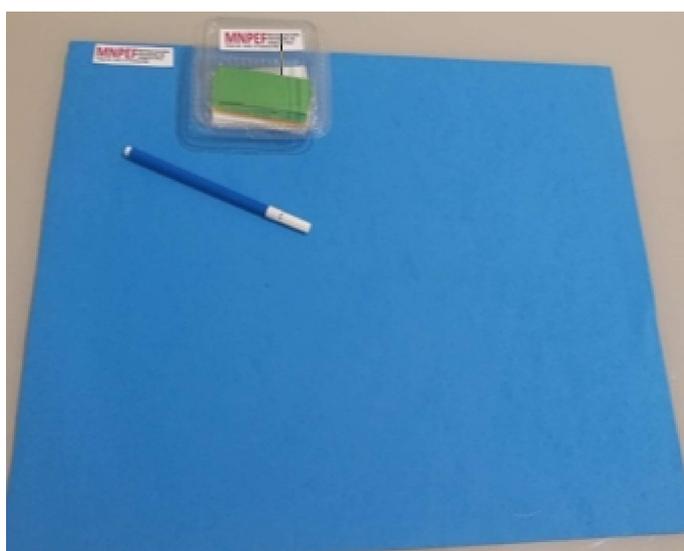


Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=3u6\\_YalwUIE](https://www.youtube.com/watch?v=3u6_YalwUIE)

### 3.2 – CONSTRUÇÃO DE MAPAS CONCEITUAIS

Para a construção dos mapas mentais, sugere que entregue para cada grupo um kit (figura 4) contendo folha de Eva, vários papéis com fita dupla fase colado no verso e caneta. Esse esquema permite que o aluno possa alterar a qualquer momento algum conceito que ele colocou.

Figura 4 – Material para construção dos mapas



Fonte: Acervo da autora (2023)

### 3.3 – CONSTRUÇÃO DOS BARQUINHOS POP-POP

Para a construção do barquinho, são necessários os materiais abaixo relacionados. Segue também o vídeo explicativo e o passo a passo para a construção do barquinho pop-pop.

<https://www.youtube.com/watch?v=QHcXqpYGJ8M>

#### **Os materiais necessários para essa experiência são:**

- Tesoura
- Estilete
- 1 lata de refrigerante;
- Cola quente
- Cola epóxi
- Fósforo ou isqueiro;
- 1 vela de aniversário
- 3 canudos dobráveis
- Palitos de dente;
- 1 cartão de crédito ou carteirinha
- Isopor de bandeja de frios;
- Moldes:

Prancha de isopor do barquinho: <file:///C:/Users/55329/OneDrive/%C3%81rea%20de%20Trabalho/Mestrado/Molde%20barquinho%20pop%20pop%20base%20isopor.pdf>

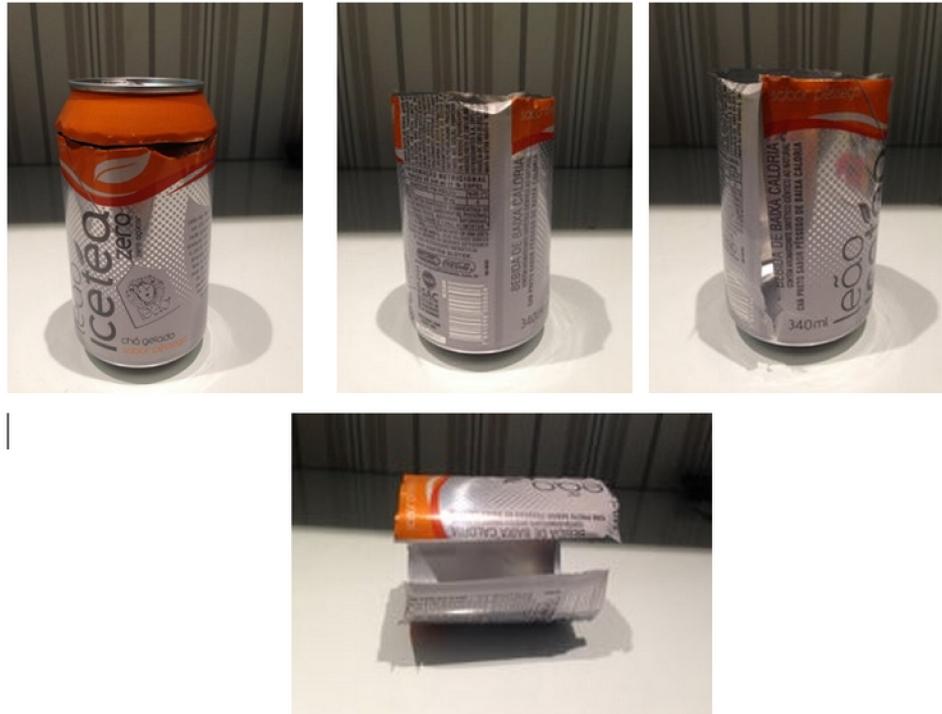
Bolsa de alumínio dos canudos (caldeira):

