



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

ANA CLARA BEZERRA SARAIVA SÁ

PROJETO “FÁBRICA DE MOTORES”: UMA ABORDAGEM DO TEMA MÁQUINAS
TÉRMICAS NO ENSINO BÁSICO NO CONTEXTO DA TEORIA DAS
INTELIGÊNCIAS MÚLTIPLAS

FORTALEZA

2024

ANA CLARA BEZERRA SARAIVA SÁ

PROJETO “FÁBRICA DE MOTORES”: UMA ABORDAGEM DO TEMA MÁQUINAS
TÉRMICAS NO ENSINO BÁSICO NO CONTEXTO DA TEORIA DAS INTELIGÊNCIAS
MÚLTIPLAS

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Ensino de Física. Área de Concentração: Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Wellyson de Alencar Sobreira

FORTALEZA

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S11p Sá, Ana Clara Bezerra Saraiva.
Projeto "Fábrica de Motores": Uma abordagem do tema máquinas térmicas no ensino básico no contexto da Teoria das Inteligências Múltiplas / Ana Clara Bezerra Saraiva Sá. – 2024.
83 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Fortaleza, 2024.
Orientação: Prof. Dr. Fernando Wellysson de Alencar Sobreira.
1. Máquinas térmicas. 2. Termodinâmica. 3. Ensino de física. 4. Teoria das Inteligências Múltiplas.
I. Título.

CDD 530.07

ANA CLARA BEZERRA SARAIVA SÁ

PROJETO “FÁBRICA DE MOTORES”: UMA ABORDAGEM DO TEMA MÁQUINAS
TÉRMICAS NO ENSINO BÁSICO NO CONTEXTO DA TEORIA DAS INTELIGÊNCIAS
MÚLTIPLAS

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Ensino de Física. Área de Concentração: Ensino de Física.

Aprovada em: 27/11/2024

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fernando Wellysson de Alencar
Sobreira (Orientador)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
do Ceará (IFCE)

Prof. Dr. Nildo Loiola Dias
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Agmael Mendonça Silva
Universidade Estadual do Piauí (UESPI)

Aos meus pais, cuja fé em mim foi a fonte de energia para gerar este trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, a Meishu-Sama e aos meus antepassados, cuja força espiritual permitiu a materialização deste trabalho.

À Universidade Federal do Ceará e à Sociedade Brasileira de Física, bem como a todos professores que fazem parte do programa do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Fernando Wellysson de Alencar Sobreira, pelo suporte ao longo de todo o processo de construção deste trabalho, desde sua gênese.

Ao Colégio Antares, onde atuei e apliquei este projeto. Um agradecimento especial aos queridos alunos que fizeram parte deste trabalho.

À minha família, em especial meu pai, Edilson, que me instigou a começar, e minha mãe, Roselise, que não me deixou desistir.

Ao meu noivo, Matheus, que me apoiou incondicionalmente ao longo de todo o processo.

Aos meus queridos amigos e aos meus colegas de turma do MNPEF, por todas as trocas valiosas e o apoio ao longo destes anos.

Ao Doutorando em Engenharia Elétrica, Ednardo Moreira Rodrigues, e seu assistente, Alan Batista de Oliveira, aluno de graduação em Engenharia Elétrica, pela adequação do *template* utilizado neste trabalho para que o mesmo ficasse de acordo com as normas da biblioteca da Universidade Federal do Ceará (UFC).

E a todos os meus alunos e colegas professores, que tanto me ensinam ao longo da prática docente. Este trabalho foi desenvolvido pensando em cada um de vocês.

Like schooling and literacy, science is a social invention to which human intelligences can be marshaled only if the society is willing to accept the consequences.

(Gardner, 1985, p. 381)

RESUMO

A área da Termodinâmica apresenta significativa relevância dentro do Ensino de Física, tanto por seu caráter integrativo com outras disciplinas, como a Química, como também por sua perenidade nos currículos escolares. Foi verificado, no entanto, um número pouco expressivo de trabalhos voltados ao ensino nesta área. Assim, considerando a importância dos tópicos de Termodinâmica no Ensino de Física, foi desenvolvido um produto educacional que integra atividades síncronas e assíncronas para o tópico de Máquinas Térmicas. De modo a considerar a individualidade dos alunos no processo de ensino-aprendizagem, a base teórica utilizada consistiu na Teoria das Inteligências Múltiplas de Howard Gardner, utilizada em todo o processo. Este produto foi estruturado na forma de uma cartilha, onde o processo em sala de aula inclui três etapas centrais: pesquisa, desenho de projeto e construção de protótipo, sendo este uma maquete explicativa. Os estudantes, organizados em equipe, exploraram os tópicos Ciclo de Carnot, Ciclo de Otto e Ciclo do Refrigerador. Após a aplicação do produto educacional em contexto de sala de aula, os resultados evidenciaram a compreensão dos elementos estruturais do tópico Máquinas Térmicas, bem como mudanças na dinâmica de sala de aula que favoreceram o processo de ensino-aprendizagem.

Palavras-chave: máquinas térmicas; termodinâmica; ensino de Física; Teoria das Inteligências Múltiplas

ABSTRACT

The field of Thermodynamics holds significant importance within Physics Teaching, both due to its integrative nature with other disciplines, such as Chemistry, and its enduring presence in academic curricula. However, a relatively limited number of studies focusing on teaching in this domain have been identified. In light of the relevance of Thermodynamics topics, an educational product was developed that incorporates both synchronous and asynchronous activities specifically addressing the topic of Heat Engines. To account for the individual differences among students in the teaching-learning process, the theoretical framework applied was Howard Gardner's Theory of Multiple Intelligences, which anchored the entirety of the design. This product was structured in the form of a booklet, with the classroom process comprising three central stages: research, project design, and prototype construction, the latter being an explanatory model. Students, organized into teams, engaged with the topics of the Carnot Cycle, the Otto Cycle, and the Refrigerator Cycle. The implementation of this product in the classroom yielded results that demonstrated not only an understanding of the structures of Heat Engines but also notable changes in classroom dynamics that enhanced the teaching-learning process.

Keywords: heat engines; thermodynamics; Physics teaching; Theory of the Multiple Intelligences

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – *La Gare Saint-Lazare*. Claude Monet. 1877. Pintura a óleo. 75 cm × 105 cm. Musée d’Orsay, Paris, França. Esta pintura foi reproduzida na capa do Produto Educacional desta dissertação. 15
- Figura 2 – Diagrama Pressão *versus* Volume explicativo dos caminhos de processos termodinâmicos. No caminho 1, tem-se a sequência OCA, representada por uma curva isocórica seguida de uma curva adiabática, enquanto o caminho 2 percorre os pontos OBA, representado por uma curva adiabática seguida de uma isocórica. 27
- Figura 3 – Diagrama Pressão *versus* Volume do ciclo termodinâmico ABCDA, no qual a variável de estado final retorna às variáveis de estado iniciais no sistema. 28
- Figura 4 – Esquema representativo de um sistema não-conservativo caracterizado pela queda livre de uma esfera em ambiente com resistência do ar. Neste sistema, a energia mecânica não se conserva, uma vez que a resistência do ar é responsável pela dissipação da energia na forma térmica, não sendo possível que esta energia retorne ao corpo de modo a dar-lhe mais velocidade. 30
- Figura 5 – Representação gráfica do Ciclo de Carnot em um diagrama de pressão *versus* volume. Os caminhos *AB* e *CD*, representados pelas cores laranja e azul, respectivamente, se caracterizam como curvas isotérmicas, e os caminhos *BC* e *DA*, representados pelas cores verde e vermelho, respectivamente, se caracterizam como curvas adiabáticas. 31
- Figura 6 – Representação esquemática de uma máquina E hipotética, mais eficiente que uma máquina de Carnot, conectada a uma máquina de Carnot. 35
- Figura 7 – Gráfico representativo do Ciclo de Otto em um diagrama Pressão *versus* Volume. O Ciclo de Otto é caracterizado pela presença de duas curvas isocóricas e duas curvas adiabáticas. 36
- Figura 8 – Representação esquemática de uma máquina refrigeradora, onde o trabalho é aplicado de modo a retirar calor da fonte fria e jogá-lo na fonte quente. 38
- Figura 9 – Exemplo de pergunta presente em um teste psicométrico. 48
- Figura 10 – Fluxograma ilustrativo da sequência de atividades previstas para realização no decorrer do projeto desenvolvido no Produto Educacional. 55

Figura 11 – Representação de como produzir um <i>design</i> para ser discutido com o docente. Esta imagem foi produzida pela autora, e está disponibilizada no Produto Educacional.	58
Figura 12 – Fluxograma ilustrativo contendo as subdivisões temáticas e por aptidão do projeto “Fábrica de Motores”.	61
Figura 13 – Capa da Cartilha produzida como produto educacional desta dissertação. Capa criada pela autora contendo uma composição com o quadro <i>La Gare Saint-Lazare</i> de Claude Monet (1877).	64
Figura 14 – Representação das folhas contendo os questionários aplicados ao longo do projeto, parte do Produto Educacional. À esquerda, a folha de Avaliação Diagnóstica e, à direita, a folha com o Questionário Final.	65
Figura 15 – Representação da capa do Guia para Alunos, parte da cartilha do Produto Educacional.	66
Figura 16 – Fotografia da explicação realizada no quadro sobre o projeto a ser realizado. A imagem foi ocultada parcialmente para preservar a identidade dos estudantes.	69
Figura 17 – Parte da turma organizada em grupos de discussão como parte do <i>Pit-Stop 2</i>	70
Figura 18 – Fotografias da maquete produzida pela Equipe Carnot. A equipe produziu uma “Máquina de Cupcakes”, mostrando a parte térmica e a parte criativa. À esquerda tem-se os elementos constitutivos da máquina térmica e à direita a fotografia com o painel lateral.	72
Figura 19 – Fotografias da maquete produzida pela Equipe Otto. A equipe produziu um carro. À esquerda, tem-se a representação da parte da frente da maquete, com o carro desenhado, e o LED que utilizaram para o farol, e à direita tem-se a estrutura da máquina térmica.	72
Figura 20 – Fotografias da maquete produzida pela Equipe Refrigerador. A equipe produziu uma geladeira. À esquerda, tem-se a representação da parte da frente da maquete, com a estrutura térmica e uma representação elétrica da geladeira, e à direita tem-se a parte traseira, com o desenho do “logo” criado.	73
Figura 21 – Fotografia de uma resposta à Avaliação Diagnóstica, contendo noções gerais sobre Máquinas Térmicas.	74
Figura 22 – Fotografia de uma resposta à Avaliação Diagnóstica, contendo noções gerais sobre Máquinas Térmicas contendo elementos de eletricidade.	75

Figura 23 – Fotografia de uma resposta ao Questionário Final, contendo elementos de Máquinas Térmicas e dos ciclos estudados. 75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela explicativa dos valores de resultados de QI. É importante ressaltar que o termo utilizado é referente ao período no qual era vigente, não correspondendo com os corretos termos da atualidade.	41
Tabela 2 – Tabela de atividades a serem cumpridas ao longo do projeto.	59
Tabela 3 – Tabela listando o cronograma de atividades a ser realizado ao longo do projeto, com durações sugeridas.	61
Tabela 4 – Cronograma de aplicação do produto educacional aula a aula.	68

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO DE LITERATURA	20
3	A FÍSICA DAS MÁQUINAS TÉRMICAS	25
3.1	As Leis da Termodinâmica no entendimento de Máquinas Térmicas	26
3.2	Ciclo de Carnot: o ciclo ideal	30
3.3	Motores: o Ciclo de Otto	35
3.4	Refrigerador: a Máquina Térmica inversa	38
4	FUNDAMENTAÇÃO PEDAGÓGICA	40
4.1	Testes de Q.I. e as inteligências na Educação Brasileira	40
4.2	A Teoria das Inteligências Múltiplas	43
4.2.1	<i>Crerios para identificar uma inteligência</i>	45
4.2.2	<i>As oito inteligências</i>	47
4.2.3	<i>Interação entre as inteligências e a perspectiva educacional</i>	51
5	METODOLOGIA	54
5.1	Estrutura do Projeto	54
5.1.1	<i>Sequência de atividades propostas</i>	54
5.1.2	<i>Divisão de Equipes</i>	59
5.1.3	<i>Cronograma de atividades</i>	60
5.2	As Inteligências Múltiplas na Fábrica de Motores	61
5.3	Produto Educacional	63
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	67
6.1	Análise pré-aplicação do Produto Educacional	67
6.2	Aplicação do Produto Educacional	67
6.2.1	<i>Aula 1: Explicação do projeto e Avaliação Diagnóstica</i>	68
6.2.2	<i>Aula 2: Pit-Stop 1</i>	69
6.2.3	<i>Aula 3: Pit-Stop 2</i>	70
6.2.4	<i>Aula 4: Apresentação das maquetes</i>	71
6.2.5	<i>Aula 5: Questionário Final</i>	73
6.3	Análise dos resultados obtidos	74
6.3.1	<i>Análise objetiva (questionários)</i>	74

6.3.2	<i>Análise subjetiva</i>	76
6.3.3	<i>Impactos pós-aplicação</i>	78
7	CONCLUSÃO	79
	REFERÊNCIAS	81
	APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL	83

1 INTRODUÇÃO

Uma das áreas mais antigas e bem estabelecidas da Física é a Termodinâmica. Seu desenvolvimento acelerou e foi acelerado no processo da aplicação tecnológica de seus conceitos ao se construir as máquinas a vapor, tão utilizadas na Revolução Industrial (1760 – 1840), tendo como uma de suas mais marcantes publicações o trabalho de Sadi Carnot, *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance* (“Reflexões sobre o poder motriz do fogo e máquinas adequadas para desenvolver esse poder.”), publicada em 1824 (Blundell; Blundell, 2010). As marcas deste período foram tão significativas, que encontramos, também, os rastros desta época na arte produzida, tal como mostrado na pintura de Claude Monet, representada na Figura 1.

Figura 1 – *La Gare Saint-Lazare*. Claude Monet. 1877. Pintura a óleo. 75 cm × 105 cm. Musée d’Orsay, Paris, França. Esta pintura foi reproduzida na capa do Produto Educacional desta dissertação.



Fonte: Wikimedia (2024).

Quando observamos na perspectiva do Ensino de Física, percebemos uma forte presença da Termodinâmica na Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Uma vez que a Termodinâmica e as máquinas térmicas já são conceitos bem desenvolvidos e robustos dentro

da Física, desenvolvidos em sua maior parte no fim do século XIX, é possível surgir o questionamento de sua proximidade com a realidade da sala de aula contemporânea. Apesar de bem estabelecidos, os conceitos relacionados à Termodinâmica permeiam a realidade material da humanidade, especialmente por seu caráter macroscópico e sensorial.

Segundo a Base Nacional Comum Curricular, “(...) questões globais e locais com as quais a Ciência e a Tecnologia estão envolvidas – como desmatamento, mudanças climáticas, energia nuclear e uso de transgênicos na agricultura – já passaram a incorporar as preocupações de muitos brasileiros. Nesse contexto, a Ciência e a Tecnologia tendem a ser encaradas não somente como ferramentas capazes de solucionar problemas, tanto os dos indivíduos como os da sociedade, mas também como uma abertura para novas visões de mundo.” (Brasil, 2017, p. 547).

Enquanto estratégia pedagógica, o ensino da Termodinâmica apresenta um importante elemento de letramento científico, e continua atual dentro dos documentos contemporâneos. Além disso, os conceitos relacionados com matrizes energéticas e a discussão também política e social que permeia esta área demonstram o quanto a temática permanece atual e necessária.

Dentro da BNCC do Ensino Médio, em particular, dá-se destaque às competências e habilidades, extraídos os excertos correspondentes (Brasil, 2017, p. 554-560):

- **COMPETÊNCIA ESPECÍFICA 1:** Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e/ou global.
 - Habilidade (EM13CNT101):* Analisar e representar as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões em situações cotidianas e processos produtivos que priorizem o uso racional dos recursos naturais.
 - Habilidade (EM13CNT102):* Realizar previsões, avaliar intervenções e/ou construir protótipos de sistemas térmicos que visem à sustentabilidade, com base na análise dos efeitos das variáveis termodinâmicas e da composição dos sistemas naturais e tecnológicos.[...]
- **COMPETÊNCIA ESPECÍFICA 3:** Analisar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC).
 - Habilidade (EM13CNT301):* Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica.

A discussão de temáticas científicas dentro da sala de aula, dessa maneira, traz dentro do letramento científico também a apropriação, por parte do aluno, de conceitos que o incluem na sociedade da qual faz parte, ofertando liberdade de escolha e real compreensão do que é discutido em níveis mais hierarquizados da política nacional.

Quando pensamos, então, no processo educativo em sala de aula, dentro de um ensino tradicional, uma das formas mais difundidas de verificar aprendizagem consiste no uso de testes. Desde as provas mensais ou bimestrais para calcular uma média até o método de entrada no Ensino Superior por meio do vestibular, os testes mostram-se uma constante na vida escolar do indivíduo. Uma abordagem interessante, no entanto, surge do trabalho de Howard Gardner (1985), que afirma na introdução de seu livro *Frames of Mind* que a pontuação em um teste de inteligência (ou teste psicométrico) permite que seja verificada a capacidade do estudante de lidar com elementos escolares, mas não é capaz de prever o sucesso futuro na vida adulta. Este enfoque torna-se ainda mais interessante ao ser considerado o fato de provas tais como o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) possuir um caráter psicométrico questionável dentro de uma análise da disciplina de Física, tal como é destacado no trabalho de Vizzoto (2022).

Pensar um viés analítico e crítico tal como posto pela BNCC, sugere a necessidade de visualizar elementos centrais do processo de pensamento científico. Gardner (1985), analisando especificamente o caso do processo de pensamento científico de Albert Einstein como exemplo, cita:

O que deve ser destacado aqui é que sua [de Albert Einstein] originalidade científica residia na ousadia de conceber o problema; na persistência em levá-lo adiante, com todas as suas implicações enigmáticas e desconcertantes; e na sutileza em apreciar sua conexão com as questões mais fundamentais sobre a natureza e a estrutura do universo. (Gardner, 1985, p. 158, Tradução nossa)

Esta visão da mente científica abre a perspectiva de que não apenas a habilidade de cálculos e de compreensão fomentam o processo de aprendizagem em um ambiente científico. Transpondo esta análise para a sala de aula, levanta-se o questionamento: Como pode-se levar ao estudante o desejo de desenvolver curiosidade e sensibilidade acerca da disciplina de Física? Considerando que o processo de ensino-aprendizagem é, tal como seu nome sugere, um processo de reciprocidade, é imprescindível que seja observada a sala de aula dentro do individual e do global. Em outras palavras, Gardner sintetiza esta visão em seu trabalho desenvolvendo a Teoria das Inteligências Múltiplas, marcada pela ideia de que é “apenas ao expandirmos e reformularmos nossa compreensão dos elementos constitutivos do intelecto humano seremos capazes de conceber métodos mais apropriados de avaliá-lo e mais eficientes de educá-lo” (Gardner, 1985, p. 4, Tradução nossa).

O desenvolvimento deste trabalho surge do fato de que, muitas vezes, a carga horária das disciplinas de Física é reduzida, enquanto o conteúdo a ser coberto é extenso. O

tópico de ciclos termodinâmicos e motores, por sua vez, por estar relacionado à Segunda Lei da Termodinâmica, muitas vezes é contemplado ao fim do semestre ou ano letivo, podendo, inclusive, ser passado como detalhe ou comentário de modo a contemplar a completude dos conteúdos anteriores. No entanto, o tópico de Motores é um dos tópicos que está presente no cotidiano dos estudantes de forma diária, sendo interessante prolongar o contato do discente com o conteúdo. Desta maneira, a proposta foi concebida de modo a iniciar o contato dos alunos com a temática antes de ser abordado em sala de aula, de modo que, ao ser conduzida a aula regular, o estudante possa tirar dúvidas e compreender o assunto com mais facilidade, trabalhando elementos síncronos (em sala de aula) e assíncronos (fora da sala de aula).

Em outra perspectiva, considerar a Teoria das Inteligências Múltiplas permite observar que estudantes diferentes apresentam aptidões diferentes, e a diversificação das trocas existentes permite que o conteúdo seja apresentado em uma multiplicidade de formatos, favorecendo a compreensão para indivíduos que possuem menos aptidão ou interesse na estrutura tradicional de ensino-aprendizagem de aula expositiva ou expositiva-dialogada.

Buscando remover o conteúdo de Máquinas Térmicas do apêndice do conteúdo da Termodinâmica, bem como apresentar uma construção de conhecimento de forma conjunta e múltipla em sua apresentação, a proposta deste projeto consiste em trazer uma “Feira de Ciências” para a sala de aula, ou seja, motivar discentes a exercerem sua criatividade e independência considerando a individualidade de cada um a medida em que se constrói um todo.

No Capítulo 2 desta dissertação, tem-se a revisão de literatura apresentando o estado da arte do subtópico, discutindo trabalhos que versam sobre Máquinas Térmicas e Ensino de Termodinâmica no período mais recente.

No Capítulo 3, tem-se a conceituação física dos elementos das Máquinas Térmicas, incluindo as Leis da Termodinâmica e os Ciclos Termodinâmicos (Carnot, Otto e Refrigerador).

No Capítulo 4, tem-se a fundamentação pedagógica desta dissertação, elencando elementos fundamentais da Teoria das Inteligências Múltiplas de Howard Gardner, tal como descrito em suas obras principais, com destaque ao livro *Frames of Mind*.

No Capítulo 5, tem-se a apresentação da Metodologia deste projeto, na figura da estruturação do projeto e do Produto Educacional, estruturado na forma da cartilha nomeada “Projeto Fábrica de Motores”.

No Capítulo 6, tem-se os Resultados e a Discussão destes, incluindo elementos da aplicação do Produto Educacional em sala de aula, com ênfase na abordagem subjetiva do projeto

incluindo elementos da Teoria das Inteligências Múltiplas.

E, por fim, no Capítulo 7, tem-se a Conclusão desta dissertação, tendo como base a avaliação continuada e o relato de experiências na aplicação do conteúdo de Termodinâmica utilizando a metodologia da Teoria das Inteligências Múltiplas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Quando tratamos sobre o tópico de Termodinâmica, temos a construção de um conteúdo caracterizado por ser uma disciplina já bem estabelecida há diversos anos. Do ponto de vista pedagógico, no entanto, é interessante analisar os tópicos que vem sendo desenvolvidos nos últimos anos na área.

Neste capítulo, serão tratadas as referências de trabalhos previamente produzidos no Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) dentro da temática desta dissertação.

O referencial de pesquisa foram os documentos disponíveis na plataforma do MNPEF¹. Foi conduzida uma pesquisa com base nas palavras-chave “Termodinâmica”, “Máquinas Térmicas” e “Ciclos”, de modo a avaliar a presença desta temática em trabalhos anteriores. Ao ser realizada esta pesquisa, foram identificadas 28 dissertações dentro da temática geral "Termodinâmica", de um total de 871 dissertações que estão acessíveis no repositório, o que representa um percentual de 3,2% das dissertações disponíveis. Filtrando, então, as dissertações que relacionam diretamente o tópico Máquinas Térmicas, o número é ainda menor, sendo identificados apenas 5 trabalhos.

Dentre estes 5 trabalhos, temos o trabalho de Nascimento (2020), que relaciona o uso de um Motor Stirling artesanal como organizador prévio para o desenvolvimento dos tópicos de Termodinâmica. O produto utiliza a demonstração experimental sob a perspectiva da aprendizagem significativa de David Ausubel, e foi estruturado em duas partes, sendo a primeira um caderno para o professor, e o segundo uma apostila de estudos para o discente. As etapas do projeto consistiram em uma oficina para construção de um Motor Stirling, seguida de aulas com a utilização do aparato, totalizando 8 aulas realizadas. O autor relatou que a utilização experimental despertou proatividade e interesse de seus alunos, apesar de estes apresentarem dificuldades no aspecto de construção do aparato experimental.

O trabalho de Campanholi Jr. (2019), por sua vez, desenvolve um terminal de refrigeração utilizando pastilhas Peltier, de modo a trabalhar conceitos de termoeletricidade, fundamentando-se, também, na Teoria de Aprendizagem Significativa de David Ausubel, e utilizando a metodologia dos Três Momentos Pedagógicos de Delizoicov, Angotti e Pernambuco. Em um total de 4 aulas, é conduzida a sequência didática organizada de modo a problematizar os conceitos e, em seguida, aplicar as atividades experimentais utilizando pastilhas Peltier e, em

¹ Disponível em: <https://www1.fisica.org.br/mnpef/dissertacoes>. Acessado em 1 de setembro de 2024.

seguida, discutir o aparato que foi utilizado. O autor relatou que a organização dos conteúdos favoreceu o interesse e participação dos alunos que, após análise dos questionários, sinalizaram a ocorrência de aprendizagem significativa.

No trabalho de Oliveira (2018), é utilizada metodologia de ensino por investigação tendo como base o uso do Motor Stirling, utilizando experimentação. Em seu trabalho, foi construído um produto educacional constituído por dois elementos centrais: um caderno de atividades para o aluno e um caderno de orientações para o professor. A atividade a ser conduzida consistiu em duas etapas principais, a construção de um Motor Stirling e a realização de atividades experimentais. Para a primeira etapa, o autor realizou 4 encontros com os alunos, de modo a elaborar o motor, precedidos por uma pesquisa individual na internet. Na segunda etapa, a experimentação foi realizada em dois momentos: através do uso de um kit experimental, em conjunto com a apresentação de dois problemas motivadores, e um questionário, e através do uso do próprio Motor Stirling construído, em conjunto com outro questionário. Mediante a aplicação do produto educacional, o autor verificou que os estudantes apresentavam dificuldades no desenvolvimento dos elementos lógicos, porém que a turma apresentou um excelente retorno no interesse em relação às aulas.

