

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE FÍSICA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA**  
**CAMPUS MEDIANEIRA**

ERASMO CARLOS GRASSELLI

**UMA ABORDAGEM DAS MÁQUINAS TÉRMICAS NO ENSINO DA**  
**TERMODINÂMICA SOB A ÓTICA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA**

DISSERTAÇÃO

MEDIANEIRA

2018

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

**UTFPR**  
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

**SBF**  
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

UMA ABORDAGEM DAS MÁQUINAS TÉRMICAS NO ENSINO DA  
TERMODINÂMICA SOB A ÓTICA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

ERASMO CARLOS GRASSELLI

Dissertação de Mestrado apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ensino de Física, do Programa de Pós-Graduação em Ensino da Física - MNPEF, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Tiago Kroetz

MEDIANEIRA  
Novembro, 2018

## Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

G768u

Grasselli, Erasmo Carlos

Uma abordagem das máquinas térmicas no ensino da termodinâmica sob a ótica da aprendizagem significativa / Erasmo Carlos Grasselli – 2019.

112 f. : il. ; 30 cm.

Texto em português com resumo em inglês

Orientador: Tiago Kroetz

Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Medianeira, 2019.

Inclui bibliografias.

1. Máquinas térmicas. 2. Termodinâmica. 3. Ensino de segundo grau. 4. Ensino de Física - Dissertações. I. Kroetz, Tiago, orient. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. III. Título.

CDD: 530.07

Biblioteca Câmpus Medianeira  
Marci Lucia Nicodem Fischborn 9/1219

## TERMO DE APROVAÇÃO

### UMA ABORDAGEM DAS MÁQUINAS TÉRMICAS NO ENSINO DA TERMODINÂMICA SOB A ÓTICA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Por

**ERASMO CARLOS GRASSELLI**

Esta Dissertação foi apresentada às 13:50 do dia 30 de novembro de 2018, como requisito parcial para a obtenção do título de MESTRE, Linha de Pesquisa Física no Ensino Médio - Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física - MNPEF, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora, composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho Aprovado.

(O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso).

---

Prof<sup>o</sup>. Dr. Tiago Kroetz  
(UTFPR)

---

Prof<sup>o</sup>. Dr. César Henrique Lenzi  
(UTFPR)

---

Prof<sup>o</sup>. Dr. Maurício Tizziani Pazianotto  
(ITA)

Visto da Coordenação:

---

Prof<sup>o</sup>. Dr. Fabio Rogerio Longen  
Coordenador do MNPEF

## AGRADECIMENTOS

À Deus pela força e coragem e por estar sempre iluminando o caminho dando força para superar os desafios e alcançar os objetivos...

Ao meu orientador Professor Dr. Tiago Kroetz que se dedica a nobre tarefa de educar - como prova de reconhecimento do grande profissionalismo.

Aos mestres do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física - MNPEF, Universidade Tecnológica Federal do Paraná de Medianeira, que foram fundamentais na construção do conhecimento.

Aos meus pais Theresinha e Francisco que me deram toda a estrutura para que me tornasse a pessoa que sou hoje. Pela confiança e pelo amor que me fortalece todos os dias.

A todos os familiares pelo apoio que muito contribuiu, não encontrei outro meio e nem aprendi, ainda, algo que seja mais eficiente e possa substituir o simples e sincero: Muito Obrigado...

*Quanto mais nos elevamos,  
menores parecemos aos olhos daqueles  
que não sabem voar.*

*Friedrich Nietzsche*

## RESUMO

GRASSELLI, Erasmo Carlos. **Uma abordagem das Máquinas Térmicas no Ensino da Termodinâmica sob a ótica da Aprendizagem significativa.** 2018. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física – MNPEF). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2018.