<file:///C:/Users/55329/OneDrive/%C3%81rea%20de%20Trabalho/Mestrado/Molde%20barquinho%20pop%20pop%20parte%20canudo.pdf>

#### **1º Passo:**

Primeiramente, você deve fazer um furo no topo da lata com o estilete e retirar a “tampa” da lata com a tesoura. Depois que a tampa for retirada, faça um corte perpendicular ao corte da tampa para baixo e recorte o fundo da lata também, até que obtenha uma folha de alumínio, conforme figura 5.

Figura 5 – Cortes da latinha



Disponível em: [Como Construir Um Barquinho Pop-pop : 11 Steps - Instructables](#)

## 2º Passo:

Agora, dobre a folha de alumínio obtida no passo anterior deixando um pequeno espaço entre as pontas e prenda com fita crepe ou fita adesiva na ponta. Após colada a fita, pegue um pedaço de madeira e bata na ponta da folha de alumínio dobrada sem a fita até que a ponta da folha fique achatada, conforme figura 6.

Figura 6 – Dobras da latinha



Disponível em: [Como Construir Um Barquinho Pop-pop : 11 Steps -Instructables](#)

**3º Passo:**

Em seguida, pegue o molde abaixo e recorte-o de qualquer jeito. Feito isso faça 3 bolinhas de fita crepe ou adesiva e cole embaixo desse molde já recortado, e prenda o molde na folha de alumínio horizontalmente. Agora, recorte esse molde tendo como limite sua linha externa não pontilhada e nas laterais seguindo o limite da folha de alumínio, conforme a figura 7.

Figura 7 – Molde colado na latinha

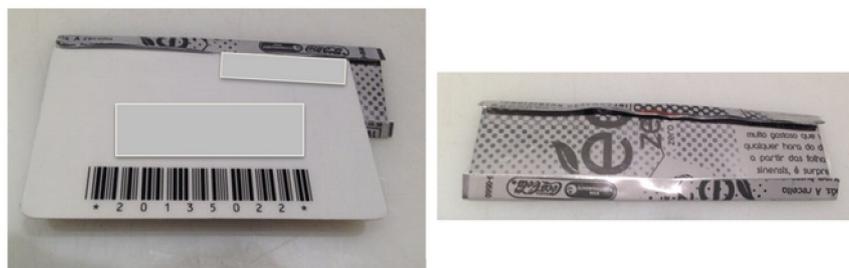


Disponível em: [Como Construir Um Barquinho Pop-pop : 11 Steps - Instructables](#)

**4º Passo:**

Após ter feito isso, pegue um pedaço de madeira com o canto reto e prenda a peça obtida no passo anterior no lateral da tábua. Dobre em cima da linha pontilhada dos dois lados da peça. Em seguida, remova o molde de papel e reforce as dobras com o auxílio do cartão ou carteirinha, conforme figura 8. Finalmente, ponha a peça obtida embaixo da tábua e bata uma vez para q as dobras fiquem achatadas.