Vicari (2018), por sua vez, também discute o Motor Stirling utilizando uma sequência didática que privilegia a compreensão conceitual dos objetos de estudo e bem como o processo de alfabetização científica. Neste trabalho, o autor utilizou uma abordagem investigativa e problematizadora, construindo uma sequência didática voltada ao ensino de ciclos termodinâmicos em 8 aulas. Nestas 8 aulas, as 4 primeiras consistiram em aulas de exposição dialogada utilizando mídias e vídeos, contando também com o uso de testes tradicionais como método avaliativo. Nas aulas seguintes, desenvolve-se o Ciclo de Stirling de forma experimental, seguido da construção de Mapas Conceituais seguindo a teoria de Novak, e a finalização com testes tradicionais. Neste trabalho, o autor relata que os alunos foram capazes de associar os problemas iniciais ao desenvolvimento dos experimentos.

No trabalho de Saraiva (2016), a autora fornece uma proposta de sequência didática para o ensino de Máquinas Térmicas, aplicada em três turmas do ensino médio. Ela inicia seu trabalho realizando a análise dos livros didáticos utilizando o PNLD-2012 com base na transposição didática de Chevallard, seguindo para a elaboração de uma sequência de atividades que tem como base a teoria sócio-histórica de Vygotsky. O trabalho propõe que esta sequência didática seja aplicada ao longo de 17 aulas, incluindo pré-teste e pós-teste. Dentre as atividades propostas,

incluem-se: a discussão de textos históricos e montagem de uma linha do tempo com base no desenvolvimento das máquinas ao longo do tempo; a realização de experimentos sobre pressão e volume; a realização de uma aula expositiva seguida da elaboração de músicas (paródias) sobre ciclos e processos termodinâmicos seguida de gravação; a realização do experimento do Motor Stirling, seguido da apresentação dos diagramas obtidos nos experimentos; e, por fim, a realização de exercícios. Em seus resultados, a autora relata que os alunos se mostraram mais interessados, bem como apresentaram responsabilidade e melhor rendimento escolar.

Ao se levantar na literatura de forma mais ampla, utilizando a plataforma SciELO², por refinamento com os descritores “Termodinâmica AND Máquinas Térmicas AND Ensino de Física”, foram encontrados 6 trabalhos e, destes apenas 2 apresentam instrumento de aplicação didática. Alterando os descritores para “Termodinâmica AND Motores AND Ensino de Física”, obtêm-se 3 trabalhos, dos quais apenas 1 apresenta instrumento de aplicação didática, e, utilizando os descritores “Termodinâmica AND Refrigerador AND Ensino de Física”, por sua vez, foi encontrado apenas um trabalho, que discute o uso em diodos, fora do escopo deste trabalho.

Dentre os 3 trabalhos identificados como relevantes, temos o trabalho de Sauerwein & Sauerwein (2024), que discute o desenvolvimento de um aplicativo simulador de situações-problema da Termodinâmica, dentre eles a simulação de um Ciclo de Carnot, utilizando uma variedade de arranjos experimentais. Neste artigo, os autores propõem o simulador e sugerem seu uso de forma didática. O material não é, no entanto, aplicado no curso do escopo do artigo.

No trabalho de Savall-Aleman *et. al.* (2020), por sua vez, tem-se a construção de um motor de Stirling caseiro utilizando materiais de baixo custo e, associado ao motor, mecanismos da medida de seu rendimento utilizando sensores Arduino. Neste trabalho, também se apresenta apenas a proposta didática, ainda sem a aplicação realizada.

O trabalho desenvolvido por Luchese *et. al.* (2019), então, desenvolve um isqueiro pneumático para uso didático, ferramenta que produz fogo por meio da compressão de ar, em que os autores sugerem a utilização como equipamento experimental com viés de interdisciplinaridade. A proposta didática apresenta material de baixo custo, e o artigo se prolonga demonstrando como utilizar o protótipo e sugere seus usos em sala de aula, justificando seu elemento de interdisciplinaridade na aplicação em aulas de Termodinâmica, bem como de Química.

É interessante destacar que, uma vez que Termodinâmica é um tópico muito presente na Base Nacional Comum Curricular (BNCC), evidencia-se uma lacuna do conhecimento, dada a

² Disponível em: <https://www.scielo.br/>.

exiguidade dos estudos evidenciados. Deste modo, mostra-se necessária a produção de produtos educacionais voltados a essa área, uma vez que apresenta destaque dentro dos tópicos centrais do Ensino de Física.

Em outra perspectiva, apesar de muito utilizado o viés experimental e internalista à ciência na apresentação do conteúdo, aspectos interdisciplinares e culturais também despertam interesse para a produção de trabalhos. O trabalho desenvolvido por Rosa, Heidemann e Lima (2024), por exemplo, destaca a interface entre elementos históricos e epistemológicos, a análise computacional e a análise experimental do problema da Equação do Calor de Fourier. A proposta de seu trabalho, tem como base a dimensão emocional e a dimensão epistêmica do processo de aprendizagem, elementos mais trabalhados em disciplinas de humanidades, ao contrário da dimensão procedimental e conceitual mais presente nas ciências exatas. Este trabalho é interessante por propor uma unidade didática que privilegia três elementos centrais (elementos históricos, elementos computacionais e elementos experimentais) voltado ao ensino da Equação de Fourier, fundamental para a compreensão da condução térmica.

O trabalho de Ferreira *et. al.* (2023), por sua vez, traz as teorias de Aprendizagem significativa de Ausubel e da Educação de Lipman para o desenvolvimento do conceito de entropia da Segunda Lei da Termodinâmica. Nesse contexto, desenvolve-se uma pesquisa que trabalha os conceitos também dentro do conto “A última pergunta” do autor de ficção científica aclamado Isaac Asimov, de modo a desenvolver uma pesquisa translacional relacionando pesquisadores da área de ensino de Física e estudantes do ensino básico.

Ambas as recentes colaborações mostram a integração entre elementos culturais e o ensino de física, cada vez mais presentes dentro da sala de aula, e que destacam a necessidade de apresentar o conteúdo de forma variada e diversa, aproximando-o também de estudantes cuja afinidade com elementos matemáticos e procedimentais seja menor. A presença destes elementos justifica, por sua vez, a aplicação de uma teoria educacional que contemple esta amplitude metodológica, como é o caso da Teoria das Inteligências Múltiplas de Howard Gardner.

Em relação ao uso de maquetes como elemento mediador do processo de ensino-aprendizagem, o trabalho de Lima Filho *et. al.* (2017) apresenta a construção de maquetes de um sistema planetário como atividade auxiliar no ensino de Astronomia. O trabalho apresenta uma contextualização histórica e destaca a importância do uso das maquetes como estratégia tátil e visual. Dentre suas conclusões, destaca-se o uso do elemento sensorial trazido pela maquete como um importante instrumento na fixação de conteúdos teóricos e elementos históricos. De

maneira similar, Munhoz e Bueno (2015) se utilizam das maquetes como elemento mediador no ensino da Cinemática, e destacam em seu trabalho a escolha da maquete como um elemento capaz de ancorar os conhecimentos, unindo os elementos teóricos com o cotidiano dos estudantes. Ambos os trabalhos destacam a utilização de elementos mediadores como fundamentais na construção e fixação de conteúdos.

A presença dos tópicos de Termodinâmica é fundamental e indiscutível dentro da Educação Básica. Uma vez que o tópico apresenta diversos elementos básicos para a compreensão do conceito de Energia de modo geral, a produção acadêmica dentro deste subtópico não se exaure facilmente, fomentando a produção de projetos como o desta dissertação. Destaca-se, desta maneira, a relevância da produção de materiais que não apenas vislumbrem a Termodinâmica como também a apresentem da perspectiva metodológica da Teoria das Inteligências Múltiplas, observando a aplicabilidade em diversos contextos educacionais, e favorecendo o alcance e o letramento científico deste tão importante tópico de Física para a compreensão do todo.

3 A FÍSICA DAS MÁQUINAS TÉRMICAS

Em termos das grandes áreas presentes na Física, temos que uma das áreas mais importantes desenvolvidas no contexto do século XIX foi a Termodinâmica. Uma vez descoberta a capacidade de transformar calor em trabalho, e as leis que conduzem estas transformações, foi dado um importante passo para trazer a precisão quantitativa para o trabalho de químicos anteriores, como Lavoisier, Richter e Dalton (Lewis *et al.* 1961). Embora atualmente grande parte de suas fundações já seja conhecida de forma robusta, as aplicações das Leis da Termodinâmica continuam presentes em inúmeras áreas da Física, tais como Astrofísica Estelar, Radiação, e Mecânica Estatística.

Em um contexto ampliado da história da Física, temos que o momento do desenvolvimento quantitativo da Termodinâmica surge concomitante à Revolução Industrial, em um momento de significativa modificação nos modos de produção. Essa modificação com consequente retirada da figura do artesão e entrada do maquinário traz um impulso necessário para que esse desenvolvimento ocorra a passos largos. Essa importância se mantém significativa até a contemporaneidade, em que sua teoria, juntamente com o desenvolvimento da eletricidade, permite o desenvolvimento de diversos tipos de motores, com uma grande variedade de matrizes energéticas.

O desenvolvimento da teoria das Máquinas Térmicas evoca o desenvolvimento das Leis da Termodinâmica, em especial os enunciados de Clausius e de Kelvin, tais como estão descritos a seguir:

- Clausius: Não é possível nenhum processo cujo único resultado seja a transferência de calor de um corpo mais frio para um corpo mais quente.
- Kelvin: Nenhum processo possui como único resultado a transformação de calor em trabalho.

Esses dois enunciados criam o alicerce da teoria do que entendemos por máquina térmica: uma máquina que atua transformando calor em trabalho (Blundell; Blundell, 2010). Essa máquina atua através de transformações cíclicas, que recebem e dissipam calor para gerar trabalho.

3.1 As Leis da Termodinâmica no entendimento de Máquinas Térmicas

Dentro do que se constrói como a teoria Termodinâmica, a base do seu desenvolvimento está no que entendemos por suas leis. Estas leis regem as transformações que ocorrem em um sistema, e como elas podem modificar as variáveis de estado do sistema, ou seja, regendo nossa compreensão sobre Máquinas Térmicas.

Para analisarmos as leis da Termodinâmica, consideremos dois pontos: o ponto de referência $O(p_o, V_o)$, que possui energia interna U_o , e o ponto $A(p_A, V_A)$, que possui energia interna U_A .

Na Figura 2, temos dois caminhos possíveis para a transformação, o caminho OCA e o caminho OBA , ambos os caminhos compostos por uma curva isocórica e uma curva adiabática. Devemos considerar, no entanto, o princípio de Joule, ou *princípio da conservação de energia*, que afirma que “a energia de um estado de equilíbrio independe do processo utilizado para atingi-lo”, como descreve Oliveira (2005).

Conclui-se, então, que para definição da energia do ponto A , tomando como referência o ponto O , independe o caminho que está sendo utilizado. Para qualquer caminho, então, temos que:

$$U_A = U_o + Q - W \quad (3.1)$$

onde Q representa o calor e W representa o trabalho realizado pelo sistema ao longo do caminho escolhido.

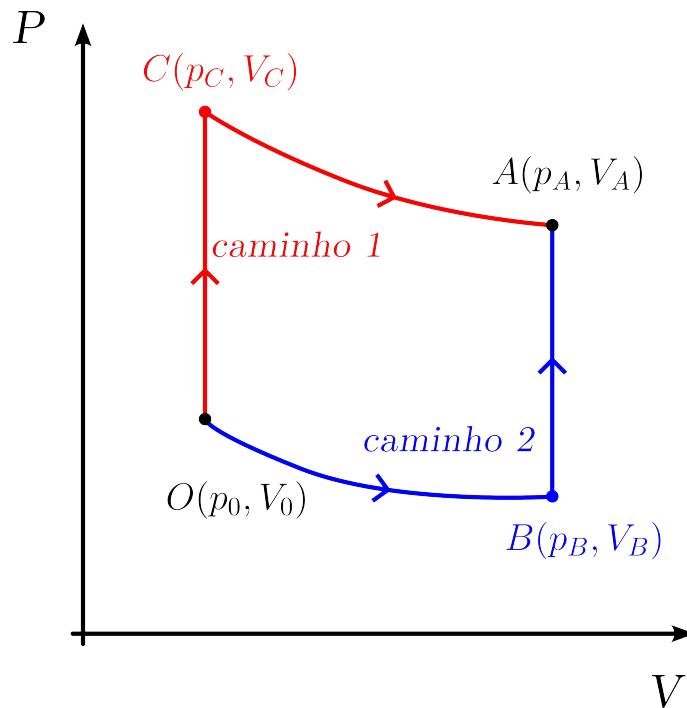
Tomando, então, quaisquer dois pontos A e B , e sendo sua diferença de energia $\Delta U = U_B - U_A$, todas as transformações térmicas seguem o Princípio de Conservação de Energia, ou seja, a Primeira Lei da Termodinâmica, que pode ser escrita como:

$$\Delta U = \Delta Q - W \quad (3.2)$$

onde ΔU é a variação da Energia Interna entre os dois pontos, ΔQ é o calor concedido ao sistema e W é o trabalho realizado pelo sistema.

Uma vez que essas transformações sejam realizadas com gases que possamos qualificar como ideais, é possível utilizar também a relação dada pela equação de Clapeyron:

Figura 2 – Diagrama Pressão *versus* Volume explicativo dos caminhos de processos termodinâmicos. No caminho 1, tem-se a sequência OCA, representada por uma curva isocórica seguida de uma curva adiabática, enquanto o caminho 2 percorre os pontos OBA, representado por uma curva adiabática seguida de uma isocórica.



Fonte: Própria autora (2024).

$$pV = nRT \quad (3.3)$$

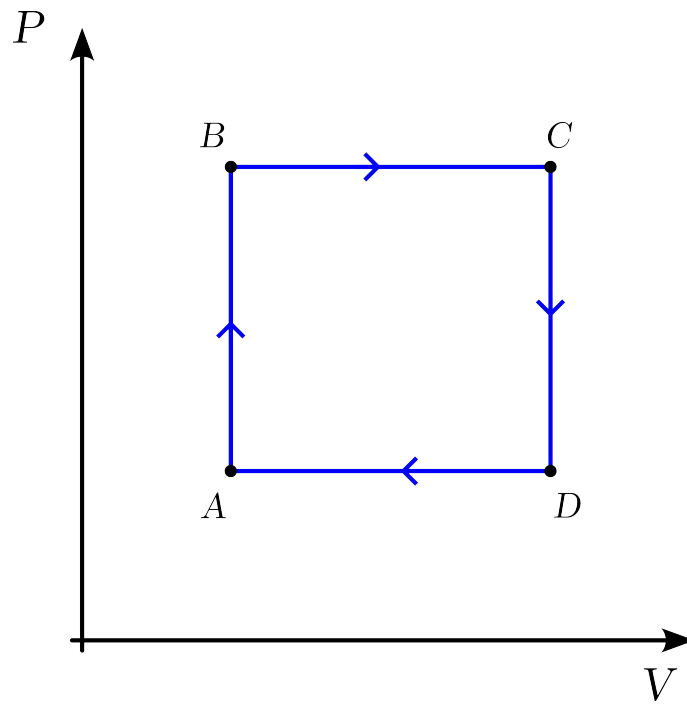
onde p é a pressão, V é o volume, T é a temperatura absoluta e R é a constante universal dos gases.

Relacionando estas leis, podemos chegar no que se compreende como processos termodinâmicos, ou seja a transformação decorrente da mudança de variáveis de estado p , V , T , U , n , por exemplo.

Analisa-se, então, o caso em que as transformações retornem ao estado inicial, tal como representado na Figura 3.

Observando o ciclo da Figura 3, vê-se que as transformações que ocorrem são entre

Figura 3 – Diagrama Pressão *versus* Volume do ciclo termodinâmico ABCDA, no qual a variável de estado final retorna às variáveis de estado iniciais no sistema.



Fonte: Própria autora (2024).

A e B, em seguida de B para C, de C para D e, por fim, de D para A. Para este caso, temos o que se define como um *ciclo termodinâmico*.

Os ciclos termodinâmicos são caracterizados por transformações termodinâmicas cujo resultado retorna o sistema às suas variáveis de estado iniciais. Durante esses processos tem-se a geração ou o consumo de trabalho, gerando o que se conhece como rendimento do ciclo, ou seja, a razão entre a energia útil do sistema e a energia total. Via de regra, ao tratarmos de Máquinas Térmicas, estamos trabalhando necessariamente com transformações termodinâmicas em ciclo, de modo que discutir as energias envolvidas e seu rendimento são fundamentais.

Com base na compreensão de ciclos termodinâmicos, temos que a máquina térmica surge como um elemento capaz de transformar calor em trabalho. É, dessa maneira, de grande importância o conhecimento acerca dos valores iniciais e finais destas energias. É, dessa maneira, fundamental definir, dentro de quaisquer processos cíclicos associados às máquinas, a grandeza rendimento (η). Temos que rendimento pode ser escrito como:

$$\eta = \frac{W}{Q_T} = 1 - \frac{Q_F}{Q_T} \therefore W = Q_T - Q_F \quad (3.4)$$

onde Q_T é o calor absorvido pelo sistema da fonte quente, Q_F é o calor que sai do sistema para a fonte fria e W é o trabalho realizado pela máquina.

O rendimento demonstra uma razão entre a energia que está efetivamente sendo transformada em trabalho, e a que está sendo dissipada. É, então, vital destacar o postulado de Kelvin, que disserta sobre como não é possível um sistema em que todo o calor seja transformado em trabalho. Não há, dessa maneira, nenhuma máquina com rendimento $\eta = 100\%$.

Os enunciados de Clausius e Kelvin são elementos fundamentais na construção da chamada Segunda Lei da Termodinâmica, ou Lei da Entropia. A ideia da entropia vem a explicar o que é chamado de “seta do tempo” da Física, ou seja, ao versar sobre reversibilidade e irreversibilidade de processos, este conceito define a ordem dos acontecimentos (Nussenzveig, 2018).

A título de exemplo, imagina-se uma esfera caindo em queda livre de certa altura h em um local que apresente resistência do ar, como representado pela Figura 4.

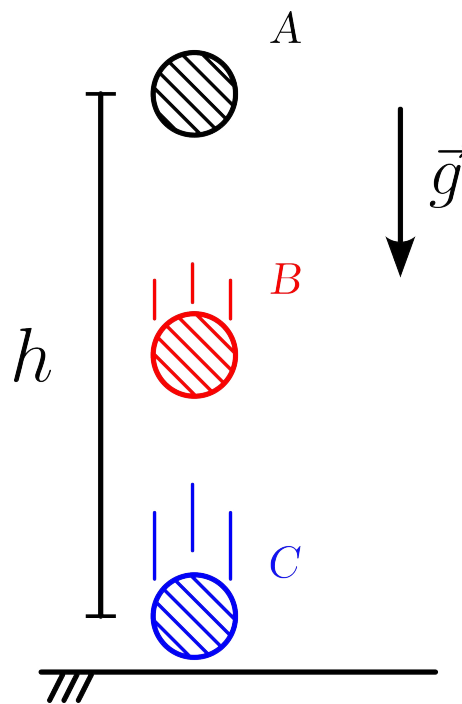
Analisando o sistema representado na Figura 4, tem-se que as energias distribuídas neste sistema resultam de tal forma que a energia mecânica do sistema não se conserva. O fato que ocorre é que o atrito decorrente da resistência do ar gerou aquecimento do ar próximo à esfera, ou seja, ela chega ao solo com uma velocidade menor do que em situação sem resistência do ar. Imagina-se, então, que a situação aconteceriam de maneira “retrocedendo no tempo”, ou seja, a bolinha estaria saindo do chão com a velocidade que chega ao solo. O postulado de Kelvin nos garante que, neste caso, a energia dissipada pela força de atrito em forma de calor *não* poderá retornar à forma de trabalho em sua completude. Isto é um exemplo de processo chamado *irreversível*. Esses processos são tais cuja explicação não consegue ser apoiada apenas pelo princípio da conservação da energia – mostra-se a necessidade do conceito de entropia e da consequente Segunda Lei da Termodinâmica.

Tem-se, então, mais uma variável de estado, a entropia S , e se define a diferença entre dois pontos quaisquer A e B a partir da Integral de Clausius:

$$S_B - S_A = \int \frac{dQ}{T} \quad (3.5)$$

a qual se estende sobre quaisquer caminhos entre A e B (Oliveira, 2005).

Figura 4 – Esquema representativo de um sistema não-conservativo caracterizado pela queda livre de uma esfera em ambiente com resistência do ar. Neste sistema, a energia mecânica não se conserva, uma vez que a resistência do ar é responsável pela dissipação da energia na forma térmica, não sendo possível que esta energia retorne ao corpo de modo a dar-lhe mais velocidade.



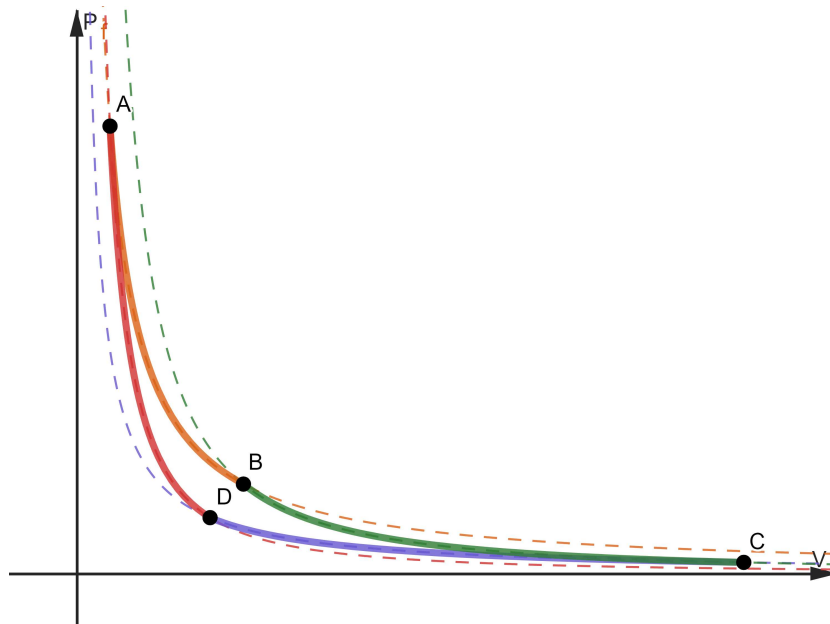
Fonte: Própria autora (2024).

A partir destas descrições dos processos termodinâmicos, serão apresentados os processos relacionados a três dentre os principais ciclos de máquinas térmicas: o Ciclo de Carnot, o Ciclo de Otto, e o Ciclo do Refrigerador.

3.2 Ciclo de Carnot: o ciclo ideal

Supõe-se um sistema composto por um fluido contido em um recipiente. Uma vez partindo de um estado *A*, este sistema passa por uma expansão isotérmica até o estado *B*, seguindo para uma expansão adiabática até o estado *C*, uma compressão isotérmica até o estado *D* e, por fim, uma compressão adiabática de volta ao estado *A*, este sistema está seguindo o que denomina-se como Ciclo de Carnot, mostrado na Figura 5.

Figura 5 – Representação gráfica do Ciclo de Carnot em um diagrama de pressão *versus* volume. Os caminhos *AB* e *CD*, representados pelas cores laranja e azul, respectivamente, se caracterizam como curvas isotérmicas, e os caminhos *BC* e *DA*, representados pelas cores verde e vermelho, respectivamente, se caracterizam como curvas adiabáticas.



Fonte: Própria autora (2024).

Neste sistema, o fluido recebe uma quantidade de calor Q_1 na expansão isotérmica quando em contato com uma fonte de calor (fonte quente) com temperatura T_Q , e, na compressão isotérmica fornece calor Q_2 a uma segunda fonte de calor (fonte fria) com temperatura T_F , onde $T_Q > T_F$ necessariamente. Como descrito em Oliveira (2005), tem-se o *Princípio de Carnot* que “a razão entre o trabalho realizado e o calor recebido por um sistema que opera segundo um ciclo de Carnot depende somente das temperaturas dos reservatórios”. Este princípio destaca-se por ser universal e independer do tipo de fluido utilizado.

O Ciclo de Carnot se caracteriza pela presença de duas curvas isotermas reversíveis e duas curvas adiabáticas reversíveis. Na Figura 5, temos um aquecimento isotérmico (de A para B), uma expansão adiabática (de B para C), um resfriamento isotérmico (de C para D), e, por fim, uma contração adiabática (de D para A).