O presente trabalho tem como objetivo geral contextualizar o conteúdo da Termodinâmica por meio da construção de máquinas térmicas e utilizá-las como instrumento de apresentação de conhecimento com a função de organizadores prévios para uma posterior aprendizagem significativa. O referencial teórico apresenta conceitos de aprendizagem significativa fundamentadas nas Teorias da aprendizagem abrangendo estudos de Piaget, Ausubel e contribuições específicas sobre o Ensino da disciplina de Física de Marco Antonio Moreira. A abordagem metodológica se orienta para pesquisa ação-reflexão-ação mediante a construção de três máquinas térmicas (Motor de Stirling, Máquina a Vapor e Motor de Elástico), com a finalidade de oferecer meios para ampliar a discussão sobre a importância de privilegiar a aprendizagem significativa, contribuindo para a assimilação dos conteúdos da termodinâmica para o Ensino da Física no Ensino Médio. Durante a pesquisa foi elaborado um Produto Educacional que foi aplicado durante a intervenção junto aos estudantes servindo de suporte para o desenvolvimento de aulas referentes ao conteúdo abordado. As atividades foram programadas com base nas sequências didáticas, as quais serão norteadas pelas Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS). Os resultados demonstraram o aumento do interesse dos estudantes acerca do conteúdo abordado com a intensificação da participação dos estudantes nas discussões e debates evidenciado por meio de questionamentos, opiniões e argumentações. A diversificação metodológica da prática pedagógica e a mediação pontual do professor tornaram as aulas mais atrativas com a oportunidade de interagir a todo o momento com a prática da construção das máquinas térmicas. O Produto Educacional facilitou o processo ensino estimulando a pesquisa e a investigação nas aulas da disciplina de Física proporcionando a aprendizagem significativa.

Palavras Chave: Máquinas térmicas. Ensino da Física. Termodinâmica. Aprendizagem significativa. Ensino Médio.

## ABSTRACT

GRASSELLI, Erasmo Carlos. **An Approach to Thermal Machines in the Teaching of Thermodynamics from the Perspective of Significant Learning**. 2018. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física – MNPEF). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2018.

This work aims to contextualize the content of thermodynamics through the construction of thermal machines and use them as a tool for presenting knowledge with the function of previous organizers for a later meaningful learning. The theoretical framework presents significant learning concepts based on learning theories covering studies by Piaget, Ausubel and specific contributions on the Teaching of the discipline Physics of Marco Antonio Moreira. The methodological approach is oriented to action-reflection-action research through the construction of three thermal machines (Stirling Motor, Steam Engine and Elastic Motor), with the purpose of offering a means to broaden the discussion about the importance of privileging learning contributing to the assimilation of the contents of thermodynamics to the Teaching of Physics in High School. During the research, an Educational Product was developed that was applied during the intervention with the students, serving as support for the development of classes related to the content addressed. The activities were programmed based on didactic sequences, which will be guided by the Potentially Significant Teaching Units (LIFOs). The results demonstrated an increase in the students' interest in the content of the course, with the intensification of students' participation in the discussions and debates, evidenced by questions, opinions and arguments. The methodological diversification of the pedagogical practice and the punctual mediation of the teacher made the classes more attractive with the opportunity to interact at any moment with the practice of the construction of the thermal machines. The Educational Product facilitated the teaching process by stimulating research and research in the classes of the Physics discipline providing meaningful learning.

Keywords: Thermal machines. Physics Teaching. Thermodynamics. Meaningful Learning. High school.