Figura 8 – Dobras no molde

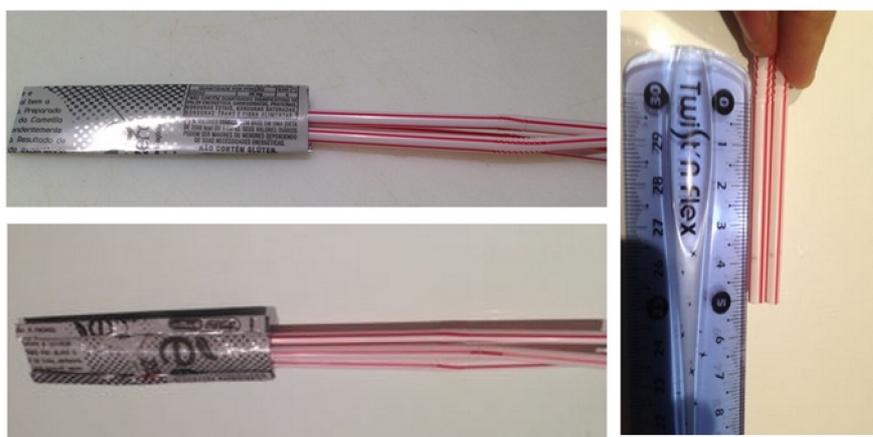


Disponível em: [Como Construir Um Barquinho Pop-pop : 11 Steps - Instructables](#)

**5º Passo:**

Agora, na parte aberta da peça obtida, deve-se colocar 3 canudos dobráveis com a dobra para fora. Em seguida, misture a cola epóxi e espalhe por toda a parte de alumínio fechando os menores espaços até que não haja nenhum buraco, com exceção de onde os canudos entraram. Depois que a cola secar remova os canudos, pegue dois deles e marque 4 centímetros do início da dobra até a parte menor do canudo e recorte o que estiver além desses 4 cm, conforme figura 9.

Figura 9 – Colocação dos canudos



Disponível em: [Como Construir Um Barquinho Pop-pop : 11 Steps - Instructables](#)

**6º Passo:**

Depois que a cola epóxi na peça de alumínio secar, prepare mais um pouco e passe na metade dos canudos, entre a dobra e a ponta mais próxima. Faça isso em apenas dois canudos. Insira os canudos dentro da peça de alumínio até onde você passou cola. Agora, usando cola epóxi feche a saída de ar onde o canudo está na parte superior da peça de alumínio, conforme a figura 10. Espere secar. Depois que a cola secar, coloque a peça de alumínio já selada dentro de um copo de água e sopre forte os canudos para garantir que não há nenhum vazamento de ar. Caso haja, feche o vazamento com mais cola.