Para definirmos o rendimento de uma máquina de Carnot, é necessário encontrar as relações para uma expansão isotérmica e para uma expansão adiabática. Analisando a expansão

isotérmica, temos que $\Delta U = 0$, uma vez que $\Delta T = 0$, assim, relacionando com a Equação 3.2:

$$dQ = -dW \quad (3.6)$$

Dessa maneira, sabendo que o trabalho de uma expansão isotérmica é dado por $W = p\Delta V$ e relacionando com a Equação de Clapeyron (Equação 3.3):

$$\begin{aligned} \Delta Q &= \int dQ \\ &= - \int dW \\ &= \int_{V_1}^{V_2} p dV \\ &= \int_{V_1}^{V_2} \frac{RT}{V} dV \end{aligned}$$

ou seja:

$$Q = RT \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (3.7)$$

Analisando, então, o caso da expansão adiabática, temos que uma característica fundamental desta transformação reside no fato de que $dQ = 0$ como definição. Desta maneira, ao reescrevermos a 1ª lei da Termodinâmica, obtemos:

$$dU = dW \quad (3.8)$$

Sabendo que $dU = C_V dT$, onde C_V é o calor molar a volume constante, e $dW = -pdV$, temos:

$$C_V dT = -pdV = -\frac{RT}{V} dV$$

Integrando os dois lados, temos:

$$\int_{T_1}^{T_2} C_V \frac{1}{T} dT = \int_{V_1}^{V_2} -R \frac{1}{V} dV$$

$$C_V \ln \frac{T_2}{T_1} = -R \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (3.9)$$

$$\ln \frac{T_2}{T_1} = -\frac{R}{C_V} \ln \frac{V_2}{V_1}$$

Sabendo que podemos escrever o calor molar a pressão constante como $C_P = C_V + R$ e $\gamma = \frac{C_P}{C_V}$, então:

$$\frac{C_P}{C_V} = 1 + \frac{R}{C_V}$$

$$\gamma = 1 + \frac{R}{C_V} \quad (3.10)$$

$$1 - \gamma = -\frac{R}{C_V}$$

Substituindo a Equação 3.10 na Equação 3.9, temos:

$$\ln \frac{T_2}{T_1} = (1 - \gamma) \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$\ln \frac{T_2}{T_1} = \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{(1-\gamma)}$$

Dessa maneira, para o caso da curva adiabática, temos a expressão:

$$\left(\frac{T_2}{T_1} \right) \cdot \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{(\gamma-1)} = \text{constante} \quad (3.11)$$

A partir das expressões definidas, avaliamos então o caso do Ciclo de Carnot:

$$A \longrightarrow B : Q_T = RT_Q \ln \frac{V_B}{V_A} \quad (3.12)$$

$$B \longrightarrow C : \frac{T_Q}{T_F} = \left(\frac{V_C}{V_B} \right)^{(\gamma-1)} \quad (3.13)$$

$$C \longrightarrow D : Q_F = -RT_F \ln \frac{V_D}{V_C} \quad (3.14)$$

$$D \longrightarrow A : \frac{T_F}{T_Q} = \left(\frac{V_A}{V_D} \right)^{(\gamma-1)} \quad (3.15)$$

onde T_Q é a temperatura da fonte quente e T_F é a temperatura da fonte fria, sendo necessariamente $T_Q > T_F$.

Das Equações 3.13 e 3.15:

$$\frac{T_Q}{T_F} = \left(\frac{V_C}{V_B}\right)^{(\gamma-1)}$$

$$\frac{T_Q}{T_F} = \left(\frac{V_D}{V_A}\right)^{(\gamma-1)} \quad (3.16)$$

$$\frac{V_C}{V_B} = \frac{V_D}{V_A}$$

Por sua vez, a partir das equações 3.12, 3.14 e 3.16:

$$\frac{Q_T}{Q_F} = \frac{RT_Q \ln \frac{V_B}{V_A}}{-RT_F \ln \frac{V_A}{V_C}}$$

$$\frac{Q_T}{Q_F} = \frac{T_Q}{T_F}$$

Assim, analisando o rendimento, descrito na Equação 3.4, temos:

$$\eta = 1 - \frac{Q_F}{Q_T} = 1 - \frac{T_F}{T_Q} \quad (3.17)$$

ou seja, temos a definição do rendimento de um Ciclo de Carnot como uma relação entre as temperaturas da fonte fria e da fonte quente.

Uma das características mais importantes para o Ciclo de Carnot consiste em se tratar de uma máquina térmica com o maior rendimento possível. De modo a demonstrar essa afirmação, será utilizada uma demonstração *por absurdo*. Supondo a existência de uma máquina térmica E mais eficiente que a máquina de Carnot, representada pela Figura 6, propõe-se um sistema hipotético em que a máquina de Carnot (que é reversível) atue como máquina inversa.

Sendo $\eta_E > \eta_{(Carnot)}$:

$$\frac{W}{Q_{T'}} > \frac{W}{Q_T} \quad (3.18)$$

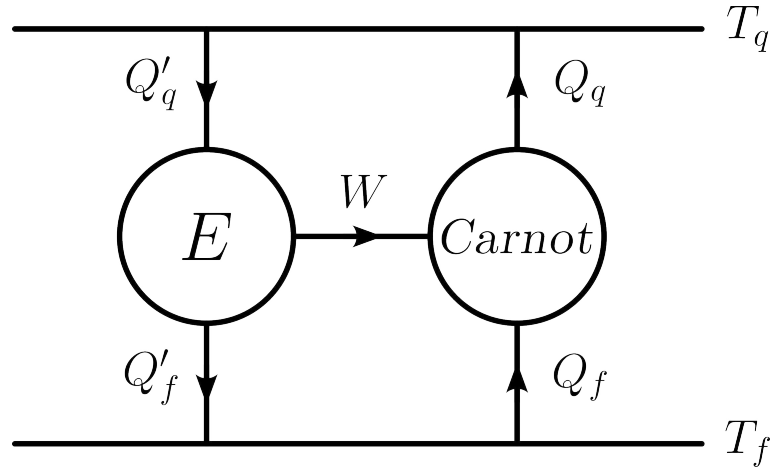
$$\therefore Q_{T'} < Q_T$$

A partir da 1ª Lei da Termodinâmica, temos que:

$$W = Q_{T'} - Q_{F'} = Q_T - Q_F$$

$$Q_T - Q_{T'} = Q_F - Q_{F'}$$

Figura 6 – Representação esquemática de uma máquina E hipotética, mais eficiente que uma máquina de Carnot, conectada a uma máquina de Carnot.



Fonte: Própria autora (2024).

Uma vez que $Q_{T'} < Q_T$, então temos:

$$\begin{aligned} Q_T - Q_{T'} &> 0 \\ Q_F - Q_{F'} &> 0 \end{aligned} \quad (3.19)$$

Uma vez que a diferença $Q_T - Q_{T'}$ caracteriza o calor colocado no reservatório com temperatura T_Q , enquanto a diferença $Q_F - Q_{F'}$ caracteriza o calor extraído do reservatório à temperatura T_F , e sabe-se que $T_Q > T_F$, o fato de termos ambas as diferenças como valores positivos, ocorre uma violação da Lei de Clausius, ou seja, a máquina E *não existe*. Corrobora-se, então, a afirmação de que a Máquina de Carnot apresenta o maior rendimento possível para uma máquina térmica.

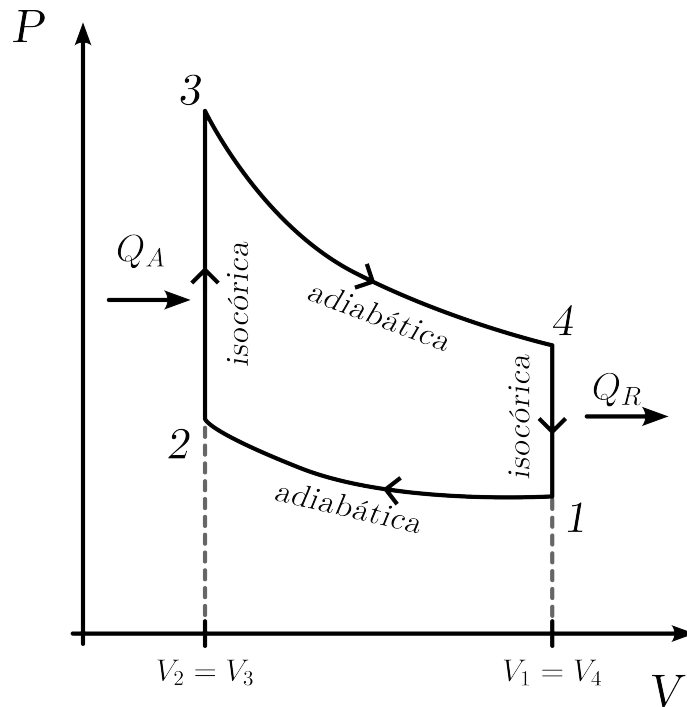
3.3 Motores: o Ciclo de Otto

Outro caso muito importante a ser considerado é o caso do Ciclo de Otto, ou o ciclo de um motor a 4 tempos. Este modelo de máquina térmica tem seu destaque em motores que utilizam a combustão como geradora de energia, tendo como destaque automóveis e aviões, por exemplo.

O Ciclo de Otto é caracterizado por possuir 4 fases, tais como apresentado na Figura 7:

- Compressão adiabática (1 \rightarrow 2)

Figura 7 – Gráfico representativo do Ciclo de Otto em um diagrama Pressão *versus* Volume. O Ciclo de Otto é caracterizado pela presença de duas curvas isocóricas e duas curvas adiabáticas.



Fonte: Própria autora (2024).

- Ignição isocórica (2 \rightarrow 3)
- Expansão adiabática (3 \rightarrow 4)
- Saída do gás com queda de temperatura (4 \rightarrow 1)

Analisando-se os pontos de absorção do calor, estes consistem na etapa 2 \rightarrow 3, na ignição isocórica. Uma vez que o processo é isocórico, temos que:

$$\begin{aligned}
 W &= \Delta U - Q_A \\
 Q_A &= \Delta U_{23} \\
 Q &= \int_{T_2}^{T_3} C_V dT = C_V(T_3 - T_2)
 \end{aligned}
 \tag{3.20}$$

onde Q_A é o calor absorvido pelo sistema.

Para o processo do calor rejeitado, temos:

$$\begin{aligned}
 Q_R &= Q_{41} = \Delta U_{41} \\
 Q_R &= \int_{T_4}^{T_1} C_V dT = C_V(T_1 - T_4)
 \end{aligned}
 \tag{3.21}$$

onde Q_R é o calor rejeitado pelo sistema.

Seguindo a regra geral para o rendimento, de acordo com a Equação 3.4, podemos escrever:

$$\begin{aligned}
 \eta &= \frac{Q_A - Q_R}{Q_A} = 1 - \frac{Q_R}{Q_A} \\
 \eta &= 1 - \frac{[-C_V(T_1 - T_4)]}{C_V(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{(T_4 - T_1)}{T_3 - T_2}
 \end{aligned}
 \tag{3.22}$$

Sabendo que os processos $3 \rightarrow 4$ e $1 \rightarrow 2$ são adiabáticos, temos:

$$T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1} \tag{3.23}$$

$$T_3 V_2^{\gamma-1} = T_4 V_1^{\gamma-1} \tag{3.24}$$

Subtraindo as Equações 3.24 e 3.23, temos:

$$\begin{aligned}
 T_4 V_1^{\gamma-1} - T_1 V_1^{\gamma-1} &= T_3 V_2^{\gamma-1} - T_2 V_2^{\gamma-1} \\
 (T_4 - T_1) V_1^{\gamma-1} &= (T_3 - T_2) V_2^{\gamma-1}
 \end{aligned}
 \tag{3.25}$$

$$\frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} = \frac{V_2^{\gamma-1}}{V_1^{\gamma-1}}$$

Dessa maneira, aplicando a Equação 3.25 na Equação 3.25, temos:

$$\begin{aligned}
 \eta &= 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} \\
 \eta &= 1 - \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma-1}
 \end{aligned}
 \tag{3.26}$$

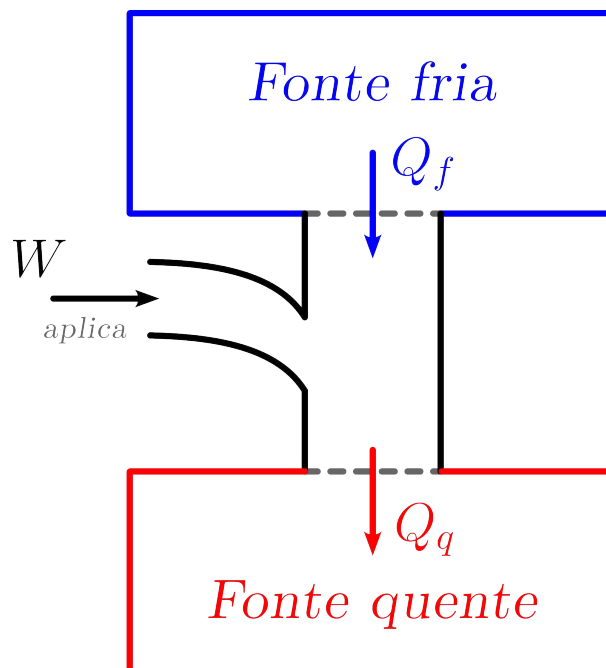
Definimos, então, a variável $r = \frac{V_2}{V_1}$ como a taxa de compressão do gás, então é possível escrevermos, para um ciclo de Otto ideal:

$$\eta = 1 - r^{\gamma-1} \quad (3.27)$$

3.4 Refrigerador: a Máquina Térmica inversa

A terceira máquina térmica a ser abordada, então, trata-se do ciclo do Refrigerador. O refrigerador consiste em um caso especial por se tratar de uma máquina térmica inversa, ou seja, uma máquina que se utiliza do trabalho para retirar calor da fonte fria da máquina, tal como é representado na Figura 8.

Figura 8 – Representação esquemática de uma máquina refrigeradora, onde o trabalho é aplicado de modo a retirar calor da fonte fria e jogá-lo na fonte quente.



Fonte: Própria autora (2024).

Discutindo-se um refrigerador, destaca-se que seu propósito consiste em tirar a maior quantidade de calor para um certo trabalho empregado (Oliveira, 2005). Uma vez que o trabalho é aplicado ao sistema, temos um trabalho de valor negativo, e a temperatura da fonte que cede

calor é menor do que a fonte que receber o calor, ou seja, retira-se calor da fonte fria e coloca-se na fonte quente. Sabendo-se que a variação da energia total é nula nesse sistema, tem-se que é possível descrever o trabalho tal que:

$$|W| = |Q_q| - Q_f \quad (3.28)$$

onde Q_f é o calor recebido pela fonte quente e Q_q é o calor cedido pela fonte fria.

É conveniente, então, definir uma grandeza chamada *coeficiente de desempenho* ω de modo que:

$$\omega = \frac{Q_f}{|W|} = \frac{Q_f}{|Q_q| - Q_f} \quad (3.29)$$

Destaca-se também o que é descrito por Oliveira (2005), em que o autor reforça que o calor cedido para a fonte quente pode ser muito grande, ou seja, paradoxalmente o ciclo do refrigerador também pode funcionar como um aquecedor muito eficiente.

4 FUNDAMENTAÇÃO PEDAGÓGICA

Dentro de uma perspectiva global, os conceitos atrelados à ideia de inteligência variaram ao longo da história. Inúmeros filósofos trouxeram perspectivas diversas do que se trata a inteligência, e o empenho em mensurá-la também não é insignificante. Uma das discussões mais conhecidas trata-se do elemento “nature *versus* nurture” (em tradução livre, “nascido ou nutrido”), que indicaria a pergunta se a inteligência é inerente à essência, ou é cultivada a partir do ambiente em que o indivíduo vive.

Nesse contexto, o ambiente educacional, ao trazer diversos conteúdos que, do contrário o estudante não teria contato, é um ambiente favorável ao cultivo desse contexto de inteligência. Em uma perspectiva geral, um dos aspectos mais importantes a se considerar em uma perspectiva educacional trata-se da avaliação de habilidades adquiridas. Especialmente em se tratando da disciplina de Física, no entanto, é comum um duplo comportamento em relação à disciplina: em sala de aula, é caracterizada como difícil, porém em ambientes não-formais (como planetários e feiras), é uma significativa fonte de curiosidade.

Dessa maneira, este comportamento ambíguo levanta questões diversas dentro do contexto de ensino. Dentre estas questões localiza-se um questionamento do próprio conceito unificado de inteligências. Neste capítulo, será apresentado um breve histórico da testagem da inteligência, bem como a Teoria das Inteligências Múltiplas, que fundamenta o trabalho desenvolvido ao longo desta dissertação.

4.1 Testes de Q.I. e as inteligências na Educação Brasileira

Mensurar habilidades e a inteligência tem sido, historicamente, um elemento significativo do ponto de vista de tomada de decisões. A psicóloga Susana Urbina discute em seu livro *Essentials of Psychological Testing* que, desde o início, os testes psicométricos têm como principal combustível a necessidade de tomar decisões em relação a pessoas, citando como exemplo o caso dos testes para posições governamentais realizados na China Antiga, que datam desde aproximadamente 200 a.C. (Urbina, 2004).

No contexto de tomada de decisões dentro do ambiente educacional no Ocidente, no ano de 1904, o psicólogo francês Alfred Binet é encarregado pelo governo francês de uma comissão para desenvolver um método de avaliar crianças, de modo a verificar quais delas não conseguiriam usufruir de aulas regulares no sistema público de ensino e, dessa maneira,

precisariam de educação especial. Em 1905, então, Alfred Binet e Theodore Simon publicam um instrumento de medida de habilidades cognitivas gerais, ou inteligência global, a escala Binet-Simon, aplicada em crianças de 3 a 11 anos (Urbina, 2004). Este teste de habilidades cognitivas gerais avaliava elementos como memória, atenção, compreensão verbal e raciocínio lógico.

Em 1908 e 1911, Binet e Simon publicaram versões aprimoradas de sua escala, cujo sucesso levou à publicação em outros países (Urbina, 2011). Em 1911, então, o psicólogo alemão William Stern propõe que a pontuação obtida na escala Binet-Simon, renomeada como escore de *idade mental* fosse dividida pela idade cronológica, obtendo assim um quociente, que melhor demonstraria as habilidades esperadas em cada idade, o *Quociente de Inteligência*, ou *QI*. Uma das revisões mais famosas desta escala é a conhecida escala de inteligência Stanford-Binet, publicada por Lewis Terman em 1916. Desde esse período, diversas variações foram desenvolvidas, tendo como uma das mais conhecidas, a expansão para adultos feita por David Wechsler (Wechsler, 1941).

Esta classificação em escala teria como base a ideia de que pode-se classificar o QI, inicialmente de crianças, em 3 níveis, do menor para o maior: infranormal, normal e supernormal (Teixeira, 2019), tal como listado na Tabela 1. Estes conceitos, inicialmente pensados em um contexto educacional foram ampliados também para a ideia de testagem em grupo, tendo como exemplo a *Army Alpha*, que tinha como objetivo direcionar o Exército dos Estados Unidos durante a Primeira Guerra Mundial (Urbina, 2004).

Tabela 1 – Tabela explicativa dos valores de resultados de QI. É importante ressaltar que o termo utilizado é referente ao período no qual era vigente, não correspondendo com os corretos termos da atualidade.

QI	CLASSIFICAÇÃO	GRANDES GRUPOS
Mais de 140	Gênio	
Entre 120 e 140	Inteligência muito superior	Os supernormais
Entre 110 e 120	Inteligência média superior	
Entre 90 e 110	Inteligência média ou normal	Os normais
Entre 80 e 90	Retardo mental	
Entre 70 e 80	Débil mental	
Entre 50 e 70	Cretino	Os infranormais
Entre 25 e 50	Imbecil	
Abaixo de 25	Idiota	

Fonte: Teixeira (2019, p. 6).

É importante ressaltar que dentre a classificação dos infranormais, as crianças com pontuação de QI mais próxima da classificação normal eram chamadas “educáveis”, dessa maneira eram ofertadas aulas especiais, tal como no caso de pessoas com deficiência, organizadas em instituições especializadas. Para as pessoas classificadas com pontuação menor, classificadas como oligofrênicas, predominava a institucionalização no campo hospitalar, em ambientes como manicômios, sanatórios e hospícios, geralmente de forma compulsória (Teixeira, 2019).

No Brasil, as ideias de Binet-Simon também influenciaram significativamente a estrutura de ensino. No início do século XX, o Brasil passava por significativas mudanças dentro do âmbito educacional, estruturando seu sistema de ensino público. As teorias de Binet-Simon entram no campo educacional brasileiro principalmente através da inserção institucional nos laboratórios de psicologia pedagógica, reformas nos currículos com a entrada da psicologia nas Escolas Normais e produção intelectual sobre o aprofundamento da própria obra de Binet (Almeida; Zazzo, 2010).

Neste contexto, o diagnóstico através dos testes de QI era a base para a organização de alunos em salas de aula homogêneas, ou seja, salas organizadas dependendo das pontuações obtidas nos testes. É interessante destacar que, embora a aplicação de teste de QI tenha caído em desuso na contemporaneidade, ainda é comum a existência de turmas estratificadas no sistema de ensino brasileiro, dependendo das notas obtidas nas disciplinas ou em testes de nível.

Como Ricardo Teixeira destaca em seu artigo de 2019, é importante considerar que o teste de Binet-Simon a partir de uma escala de inteligência constituía um instrumento de poder dos profissionais de saúde e da classe médica, uma vez que através deste resultado era definido quem podia ou não frequentar uma escola regular, quem deveria ir para escolas de ensino especial, e quem deveria ser institucionalizado (Teixeira, 2019). Em suma, esta classificação era responsável também por interferir em quem deveria, ou não, conviver em sociedade.

Em um contexto pós-Segunda Guerra Mundial, em que se escancaram diversos elementos higienistas e de eugenia presentes na estratificação e na institucionalização de indivíduos, é importante observar que a perspectiva de uma inteligência pouco mutável ao longo da vida do indivíduo, mostra-se insuficiente. Após a década de 1980, com a elaboração de uma nova Constituição e conseqüente modificação da estrutura educacional como um elemento de direito a todos e o movimento antimanicomial, mostra-se também a necessidade do entendimento da educação de forma global e do indivíduo como múltiplo em suas habilidades a serem desenvolvidas. Ou seja, o indivíduo enquanto possuidor de capacidades e potenciais, sujeito também ao

aprendizado e desenvolvimento dentro de sua individualidade.

4.2 A Teoria das Inteligências Múltiplas

Diversas vezes, exemplos da mídia são capazes de demonstrar exemplos notórios do que ocorre em sociedade, traduzindo aspectos científicos para o cotidiano. Este é o exemplo de um dos episódios da série de TV americana “Young Sheldon”, *spin-off* da famosa série “The Big Bang Theory”. No episódio 5 da segunda temporada da série “Young Sheldon”, os irmãos gêmeos Sheldon e Missy são submetidos a uma pesquisa sobre suas habilidades, por serem muito diferentes. No episódio, Sheldon, que é o irmão com muita habilidade para matemática e ciências, fica perplexo por não conseguir responder as perguntas tão bem quanto Missy, que é a irmã mais sociável e comunicativa, porém não tão habilidosa em matérias escolares quanto ele. Os pesquisadores que estão conduzindo a pesquisa, no entanto, ficam surpresos com a habilidade de Missy em leitura de situações sociais, tal qual outras pessoas costumavam ficar com as habilidades lógico-matemáticas de Sheldon. Este exemplo da mídia é interessante por ilustrar de forma didática a existência de multiplicidade de habilidades. É interessante destacar que a série se passa no início dos anos 90, momento em que o questionamento do conceito unificado do QI está acontecendo de maneira intensa, e começa-se a perguntar com mais ênfase se esta metodologia tabelada é realmente a melhor forma de mensurar inteligência.

O questionamento do caráter monotônico e global da inteligência foi levantado por diversos teóricos. Entre outros, nos anos 20, Thorndike concebia a inteligência como uma soma de três partes: abstrata, mecânica e social. Thurstone, nos anos 30 e 40, por sua vez, entendia a inteligência como sete habilidades primárias. Nos anos 60 e 70, Guilford entendia a inteligência como, em um total, 150 faculdades, e, nos anos 80 e 90, Sternberg e Ceci também desenvolveram teorias que sugeriam perspectivas diferentes para a inteligência. A teoria que ficou, possivelmente, mais conhecida, no entanto, foi a Teoria das Inteligências Múltiplas, de Howard E. Gardner (Davies *et al.*, 2011).

A Teoria das Inteligências Múltiplas parte do trabalho de Howard Gardner, que publica a primeira edição do principal livro da teoria, *Frames of Mind: The Theory of Multiple Intelligences*, na década de 80. O desenvolvimento desta teoria, no entanto, começa antes, quando Gardner, estudando psicologia cognitiva, percebe que não havia muitos estudos à época que retratassem a relação das artes com a inteligência. Gardner, em seus trabalhos com crianças, pessoas que sofreram dano cerebral e pessoas com limitações cognitivas, percebeu que essa

noção linear de inteligência como um processo único não comportava as habilidades diversas que se podia apresentar (Gardner, 1985).

Nasce, então, o conceito de Inteligências Múltiplas (IM), onde cada inteligência se apresenta como um elemento constitutivo da cognição humana, e todos os seres humanos apresentam todas elas, variando apenas o nível de desenvolvimento no indivíduo. Estas inteligências são: linguística, lógico-matemática, espacial, corporal-cinestésica, musical, interpessoal, intrapessoal e, posteriormente adicionada, naturalista. Nesta perspectiva, uma pessoa pode, por exemplo, apresentar alto nível de desenvolvimento da inteligência interpessoal e tornar-se um bom vendedor (capaz de dialogar e convencer pessoas), mas não ter tido facilidade ao estudar Física na escola. Assim, a teoria de IM aborda o ser humano em sua integridade, preservando as diferenças culturais ao avaliar elementos comuns, mas que contemplam elementos de socialização e cultura.