MEDIANEIRA  
November, 2018



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema da Teoria da Epistemologia Genética .....	24
Figura 2 – Pressão exercida por um gás.....	48
Figura 3 – Transformação Isotérmica em um diagrama $p$ vs. $V$ .....	52
Figura 4 – Pressão e proporcionalidade da redução do volume .....	53
Figura 5 - Proporcionalidade do aumento da pressão.....	54
Figura 6 – Transformação Isométrica em um diagrama $p$ vs. $V$ .....	55
Figura 7 – Transformação Isométrica em um diagrama $p$ vs. $T$ .....	55
Figura 8 - Pressão constante do gás.....	56
Figura 9 - Transformação Isobárica em um diagrama $P$ vs. $V$ .....	57
Figura 10 - Transformação Isobárica em um diagrama $V$ vs. $T$ .....	58
Figura 11 – Ciclo de Stirling .....	58
Figura 12 – Transformação Adiabática .....	59
Figura 13 – Máquina a Vapor.....	64
Figura 14 - Rendimento de uma Máquina Térmica .....	65
Figura 15 - Máquina Ideal e Máquina Real.....	67
Figura 16 – Ciclo de Carnot.....	68
Figura 17 – Moléculas de borracha. ....	73
Figura 18 – Entropia ( $S$ ) em função do comprimento ( $L$ ). ....	73
Figura 19 – Motor de Elástico e Entropia .....	74
Figura 20 – História dos Motores .....	121
Figura 21 – Funcionamento do Motor de Stirling.....	121
Figura 22 – a) Fixação da madeira; b) Corte do cano de PVC.....	123
Figura 22 – c) Corte do cano de PVC; d) Encaixe do cano de PVC.....	123
Figura 22 – e) Tubo de ensaio com bolas de gude; f) Encaixe da mangueira e rolha .....	124
Figura 22 – g) Encaixe cano ao tubo de ensaio; h) Junção da seringa na mangueira .....	124
Figura 22 – i) Lamparina com álcool; j) Funcionamento Motor de Stirling.....	125
Figura 23 – Simulador de Transformação Gasosa 1 .....	127
Figura 24 – Simulador Transformação gasosa 2.....	128

Figura 25 – Máquina de Hero.....	130
Figura 26 – Vídeo Legendas da Ciência - Episódio "Queimar" .....	134
Figura 27 – Simulador do Motor a Vapor de James Watt.....	135
Figura 28 – Termodinâmica - Evolução das máquinas a vapor .....	136
Figura 29 – Termodinâmica - A revolução industrial .....	136
Figura 30 – Termodinâmica - Leis da termodinâmica .....	137
Figura 31 – Termodinâmica - Motores a combustão .....	137
Figura 32 – Conexão da válvula na mangueira .....	138
Figura 33 – Acoplagem do termômetro e manômetro ao cilindro.....	139
Figura 34 – Rosqueamento da válvula ao cilindro.....	139
Figura 35 – Colocação do cilindro sobre a base .....	140
Figura 36 – Abertura da válvula .....	140
Figura 37 – Máquina de Vapor 1 (construída pelos alunos).....	142
Figura 38 – Máquina de Vapor 2 (construída pelos alunos).....	142
Figura 39 – Máquina de Vapor 3 (construída pelos alunos).....	143
Figura 40 – Máquina de Vapor 4 (construída pelos alunos).....	143
Figura 41 – Simulador de rendimento térmico.....	145
Figura 42 – Motor de elásticos .....	149
Figura 43 – Vídeo <i>Awesome reversed</i> vídeo.....	151
Figura 44 – Vedação da extremidade da mangueira.....	153
Figura 45 – Introdução de bolas de gude aleatoriamente .....	153
Figura 46 – Encaixe da braçadeira na mangueira.....	154
Figura 47 – Finalização do Sistema .....	154
Figura 48 – Realização da brincadeira pelos alunos.....	155
Figura 49 – Vídeo - Além do Cosmos: O Tempo.....	156
Figura 50– Encaixe do soquete no braço de madeira .....	158
Figura 41 – Fixação dos braços de madeira na base.....	159
Figura 52 – Fixação do soquete no braço de madeira .....	159
Figura 53 – Amarração das borrachas no eixo .....	160
Figura 54 – Encaixe da borracha ao aro .....	160
Figura 55 – Junção do sistema à base de madeira.....	161
Figura 56 – Finalização do Motor de Elásticos.....	161
Figura 57 – Simuladores de Processos Reversíveis .....	164
Figura 58 – Videoclipe <i>Reversed Vídeo</i> (Vídeo Invertido).....	165