Figura 10 – Ajuste dos canudos



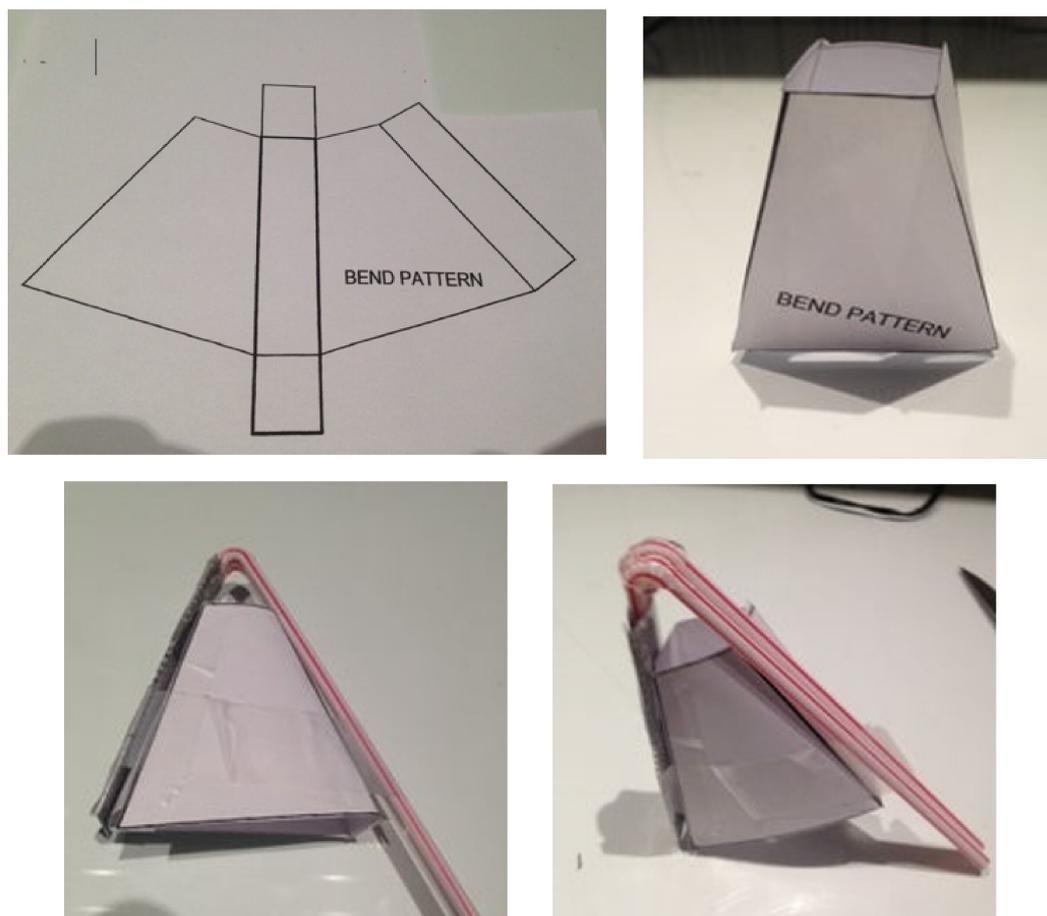
D

Disponível em: [Como Construir Um Barquinho Pop-pop : 11 Steps - Instructables](#)

**7º Passo:**

Recorte e o molde e monte-o seguindo as linhas dobrando sempre para dentro. Depois que o molde estiver pronto, pegue a peça de alumínio e dobre-a no molde, de modo que a parte lisa da peça de alumínio fique para dentro da dobra, conforme a figura 11. Feito isso, passe cola quente na dobra do canudo até que esta endureça.

Figura 11 – Ajuste dos canudos nos moldes

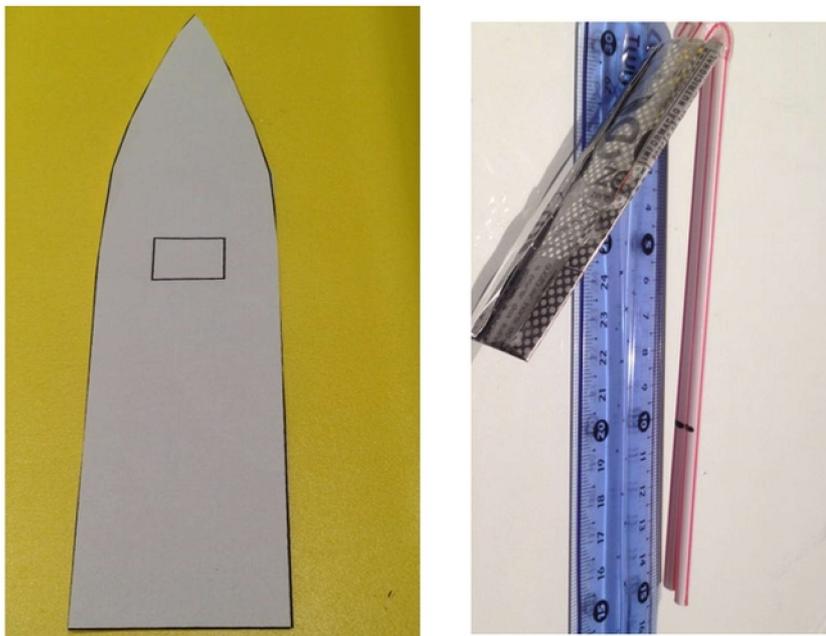


Disponível em: [Como Construir Um Barquinho Pop-pop : 11 Steps - Instructables](#)

**8º Passo:**

Enquanto a cola quente endurece, recorte o molde do barquinho, cole-o sobre o isopor de frios e recorte fazendo o buraco, como indicado no desenho. Assim que a cola do canudinho endurecer, tire a fita crepe, e meça 10 cm do canudo a partir do fim da cobra e corte o que vai além desses 10cm, conforme a figura 12.