É importante destacar que o trabalho de Gardner não consiste em uma leitura estática de competências, como elementos incrustados e imutáveis, mas sim em elementos capazes de serem desenvolvidos, e que são explorados de forma diferente se também consideradas as condições sociais. Em suma, as inteligências de cada indivíduo, apesar de indicarem uma predisposição já desde a infância, não se qualificam como elementos essencialistas, mas sim como competências que podem ser estimuladas e desenvolvidas, inclusive em sua interatividade retroativa.

Um exemplo utilizado por Gardner (1985, pp. 105–106) que ilustra bem esta situação é quando nos pede que consideremos três crianças pré-escolares com alta habilidade musical: uma delas consegue tocar uma peça de Bach para violino solo com qualidade técnica e interpretativa, uma canta uma ária completa de uma ópera de Mozart após ouvi-la apenas uma vez, e uma terceira toca um minueto simples que compôs, ou seja, três prodígios musicais. Essas três crianças, afirma Gardner, não necessariamente chegaram a esse nível de perícia pelos mesmos caminhos. No exemplo que utiliza, a primeira pode, por exemplo, ter participado desde pouca idade de aulas com a metodologia Suzuki (uma metodologia de ensino de violino para crianças de 0 a 6 anos); a segunda pode ser uma criança com Transtorno do Espectro Autista (TEA) que, apesar de possuir diferentes necessidades de suporte, exibe uma alta habilidade em inteligência musical; e a terceira, por sua vez, pode ser o caso de uma criança que cresceu em uma família altamente musical e que começou a captar e compor melodias sozinha, como foi o caso dos jovens compositores Mozart, Mendelssohn e Saint-Saëns.

Transpondo este exemplo para a sala de aula de Física, observa-se facilidade em

compreender tópicos alunos que tenham, por exemplo, familiares engenheiros ou físicos que falem sobre o assunto com eles, ou mesmo alunos que tenham participado de aulas extras, como robótica e olimpíadas, desde pequenos.

Este exemplo é demonstrativo do aspecto da teoria de Gardner que traz as inteligências como habilidades treináveis e não consolidadas em essência. Assim, na mesma medida em que é possível pessoas diferentes apresentarem combinações distintas de habilidades, é possível também desenvolver essas habilidades.

4.2.1 Critérios para identificar uma inteligência

Ao definir sua Teoria, Gardner inicia com uma discussão do que se trata uma inteligência em si. O uso da palavra “inteligência” varia ao longo da história, porém Gardner apresenta sua visão de competência intelectual com base em dois elementos: resolução de problemas e criação de problemas, ou seja, de perguntas. É importante destacar que nesta abordagem, a inteligência é um construto científico, não um valor objetivo e mensurável, e que a sua percepção de elementos fundamentais também apresenta uma dependência com elementos culturais em que está inserida.

Diversas tentativas de descrever e de classificar inteligências “essenciais” já foram realizadas. Dessa maneira, para realizar seu intento, Gardner (1985) define uma lista de elementos que sinalizam que uma competência pode ser classificada como uma inteligência dentro de sua teoria, com especificações biológicas e psicológicas. Estes critérios serão descritos a seguir.

Potencial isolamento por dano cerebral

Este critério sinaliza o caso de uma habilidade que pode ser destruída ou poupada em virtude de um dano cerebral - como por exemplo um ferimento ou acidente vascular cerebral (AVC) - com relativa autonomia de outras habilidades. Gardner descreve também que esta questão fica ainda mais em evidência quando se considera um dano cerebral em uma região cerebral específica.

Existência de prodígios e indivíduos excepcionais

Esse critério sinaliza bastante uma inteligência ao apresentar perfis de indivíduos com um perfil desigual de habilidades e déficits. Esse perfil desigual aparece, por exemplo, em

indivíduos que são muito precoces em uma (ou mais de uma) competência específica, ou no caso de indivíduos que apresentem significativa dificuldade em algumas áreas, mas uma alta proficiência precoce em outras áreas (como por exemplo uma criança com atraso de fala que tenha alta habilidade com a coordenação motora fina). Estes casos permitem, tal como no caso de um dano cerebral, observar a competência com relativo isolamento.

Conjunto de operações centrais identificáveis

Central para a teoria de Gardner tem-se o conjunto de mecanismos de processamento de informações, que lida com diferentes tipos de estímulos. Ao se classificar uma competência dentro da lista de inteligências, é fundamental que seja possível listar esses mecanismos de processamento, e que eles sejam independentes entre si.

História de Desenvolvimento e um conjunto de performances com alto grau de proficiência

Este critério se relaciona com a ideia de que a inteligência não é inata, mas sim desenvolvida. Ao se procurar esta história de desenvolvimento, é importante observar situações em que a inteligência esteja em evidência e assim observar circunstâncias em que esteja incipiente, e quando já apresenta um grau elevado de proficiência. A observação desse desenvolvimento permite também compreender o funcionamento do treinamento de cada inteligência.

História evolucionária e plausibilidade evolucionária

No aspecto de história evolucionária, temos o fato de que o ser humano apresenta aspectos evolucionários conjuntos com outras espécies, ou seja, diversas espécies apresentam habilidades em comum conosco, e isto sinaliza que tal habilidade qualifica como uma inteligência. A diferença, no entanto, reside no fato de que a comunicação entre inteligências não ocorre em outras espécies que não a humana.

Apoio na psicologia experimental

A psicologia experimental ilumina os processos estruturais de uma candidata a inteligência, bem como respalda os processos de compreensão da autonomia de cada inteligência, e de interação entre elas. Estes elementos experimentais podem trazer informações fundamentais sobre os processos de funcionamento destas inteligências, e mostrar, também, quando várias

manifestações tratam-se, na verdade, de uma mesma inteligência.

Apoio em achados psicométricos

Embora os testes de QI sejam profundamente criticados na obra de Gardner, estes testes também podem trazer importantes dados em relação às inteligências múltiplas. Gardner destaca, no entanto, que, por vezes, os resultados de testes psicométricos não trazem os resultados a que se propõem, uma vez que diversas habilidades podem ser empregadas em um mesmo teste. Por exemplo, uma mesma questão que utiliza gráficos e tabelas pode utilizar uma solução utilizando lógica, habilidades linguísticas ou habilidades espaciais. O ambiente e a situação do teste também pode interferir nos resultados, dessa maneira os resultados de testes psicométricos precisam ser analisados com especial cuidado para aferir também essas interferências.

A título de exemplo, na Figura 9, tem-se um exemplo de pergunta presente em teste psicométrico, neste caso específico avaliando conhecimentos espaciais e de rotação do indivíduo.

Susceptibilidade para uso em um sistema simbólico

Embora uma inteligência possa prosseguir sem necessariamente utilizar um sistema simbólico, há uma tendência humana a utilizar um sistema simbólico, e este elemento pode ser fundamental no tocante a decidir se estamos trabalhando com uma inteligência nova ou não.

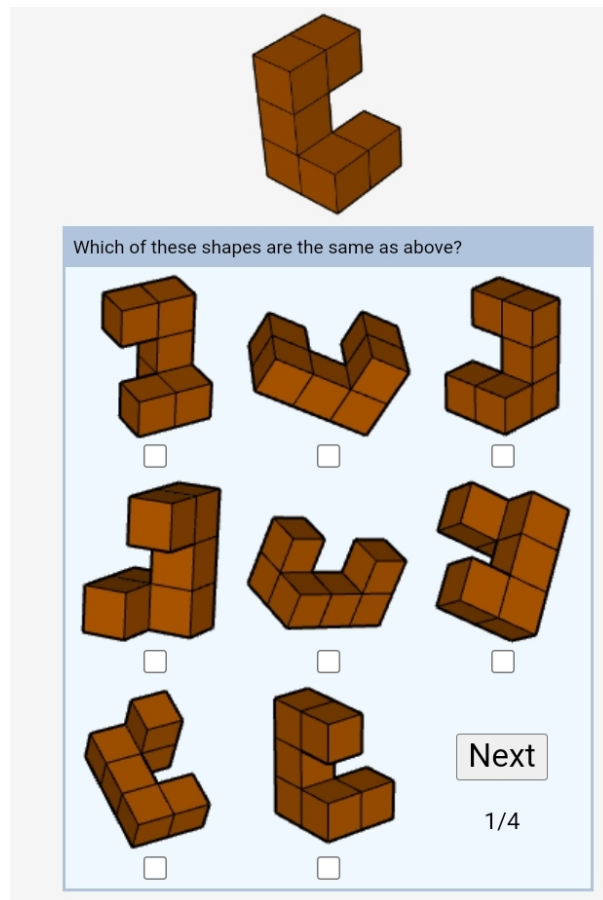
4.2.2 As oito inteligências

As definições de inteligência fornecidas por Gardner seguem, dessa maneira, para uma delimitação do conceito de inteligência. É importante ressaltar que, para Gardner, inteligência não é unificada, mas sim caracteriza-se como uma série de “computadores”. Segundo Gáspari e Schwarts (2002), a teoria de Gardner nos apresenta uma mudança do paradigma de uma inteligência unidimensional para uma inteligência multidimensional, dessa maneira esses computadores, ou potenciais a serem desenvolvidos, serão descritos a seguir.

Inteligência Musical

A inteligência musical se caracteriza por três elementos básicos: 1. ritmo, ou seja, os diferentes tempos entre cada nota e cada pausa, 2. timbre, ou seja, o instrumento originário daquele som, e 3. melodia, ou seja, a frequência em que a nota está sendo emitida. Em cada

Figura 9 – Exemplo de pergunta presente em um teste psicométrico.



Fonte: Extraído do Teste Online de QI disponível no *Open-Source Psychometrics Test* <<https://openpsychometrics.org/tests/FSIQ/>>. Acessado em 24 de outubro de 2024.

um dos elementos, essa inteligência se caracteriza pela capacidade de reconhecer, reproduzir e modificar cada um dos três, com graus maiores e menores de proficiência. A exemplo disso está a diferença de uma pessoa conhecedora de música, um instrumentista e um compositor. Esses três indivíduos apresentam habilidades desenvolvidas em graus diferentes, e uma mesma pessoa pode apresentar os três elementos. Também dentro dos elementos básicos, temos que é possível o desenvolvimento do elemento rítmico, por exemplo, de forma mais avançada do que os outros dois, como é o caso de um percussionista. Esta inteligência pode ser empregada em ambiente educacional, por exemplo, ao se criar canções ou ritmos.

Inteligência Linguística

A inteligência linguística na leitura de Gardner tem como elementos fundamentais constitutivos quatro aspectos: 1. o aspecto retórico, ou seja, a habilidade de discursar sobre um tema, 2. o aspecto explanatório, ou seja, a habilidade de explicar algo de forma eficiente, 3. a sensibilidade ao significado das palavras, à ordem entre elas ao ritmo e inflexões e às funções da linguagem, ou seja, a capacidade de produzir e apreciar literatura, e 4. o aspecto metalinguístico, ou seja, a capacidade de a linguagem falar sobre si mesma. Em suma, a inteligência linguística versa sobre a habilidade de utilizar e identificar a linguagem, seja através da oralidade, seja através da palavra escrita. No ambiente escolar, a inteligência linguística apresenta um importante papel de mediador de aprendizagem, uma vez que é empregada tanto na forma oral quanto na forma escrita para todas as disciplinas escolares.

Inteligência Lógico-Matemática

A inteligência lógico-matemática se caracteriza por estar dentro do que tradicionalmente se enxerga como a Inteligência do ponto de vista ocidental cartesiano. Corroborando com a teoria de Piaget do desenvolvimento, temos que essa inteligência não se origina no âmbito auditório-oral, mas sim surge do confronto com o mundo. Suas estruturas constituintes básicas são: 1. Uso de operações matemáticas básicas, 2. conceito de causalidade e classificação de objetos, e 3. o uso da lógica e de silogismos. Esta inteligência é amplamente explorada em ambientes científicos, bem como na Filosofia.

Inteligência Espacial

A inteligência espacial se caracteriza por ser um amálgama de habilidades, e tem como elementos constitutivos básicos três aspectos: 1. a capacidade de percepção visual do mundo, 2. a capacidade de transformar e modificar, e 3. recriar uma experiência visual. Dentro desta inteligência está, assim, a habilidade de localizar corretamente um objeto, bem como imaginar como ele é com base em uma descrição escrita, e também transformá-lo. É importante frisar que, embora haja correlação entre a inteligência espacial e o aspecto visual, é possível o desenvolvimento desta inteligência também no caso de pessoas com baixa visão. É possível aplicá-la, por exemplo, em contextos como artes plásticas e arquitetura, e, em contexto escolar, geometria, gráficos, desenhos e maquetes.

Inteligência Corporal-Cinestésica

A inteligência corporal-cinestésica se caracteriza por versar sobre o elemento material do contato direto do ser humano com o mundo que o rodeia. Dentro desta inteligência, tem-se a relação com a coordenação motora fina e a coordenação motora grossa, e seus elementos constitutivos básicos apresentam dois aspectos: 1. controle dos próprios movimentos corporais, e 2. capacidade de manipular habilmente objetos. O desenvolvimento desta inteligência apresenta significativa importância nos anos iniciais da Educação Infantil. Pode-se destacar que esta inteligência possui um importante papel nos momentos de lazer e de brincadeiras, como na prática esportiva, ou mesmo desenho e artesanato.

Inteligências Pessoais (Intrapessoal e Interpessoal)

No caso das inteligências pessoais, sua estruturação apresenta uma relação direta com elementos mais sutis da cognição do indivíduo, interferindo diretamente no que é compreendido como seu “senso de ser”.

Para a inteligência intrapessoal, seus elementos básicos constitutivos consistem em: 1. Capacidade de discriminar os próprios sentimentos, 2. capacidade de rotular os sentimentos que foram discriminados, e 3. recorrer aos dois elementos anteriores para guiar sua compreensão do mundo e seu comportamento. O desenvolvimento da inteligência intrapessoal pode ser observado em pessoas capazes de não apenas identificar e autorregular suas emoções como também se guiar por essas experiências ao se deparar com outra situação.

Para a inteligência interpessoal, por sua vez, seus elementos básicos constitutivos consistem em duas habilidades: 1. habilidade de perceber e distinguir indivíduos, seus humores, temperamentos, motivações e intenções, e, em um nível mais desenvolvido, 2. potencialmente agir com esse conhecimento.

É importante destacar que ambas as inteligências pessoais apresentam um impacto direto na convivência em sociedade. A inteligência intrapessoal permite que o indivíduo regule e compreenda suas emoções e, por consequência, seu comportamento, enquanto a inteligência interpessoal permite que faça isso com outro indivíduo. Na contemporaneidade, no entanto, é possível observar que o desenvolvimento de ambas as capacidades encontra-se comprometida em certo grau pelo isolamento proposto por uma sociedade da aceleração e da individualidade exacerbada, em um estágio de capitalismo tardio de exploração do trabalho.

Inteligência Naturalista

Esta inteligência foi incluída posteriormente por Gardner, não constando em seu primeiro livro *Frames of Mind*, em uma reavaliação e inclusão deste elemento. Ela se caracteriza por uma compreensão da interação com a Natureza. Esta inteligência permite que indivíduos distingam produtos da natureza, tais como animais, plantas, tipos de pedras e padrões climáticos (Gardner, 1999). Esta inteligência apresenta um papel significativo dentro do ensino de Ciências Naturais.

4.2.3 Interação entre as inteligências e a perspectiva educacional

É importante percebermos que, ao considerarmos duas pessoas diferentes, habilidades significativas nas mesmas inteligências podem se expressar de formas diferentes. Para tanto, serão tomados como exemplo os casos de dois indivíduos com alta performance em suas respectivas áreas, a ginasta Rebeca Andrade e o violoncelista Yo-Yo Ma.

Nas Olimpíadas de Verão realizadas em Paris em agosto de 2024, a ginasta Rebeca Andrade recebeu a medalha de ouro por sua apresentação na modalidade de Solo da ginástica artística, que consiste em uma apresentação acrobática ao som de uma música. Dois pontos principais para uma ginasta utilizar em sua apresentação são um profundo domínio de inteligência corporal-cinestésica, que a permite realizar inúmeras acrobacias de grande dificuldade com maestria, e, também, uma inteligência musical bem desenvolvida, uma vez que a compreensão do ritmo que está sendo tocado é fundamental para sincronizar o aspecto artístico da apresentação, bem como controle do tempo das acrobacias.

Por outro lado, um outro exemplo de utilização proficiente das inteligências corporal-cinestésica e musical está na figura do músico Yo-Yo Ma, reconhecido como um dos maiores violoncelistas da história, e particularmente famoso por suas interpretações das Suítes para Violoncelo de Johann Sebastian Bach. Ao manipular o violoncelo, Yo-Yo Ma ativa sua inteligência musical ao estar atento aos ritmos e às melodias – algo excepcionalmente importante em instrumentos não-temperados, ou seja, cujas notas não estão completamente separadas como em um piano, exigindo um grande conhecimento melódico do instrumentista –, bem como ao interpretar e compor variações. A inteligência corporal-cinestésica é ativada, por outro lado, na figura da manipulação do instrumento. Sendo um instrumento de arco, o violoncelo necessita de simultânea coordenação com uma mão que está manipulando diretamente as cordas, e a outra

que está movimentando o arco em movimento de fricção da corda, com posicionamentos, força e técnica que não são triviais.

Esses dois exemplos demonstram a multiplicidade de aplicações das inteligências, ao mesmo tempo em que sua manifestação em diferentes circunstâncias e indivíduos não atua de forma isolada. É possível verificar situações em que há predominância de uma inteligência, porém outros elementos necessariamente também atuam, ou seja, o desenvolvimento de uma das inteligências também acarreta no desenvolvimento das inteligências adjacentes utilizadas no processo.

Gardner pontua em seu livro *Frames of Mind* que, quando analisamos do ponto de vista educacional, as inteligências podem ser utilizadas tanto como meio de aprendizado quanto como objetivo de aprendizagem (Gardner, 1985). Isto é interessante pois corrobora a ideia de que a interação entre as inteligências necessariamente realiza um papel importante no processo cognitivo. O objeto a ser aprendido localiza-se em uma esfera do conhecimento, e está associado a uma inteligência, mas não necessariamente precisa utilizar-se apenas dela para que seja adquirido. Um exemplo disso é o fato de que, em uma sala de aula de ensino tradicional, utiliza-se a inteligência linguística (fala e escrita) para explicar conceitos da Matemática (que se encontra na esfera da inteligência lógico-matemática).

Do ponto de vista do Ensino de Física, então, temos um objeto de estudo alocado na esfera de conhecimento da inteligência lógico-matemática, mas o mediador para alcançar este conhecimento não necessariamente precisa se resumir a esta. Ao variarmos o mediador que utilizamos para aprendizagem, é possível que estudantes que não possuem facilidade ou interesse por uma aula de Física expositiva sejam expostos a outras maneiras de aprendizagem, utilizando-se de inteligências com as quais já estejam mais familiarizados. É nesta perspectiva que entra o uso de elementos tais como construção de maquetes, músicas, movimento corporal, painéis, dentre outros elementos mediadores no processo de ensino-aprendizagem.

É importante destacar, todavia, que para que ocorra esta análise de mediadores educacionais do ponto de vista da teoria de IM, é indispensável a observação da turma do ponto de vista do professor, ou seja, a familiaridade entre o docente e os discentes. Uma turma que se adequa bem ao processo de aprendizagem tradicional, com o uso de lousa, ou *slides*, e explanação, não apresenta, em média, a mesma predisposição a determinadas inteligências que uma turma que se adequa melhor a processos ativos que utilizem outras inteligências, tais como experimentos e projetos. Uma vez que o objetivo é o melhor aproveitamento da turma, a

avaliação por parte do professor da predisposição da turma ao modelo pedagógico é vital para que o objetivo de aprendizagem seja alcançado.

5 METODOLOGIA

5.1 Estrutura do Projeto

A estrutura básica do “Projeto Fábrica de Motores” consiste em três elementos básicos:

1. Pesquisa
2. Desenho de Projeto
3. Construção de Protótipo

Esta distribuição consiste em reproduzir o conceito de uma fábrica que projeta motores, com elementos que remetem ao que é desenvolvido, também em uma Feira de Ciências.

A etapa 1 consiste em uma pesquisa orientada, em que os estudantes entram em contato com o conteúdo antes de o professor o ministrar em sala de aula; a etapa 2 consiste em estruturação de protótipo, e a etapa 3 consiste na construção de uma maquete dentro do tópico específico a ser trabalhado. É importante destacar que a fase de construção da maquete não consiste em construir, de fato, um motor caseiro, mas sim uma ferramenta de visualização em três dimensões, bem como empregar elementos artísticos e de criatividade para representar as características físicas representadas.

De modo a obter o máximo aproveitamento das atividades propostas, é sugerido que o projeto tenha início após os discentes terem contato inicial com a Primeira Lei da Termodinâmica, ou seja, já tendo observado os conceitos de Calor, Energia Interna, Trabalho e Transformações Termodinâmicas. Adaptando-se ao planejamento individual do docente, a organização sugerida ao fim deste capítulo deve concorrer para que as aulas sobre Motores sejam concomitantes à apresentação das Maquetes, tornando, assim, o discente protagonista em seu processo de aprendizagem.

5.1.1 Sequência de atividades propostas

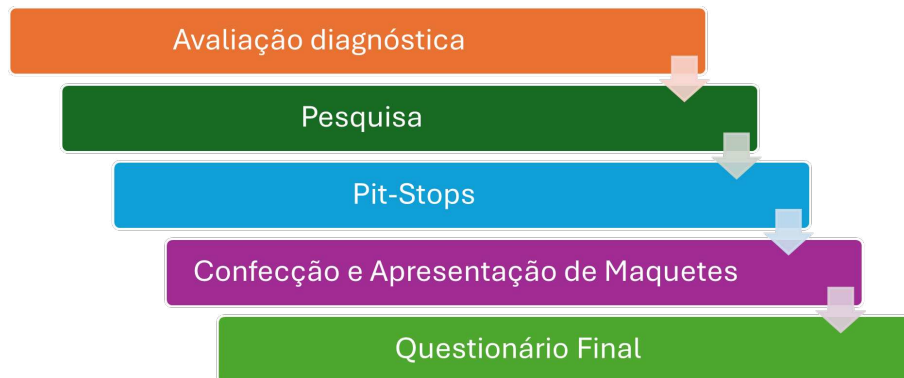
A sequência de atividades proposta representa não apenas a estruturação da maquete como fim, mas também o emprego da criatividade e da autonomia dos alunos no processo de autogerenciamento orientado das atividades. A sequência proposta, então, é a que se segue, como apresentado na Figura 10:

1. Avaliação diagnóstica
2. Pesquisa

3. Pit-Stops
4. Confecção e Apresentação de Maquetes
5. Questionário Final

A estruturação neste formato apresenta um elemento avaliativo para cada uma das cinco etapas, sendo o elemento de avaliação objetiva do aluno os aspectos 1 e 5, consistindo em questionários, e, assim, os três elementos intermediários 2, 3 e 4 com elementos de avaliação subjetiva por parte do docente.

Figura 10 – Fluxograma ilustrativo da sequência de atividades previstas para realização no decorrer do projeto desenvolvido no Produto Educacional.



Fonte: Própria autora (2024).

Avaliação Diagnóstica

Considerando que o discente já tenha visto os conceitos iniciais da Termodinâmica, a principal motivação para esta avaliação diagnóstica consiste em avaliar as associações que são feitas com os termos utilizados em suas perguntas. É importante salientar para os discentes que não ter conhecimento dos conceitos não configura um problema, mas que o importante é que utilizem palavras e termos que associem a estes elementos. Desta maneira, o ideal é que seja realizado *sem pesquisa ao material didático*, de modo que é recomendado que seja aplicado em sala de aula.

Esta avaliação consiste nas perguntas:

1. O que você entende por máquina térmica?
2. O que você entende por ciclo termodinâmico?

Na cartilha presente no Apêndice A, há uma sugestão de folha para impressão com as perguntas. O uso da folha não é, todavia, obrigatório para uma avaliação proveitosa.

Pesquisa Inicial

O objetivo ao inserir uma fase de pesquisa inicial relaciona-se com o fato de que esta fase da atividade é conduzida *antes* de o docente explicar o conteúdo em sala de aula. Ou seja, o objetivo central nesta fase consiste em desenvolver as competências estimulando a autonomia na busca de informações científicas.

A pesquisa a ser realizada não deve ser extensa, porém é necessário que contenha os elementos específicos:

1. A estrutura de cada tipo de máquina térmica (ou seja, como ela funciona e quais são seus elementos constitutivos);
2. Como ela surgiu;
3. Onde ela é utilizada.

Ao delegar este elemento de busca aos discentes, o professor reduz a carga de conteúdo em sala de aula e contribui para que a integração do conteúdo seja realizada em forma de discussão, e não apenas explanação em sala de aula.

Esta pesquisa consta como a primeira entrega ser realizada pela equipe.

Pit-Stop

O *Pit-Stop* consiste em um momento de discussão e troca de informações entre discentes e docente. A principal ideia é uma estruturação de orientação, ou seja, os alunos compartilhem suas descobertas e dificuldades e serem guiados pela troca com o professor orientador.

Nestes momentos de *Pit-Stop* também são conduzidas parte da avaliação subjetiva do professor, na forma de observação da dinâmica da equipe, dentre outros elementos que serão listados em uma próxima sessão. É importante que estes momentos sejam conduzidos apenas entre a equipe e o docente, ou seja, esta atividade deve ser conduzida enquanto as outras equipes estão discutindo entre si cada elemento de seus grupos, e o professor chama individualmente cada equipe para uma conversa direta e objetiva.

Ao longo da execução deste projeto, são conduzidos dois *Pit-Stops*, o primeiro consistindo na apresentação dos resultados das pesquisas e tira-dúvidas, e o segundo na apresentação

do design inicial da maquete.