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) .....	41
Tabela 2 – Transformação Isotérmica.....	52
Tabela 3 – Transformação Isométrica.....	54
Tabela 4 – Transformação Isobárica.....	57
Tabela 5 – Calor, variação da energia interna e realização do trabalho .....	65
Tabela 6 – Exercício sobre Transformações Gasosa.....	84
Tabela 7 – Erros e acertos dos estudantes na atividade.....	84
Tabela 8 – Atividade de transformação de Equivalências.....	93
Tabela 9 – Conteúdo Programático.....	115
Tabela 10 – Atividade sobre transformações de unidades de pressão .....	126
Tabela 11– Unidades de pressão e equivalências.....	142
Tabela 12 – Atividade de transformação de unidades de pressão.....	146

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	19
2.1 DESAFIOS PARA O ENSINO DA FÍSICA NO ENSINO MÉDIO .....	19
2.2 TEORIAS DA APRENDIZAGEM: ARQUITETURA COGNITIVA.....	22
2.2.1 <i>Teoria da Epistemologia Genética</i> .....	24
2.2.2 <i>Teoria da Aprendizagem significativa de Ausubel</i> .....	29
2.2.3 <i>Contribuições de Marco Antonio Moreira</i> .....	33
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	37
3.1 TIPO DE PESQUISA.....	37
3.2 PROCEDIMENTOS DE PESQUISA .....	40
3.3 ELABORAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL.....	41
3.4 APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL.....	42
<b>4 CONTEXTUALIZAÇÃO DOS CONTEÚDOS</b> .....	45
4.1 AS MÁQUINAS TÉRMICAS .....	45
4.1.1 <i>Grandezas termodinâmicas de um gás</i> .....	47
4.1.2 <i>Termodinâmica e o estudo dos Gases</i> .....	49
4.1.3 <i>Transformações Gasosas</i> .....	51
4.2 A TERMODINÂMICA E A MÁQUINA A VAPOR .....	61
4.2.1 <i>O trabalho e as Leis da Termodinâmica</i> .....	61
4.2.2 <i>Leis da Termodinâmica e o Rendimento das Máquinas Térmicas..</i>	63
4.3 ENTROPIA .....	69
4.3.1 <i>Entropia na Borracha</i> .....	71
4.3.2 <i>Entropia e a Flecha do Tempo</i> .....	74
4.3.3 <i>Processos Reversíveis</i> .....	75
4.3.4 <i>Processos Irreversíveis</i> .....	77
<b>5 RESULTADOS OBTIDOS</b> .....	79

5.1 RESULTADOS MOTOR DE STIRLING .....	79
5.2 RESULTADOS DA MÁQUINA A VAPOR.....	87
5.3 RESULTADOS DO MOTOR DE ELÁSTICOS .....	94
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>105</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>108</b>
<b>ANEXO I – PRODUTO EDUCACIONAL .....</b>	<b>114</b>

# 1 INTRODUÇÃO

No contexto atual, o ensino de Física no Ensino Médio tem enfrentado problemas como a falta de pré-requisitos dos estudantes quando se deparam com novos conceitos relacionados com a disciplina. Entre as dificuldades apresentadas pelos alunos destacam-se a carga horária reduzida da disciplina de Física, falta de estrutura para dar suporte no processo ensino-aprendizagem, insuficiência de material didático da disciplina, deficiências na assimilação evidenciadas na área da matemática por parte dos alunos (FERNANDES, 2010).

Segundo os PCN+ Ensino Médio (2002), a disciplina de Física no Ensino Médio deve ser apresentada como um conjunto de competências que possibilitam a percepção e entendimento de fenômenos naturais e tecnológicos. Estas competências visam a compreensão do universo a partir de princípios, modelos e leis construídos ao longo da história da humanidade. Seu domínio requer a percepção da linguagem própria da Física pelo uso de conceitos, expressões e terminologias, além do entendimento de tabelas, gráficos e relações matemáticas (BRASIL, 2002).