Figura 12 – Molde do barquinho



Disponível em: [Como Construir Um Barquinho Pop-pop : 11 Steps - Instructables](#)

### 9º Passo:

Insira o canudinho e a peça de alumínio como indicada na figura abaixo, de forma que os canudinhos fiquem presos ao isopor, utilizando uma fita adesiva. Quando os canudinhos estiverem bem presos, encha-os de água, entrando por um só até que o outro transborde, conforme a figura 13.

Figura 13 – Ajuste do canudinho no molde do barquinho



Disponível em: [Como Construir Um Barquinho Pop-pop : 11 Steps - Instructables](#)

**10º Passo:**

Em seguida, corte a vela até um tamanho que deixe o pavio bem perto da peça de alumínio e prenda-a no isopor com cola quente. Quando a cola secar é só acender a vela com o barquinho já na água.

**3.4 – FUNCIONAMENTO DO MOTOR DE STIRLING**

Nesta última etapa, sugere que apresente outro tipo de máquina térmica, que tenha um funcionamento diferente das máquinas apresentada pelos alunos, como por exemplo o Motor de Stirling, conforme a figura 14.

Figura 14 – Carrinho motor de Stirling



Fonte: Acervo da autora (2023)

#### 4. A SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A Sequência Didática para Abordagem de Máquinas Térmicas no Ensino Médio, foi elaborada e inspirada na metodologia de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS), que busca a participação ativa, autônoma e interativa dos alunos, conforme proposto por Moreira. Este material foi estruturado para ser aplicada em 6 aulas, de 50 minutos cada, e visa facilitar o ensino e a aprendizagem dos conceitos de termodinâmica e máquinas térmicas, com ênfase nas máquinas a vapor, conforme podemos observar no quadro 1.

Quadro 1 - Etapas da aplicação do produto.

<b>Etapa</b>	<b>Aula</b>	<b>Atividades Principais</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Materiais</b>
Primeira etapa	Aula 1: Introdução às atividades	Exibição de vídeos sobre máquinas térmicas a vapor, questionamentos e manuseio de protótipo.	Relacionar teoria com prática, estimular perguntas e curiosidade.	Computadores/tablet e o Protótipo da máquina.
Primeira etapa	Aula 2: Construção de mapas conceituais.	Construção de mapas usando materiais fornecidos.	Organizar conceitos de forma livre e intuitiva.	Kit com folha de EVA, caneta, papéis.
Segunda etapa	Aula 3: Aplicação prática – Construção dos Barquinhos Pop-Pop.	Construção de barquinhos pop-pop em grupos após exibição de vídeo tutorial (Manual do mundo)	Aplicar conceitos teóricos em atividade prática e lúdica.	Kit para construção dos barquinhos (materiais diversos).
Segunda etapa	Aula 4: Competição dos Barquinhos	Competição dos barquinhos construídos pelos alunos.	Avaliar desempenho prático, promover motivação e diversão.	-
Terceira etapa	Aula 5: Apresentação dos alunos	Pesquisa, construção e apresentação de máquinas a vapor pelos alunos.	Aprofundar conhecimento, estimular criatividade e aplicação prática.	Materiais diversos para construção das máquinas.
Terceira etapa	Aula 6: Funcionamento do motor de Stirling.	Observação e explicação do funcionamento de um carrinho com Motor de Stirling.	Reforçar entendimento teórico com aplicação prática.	Carrinho com Motor de Stirling.