O primeiro *Pit-Stop* consiste em um momento de discussão. Neste momento, os alunos devem entregar a pesquisa e apresentar de forma oral o que compreenderam para o professor. É interessante que este momento caracterize uma tirada de dúvidas, e neste momento de primeiro contato, os alunos não necessariamente já terão integrado completamente os conceitos (este é o objetivo do projeto de forma completa).

No segundo *Pit-Stop*, os estudantes devem entregar um design inicial da maquete, ou seja, exercitar sua habilidade de planejamento e previsão. Este design deve ser apresentado na forma de um desenho simples apresentando a estrutura da máquina cuja maquete será produzida, bem como os materiais que serão utilizados. O exemplo didático utilizado na cartilha consiste na Máquina a vapor, do motor de Sterling, e está apresentado na Figura 11.

Embora o objetivo final seja a produção das maquetes, esta fase do projeto consiste na maior parte das interações entre os discentes e destes com os docentes. Estas interações devem ser permeadas por um acompanhamento dos processos e das dúvidas e de uma avaliação continuada por parte do professor, que também deve valorizar o uso da criatividade e autonomia dos alunos em produzir seus próprios materiais.

Confecção das Maquetes e Apresentação em Sala de Aula

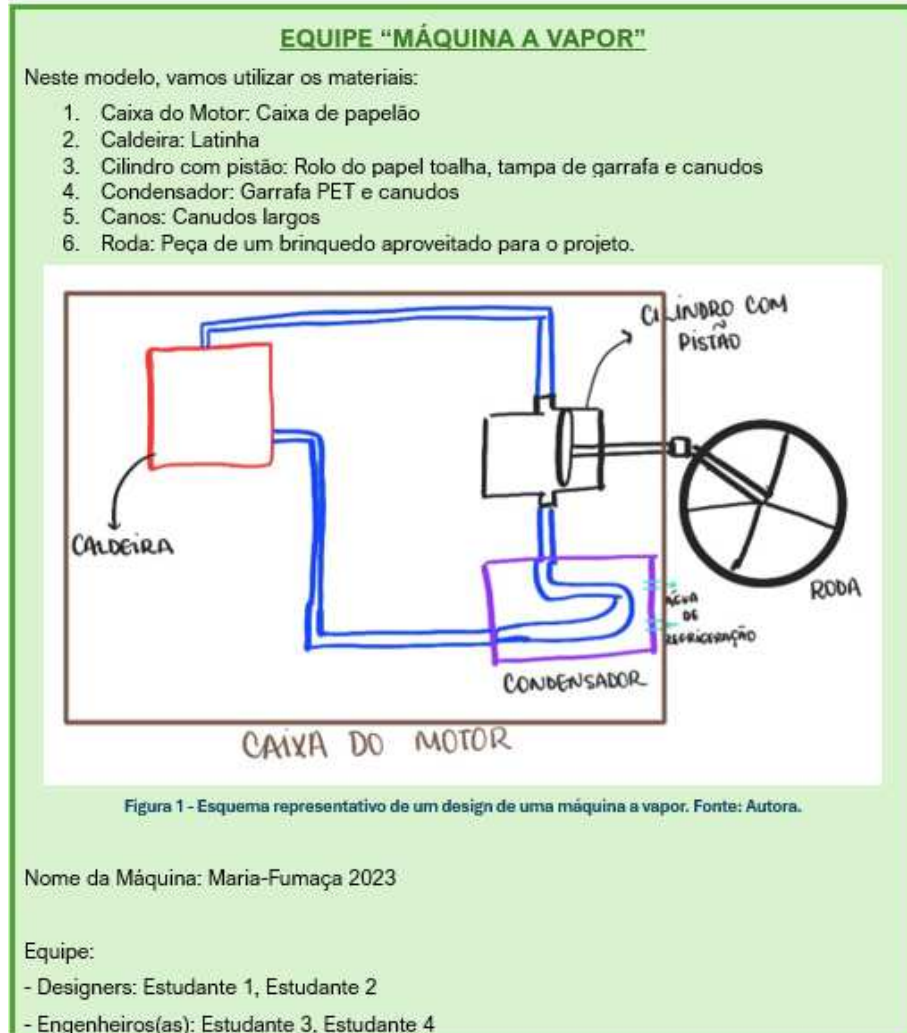
A fase culminante do projeto consiste em, munidos de um planejamento de design, os estudantes produzirem maquetes das máquinas térmicas e as apresentarem. Esta fase foi estruturada de modo que o docente pode, adaptando ao seu planejamento, incluir a confecção das maquetes em sala de aula ou fora dela. No caso de haver mais tempo disponível, os estudantes podem utilizar o design para trazer os materiais necessários, e para o caso de não ser possível realizar em sala de aula, esta fase deve ser realizada de forma assíncrona.

Com as maquetes prontas, os discentes devem apresentar o que foi realizado, sinalizando cada um dos elementos presentes dos motores, bem como quais os processos que ocorrem. Deve ser explicado, também, para que tipo de máquina aquele motor foi projetado (por exemplo, uma máquina que funciona a ciclo Otto para um carro ou ônibus).

Questionário Final

O questionário final consiste em uma última avaliação objetiva, também a ser realizado sem pesquisa ao livro didático. No questionário constarão as seguintes perguntas:

Figura 11 – Representação de como produzir um *design* para ser discutido com o docente. Esta imagem foi produzida pela autora, e está disponibilizada no Produto Educacional.



Fonte: Própria autora (2024).

1. O que você entende por máquina térmica?
2. O que você entende por ciclo termodinâmico?
3. Qual a principal característica do Ciclo de Carnot?
4. Qual a principal característica do Ciclo de Otto?
5. Qual a principal característica do Ciclo do Refrigerador?

Estas perguntas devem ser respondidas de forma livre, de modo que o docente possa verificar as associações por palavras deste questionário. Na cartilha anexada a esta dissertação, é possível encontrar uma versão para impressão para este trabalho.

As atividades realizadas ao longo deste projeto podem ser analisadas ao observarmos

a Tabela 2.

Tabela 2 – Tabela de atividades a serem cumpridas ao longo do projeto.

Etapa	Objetivo	Avaliação
Avaliação Diagnóstica	Verificar conhecimentos prévios do estudante acerca da Termodinâmica.	Individual
Pesquisa Inicial	Primeiro contato do estudante com o novo conteúdo.	Em grupo
Apresentação dos Designs	Planejamento da confecção dos protótipos de motores.	Em grupo
Apresentação das Maquetes	Apresentar os protótipos para a turma.	Em grupo
Questionário Final	Verificar as novas associações realizadas pelos alunos após a realização do projeto.	Individual

Fonte: Própria autora (2024).

5.1.2 *Divisão de Equipes*

De modo a verificar habilidades e aptidões de cada equipe, há duas subdivisões a ser feitas em sala de aula. A primeira destas divisões é uma divisão temática, se a segunda é uma subdivisão por aptidões. Com estas divisões, é, também, disponibilizado um guia para os estudantes relacionando o que deve ser entregue.

Subdivisão temática

Nesta divisão, tem-se a organização da sala por equipes de acordo com cada tema. Cada equipe deve ficar responsável por elaborar um protótipo de cada tipo. Para o caso de turmas maiores, com mais subdivisões, é possível repetir os tipos de motores, pois a interpretação e construção de cada equipe é necessariamente diferente (por exemplo, no caso do Ciclo do Refrigerador, é possível falar de diferentes máquinas refrigerantes). Os temas a serem divididos são:

- Ciclo de Carnot
- Ciclo de Otto
- Ciclo do Refrigerador

Para cada um dos temas, é fundamental o estímulo das equipes a criarem elementos criativos e individuais, como dar um nome a suas máquinas como um "produto", ou mesmo pensar no que deve ser colocado em cada um dos elementos.

Subdivisão de Aptidões

Nesta fase do projeto é importante considerar as diferentes habilidades específicas de cada estudante. Esta divisão, no entanto, não apresenta testagem, mas sim uma escolha pessoal de acordo com a preferência pessoal de cada estudante, de acordo com suas inclinações.

Nesta divisão, divide-se cada equipe entre Engenheiros(as) e Designers. Esta divisão consiste em trazer elementos de protagonismo para cada estudante em diferentes frentes, favorecendo, assim, que alunos que não possuem afinidade com a disciplina ou com os cálculos, possam, também, ter suas perspectivas observadas.

A equipe multi-tarefa a ser gerada deve, assim, colaborar na construção conjunta da maquete, cada uma com suas diferentes atribuições. As atribuições para cada um caracterizam-se por:

- Engenheiros(as): Estruturação da parte conceitual em física do processo, ou seja, quais são as principais estruturas, quais os processos físicos que ocorrem na máquina e qual o rendimento de uma máquina tal como esta. Estes elementos devem ser divididos e conversados com a subequipe de Designers.
- Designers: Elaboração de uma marca do produto, aparência estrutural da maquete e determinação de materiais adequados para executar dentro do que foi colocado como elementos-base pelos Engenheiros(as). Este papel apresenta elementos de maior trabalho com arte e criatividade.

É importante destacar que as subequipes devem apresentar interação para a execução de cada fase do projeto, produzindo um produto só.

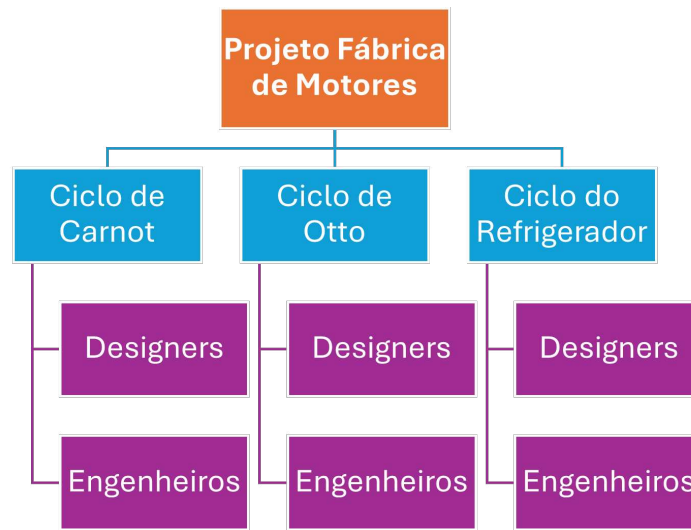
Temos, dessa maneira, uma estrutura de subdivisões que se caracteriza pelos aspectos temática e por aptidão, tal como mostrado na Figura 12.

5.1.3 Cronograma de atividades

Tendo em vista as atividades sugeridas para o desenvolvimento deste projeto, é sugerido que seja dividido em 5 etapas, com duração média de 1 aula de 50 minutos para cada. Deve-se, no entanto, levar em consideração o tamanho da turma e o número de equipes montadas. O resumo global pode ser visualizado na Tabela 3.

As estimativas para cálculo deste cronograma consideraram uma turma de aproximadamente 30 alunos, com 6 equipes com 5 integrantes cada. A partir da vivência do docente, é

Figura 12 – Fluxograma ilustrativo contendo as subdivisões temáticas e por aptidão do projeto “Fábrica de Motores”.



Fonte: Própria autora (2024).

Tabela 3 – Tabela listando o cronograma de atividades a ser realizado ao longo do projeto, com durações sugeridas.

Etapas	Atividade a ser realizada em sala	Atividade a ser realizada em casa	Duração sugerida
1	Explicação do projeto a ser desenvolvido. Aplicação da avaliação diagnóstica.	Pesquisa sobre o tema da equipe	1 aula (50 min)
2	Entrega dos resultados da pesquisa. Pit-Stop 1	Desenho do Design da Maquete	1 aula (50 min)
3	Pit-Stop 2	Confecção da Maquete	1 aula (50 min)*
4	Apresentação das Maquetes		1 aula (50 min)*
5	Questionário Final		1 aula (50 min)*

Nota: O asterisco (*) indica elementos de duração variável, a ser avaliado pelo professor considerando o tamanho da turma e a quantidade de equipes.

Fonte: Própria autora (2024).

possível avaliar o quanto seria necessário adaptar a duração de cada elemento para sua turma e dentro do planejamento individual. É importante, no entanto, que seja seguida a sequência de cada uma das atividades, sem pular elementos, de modo a ter o melhor aproveitamento possível do projeto.

5.2 As Inteligências Múltiplas na Fábrica de Motores

O desenvolvimento desta estrutura de projeto teve como base a Teoria das Inteligências Múltiplas de Howard Gardner, ou seja, o pensamento de que cada indivíduo apresenta não apenas um, mas diversos elementos constitutivos em seu intelecto, tal como foi descrito no

Capítulo 4.

Este projeto foi desenvolvido de maneira que o docente não precisa ser profundamente versado nos conceitos da Teoria das Inteligências Múltiplas, uma vez que os elementos que conversam com esta teoria estão traduzidos na estruturação e na organização da avaliação.

Esta estruturação parte de uma compreensão de que diversos estudantes apresentam dificuldades no conteúdo de Física por, muitas vezes, apresentarem uma dificuldade prévia com os conceitos de matemática. Esta dificuldade gera uma predisposição a visualizar a Física como uma disciplina difícil e inalcançável. Ao avaliar do ponto de vista da Teoria das Inteligências Múltiplas, trabalha-se o conceito Físico inter-relacionando com habilidades para além dos conceitos lógico-matemáticos, o que desperta o interesse de estudantes que, do contrário, não engajariam no conteúdo.

A presença da Teoria das Inteligências Múltiplas aparece, primeiramente, na organização das sub-equipes. Ao dividir os grupos entre Designers e Engenheiros(as), é possível que os estudantes escolham seus papéis com base em sua predisposição. A tendência é a de que os alunos que ficam com o papel de Designer tenham maior afinidade com elementos artísticos e criatividade, empregando sua inteligência espacial e a inteligência corporal-cinestésica. No caso dos alunos com o papel de Engenheiros(as), a tendência é a de que escolham este papel estudantes com mais afinidade com o uso da inteligência lógico-matemática.

Pela teoria de Gardner (1985), é sabido que não é necessário que haja uma proficiência notável em uma inteligência específico no indivíduo, porém ao apresentar mais de um papel e uma abordagem diferente de um conteúdo, é possível aproximar-se do estudante desinteressado, engajando-o de forma mais significativa.

Perpassando todo o processo de trabalho em equipe encontra-se a inteligência interpessoal. O estímulo do uso desta habilidade durante a adolescência pode ser desafiadora, uma vez que encontram-se numa mesma equipe estudantes com diferentes predisposições (mais ou menos tímidos, ou mais ou menos comunicativos). Todavia, ao trabalhar de forma colaborativa, é necessário que o estudante estimule este elemento, sendo necessário que o professor mantenha o acompanhamento também neste aspecto.

Por fim, a apresentação oral e a apresentação de uma pesquisa escrita trazem a atuação principal dentro da inteligência linguística, que atua dentro da oralidade e da palavra escrita.

Como já foi destacado no corpo desta dissertação, é importante lembrar que ne-

nhuma inteligência atua de forma isolada, desta maneira, ao trabalhar uma delas, invariavelmente outras serão trabalhadas, como foi explanado nesta seção. O desenvolvimento de um trabalho que valorize uma predisposição do aluno, favorece o aprendizado na medida em que o estudante se reconhece como capaz de concretizar, trazendo também o entendimento para o cotidiano material que já é acostumado.

5.3 Produto Educacional

O Produto Educacional produzido no decorrer desta dissertação consiste em uma Cartilha orientadora para professores. Dentro da cartilha está disponível também material a ser utilizado pelos alunos, que o docente pode imprimir ou disponibilizar. A capa do produto está disponível na Figura 13.

A cartilha apresenta os seguintes conteúdos:

1. Introdução: Capítulo contendo descrição direta de quais tópicos de física e quais competências da BNCC serão trabalhados.
2. Metodologia de aplicação: Capítulo contendo a descrição das atividades a serem realizadas ao longo do projeto.
3. Cronograma: Capítulo contendo elementos programáticos para planejamento do docente.
4. Avaliação: Capítulo contendo descrição da metodologia de avaliação continuada ao longo do projeto.
5. Referências Bibliográficas.

No capítulo de Metodologia da cartilha, os elementos estão descritos de forma detalhada e são disponibilizados os seguintes elementos imprimíveis:

1. Folha para Avaliação Diagnóstica.
2. Guia para alunos, contendo os elementos do projeto voltados a eles.
3. Folha para Questionário Final.

O uso das folhas de Avaliação Diagnóstica do Questionário Final (apresentadas na Figura 14) não são obrigatórias, mas podem tornar mais fluido o desenvolvimento do projeto.

O Guia para Alunos contém uma descrição sucinta do projeto voltado para os alunos, indicando quais elementos eles devem entregar em cada momento, tal como mostrado na Figura 15. Além disso, o Guia também apresenta indicações individuais para cada tópico (Ciclo de Carnot, Ciclo de Otto e Ciclo do Refrigerador), com elementos estruturais físicos e indicações e exemplos a serem desenvolvidos.

Figura 13 – Capa da Cartilha produzida como produto educacional desta dissertação. Capa criada pela autora contendo uma composição com o quadro *La Gare Saint-Lazare* de Claude Monet (1877).



Fonte: Capa - Própria autora (2024). Quadro - *La Gare Saint-Lazare*. Claude Monet. 1877. Pintura a óleo. 75cm × 105 cm. Musée d'Orsay, Paris, França.

Este Guia está dividido em duas partes: as primeiras páginas contêm instruções gerais para os estudantes, tais como que material deve ser entregue, como deve ser realizada cada etapa; e uma segunda parte contendo instruções e dicas para cada uma das equipes. Fica a critério do docente disponibilizar o Guia inteiro, ou seccioná-lo para entregar apenas os indicativos temáticos respectivos para cada equipe. É importante que esse Guia seja disponibilizado para os estudantes antes do desenvolvimento do projeto, de modo que seja um elemento apoiador, especialmente considerando que há diversas atividades a serem desenvolvidas no projeto.

O capítulo de Avaliação apresenta uma descrição dos elementos a serem desenvolvidos pelo professor em cada um dos momentos e em cada entrega. A descrição que ocorre motiva

Figura 14 – Representação das folhas contendo os questionários aplicados ao longo do projeto, parte do Produto Educacional. À esquerda, a folha de Avaliação Diagnóstica e, à direita, a folha com o Questionário Final.

Projeto Fábrica de Motores
Avaliação Diagnóstica

Nome:

Escola: Turma:

1. O que você entende por máquina térmica?

2. O que você entende por ciclo termodinâmico?

Projeto Fábrica de Motores
Questionário Final (sem pesquisa)

Nome:

Escola: Turma:

3. O que você entende por máquina térmica?

4. O que você entende por ciclo termodinâmico?

5. Qual a principal característica do Ciclo de Carnot?

6. Qual a principal característica do Ciclo de Otto?

7. Qual a principal característica do Ciclo de Refrigerador?

Fonte: Própria autora (2024).

e corrobora que a avaliação seja feita de forma continuada dentro da perspectiva do projeto. Esta avaliação continuada caracteriza-se por apresentar uma abordagem sob duas perspectivas: objetiva e qualitativa.

A descrição do aspecto avaliativo se mostra fundamental à medida em que, uma vez que existem diversos passos para a realização deste projeto, haja um acompanhamento por parte do docente em relação a sua turma. Este elemento mostra-se ainda mais importante levando-se em consideração que o docente precisa estar atento a elementos ligados à Teoria das Inteligências Múltiplas, tais como a inteligência espacial (na criação da maquete e do desenho), inteligência corporal-cinestésica (na manipulação dos materiais), inteligência lógico-matemática (na compreensão dos conceitos físicos associados à disciplina), inteligência linguística (na transmissão oral e escrita do que foi compreendido) e inteligência interpessoal (na relação entre os integrantes e no autogerenciamento da equipe). Estas avaliações foram transpostas na forma

Figura 15 – Representação da capa do Guia para Alunos, parte da cartilha do Produto Educacional.



Fonte: Própria autora (2024).

de perguntas, de modo que o professor não precisa ter um vasto conhecimento sobre a Teoria para conseguir aplicar e avaliar elementos do projeto.

A avaliação objetiva é realizada por meio da Avaliação Diagnóstica e do Questionário Final, enquanto a avaliação subjetiva é realizada no decorrer de todo o projeto, com enfoque principal descrito no produto nos *Pit-Stops* e nas apresentações das maquetes.

O objetivo da cartilha consiste em apresentar o projeto de forma sintética e direta, de modo que o docente possa adaptá-lo ao seu planejamento e aplicá-lo dentro de suas disciplinas, incluindo habilidades da BNCC que o apoiem. Dessa maneira, detalhes conceituais relativos à teoria física e à teoria pedagógica foram reservados ao escopo desta dissertação.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O produto educacional descrito nesta dissertação foi aplicado em uma turma de 2º ano do Ensino Médio, com um total de 13 alunos, no Colégio Antares, escola da rede particular do Ensino Básico, em Fortaleza-CE, no segundo semestre de 2023. Este projeto foi enquadrado no planejamento da disciplina de Física, no subtópico Termologia e Termodinâmica, de forma concomitante ao desenvolvimento regular do planejamento anual da disciplina.

6.1 Análise pré-aplicação do Produto Educacional

O desenvolvimento deste projeto na turma teve como base uma análise prévia por parte da docente responsável. Desde o início do ano, observava-se que os estudantes apresentavam uma forte predisposição a projetos, especialmente sob a esfera da Inteligência Espacial, utilizando desenhos, imagens e construções manuais. Além disso, os alunos apresentavam boa receptividade a elementos artísticos, tanto quando utilizados em sala de aula como na forma que apresentavam trabalhos e materiais para a docente. Por outro lado, boa parte da turma apresentava dificuldade em tópicos que relacionavam os conhecimentos da esfera da inteligência lógico-matemática, por vezes não prosseguindo em elementos de cálculo e, como consequência, tendo baixo aproveitamento no aspecto do conteúdo apresentado. Verificou-se, assim, que utilizar uma metodologia que priorizasse elementos da Inteligência Espacial em uma perspectiva do uso da criatividade e de elementos artísticos seria bem recebido pela turma, favorecendo, assim, o aproveitamento do conteúdo a ser estudado.

6.2 Aplicação do Produto Educacional

O produto educacional foi aplicado ao longo do mês de outubro e o início do mês de novembro de 2023. A aplicação ocorreu de forma concomitante ao planejamento regular da disciplina, de modo que o início da condução do produto ocorre em um momento que os estudantes já tiveram contato com a Primeira Lei da Termodinâmica.

A organização da aplicação seguiu-se tal como apresentado na Tabela 4. É importante destacar que o conteúdo do projeto objetivava ser apresentado antes do momento de apresentar Máquinas Térmicas aos estudantes (previsto pelo planejamento anual para ser conduzido ao final do ano). O cronograma foi alinhado, dessa forma, de modo que a apresentação das maquetes coincidissem com a finalização do conteúdo de Máquinas Térmicas, utilizando também as maquetes

como elementos explicativos para os estudantes.

Tabela 4 – Cronograma de aplicação do produto educacional aula a aula.

Aula	Atividade	Atividade assíncrona
1	Explicação do projeto Avaliação Diagnóstica	Pesquisa sobre a Máquina Térmica do grupo
2	Apresentação das pesquisas Pit-Stop 1	Elaboração do Design
3	Apresentação dos Designs Pit-Stop 2	Montagem da maquete
4	Apresentação das maquetes	-
5	Questionário Final	-

Fonte: Própria autora (2024).

A coluna “Atividades Assíncronas” da Tabela 4 indica os elementos que foram explicados em sala de aula, porém conduzidos fora do horário da aula, com autogerenciamento de cada uma das equipes. O objetivo destas etapas consistiu não apenas em estimular a independência nos processos, mas também considerar as limitações de tempo presentes no espaço formal de sala de aula.

Serão detalhados a seguir os processos da aplicação em cada um dos momentos.

6.2.1 Aula 1: Explicação do projeto e Avaliação Diagnóstica

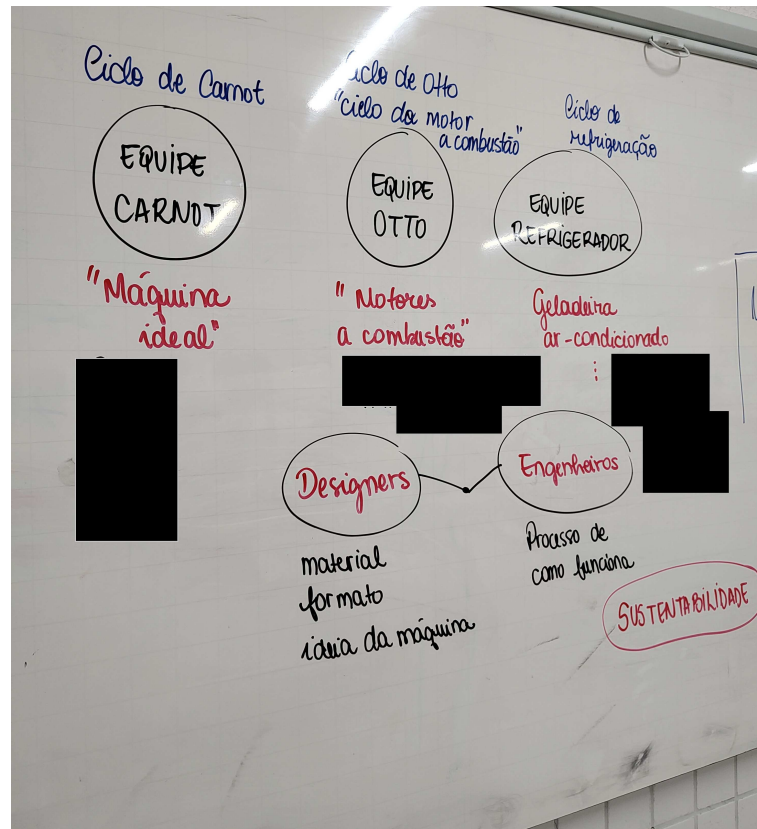
O primeiro momento do projeto consistiu na apresentação das atividades e explicação de como funcionaria a condução do Projeto “Fábrica de Motores”. Neste momento, os estudantes mostraram-se bastante empolgados mediante a perspectiva de criar uma maquete, e foi estimulado que utilizassem ao máximo sua criatividade ao utilizar materiais e ao criar “nomes” para sua máquina.