Percebe-se que na prática pedagógica há um certo distanciamento e fragmentação entre conteúdos e atividades, falta de interação e participação do estudante em virtude da utilização de uma metodologia de ensino de Física. Estes fatores estão pautados, principalmente, em ações meramente teóricas e de exercícios matemáticos de fixação, tornando as aulas desestimulantes aos educandos.

As dificuldades em relação ao Ensino da Física levam alguns professores desta disciplina a buscarem caminhos para solucionar as deficiências apontadas pelos educandos. Entre as possibilidades, evidenciam-se as metodologias e estratégias pedagógicas diferenciadas como forma de estimular o interesse dos estudantes na ampliação da aprendizagem (FERNANDES, 2010).

Essa preocupação se reflete em uma busca de alternativas que possibilitem o enfrentamento destes problemas por meio de atividades dinâmicas buscando a interação entre o conhecimento empírico e o científico,

estabelecendo vínculos entre a teoria e a prática, para que as metodologias usadas no ensino da Física sejam apresentadas ao estudante de forma mais atrativa. O processo de ensino-aprendizagem, em Física, deve considerar o conhecimento trazido pelos estudantes, resultado de suas experiências de vida em suas relações sociais tornando-se um todo indissociável.

Desta forma, pretende-se neste estudo propor alguns direcionamentos por meio da seguinte questão: Como promover a aprendizagem significativa sobre a Termodinâmica para os estudantes do Ensino Médio durante as aulas da disciplina de Física?

Dentre as metodologias e estratégias pedagógicas utilizadas pelos professores da disciplina de Física visando uma aprendizagem significativa, podem ser citados dispositivos que retêm o interesse e estímulo para a aprendizagem como o desenvolvimento de aulas práticas, uso de experimentos, abordagem metodológica diferenciada e a associação dos conceitos da Física ao dia a dia. Por isso, os conceitos tornam-se mais palpáveis para o estudante, contribuindo para o desenvolvimento da aprendizagem por meio da participação e aplicação da teoria simultaneamente com atividades práticas que envolvam os conceitos e conhecimentos referentes à disciplina de Física (FERNANDES, 2010).

A construção de um conceito de física deve ser iniciada através de situações reais que possibilitem ao estudante tomar consciência de que já tem algum conhecimento sobre o assunto, sendo reconhecido como conhecimento prévio e que dará significado aos novos promovendo a aprendizagem significativa. O fato de conhecer algo referente ao assunto é considerado o fator mais importante para promoção da aprendizagem (BRASIL, 2002).

A aprendizagem significativa acontece quando as ideias expressas simbolicamente interagem de forma substancial e não-arbitrária com aquilo que o estudante já sabe. Ou seja, quando é apresentada um novo conceito que se relaciona com algum conhecimento existente na estrutura cognitiva do sujeito que aprende (MOREIRA, 1997).

Para proporcionar condições de desenvolver uma aprendizagem significativa o professor da disciplina de Física deve dar sentido a aprendizagem de novos conteúdos, fazendo analogia com os conhecimentos já

internalizados pelos estudantes visando dar uma acepção concreta. Essa conduta cria possibilidades de interação com a discussão de possíveis encaminhamentos e suas diferentes compreensões, ressaltando os aspectos da realidade para que a aprendizagem seja significativa (BRASIL, 2002).

A aprendizagem significativa ocorre quando novos conceitos, ideias, proposições, dentre outros, interagem com conhecimentos relevantes e inclusivos, claros e disponíveis na estrutura cognitiva, sendo por eles assimilados, contribuindo para sua diferenciação, elaboração e estabilidade (MOREIRA, 2011a).