Fonte: autoria própria

#### 4.1 – DESCRIÇÃO DA AULA 1 – INTRODUÇÃO AS ATIVIDADES

Considerando o conhecimento prévio dos alunos sobre calor, vapor e as leis da termodinâmica, inicie a sequência didática com a apresentação de vídeos demonstrando o funcionamento de uma máquina térmica a vapor, como exemplo o vídeo, do canal "Manual do Mundo" (<https://www.youtube.com/watch?v=CATRaopEs1c>).

Em seguida, caso tenha um protótipo de alguma máquina térmica a vapor, deixe os alunos manusearem e entenderem o seu funcionamento.

A construção do meu protótipo foi inspirada no tutorial do canal "Super Dicas" ([https://www.youtube.com/watch?v=XphT\\_nDh8Ys](https://www.youtube.com/watch?v=XphT_nDh8Ys)), contudo, não é necessário que você o construa para esta sequência de ensino. A exibição dos vídeos aos alunos é suficiente.

Após a exibição dos vídeos, promova uma série de questionamentos para incentivar os alunos a relacionarem o conteúdo com aplicações práticas do dia a dia, estimulando-os a fazer perguntas sobre seu funcionamento.

Destaco algumas perguntas feitas pelos alunos:

- Como a transferência de calor ocorre dentro da máquina térmica?
- Quais são os componentes principais que possibilitam o funcionamento dessa máquina?
- Quais são as leis da termodinâmica que se aplicam a esse tipo de máquina?
- Como a máquina térmica converte a energia térmica em trabalho?

Diante de perguntas sem respostas imediatas, encoraje os alunos a buscarem as soluções por conta própria, utilizando fontes confiáveis e recursos acadêmicos.

#### 4.2 – DESCRIÇÃO DA AULA 2: CONSTRUÇÃO DE MAPAS CONCEITUAIS

Logo após a pesquisa, sugiro que a turma seja dividida em grupos de 5 alunos. Entregue a cada grupo um kit contendo folha de EVA, caneta e vários papéis, e oriente-os a construir mapas conceituais como parte integrante da atividade proposta.

Alguns alunos podem optar por focar o funcionamento intrínseco da máquina térmica a vapor. Seus mapas devem destacar os componentes principais, os processos termodinâmicos envolvidos e as transformações de energia, refletindo uma compreensão aprofundada das características técnicas da máquina.

Outros alunos podem escolher enfatizar o contexto histórico da máquina térmica a vapor. Seus mapas devem traçar a evolução da tecnologia desde os primórdios até os desenvolvi-

mentos mais recentes, destacando inventores influentes, marcos importantes e as implicações socioculturais da adoção da máquina a vapor.

Neste momento, peça aos alunos que continuem suas pesquisas em casa. Cada grupo deverá pesquisar sobre máquinas térmicas caseiras, fabricar uma e apresentá-la na 5ª aula.

#### 4.3 – DESCRIÇÃO DA AULA 3 – APLICAÇÃO PRÁTICA – CONSTRUÇÃO DOS BARQUINHOS POP-POP

Neste momento, mantendo os mesmos grupos da aula 2, sugiro que entregue para os alunos um kit contendo os materiais necessário para a construção do barquinho pop-pop, ou peça para que eles tragam de casa. Juntamente com o material, distribua o passo a passo da construção e exibe o vídeo explicativo do canal "Manual do Mundo" <https://www.youtube.com/watch?v=QHcXqpYGJ8M> que apresentava as etapas para a construção de barquinhos pop-pop.

#### 4.4 – DESCRIÇÃO DA AULA 4 – APLICAÇÃO PRÁTICA – COMPETIÇÃO DOS BARQUINHOS

Agora, é a hora que os alunos adoram, após a construção dos barquinhos, promova uma competição entre as equipes para avaliar o desempenho de cada embarcação. A competição compõe a criatividade, o trabalho em equipe e a aplicação prática dos conhecimentos adquiridos.

A atividade de construção de barquinhos pop-pop revelou-se uma estratégia eficaz para consolidar os conceitos de máquinas térmicas em uma aplicação concreta. A competição dos barquinhos adicionou uma dimensão de diversão e motivação, tornando o aprendizado mais envolvente e memorável.