Nesta aula, foram divididas as equipes e foi explicado o conceito da diferença entre Engenheiros e Designers, destacando a importância que todos os integrantes teriam na equipe, tal como mostrado na Figura 16.

Foi aplicada, também, a Avaliação Diagnóstica, que consistiu em duas perguntas objetivando verificar as associações realizadas pelos alunos aos termos “Máquina Térmica” e “Ciclo Termodinâmico”. Nesta etapa, 11 estudantes responderam o questionário. As perguntas da Avaliação Diagnóstica, consistiram em apenas duas:

- O que você entende por máquina térmica?

Figura 16 – Fotografia da explicação realizada no quadro sobre o projeto a ser realizado. A imagem foi ocultada parcialmente para preservar a identidade dos estudantes.



Fonte: Fotografia dos dados da pesquisa (2024).

- O que você entende por ciclo termodinâmico?

6.2.2 Aula 2: Pit-Stop 1

O segundo encontro de aplicação ocorreu de forma concomitante à primeira aula sobre o conteúdo de Máquinas Térmicas do planejamento anual da docente responsável. Neste encontro, os alunos trouxeram os resultados de suas pesquisas, os quais foram discutidos após a aula expositiva do conteúdo. É interessante ressaltar que a aula expositiva teve um retorno muito positivo, pois a turma relacionou os conteúdos apresentados com as pesquisas que haviam sido realizadas previamente de forma assíncrona, fazendo perguntas e engajando no conteúdo.

Após a exposição, cada equipe foi conversar individualmente com a docente enquanto as outras equipes conversavam sobre os Designs, e foi discutido o que cada um apresentou em

suas pesquisas, tirando dúvidas sobre os conceitos principais e elaborando de forma inicial o que poderia ser interessante para o Design. Após a conversa, os alunos guardaram suas pesquisas para utilizar como referência para a construção de seus designs.

É importante destacar que diversos estudantes apresentaram dúvidas em relação ao fato de como construir a “máquina”. Alguns haviam compreendido que deveria ser construído, de fato, uma máquina térmica, então foi necessário esclarecer que o objetivo da maquete era construir um protótipo.

A partir desta etapa, foi disponibilizado o Guia para Alunos em sua íntegra.

6.2.3 Aula 3: *Pit-Stop 2*

Na aula 3, foi realizado o segundo *Pit-Stop*, ou seja, a apresentação e discussão dos designs. Nesta aula, os grupos se reuniram separadamente (como mostrado na Figura 17) e, um a um, foram chamados para discutir suas ideias com a docente, mostrando os desenhos que fizeram para seus designs do protótipo.

Figura 17 – Parte da turma organizada em grupos de discussão como parte do *Pit-Stop 2*.



Fonte: Fotografia dos dados da pesquisa (2024).

Esta fase foi recebida com entusiasmo pelos estudantes, já divididos entre Engenhei-

ros e Designers, e com ideias sobre como fazer as maquetes. Foram sugeridos materiais mais acessíveis, e discutidas ideias de como poderiam construir as maquetes. As equipes trouxeram suas ideias para cada uma das máquinas:

- A Equipe do Ciclo de Carnot criou o protótipo de uma “Máquina de Cupcakes”, inspirada no filme de animação “Tá Chovendo Hambúrguer”;
- A Equipe do Ciclo de Otto criou o protótipo de um carro;
- A Equipe do Ciclo do Refrigerador criou o protótipo de um refrigerador chamado “Gela-Geladeira”.

6.2.4 Aula 4: Apresentação das maquetes

Nesta aula, foram apresentadas as maquetes produzidas por cada uma das equipes para toda a turma, com discussões sobre cada uma das máquinas apresentadas.

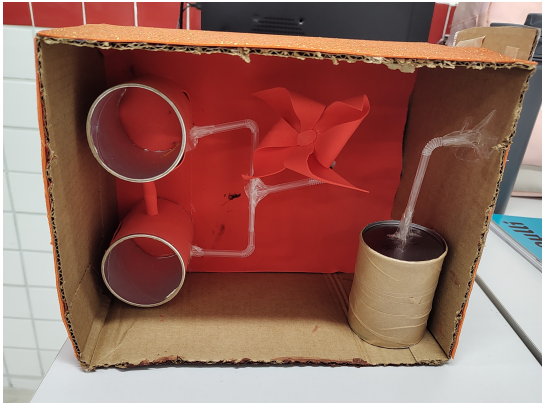
Equipe do Ciclo de Carnot: Máquina de Cupcakes

A primeira equipe a apresentar foi a equipe responsável pelo tema do Ciclo de Carnot. Uma vez que o Ciclo de Carnot é um ciclo ideal, e, portanto, teórico, a equipe se inspirou em uma máquina imaginária: a máquina de comida do filme “Tá Chovendo Hambúrguer”. Os estudantes montaram as fontes fria e quente, os tubos e uma engrenagem responsável pela produção de trabalho mecânico, como é mostrado na Figura 18. Do ponto de vista criativo, criaram também um painel lateral, onde poderia-se escolher o sabor do cupcake que seria gerado. Com a apresentação da máquina, explicaram as estruturas básicas e sugeriram que o fluido passando pelos tubos seria “ideal”.

Equipe do Ciclo de Otto: Motor de um carro

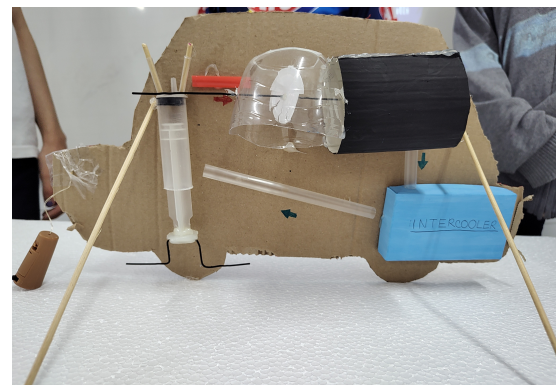
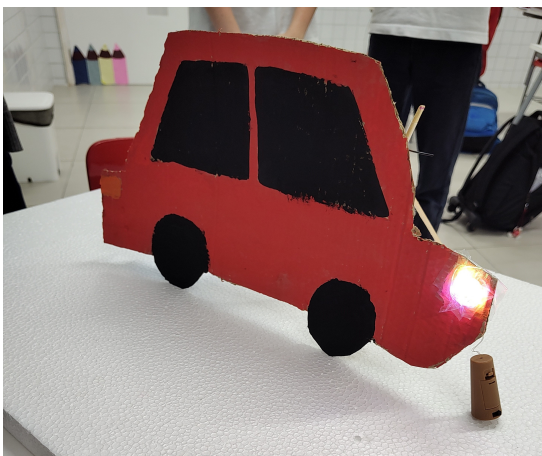
Devido à estrutura de sua máquina, a equipe do Ciclo de Otto utilizou materiais diferentes, estruturando seu modelo na parte de trás de um carro de papelão, tal como é mostrado na Figura 19. Em conjunto com a apresentação da maquete, realizaram apresentação oral explicando os processos envolvendo o Ciclo de Otto.

Figura 18 – Fotografias da maquete produzida pela Equipe Carnot. A equipe produziu uma “Máquina de Cupcakes”, mostrando a parte térmica e a parte criativa. À esquerda tem-se os elementos constitutivos da máquina térmica e à direita a fotografia com o painel lateral.



Fonte: Fotografias dos dados da pesquisa (2024).

Figura 19 – Fotografias da maquete produzida pela Equipe Otto. A equipe produziu um carro. À esquerda, tem-se a representação da parte da frente da maquete, com o carro desenhado, e o LED que utilizaram para o farol, e à direita tem-se a estrutura da máquina térmica.



Fonte: Fotografias dos dados da pesquisa (2024).

Equipe do Ciclo do Refrigerador: Gela-Geladeira

A equipe responsável pelo Ciclo do Refrigerador montou uma maquete que chamaram “Gela-Geladeira”. A máquina foi construída não apenas com as estruturas de máquina

térmica, mas também utilizando materiais para criar referências à parte elétrica, de forma bastante criativa, como mostrado na Figura 20. Em conjunto com a apresentação da maquete, incluíram também explicações dos processos de uma máquina refrigeradora.

Figura 20 – Fotografias da maquete produzida pela Equipe Refrigerador. A equipe produziu uma geladeira. À esquerda, tem-se a representação da parte da frente da maquete, com a estrutura térmica e uma representação elétrica da geladeira, e à direita tem-se a parte traseira, com o desenho do “logo” criado.



Fonte: Fotografias dos dados da pesquisa (2024).

6.2.5 Aula 5: *Questionário Final*

A última etapa da aplicação do produto educacional consistiu na aplicação de um questionário final, com as seguintes perguntas:

1. O que você entende por máquina térmica?
2. O que você entende por ciclo termodinâmico?
3. Qual a principal característica do Ciclo de Carnot?
4. Qual a principal característica do Ciclo de Otto?
5. Qual a principal característica do Ciclo do Refrigerador?

Os estudantes responderam as perguntas sem pesquisa, ao início da aula. Participaram desta etapa 13 estudantes, que apresentaram suas respostas. Após a conclusão do questionário, foi dada continuidade à exposição dialogada do conteúdo corrente do planejamento.

6.3 Análise dos resultados obtidos

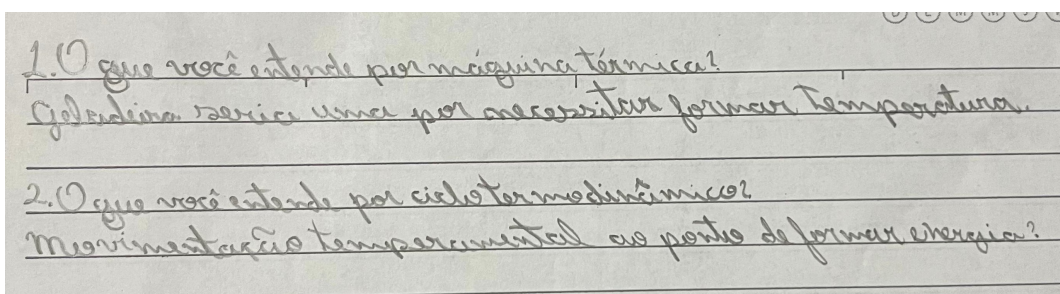
6.3.1 Análise objetiva (questionários)

As etapas de análise objetiva, referente aos dois questionários foram realizadas sem a separação em equipes, sendo realizadas de maneira geral e individual entre os estudantes.

O primeiro questionário, utilizado como Análise Diagnóstica, foi idealizado de modo a verificar as associações realizadas pelos estudantes às palavras utilizadas. Nesse tipo de avaliação, foi possível observar uma dificuldade dos alunos na compreensão de que não seria demarcado “Certo” e “Errado”, mas sim que o objetivo era analisar as associações, sem incluir uma nota. Foi necessário, assim, reforçar várias vezes que não era para se utilizar pesquisa no material didático.

É importante destacar que, no período em que foi aplicado este questionário os alunos já tinham visto o conteúdo Primeira Lei da Termodinâmica, bem como conteúdos de eletricidade em outra frente da disciplina de Física. Dentre as respostas obtidas, foi possível observar que para alguns estudantes os termos apresentavam uma ideia geral, como representado pela Figura 21, outros trouxeram também ideias sobre eletricidade, como representado na Figura 22.

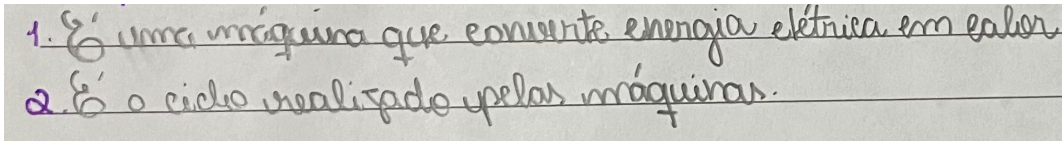
Figura 21 – Fotografia de uma resposta à Avaliação Diagnóstica, contendo noções gerais sobre Máquinas Térmicas.



Fonte: Fotografia dos dados da pesquisa (2024).

O retorno obtido quando aplicado o Questionário Final, apresentou que, em relação à primeira pergunta “O que você entende por máquina térmica?”, mais estudantes utilizaram a relação entre energia térmica e trabalho em suas descrições, tais como as respostas disponíveis na Figura 23.

Figura 22 – Fotografia de uma resposta à Avaliação Diagnóstica, contendo noções gerais sobre Máquinas Térmicas contendo elementos de eletricidade.



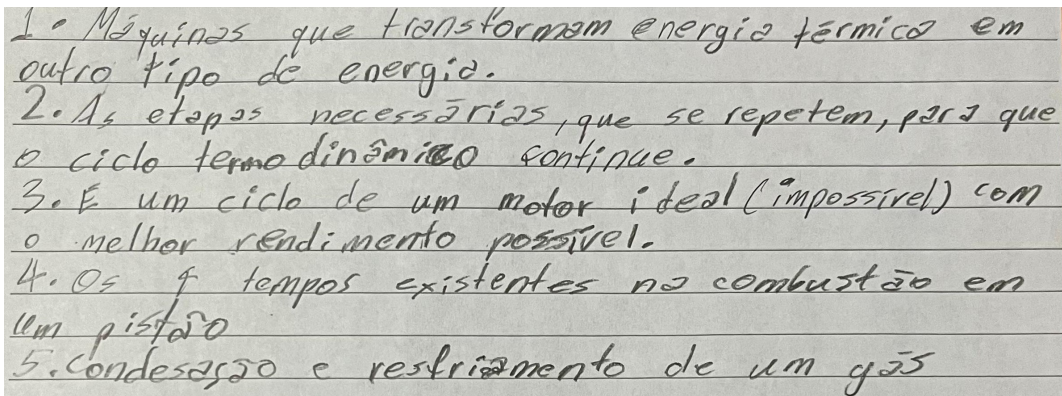
1. É uma máquina que converte energia elétrica em calor.
2. É o ciclo realizado pelas máquinas.

Fonte: Fotografia dos dados da pesquisa (2024).

Em relação ao conceito de “ciclo termodinâmico”, por sua vez, as respostas passaram a abordar as transformações de energia presentes em sua estrutura, e relacionaram bem a ideia de um “ciclo”.

Dentre as perguntas que questionavam características individuais de cada um dos ciclos, os resultados demonstraram-se muito positivos em relação ao Ciclo de Carnot e o Ciclo de Otto, apresentando certa dificuldade em explicar o ponto fundamental apenas para o Ciclo do Refrigerador, em que as respostas foram um pouco mais vagas dentro de sua estruturação.

Figura 23 – Fotografia de uma resposta ao Questionário Final, contendo elementos de Máquinas Térmicas e dos ciclos estudados.



1. Máquinas que transformam energia térmica em outro tipo de energia.
2. As etapas necessárias, que se repetem, para que o ciclo termodinâmico continue.
3. É um ciclo de um motor ideal (impossível) com o melhor rendimento possível.
4. Os 4 tempos existentes na combustão em um pistão.
5. Condensação e restrição de um gás.

Fonte: Fotografia dos dados da pesquisa (2024).

Analisando de forma geral, o Questionário Final demonstrou que os estudantes captaram os conceitos gerais das máquinas, especialmente em relação a seus modelos cíclicos.

6.3.2 *Análise subjetiva*

A análise subjetiva relaciona-se, neste projeto, com elementos de avaliação continuada presentes em todo o processo, não limitando-se aos dois questionários realizados.

Os aspectos considerados a seguir são os mesmos sugeridos no capítulo de “Análise” do Produto Educacional, onde se observa aspectos de conteúdo, criatividade, organização e relações interpessoais nas equipes.

Análise durante Pit-Stops

Os aspectos avaliados durante os *Pit-Stops* incluem alguns pontos fundamentais: aspecto de conteúdo, aspecto organizacional e aspecto pessoal.

Do ponto de vista conceitual, as Equipes do Ciclo de Otto e do Ciclo do Refrigerador apresentaram maior facilidade no momento de explicar a pesquisa, bem como na apresentação de um design, tomando como referência elementos reais destas máquinas térmicas. Uma vez que a equipe do Ciclo de Carnot estava lidando com uma máquina ideal, eles apresentaram dificuldade na transposição do elemento teórico para a materialidade, porém, uma vez compreendido, incluíram todos os elementos necessários para a montagem de sua máquina. Um destaque do ponto de vista de conteúdo se verificou na equipe Ciclo de Otto, onde alguns estudantes já possuíam grande interesse no tópico de motores de carros, e realizaram a construção dos elementos com entusiasmo, dentro do papel dos Engenheiros da equipe.

Dentro do aspecto organizacional, percebeu-se em sala de aula que ao delegar aos estudantes o processo de gerenciamento, este se configurou um grande desafio. Desde o processo criativo de pensar a máquina até as tarefas de cada um, percebeu-se que alguns estudantes apresentavam uma rigidez esperando os detalhes de “como” deveria ser feito, ao invés de pensar na forma de criar. É importante destacar que os elementos fundamentais (estruturas e elementos centrais) estão indicados no Guia do Aluno, porém ficava a critério de cada equipe escolher o tipo de máquina no qual colocariam aquele motor (por exemplo, a equipe Ciclo de Otto poderia escolher entre carro, avião, dentre outros), bem como o “nome” de sua marca e os materiais e cores a serem utilizadas. Os *Pit-Stops* foram, assim, fundamentais, pois se configuraram em momentos de troca entre estudantes e professora, onde a docente se posicionou de modo a orientar os caminhos que os estudantes poderiam seguir, bem como sugeriu materiais dentre outros elementos, porém com o objetivo de estimular a criatividade dos discentes.

Durante o segundo *Pit-Stop*, diversos estudantes já trouxeram ideias de como fazer, e após a tirada de dúvidas, discutiram com bastante animação com seus colegas em sala de aula, e realizaram o planejamento da montagem de suas maquetes. Nesta fase da discussão, atuaram principalmente os Designers, que, em geral, eram estudantes com um pouco menos de afinidade com o conteúdo de Física, mas que apresentavam uma predisposição artística significativa. Neste momento, ao discutirem os materiais, demonstraram interesse na máquina que estavam construindo, bem como verificou-se também uma mudança em suas posturas diante do conteúdo, sinalizando uma maior confiança em falar sobre os assuntos. Além deste elemento, no aspecto pessoal, ao segundo *Pit-Stop* já se verificava que os estudantes apresentavam maior familiaridade em suas trocas, mesmo os que anteriormente não realizavam grupos juntos.

Análise da apresentação das maquetes

Durante a avaliação da apresentação das maquetes, os elementos a serem observados incluíram a habilidade de compreender os processos e apresentá-los a seus colegas, a representação correta dos elementos da máquina na maquete, e a criatividade na construção da “máquina”.

Uma vez que a apresentação incluía um elemento oral, neste elemento compreende-se que há uma passagem pelo uso da inteligência linguística como mediador do processo, estimulando os alunos a construir seu raciocínio também pela oralidade.

Dentro de sua apresentação, a Equipe do Ciclo de Carnot, com sua “Máquina de Cupcakes”, apresentou certo grau de dificuldade em explicar de forma oral os processos ocorridos em sua máquina. Apesar disso, apresentaram todos os processos, e utilizaram as estruturas e os materiais de forma extremamente criativa, apresentando uma maquete visualmente agradável e rica em detalhes.

Na apresentação da Equipe do Ciclo de Otto, a equipe apresentou uma estrutura de forma diferente, incluindo também alguns elementos interativos, e explicando com mais desenvoltura os processos da máquina. No caso da Equipe do Ciclo do Refrigerador, um processo similar ocorreu, em que os estudantes também mostraram preocupação em incluir elementos elétricos, e explicar os processos de uma geladeira em detalhes.

De maneira geral, no aspecto da comunicação dos processos, as equipes manifestaram sua criatividade de maneira intensa, inclusive representando bem as máquinas e seus elementos principais na figura de maquete (Fonte Quente, Fonte Fria, Condensadores, Pistões, etc). Este

elemento da representação simbólica na forma de um mediador material pode indicar que os conceitos estruturais das máquinas, apesar de não serem tão facilmente transmitidos de forma oral por diversos fatores (tais como timidez, dificuldade de falar em público, dentre outros elementos), conseguiram ser alocados e bem representados.

É interessante destacar, também, que durante a apresentação das maquetes, os estudantes apresentavam-se, em média, mais confiantes e independentes no processo do que foi produzido.

6.3.3 Impactos pós-aplicação

Alguns elementos merecem destaque no contexto pós-aplicação. Um dos principais elementos percebidos em sala de aula após a apresentação das maquetes e finalização da aplicação do produto educacional foi uma mudança nas dinâmicas de sala de aula entre os estudantes. Parte dos estudantes que fizeram parte dos mesmos grupos passaram a estudar juntos com mais frequência, de forma mais focada e conjunta do que anteriormente. Alguns alunos, que eram mais isolados previamente à aplicação do produto, se integraram mais no processo ensino-aprendizagem, interagindo mais com seus colegas nos momentos de atividades.

Outro elemento interessante a se destacar ocorreu no fato de que os estudantes passaram a se sentir mais confiantes ao tirar dúvidas, expressando mais confiança na docente, e em si mesmos.

As aulas expositivas que foram ministradas no conteúdo de Máquinas Térmicas durante e após a finalização da aplicação do Produto Educacional tiveram maior engajamento da sala de aula, que passou a associar o que havia sido realizado em suas maquetes com os conceitos fundamentais, e a aula passou a ser mais dialogada do que anteriormente.

De maneira geral, a aplicação do produto educacional contribuiu para uma mudança em elementos da sala de aula que contribuíram para uma melhor integração entre estudantes e entre estudantes e a docente. Este elemento é fundamental para que o processo de ensino-aprendizagem torne-se o mais proveitoso possível, especialmente considerando-se que diversos alunos consideram a área de Física como bastante desafiadora.

7 CONCLUSÃO

A construção deste trabalho deu-se na forma da escrita de uma cartilha orientadora para o desenvolvimento do tópico Motores Térmicos no Ensino Médio.

Quando observa-se a relação entre estudantes e a disciplina de Física, é bastante recorrente a ocorrência de rejeição ou desinteresse, muitas vezes sob o ponto de vista de ser uma disciplina “muito difícil”. Ao construir-se este projeto, a principal proposta consistiu em aproximar dos estudantes estes tópicos que, por vezes, ficam ao fim do ano, ou como apêndice, de forma que os elementos conceituais pudessem se fixar mesmo para estudantes que apresentam dificuldade com a linguagem matematizada.

Utilizar os conhecimentos da Teoria de IM, assim, foi estratégico no sentido de contemplar uma multiplicidade de estudantes que não necessariamente utilizam a inteligência lógico-matemática como sua mais proficiente. Reconhecendo que cada estudante apresenta, em sua individualidade, um elemento fundamental a contribuir para a construção coletiva do conhecimento em sala de aula, é possível utilizar desta teoria de modo a valorizar o estudante que não se sente capaz de compreender o conteúdo. Ultrapassada esta primeira barreira do “não sentir-se capaz”, é possível, então, construir o interesse e uma relação de confiança mútua no processo de ensino-aprendizagem.

O produto educacional estruturado na forma da cartilha presente no apêndice desta dissertação foi estruturado de modo que os estudantes desenvolvem de forma progressiva e sob orientação do professor um projeto e uma maquete de uma máquina térmica dentre três dos ciclos mais conhecidos: Ciclo de Carnot, Ciclo de Otto e Ciclo do Refrigerador. Em um processo estruturado entre pesquisa, design de projeto e montagem de maquete (protótipo), a cartilha se divide entre elementos síncronos e assíncronos à sala de aula, permitindo que haja a adaptação para a realidade em que o docente a aplicará.

Os resultados obtidos na aplicação deste projeto em sala de aula mostraram que é possível a aplicação de projetos que engajem e desenvolvam os estudantes sem necessariamente isto envolver longos processos em sala de aula, distribuindo as cargas de trabalho aula a aula, e encaixando-se em momentos que se adequem ao planejamento de cada professor.

Após a aplicação do produto educacional, foi percebida uma grande receptividade dos estudantes, que passaram a engajar mais com o processo de ensino-aprendizagem em sala de aula, bem como passaram a identificar corretamente os elementos básicos de uma Máquina Térmica. Os estudantes apresentaram, também, uma mudança na relação entre si, e com a

professora, o que permitiu que as aulas expositivas passassem a ser mais dialogadas, com os estudantes fazendo perguntas e apresentando dúvidas de forma mais confiante.

Um elemento a ser considerado é o momento em que se aplica o produto educacional. A estrutura tal como está posta sugere que o docente aplique este produto apenas após ensinar os tópicos da Primeira Lei da Termodinâmica, o que inclui a Avaliação Diagnóstica e o Questionário Final. Caso haja o desejo de aplicar este produto em outro momento educacional, é necessário que sejam feitas adaptações neste sentido, de modo que os questionários não se tornem incoerentes ou redundantes à realidade da sala de aula.