Portanto, a aprendizagem significativa pode ser considerada como o entendimento do sentido do conteúdo apresentado, a capacidade de transferência deste conhecimento e a efetiva compreensão. Para que a aprendizagem significativa aconteça, deve necessariamente, haver o conhecimento prévio sobre a temática pelo estudante e sua predisposição em assimilar novos conhecimentos. A percepção dessa dinâmica constitui um dispositivo de substancial importância para os professores da disciplina de Física, visto que o conhecimento que o estudante já dispõe pode ser considerado como âncora para a ampliação e promoção da aprendizagem.

Com efeito, este estudo apresenta como objetivo geral promover a aprendizagem significativa sobre a Termodinâmica para os estudantes do Ensino Médio durante as aulas da disciplina de Física. Os objetivos específicos tratam de: 1) contextualizar o conteúdo da Termodinâmica por meio da construção de máquinas térmicas e utilizá-las como instrumento de apresentação de conhecimento os quais desempenharão o papel de organizadores prévios para uma posterior aprendizagem significativa; 2) discutir a importância da Termodinâmica e sua relevância para a evolução da sociedade; 3) promover a aprendizagem da Termodinâmica por meio da construção de máquinas térmicas durante as aulas de Física para estudantes de Ensino Médio.

Este estudo se justifica pela importância em evidenciar a percepção acerca do tema, estimulando os estudantes para a aprendizagem significativa pela contextualização do conhecimento científico a partir de uma prática previa do tema em questão. Visa oferecer meios, através da ação-reflexão-ação, para



ampliar a discussão sobre a importância de privilegiar a aprendizagem significativa, atendendo aos requisitos individuais de cada estudante mediante relação dialogicamente estabelecida e contribuindo para a assimilação dos conteúdos da termodinâmica durante as aulas visto que a temática apresenta complexidade que dificulta consideravelmente a aprendizagem dos conteúdos. A Física, sendo uma disciplina experimental, deve ser tratada como tal respeitando o acesso a atividades práticas para o trabalho pedagógico.

No entanto, a realidade escolar evidencia a defasagem de materiais e laboratórios, por este motivo, ressalta-se a importância do professor da disciplina privilegiar estratégias que amenizem a carência com a possibilidade da construção da aprendizagem significativa atendendo aos requisitos individuais de cada estudante mediante relação dialogicamente estabelecida. A escolha da Termodinâmica como meio para aplicar a aprendizagem significativa se deve pelo fato de que os alunos apresentam mais dificuldades nestes conteúdos. De forma mais abrangente, o estudo visa ainda socializar a importância de metodologias adequadas à promoção do conhecimento de Física.

Destaca-se que faz parte desta pesquisa a elaboração de um Produto Educacional o qual foi aplicado em sala de aula através da intervenção fundamentada na pesquisa-ação em turma de Formação de Docentes do 3º Ano entre os meses de março e outubro de 2017, servindo de suporte para o desenvolvimento de aulas referentes ao conteúdo da Termodinâmica. Esta metodologia se fundamenta na pesquisa-ação que pode ser conceituada como uma forma de investigação atuante, que se efetiva por meio de projetos visando a autorreflexão na e pela prática educacional realizada coletivamente. O Produto Educacional privilegia a participação ativa do discente no processo ensino aprendizagem, mediante a construção do conhecimento, possibilitando interações pontuais e mediações do professor da disciplina. Trata-se de proposta que visa estimular a pesquisa e a investigação por parte dos estudantes nas aulas da disciplina de Física.

Este estudo está dividido em seis capítulos, incluindo esta introdução. No segundo capítulo será desenvolvido o referencial teórico que abordou sobre as Teorias da aprendizagem abrangendo as respectivas teorias de Piaget e