A inclusão da atividade prática de construção de barquinhos pop-pop reforça a importância de abordagens multidisciplinares e experiências concretas na educação. Essa atividade não apenas ilustrou os princípios da máquina térmica a vapor, mas também proporcionou um ambiente propício para a aplicação criativa do conhecimento.

Sugiro que presenteie as equipes vencedoras, e para celebrar a participação de todos os alunos distribui balinhas em reconhecimento pelo esforço e dedicação nesse momento.

#### 4.5 – DESCRIÇÃO DA AULA 5 – APRESENTAÇÃO DAS MÁQUINAS TÉRMICAS FEITA PELOS ALUNOS

Nesta aula os alunos deverão apresentarem os seus protótipos de máquinas térmicas caseiras, no momento da apresentação instigue-os a falar sobre os fenômenos físicos envolvidos.

Esta etapa representa uma oportunidade para os alunos se aprofundarem ainda mais no tema, aplicarem suas habilidades de pesquisa e engajarem-se em um processo criativo. Essa atividade não apenas consolidou os conhecimentos adquiridos, mas também estimulou a criatividade e a aplicação prática dos conceitos e fortaleceu a relação entre os conceitos teóricos e suas aplicações no mundo real.

#### 4.6 – DESCRIÇÃO DA AULA 6 – FUNCIONAMENTO DO MOTOR DE STIRLING

Após a apresentação dos alunos, o ideal é que apresente uma máquina que tenha um outro tipo de funcionamento, como por exemplo o motor de Stirling, pois neste momento poderá ser esclarecidas algumas dúvidas e esclarecidas alguns conceitos referentes as leis da termodinâmica e dos ciclos envolvidos.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A sequência didática elaborada visa fornecer aos professores uma ferramenta prática e eficaz para o ensino de conceitos de termodinâmica, calor e vapor, utilizando uma abordagem interativa e envolvente. Ao longo de seis aulas, estruturadas de forma progressiva, os alunos são expostos a uma combinação de vídeos, construção de protótipos, atividades em grupo e competições, todas projetadas para estimular a curiosidade, a investigação e o pensamento crítico.

A utilização de vídeos como ponto de partida ajuda a contextualizar e ilustrar os conceitos teóricos de maneira visual e acessível. A construção de mapas conceituais e protótipos permite que os alunos explorem e consolidem seu entendimento de forma prática e colaborativa. A competição dos barquinhos pop-pop, além de reforçar os conceitos aprendidos, adiciona um elemento de diversão e motivação, tornando o aprendizado mais dinâmico e memorável. A inclusão de atividades práticas e multidisciplinares reforça a importância de abordagens concretas na educação, promovendo um ambiente de aprendizagem mais rico e significativo.

Esperamos que esta sequência didática contribua para o engajamento dos alunos e para o enriquecimento do processo de ensino-aprendizagem, proporcionando aos professores uma metodologia inovadora e eficaz para a abordagem dos conceitos de termodinâmica. Ao implementar essas atividades, os professores têm a oportunidade de transformar a sala de aula em um espaço de descoberta e experimentação, facilitando a conexão entre teoria e prática e estimulando o interesse contínuo pela ciência.

## REFERÊNCIAS

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, J. **Psicologia educacional**. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

MANUAL DO MUNDO. Como fazer um BARCO A VAPOR | barquinho pop pop [EXPERIÊNCIA]. YouTube. 03 de abril de 2012. 15min41s. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=QHcXqpYGJ8M>. Acesso em 09/11/2024.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa: teoria e textos complementares**. São Paulo: Livraria da Física, 2011.

MOREIRA, M. A.; BUCHWEITZ, B. **Novas estratégias de ensino e aprendizagem: os mapas conceituais e o Vê epistemológico**. Lisboa: Plátano, 1993.

MOREIRA, M. A.; MASINI, Elcie F. S. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. 2. ed. São Paulo: Centauro, 2006.

MOREIRA, Marco Antônio. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. 2. ed. São Paulo: Centauro, 1997.

ONTORIA, A. **Mapas conceituais: uma técnica para aprender**. São Paulo: Loyola, 2005.