A temática de Termodinâmica, como foi discutido no texto desta dissertação, não se esgota em aplicações na Educação Básica uma vez que se apresenta de forma constante em elementos estruturais do currículo, por exemplo a BNCC. Suas aplicações apresentam uma ampla gama de contextos, desde o aspecto de desenvolvimento tecnológico, como foi discutido neste projeto, até outros elementos, como Energias Renováveis, Matriz Energética, Transformações de Energia, e áreas interdisciplinares, tais como a aplicação na área da Química, e a área de História da Física.

Dessa maneira, propor um aspecto que perpassa diversos elementos da aprendizagem em Física do estudante utilizando metodologias que se diversifiquem e considerem a individualidade dentro dos grupos que são trabalhados, favorecendo a contribuição de diversos alunos, é bastante salutar. A proposição de aprendizagem conceitual permite que, mesmo que os estudantes apresentem dificuldades nos aspectos lógico-matemáticos, possam compreender os elementos globais, tornando aspectos que habitavam o ideário, muitas vezes de forma simbólica e pouco compreensível, um elemento material.

Em um contexto que privilegia, então, a alfabetização científica, é a criação de mecanismos de “materialização” de conceitos na realidade dos estudantes que permitem que eles os associem com outros elementos, fundamentando, assim, a conceitualização correta de elementos estruturais da Física no indivíduo. É fundamental, então, compreender o papel que a construção de confiança e autoestima no processo de ensino-aprendizagem opera em uma fase vulnerável como a adolescência, ou seja, a aprendizagem de Física não pode se resumir à aplicação de cálculos, mas sim, reiterar a confiança do estudante em sua própria capacidade de aprender.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, D. d. M. d.; ZAZZO, R. Binet no brasil. **Coleção Educadores**, Ed. Massanaga, Recife, p. 29–42, 2010.
- BLUNDELL, S. J.; BLUNDELL, K. M. **Concepts in thermal physics**. Oxford: Oxford University Press, 2010.
- BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular**. Ministério da Educação, 2017. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/educacao/2017/12/base-nacional-comum-curricular-bncc>>.
- CAMPANHOLI JUNIOR, L. **O uso de um protótipo de refrigerador com pastilhas peltier: uma proposta didática para o processo ensino-aprendizagem das leis da Termodinâmica e introdução aos conceitos de Termoeletricidade**. 182 p. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) — Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2019.
- DAVIES, K.; CHRISTODOULOU, J.; SEIDER, S.; GARDNER, H. E. The theory of multiple intelligences. In: **The Cambridge Handbook of Intelligence**. Cambridge: Cambridge University Press, 2011. p. 485–503.
- FERREIRA, M.; FILHO, O. L. S.; BATISTA, M. C.; FILHO, A. A.; STRAPASSON, A.; SANTANA, A. E. d. Ficção científica na transposição didática do conceito de entropia: a última pergunta de isaac asimov. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 45, 2023.
- GARDNER, H. **Disciplined mind: What all students should understand**. Nova York: Simon & Schuster, 1999.
- GARDNER, H. E. **Frames of mind: The theory of multiple intelligences**. Nova York: Basic books, 1985.
- GÁSPARI, J. C. d.; SCHWARTS, G. M. Inteligências múltiplas e representações. **Psicologia: Teoria e Pesquisa**, Brasília, v. 18, 2002.
- LEWIS, G. N.; RANDALL, M.; PITZER, K. S.; BREWER, L. **Thermodynamics**. Nova York: Courier Dover Publications, 1961.
- LIMA FILHO, J. B.; SILVA, M. L. d.; MADUREIRA, H. P.; IBIAPINA, R. M. Construção de uma maquete de sistema planetário como atividade auxiliar ao ensino de astronomia nos cursos de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 39, 2017.
- LUCHESE, T. d. C.; VOGT, R. M.; ANDRIGHETTO, R. Isqueiro pneumático: uma ferramenta versátil ao ensino interdisciplinar. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 41, n. 3, 2019.
- MUNHOZ, K. G.; BUENO, B. S. Uso de maquetes no ensino de física: uma experiência metodológica eficiente na construção de aprendizagens significativas. **Eventos Pedagógicos**, Sinop, v. 6, n. 2, p. 301–310, 2015.
- NASCIMENTO, H. A. do. **Estudo da Termodinâmica no Ensino Médio através da construção e uso de um motor Stirling artesanal**. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, 2020.

NUSSENZVEIG, H. **Curso de física básica: Fluidos, oscilações e ondas, calor**. São Paulo: Editora Blucher, 2018. (Curso de física básica). ISBN 9788521207481.

OLIVEIRA, M. de. **Termodinâmica**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2005. ISBN 9788588325470.

OLIVEIRA, S. K. de. **Uma proposta investigativa sobre a primeira lei da Termodinâmica por meio do motor Stirling**. 94 p. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) — Instituto Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

ROSA, A. W. d.; HEIDEMANN, L. A.; LIMA, N. W. Integrando aspectos conceituais, epistêmicos e procedimentais em uma atividade didática acerca da equação de calor de fourier voltada a formação de professores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 46, 2024.

SARAIVA, R. Z. **Máquinas Térmicas – Uma proposta para o ensino das Leis da Termodinâmica para o Ensino Médio**. 258 p. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) — Instituto Federal do Amazonas e Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2016.

SAUERWEIN, R. A.; SAUERWEIN, I. P. S. Graxaim/laboratório virtual de termodinâmica: Um aplicativo configurável de simulação de processos termodinâmicos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 46, 2024.

SAVALL-ALEMANY, F.; ESPARZA-GARCÍA, M.; ÁLVAREZ-HERRERO, J.-F.; ROSA-CINTAS, S. Determinación del rendimiento de un motor de stirling usando arduino: una propuesta para la enseñanza de la termodinámica en los cursos introductorios. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 42, 2020.

TEIXEIRA, R. A. G. Educação do anormal a partir dos testes de inteligência. **História da Educação**, Porto Alegre, v. 23, 2019.

URBINA, S. **Essentials of psychological testing**. Nova Jersey: John Wiley & Sons, 2004.

URBINA, S. Tests of intelligence. In: **The Cambridge Handbook of Intelligence**. Cambridge: Cambridge University Press, 2011. p. 20–38.

VICARI, M. V. **O ensino da 1ª e 2ª leis da Termodinâmica em uma abordagem investigativa desenvolvida em torno do motor de Stirling**. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) — Universidade Federal de Viçosa, 2018.

VIZZOTTO, P. A. As “piores” questões de física do enem: Uma análise psicométrica das edições de 2009 a 2019. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 44, 2022.

WECHSLER, D. **The measurement of adult intelligence**. Baltimore: Williams & Wilkins Company Baltimore, 1941.

APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL

O “Projeto Fábrica de Motores” tem como elemento central a cartilha produzida com o objetivo de orientar o docente no processo de aplicação da sequência didática.

Nesta cartilha, estão organizados elementos explicativos, imagens e elementos imprimíveis, bem como exemplos, baseados na Teoria das Inteligências Múltiplas de Howard Gardner.

Objetiva-se que, com a aplicação deste projeto, o docente consiga incentivar o interesse por elementos científicos e teorias físicas e desenvolver a autonomia e autoconfiança dos estudantes no processo de ensino-aprendizagem.

The background of the entire page is an impressionist painting. It features a palette of muted blues, greys, and earthy tones, with visible brushstrokes and a textured surface. The scene appears to be an outdoor setting, possibly a street or a courtyard, with figures and structures rendered in a soft, atmospheric style.

Fábrica de Motores

Proposta de projeto para
ensino de Máquinas Térmicas

Ana Clara Bezerra Saraiva Sá

Orientador: Prof. Dr. Fernando Wellysson de
Alencar Sobreira



UNIVERSIDADE
FEDERAL DO CEARÁ



MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 43

ANA CLARA BEZERRA SARAIVA SÁ

PRODUTO EDUCACIONAL

FÁBRICA DE MOTORES

Fortaleza
2024

FÁBRICA DE MOTORES

Este produto educacional é parte integrante da dissertação: PROJETO "FÁBRICA DE MOTORES": UMA ABORDAGEM DO TEMA MÁQUINAS TÉRMICAS NO ENSINO BÁSICO NO CONTEXTO DA TEORIA DAS INTELIGÊNCIAS MÚLTIPLAS, desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 43 – UFC, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:
Prof. Dr. Fernando Wellysson de Alencar
Sobreira

Fortaleza
2024

SUMÁRIO

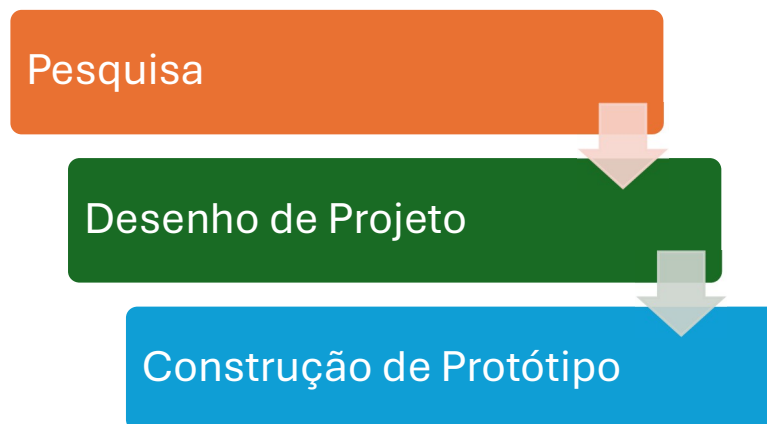
Introdução.....	2
Tópicos da Física	2
Competências da BNCC a serem trabalhadas	3
Metodologia de aplicação.....	4
Sequência de atividades propostas	4
Avaliação diagnóstica	4
Pesquisa inicial.....	7
Pit-Stop	7
Confecção das maquetes e apresentação em sala.....	9
Questionário final (sem pesquisa)	10
Divisão de equipes	12
Subdivisão Temática	12
Subdivisão de Aptidões	12
Guia para Alunos.....	14
Cronograma	23
Avaliação.....	24
Avaliação Objetiva	24
Avaliação nos <i>Pit-Stops</i>	24
Análise do Design.....	24
Avaliação nas Apresentações	24
Índice de Imagens	26
Referências	27

INTRODUÇÃO

O conteúdo de Máquinas Térmicas comumente é deixado como um apêndice dentro da disciplina de Física no Ensino Básico. A presença deste conteúdo no cotidiano do aluno, no entanto, permite a construção de um modelo de ensino-aprendizagem por descoberta, relacionando com conhecimentos de comum acesso do discente.

Neste projeto, propõe-se uma abordagem do conteúdo que traz uma “Feira de Ciências” para a sala de aula, motivando os alunos a desenvolverem sua criatividade e sua independência e considerando as diferentes aptidões e inclinações de cada aluno, ou seja, considerando-os individuais dentro da construção de um todo.

A dinâmica do projeto consistirá em 3 partes básicas:



Ao longo de todo o processo, o professor atua como um orientador, porém o estudante é protagonista.

Na capa desta cartilha foi utilizada uma composição com o quadro *La Gare Saint-Lazare* de Claude Monet (1877)¹.

TÓPICOS DA FÍSICA

Este projeto tem como base a compreensão do tópico Máquinas Térmicas, com enfoque nos temas:

- Ciclo de Carnot
- Ciclo de Otto
- Ciclo do Refrigerador

¹ *La Gare Saint-Lazare*. Claude Monet. 1877. Pintura a óleo. 75 cm × 105 cm. Musée d’Orsay, Paris, França. Fonte: Wikimedia.

Estes conceitos são abordados dentro da área da Termodinâmica e estão presentes no cotidiano do estudante.

COMPETÊNCIAS DA BNCC A SEREM TRABALHADAS

Dentro da construção deste projeto, teve-se como base as seguintes competências da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), dentro do escopo do Ensino Médio na área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:

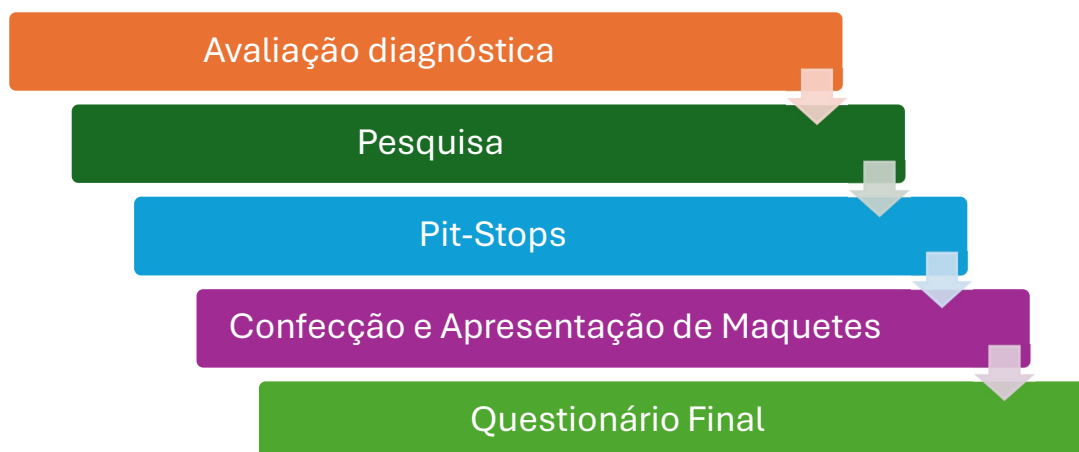
- **COMPETÊNCIA ESPECÍFICA 1:** Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e/ou global.
 - **Habilidades trabalhadas:**
 - (EM13CNT101) Analisar e representar as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões em situações cotidianas e processos produtivos que priorizem o uso racional dos recursos naturais.
 - (EM13CNT102) Realizar previsões, avaliar intervenções e/ou construir protótipos de sistemas térmicos que visem à sustentabilidade, com base na análise dos efeitos das variáveis termodinâmicas e da composição dos sistemas naturais e tecnológicos.
- **COMPETÊNCIA ESPECÍFICA 3:** Analisar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC).
 - **Habilidade trabalhada:**
 - (EM13CNT301) Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica.

METODOLOGIA DE APLICAÇÃO

SEQUÊNCIA DE ATIVIDADES PROPOSTAS

Essa sequência de atividades consiste não apenas no caminho para estruturação de uma maquete, mas sim em uma proposta de discussão e incentivo à criatividade dos alunos. Dessa forma, é recomendado que, apesar de o professor auxiliar a distribuição de temas, os nomes das equipes e os tipos exatos de maquetes a serem construídos sejam discutidos de forma conjunta. Por exemplo, o grupo Ciclo do Refrigerador pode escolher se está construindo uma geladeira ou um ar-condicionado (ou outro motor refrigerante), bem como pode escolher um “nome de produto”.

A seguir, apresenta-se um modelo de sequência de atividades a serem seguidas, sendo estas:



AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA

Como proposta de desenvolvimento de projeto em conjunto ao conteúdo que está sendo ministrado em sala de aula, a ideia deste questionário inicial é dar ao professor uma visão geral dos conhecimentos prévios de seus alunos dentro da temática da Termodinâmica. Tanto para alunos que estão vendo o conteúdo quanto para alunos que já viram ou verão em breve, este questionário é importante para verificar as principais associações que os alunos realizam quando confrontados com os conceitos de Máquinas Térmicas.

Este questionário deve ser aplicado antes da pesquisa, e é importante que seja conduzido **sem pesquisa no material didático**, e o aluno pode responder com conceitos que ache parecido em seu cotidiano. Dessa maneira, recomenda-se que seja aplicado em sala de aula.

As perguntas consistem em:

1. O que você entende por máquina térmica?
2. O que você entende por ciclo termodinâmico?

Na próxima página pode-se encontrar a versão para impressão deste questionário.

Projeto Fábrica de Motores

Avaliação Diagnóstica

Nome:

Escola:

Turma:

1. O que você entende por máquina térmica?

2. O que você entende por ciclo termodinâmico?

PESQUISA INICIAL

A pesquisa inicial consiste em utilizar a estratégia didática de Sala de Aula invertida para o desenvolvimento das competências, ou seja, cada grupo precisa pesquisar o conteúdo antes de ele ser apresentado em sala de aula. Não é necessário que seja uma pesquisa extensa, mas pontos fundamentais que precisam estar presentes são:

- A estrutura de cada tipo de máquina térmica (ou seja, como ela funciona de forma básica).
- Como ela surgiu.
- Onde ela é utilizada.

A ideia é que o professor introduza os conteúdos a serem apresentados na parte de Máquinas Térmicas da Termodinâmica apenas após essa pesquisa ter sido realizada. Dessa maneira, os alunos poderão participar ativamente das discussões utilizando o trabalho conjunto já desenvolvido em cada equipe.

Essa pesquisa consta como a primeira entrega a ser realizada pela equipe e é a partir dela que as discussões subsequentes surgirão.

PIT-STOP

O “Pit-Stop” consiste em uma “parada para discutir”, ou seja, são os momentos em que professores e alunos realizam troca de informações sobre o que está sendo desenvolvido. Não apenas os alunos devem tirar dúvidas de conteúdo com o professor, como também devem apresentar suas ideias para a construção do projeto. Recomenda-se que esta etapa seja registrada em fotografias pelo docente.

PIT-STOP 1: APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DAS PESQUISAS E TIRA-DÚVIDAS

Ao receber os resultados das pesquisas, é importante trazer uma discussão do tema para cada equipe. Ou seja, ao receber o resultado, os alunos precisam pontuar o que é mais importante de forma oral, e o professor pode conduzir discussões dentro de cada equipe acerca das estruturas observadas. Esse aspecto é importante para que seja possível a seguinte construção do modelo.

Nesta fase do projeto, é importante que já sejam designadas as subdivisões das equipes, tal como será explicado a seguir.

PIT-STOP 2: APRESENTAÇÃO DO DESIGN

Nesta etapa, a confecção das maquetes já se aproxima, então é importante que os alunos apresentem já a ideia do que pretendem produzir. O design precisa conter:

- As estruturas básicas que a maquete terá (Ex.: fonte quente, fonte fria, compressor, pistões, etc.).
- Os materiais a serem utilizados (Ex.: a fonte quente será feita com uma latinha de alumínio, os tubos serão feitos com canudinhos, etc.).
- Nome do “Produto” que está sendo construído.

A seguir, temos um exemplo de entrega neste momento de apresentação do design: desenho com a lista de materiais e atribuições dos membros da equipe. Está sendo utilizado como exemplo o caso da máquina a vapor, que o docente pode utilizar em sala para exemplificar por não estar contemplado entre os tópicos das equipes.

EQUIPE “MÁQUINA A VAPOR”

Neste modelo, vamos utilizar os materiais:

1. Caixa do Motor: Caixa de papelão
2. Caldeira: Latinha
3. Cilindro com pistão: Rolo do papel toalha, tampa de garrafa e canudos
4. Condensador: Garrafa PET e canudos
5. Canos: Canudos largos
6. Roda: Peça de um brinquedo aproveitado para o projeto.

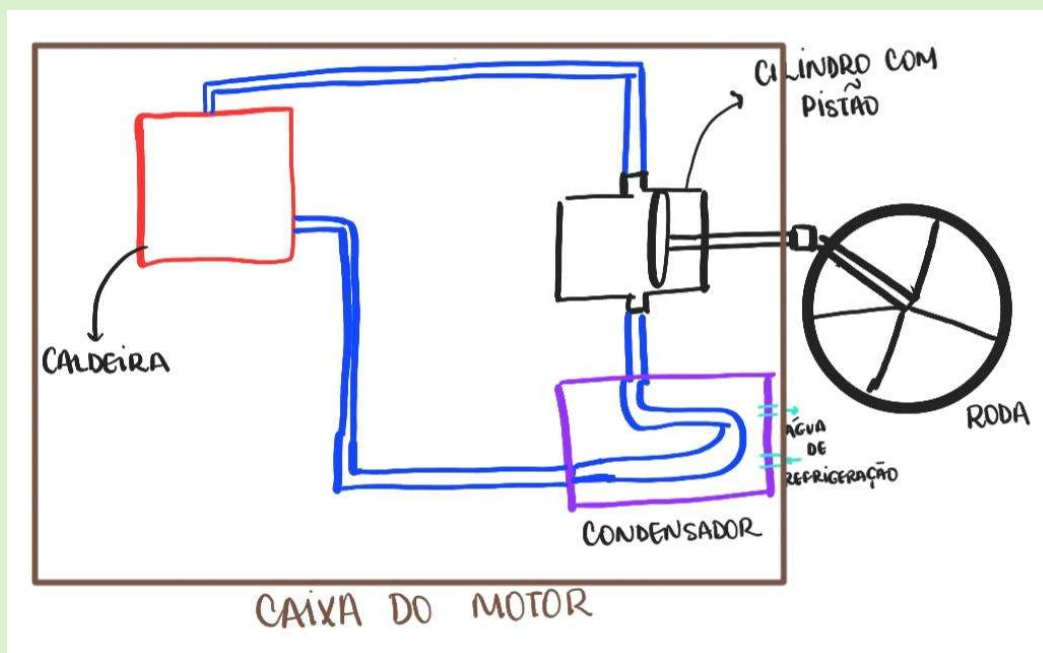


Figura 1 - Esquema representativo de um design de uma máquina a vapor. Fonte: Autora.

Nome da Máquina: Maria-Fumaça 2023

Equipe:

- Designers: Estudante 1, Estudante 2
- Engenheiros(as): Estudante 3, Estudante 4

Neste momento, o professor deve conduzir perguntas sobre o produto, apresentar sugestões e ouvir as ideias dos alunos para a construção das maquetes.

CONFECÇÃO DAS MAQUETES E APRESENTAÇÃO EM SALA

Nesta etapa do projeto, a proposta é a de que as maquetes sejam construídas fora do ambiente de sala de aula, como uma atividade assíncrona. A apresentação, então, constituirá em uma das fases finais de avaliação, culminando na entrega de um “produto” da fábrica.

A seguir, temos alguns exemplos de maquetes produzidas por estudantes para os temas apresentados.



Figura 2 - Maquete produzida por estudantes para o Ciclo de Otto, sob o nome de “Motor de Carro”. Na parte superior: visão lateral e visão frontal (com LED aceso), respectivamente. Na parte inferior: visão da parte de trás, com os elementos da máquina térmica. Fonte: Autora.

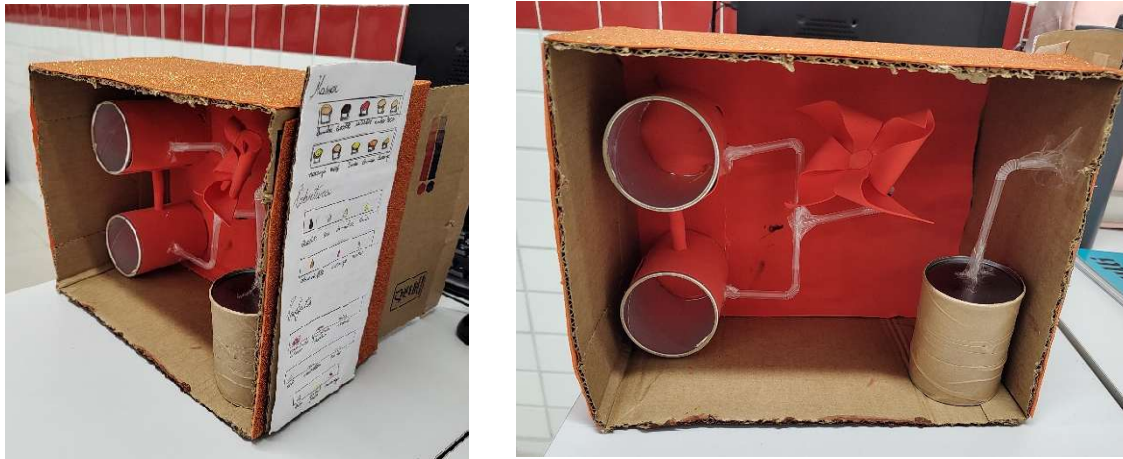


Figura 3 - Maquete produzida por alunos sobre o Ciclo de Carnot, sob o nome de "Máquina de Cupcakes". Da esquerda para a direita: visão lateral com "painel" de escolha de cupcakes, e visão frontal com o funcionamento interno da máquina. Fonte: Autora.

QUESTIONÁRIO FINAL (SEM PESQUISA)

O questionário final deve ser realizado novamente **sem pesquisa ao material didático**, e sua aplicação consistirá na avaliação final do projeto, em que o professor poderá avaliar as associações que os alunos estão realizando às temáticas.

As perguntas a serem realizadas nesse segundo questionário são:

1. O que você entende por máquina térmica?
2. O que você entende por ciclo termodinâmico?
3. Qual a principal característica do Ciclo de Carnot?
4. Qual a principal característica do Ciclo de Otto?
5. Qual a principal característica do Ciclo do Refrigerador?

Na página a seguir, encontra-se a versão para impressão deste questionário.

Projeto Fábrica de Motores
Questionário Final (sem pesquisa)

Nome:

Escola:

Turma:

3. O que você entende por máquina térmica?

4. O que você entende por ciclo termodinâmico?

5. Qual a principal característica do Ciclo de Carnot?

6. Qual a principal característica do Ciclo de Otto?

7. Qual a principal característica do Ciclo do Refrigerador?

DIVISÃO DE EQUIPES

O desenvolvimento deste projeto com a turma de alunos tem como base a divisão em grupos de acordo com dois critérios:

- Temas
- Aptidões

Além das divisões, será disponibilizado também um Guia para cada uma das equipes, de modo que não percam de vista cada entrega e quais as atividades a serem apresentadas em cada fase do projeto. Este Guia está disponível ao final deste tópico em uma versão para impressão.

SUBDIVISÃO TEMÁTICA

Esta divisão consiste em atribuir a cada grupo um dos Ciclos Termodinâmicos a serem estudados. Dessa maneira, teremos obrigatoriamente 3 tipos de grupos, independentemente do número de alunos em sala:

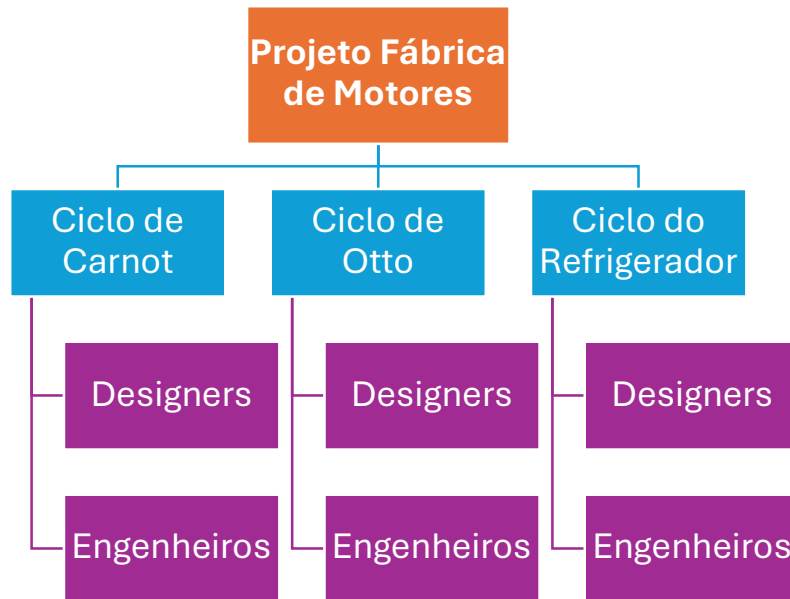
- Equipe Ciclo de Carnot
- Equipe Ciclo de Otto
- Equipe Ciclo do Refrigerador

Para o caso de turmas muito grandes, é recomendável que sejam feitas equipes “repetidas”, ou seja, mais de uma equipe com cada temática central.

SUBDIVISÃO DE APTIDÕES

Esta divisão consiste em cada grupo se subdividir em dois papéis centrais: Engenheiros(as) e Designers.

Uma vez que o projeto inclui diversas atividades, o ponto central desta subdivisão consiste em trazer um protagonismo diferente para cada aluno, trazendo as diferentes pré-disposições. Neste caso, tem-se, então, que, por exemplo, a equipe responsável pelo Ciclo de Carnot terá, dentro de seu trabalho duas subequipes, os Engenheiros do Ciclo de Carnot e os Designers do Ciclo de Carnot.



O objetivo de subdividir em dois papéis centrais consiste em utilizar as temáticas que mais interessam a cada aluno para a construção de um projeto, formando uma equipe multi-tarefa. Assim, teremos as seguintes subdivisões de atividades:

- Engenheiros(as): Deverão estruturar a parte física do processo, dentre elas quais são as principais estruturas, quais são os processos físicos que ocorrem na máquina e qual o rendimento de uma máquina tal como esta.
- Designers: Estes integrantes ficarão responsáveis pela marca do produto, pela aparência da maquete e deverão designar quais são os materiais mais adequados para os processos que os Engenheiros estão descrevendo.

Ambas as subequipes deverão trabalhar juntas na construção da maquete, tendo em mente quais os subtópicos que têm mais afinidade.



PROJETO FÁBRICA DE MOTORES GUIA PARA ALUNOS

Orientações Gerais

A ideia principal deste projeto é de que seja construída uma maquete representando o motor que estamos estudando! Se fôssemos fazer um motor de verdade, precisaríamos mostrar um “modelo” para nossa fábrica, certo? Então a ideia é que façamos esse modelo!

Dessa forma, este projeto conta com três fases:

1. Pesquisa
2. Planejamento
3. Criação do modelo

PESQUISA

Nesta fase, você vai pesquisar sobre o motor que está estudando. Quais são as características principais dele? Quais são as transformações que ele sofre? É importante lembrar desta parte para entendermos como ele funciona!

Entregue esta pesquisa com esquemas, listas, indicações, etc. Mas não esqueça que a parte mais importante é pensar quais partes você precisa colocar depois no seu modelo!

PLANEJAMENTO

Nesta fase, o objetivo é pensar em como vamos planejar os nossos modelos! Para isto, construa um pequeno esquema (pode ser à mão livre ou então

utilizando algum programa de imagens, você que escolhe) mostrando as partes fundamentais do seu motor e quais os materiais que você irá utilizar.

Vou utilizar como exemplo aqui a Máquina a Vapor!

EQUIPE “MÁQUINA A VAPOR”

Neste modelo, vamos utilizar os materiais:

7. Caixa do Motor: Caixa de papelão
8. Caldeira: Latinha
9. Cilindro com pistão: Rolo do papel toalha, tampa de garrafa e canudos
10. Condensador: Garrafa PET e canudos
11. Canos: Canudos largos
12. Roda: Peça de um brinquedo aproveitado para o projeto.

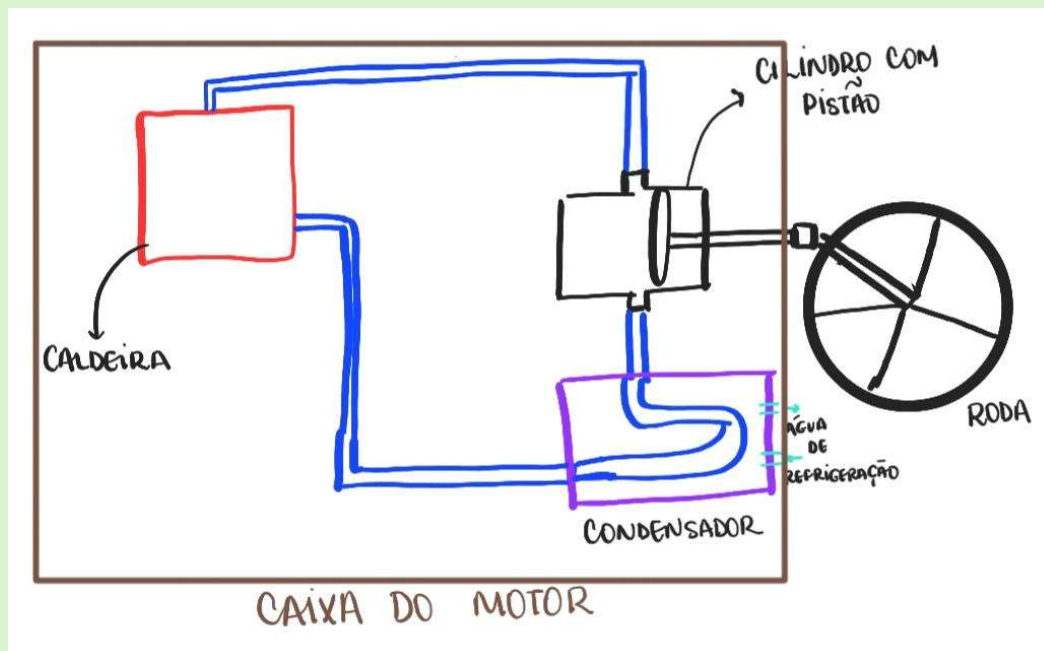


Figura 4 - Esquema representativo de um design de uma máquina a vapor. Fonte: Autora.

Nome da Máquina: Maria-Fumaça 2023

Equipe:

- Designers: Estudante 1, Estudante 2
- Engenheiros(as): Estudante 3, Estudante 4

Esta fase é importante para pedir orientação sobre os materiais e sobre o que deseja incluir no seu motor.

CRIAÇÃO DO MODELO

Nesta fase, chegou a hora de construir a maquete!

LEMBRE-SE! A maquete é apenas uma representação artística, não queremos realmente construir um motor!

Você pode utilizar a sua criatividade como quiser nesta fase: utilizar diversos materiais, pintar com cores que agradem, pensar na parte externa da sua máquina e que desenhos poderia fazer.

Utilizando o modelo da Máquina a Vapor como exemplo, poderíamos, por exemplo, desenhar um trem na caixa externa, para representar a Maria-Fumaça, ou colocar uma chaminé e um apito.

IMPORTANTE! Não se esqueça de apontar como deixar o nosso problema mais sustentável! No caso da Máquina a Vapor, eu poderia, por exemplo, trocar o carvão por outra fonte de energia mais limpa, como outro combustível, ou acrescentar um filtro na minha chaminé para evitar poluentes. Como seria possível fazer isto em outros problemas?

Qualquer dúvida, não deixem de pedir orientação!

Boa diversão a todos!

Equipe “Ciclo de Carnot”

Esta máquina apresenta a característica especial de que precisamos imaginar uma máquina que não existe! Ou seja, podemos nos inspirar em máquinas de filmes, jogos, livros, etc, e encaixá-los nas fases dos processos.

Para construir esta maquete, é muito importante que apareçam as 4 fases do Ciclo:

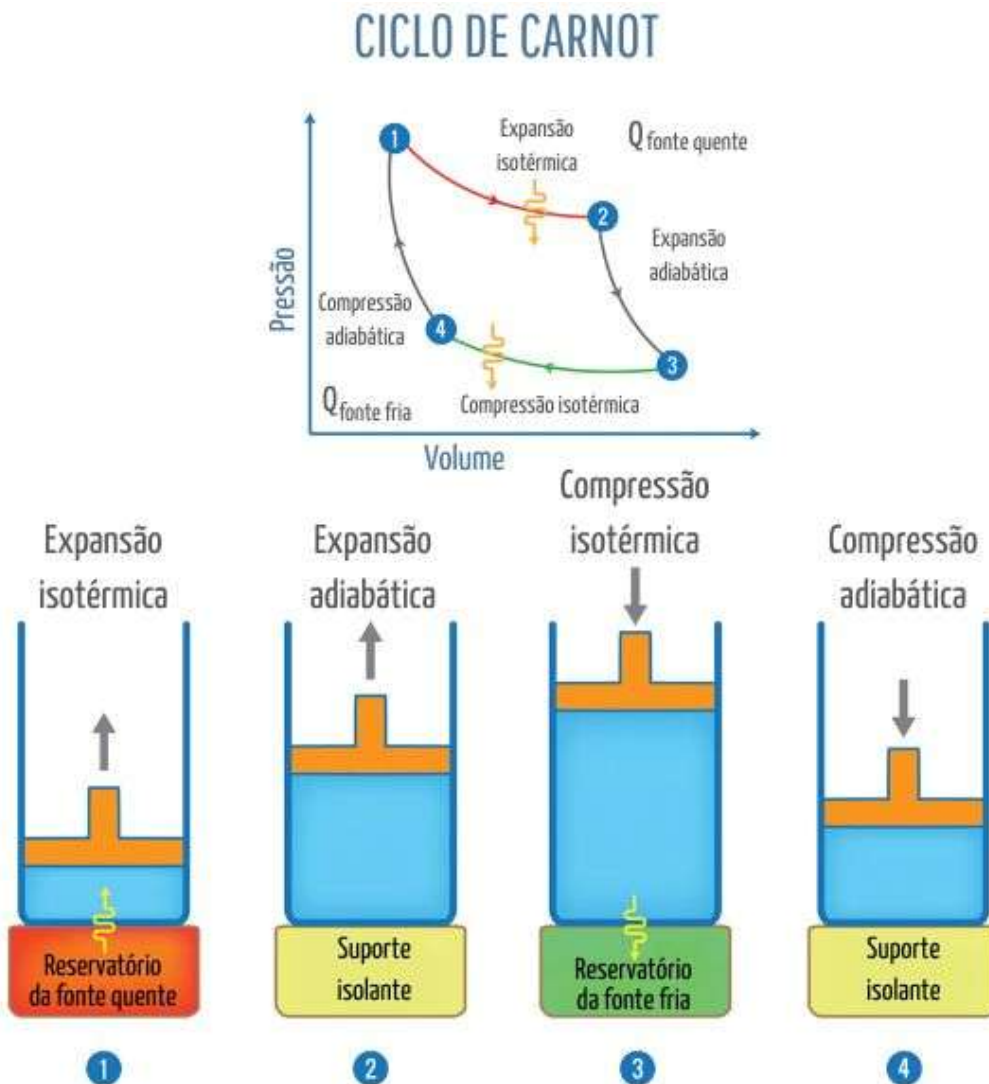


Figura 5 – Representação das etapas do Ciclo de Carnot. Fonte: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/ciclo-carnot.htm>. Acessado em 20/10/2023.

Para montarmos esta maquete, é fundamental que pensemos “o que eu quero que a minha máquina faça?”.

Este “o que eu quero” será o que vai gerar **Trabalho!**

Exemplo: Minha máquina pode fazer um objeto girar, ou levantar e descer. (Lembrando que eu só preciso representar, e não necessariamente fazer ela girar de verdade!).

Quando for pensar na sua máquina lembre-se de que precisa de:

- Uma fonte de calor
- Duas partes isoladas termicamente
- Uma fonte fria

LEMBRE-SE! O seu motor pode ser o motor para *uma máquina*, e não a máquina completa! Por exemplo, podemos dizer que este é um motor criado para a Máquina do Tempo do filme “De Volta Para o Futuro” e que vai fazer a máquina funcionar porque tem o maior rendimento possível.

O que é preciso entregar:

- Nome da equipe, com o nome da sua máquina e o que cada um de vocês está responsável (Designers e Engenheiros).
- Pesquisa sobre o tema do Ciclo, com cada uma das fases.
- Esquema de como será feito o seu motor, com desenhos para cada parte e os materiais que você deseja utilizar.
- Maquete do seu projeto, com etiquetas explicando o que cada parte representa.

Equipe “Ciclo de Otto”

Esta máquina é o nosso conhecido *motor a combustão*! Este é o motor que observamos, por exemplo, em automóveis dos mais diversos.

Para construir esta maquete, é importante estar atento às fases de um Ciclo de Otto, ou seja, incluir todas as estruturas que realizam cada uma das fases.

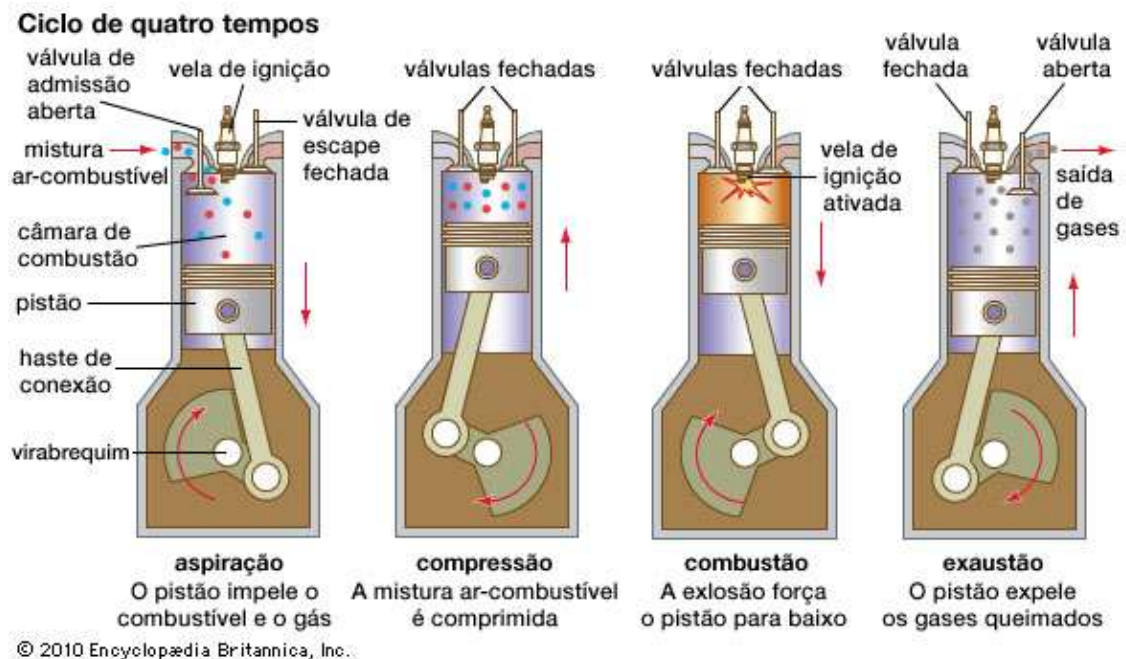


Figura 6 - Motor de combustão interna – Enciclopædia Britannica. Disponível em: <https://educacaoautomotiva.com/2017/07/06/motor-4-tempos-como-funciona/>. Acessado em 20/10/2023.

LEMBRE-SE! É possível incluir cada parte com diferentes materiais, mas elas precisam estar bem identificadas!

Montado o seu motor, responda também à pergunta: **Como posso deixar o meu motor mais sustentável?**

Quando for montar a sua maquete, lembre-se de que ela precisa apresentar:

1. Fase de admissão
2. Fase de compressão
3. Fase de expansão
4. Fase de descarga

O que é preciso entregar:

- Nome da equipe, com o nome da sua máquina e o que cada um de vocês está responsável (Designers e Engenheiros).
- Pesquisa sobre o tema do Ciclo, com cada uma das fases.
- Esquema de como será feito o seu motor, com desenhos para cada parte e os materiais que você deseja utilizar.
- Maquete do seu projeto, com etiquetas explicando o que cada parte representa.

Equipe “Ciclo do Refrigerador”

Para construirmos esta máquina, precisamos nos lembrar que este é um caso em que funciona um pouco diferente das anteriores! Esta é uma máquina que funciona a partir do processo de *refrigeração*, ou seja, retirando calor do sistema. Um bom exemplo é o caso de geladeiras e ar-condicionados.

É importante incluirmos todas as partes de um aparelho de refrigeração nesta maquete, com cada uma das fases deste ciclo!

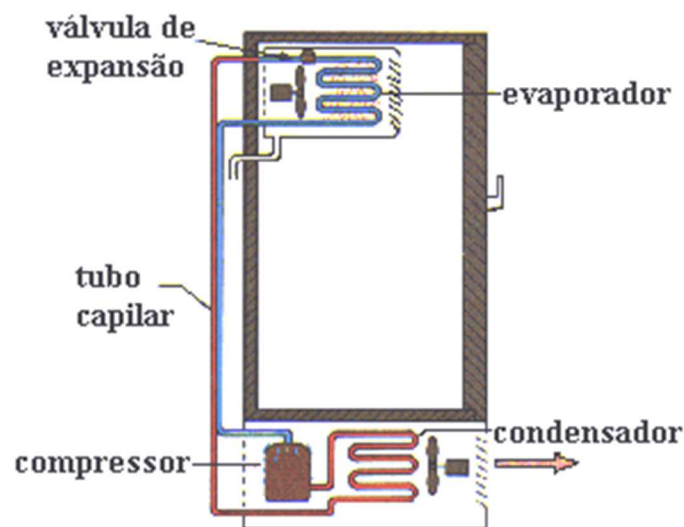


Figura 7 - Esquema do ciclo do refrigerador. Disponível em: <http://www.cepa.if.usp.br/energia/energia1999/Grupo2B/Refrigeracao/geladeira.htm>. Acessado em 20/10/2023.

LEMBRE-SE! É possível incluir cada parte com diferentes materiais na sua maquete, representando cada parte, mas elas precisam estar bem identificadas!

Montado o seu motor, responda também à pergunta: **Como posso deixar o meu motor mais sustentável?**

Quando for montar a sua maquete, lembre-se de que ela precisa apresentar:

- Fonte fria
- Fonte quente
- Compressor
- Dispositivo de expansão

O que é preciso entregar:

- Nome da equipe, com o nome da sua máquina e o que cada um de vocês está responsável (Designers e Engenheiros).
- Pesquisa sobre o tema do Ciclo, com cada uma das fases.
- Esquema de como será feito o seu motor, com desenhos para cada parte e os materiais que você deseja utilizar.
- Maquete do seu projeto, com etiquetas explicando o que cada parte representa.

CRONOGRAMA

Tendo em vista as atividades a serem desenvolvidas em cada um dos momentos do Projeto Fábrica de Motores, sugere-se o cronograma de atividades apresentado na **Tabela 1**. É importante destacar que a duração sugerida precisa ser avaliada tendo em vista o tamanho da turma e o número de equipes montadas.

Tabela 1: Proposta de Cronograma para realização das atividades do Projeto “Fábrica de Motores”.

Etapas	Atividade a ser realizada em sala	Atividade a ser realizada em casa	Duração sugerida
1	Explicação do projeto a ser desenvolvido. Aplicação do questionário.	Pesquisa sobre o tema da equipe	1 aula (50 min)
2	Entrega dos resultados da Pesquisa. Pit-Stop 1	Desenho do rascunho da maquete, listando o nome da equipe e os materiais que serão utilizados.	1 aula (50 min)
3	Pit-Stop 2	Confecção da maquete	1 aula (50 min)*
4	Apresentação das Maquetes		1 aula (50 min)*
5	Questionário Final		1 aula (50 min)*
			Subtotal: 5 aulas (250 minutos)

Os tópicos assinalados com asterisco (*) são tópicos variáveis, uma vez que dependerão da quantidade de alunos em cada turma. A duração sugerida consiste em uma estimativa para uma turma de aproximadamente 30 alunos, com 6 equipes de 5 integrantes cada.

AVALIAÇÃO

AVALIAÇÃO OBJETIVA

Como construção de avaliação objetiva, temos a avaliação diagnóstica e o questionário final. Para cada um, temos um objetivo diferente.

No caso da Avaliação Diagnóstica, o objetivo é verificar quais são as informações prévias e de senso comum do aluno, enquanto o Questionário Final nos permite verificar as associações que o aluno está realizando dentro do desenvolvimento das competências. É importante, assim, verificar a presença das palavras: TEMPERATURA, CICLOS, TRANSFORMAÇÃO, TRABALHO, ENERGIA TÉRMICA, FONTE FRIA, FONTE QUENTE, dentre outras palavras associadas aos conteúdos discutidos.

AVALIAÇÃO NOS PIT-STOPS

Os *Pit-Stops* consistem em processos de avaliação continuada, de modo a acompanhar os processos desenvolvidos pelos grupos. Dessa maneira, é importante que o professor converse com cada grupo individualmente para verificar o andamento dos projetos.

ANÁLISE DO DESIGN

No caso específico da análise do Design a ser entregue, é importante que o professor avalie os seguintes pontos:

1. A capacidade de planejamento da equipe;
2. A capacidade de autogerenciamento da equipe;
3. A percepção dos conceitos de cada processo termodinâmico.

É importante, ainda, que o professor atente ao desenvolvimento interpessoal dos alunos, incluindo os seguintes questionamentos em sua análise:

1. Há conflitos dentro da equipe?
2. Houve mudança na dinâmica relações entre membros da equipe antes e depois do projeto?
3. Todos estão conseguindo participar ativamente?

AVALIAÇÃO NAS APRESENTAÇÕES

A apresentação das maquetes, por sua vez, deve apresentar os seguintes pontos principais:

1. Os alunos conseguiram compreender a sequência dos processos da máquina térmica que estão estudando?

2. Avaliar o uso da criatividade:
 - a. Inovaram no uso de materiais e cores?
 - b. Criaram novos nomes para seu “produto”?
3. Avaliar a capacidade de transmitir oralmente o que compreenderam dentre os conceitos centrais abordados.

ÍNDICE DE IMAGENS

Figura 1 - Esquema representativo de um design de uma máquina a vapor. Fonte: Autora.	8
Figura 2 - Maquete produzida por estudantes para o Ciclo de Otto, sob o nome de "Motor de Carro". Na parte superior: visão lateral e visão frontal (com LED aceso), respectivamente. Na parte inferior: visão da parte de trás, com os elementos da máquina térmica. Fonte: Autora.	9
Figura 3 - Maquete produzida por alunos sobre o Ciclo de Carnot, sob o nome de "Máquina de Cupcakes". Da esquerda para a direita: visão lateral com "painel" de escolha de cupcakes, e visão frontal com o funcionamento interno da máquina. Fonte: Autora.	10
Figura 4 - Esquema representativo de um design de uma máquina a vapor. Fonte: Autora.	15
Figura 5 - Representação das etapas do Ciclo de Carnot. Fonte: https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/ciclo-carnot.htm . Acessado em 20/10/2023.	17
Figura 6 - Motor de combustão interna – Enciclopaedia Britannica. Disponível em: https://educacaoautomotiva.com/2017/07/06/motor-4-tempos-como-funciona/ . Acessado em 20/10/2023.	19
Figura 7 - Esquema do ciclo do refrigerador. Disponível em: http://www.cepa.if.usp.br/energia/energia1999/Grupo2B/Refrigeracao/geladeira.htm . Acessado em 20/10/2023.	21

REFERÊNCIAS

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

BLUNDELL, Stephen J.; BLUNDELL, Katherine M. Concepts in thermal physics. Oup Oxford, 2010.

GARDNER, Howard E. Frames of mind: The theory of multiple intelligences. Basic books, 2011.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Fundamentos de Física: Gravitação, Ondas E Termodinâmica. Vol. 2 . Grupo Gen-LTC, 2000.

TIPLER, P.A.; Física (Para Cientistas e Engenheiros), Vol.2 , Gravitação Ondas e Termodinâmica, 3a Ed., Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1995