Ausubel, além das contribuições de Marco Antonio Moreira. Em seguida serão abordados os procedimentos metodológicos que, fundamentaram-se em pesquisa bibliográfica e em pesquisa-ação mediante intervenção realizada com estudantes do Ensino Médio. No capítulo seguinte apresenta-se a contextualização dos conteúdos da Termodinâmica a serem desenvolvidos durante a pesquisa-ação. Posteriormente são apresentados e discutidos os resultados obtidos a partir da aplicação dos conteúdos referentes a cada etapa, planejada anteriormente no Produto Educacional, com a construção dos motores térmicos. Na sequência serão apresentadas as considerações finais deste estudo. No Anexo I, encontra-se o Produto Educacional desenvolvido no decorrer dos estudos.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Neste capítulo serão apresentadas as bases teóricas do trabalho de pesquisa. Primeiramente será comentado sobre os desafios que se apresentam para o Ensino da Física no Ensino Médio na atualidade com a finalidade de elencar as imposições legais no âmbito da educação que constituem os princípios para a formação do educando da disciplina de Física.

Em seguida serão abordados os marcos teóricos presentes nas Teorias da Aprendizagem como fundamento para a arquitetura cognitiva. Serão descritos os processos de aprendizagem apresentados por Piaget, Ausubel e Moreira com suas respectivas teorias, ressaltando a importância dos conhecimentos prévios e a essencialidade de propor atividades práticas como metodologia para a aprendizagem, que balizam a abordagem adotada na elaboração do Produto Educacional.

### **2.1 DESAFIOS PARA O ENSINO DA FÍSICA NO ENSINO MÉDIO**

As mudanças ocorridas no Brasil nestas últimas duas décadas, com a imposição da legislação educacional pela Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (Lei nº. 9394/96), Parâmetros Curriculares Nacionais - Ensino Médio (BRASIL, 1999), Orientações Curriculares para o Ensino Médio (BRASIL, 2006) e as Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica (BRASIL, 2013). Estes documentos visam criar condições para que se possa avançar nas políticas educacionais brasileiras, com vistas à melhoria da qualidade do ensino e à inclusão social.

Os documentos tem a finalidade de levar a educação à articulação do conhecimento com as experiências cotidianas. À escola cabe fazer a interação do conhecimento para formar cidadãos participativos, críticos e autônomos, dotando-os de “autonomia intelectual, assegurando-lhes o acesso ao conhecimento historicamente acumulado e à produção coletiva de novos conhecimentos” (BRASIL, 2013, p. 145).

Em relação ao ensino de Física, as propostas apresentadas pelas

Orientações Curriculares para o Ensino Médio, voltadas para a disciplina de Física, apontam para a formação de um cidadão que possa participar e intervir na realidade. Especificamente, o ensino da Física deve assegurar que a “competência investigativa resgate o espírito questionador, o desejo de conhecer o mundo em que se habita, expandindo a compreensão do mundo, a fim de propor novas questões e, talvez, encontrar soluções” (BRASIL, 2006, p. 53).

Isso implica na mudança do paradigma que se apresenta no contexto do Ensino da Física, a qual, eventualmente, encontra-se distorcida e distanciada das propostas apresentadas pelos documentos legais. Constata-se que, muitas vezes, as aulas de Física são fundamentadas em exercícios puramente mecânicos, memorização de fórmulas e reprodução de soluções-padrão (LOPES, 2015).

Para LIMA (2015) as dificuldades de compreensão do ensino da Física por parte dos estudantes do Ensino Médio também esbarram no grau de abstração e no formalismo matemático. Em face desta situação, a busca por uma nova abordagem pedagógica torna-se um desafio constante do professor de Física, visando à construção do conhecimento com a participação ativa dos discentes de forma funcional, contextualizada e agradável.

MOREIRA (2011b) apresenta dois conceitos fundamentais que podem promover esta nova realidade educativa: aprender a aprender e ensinar a pensar. Estes argumentos evidenciam um modelo de ensino centrado no estudante, tendo o professor como mediador. As propostas opõem-se aos métodos tradicionais de ensino, voltando-se para uma nova abordagem com a apropriação de atividades pedagógicas em que a essência do processo ensino aprendizagem volta-se para o desenvolvimento da capacidade reflexiva, a evolução do espírito crítico investigativo e progressividade da aprendizagem cognitiva.

A aprendizagem cognitiva, de acordo com MOREIRA (1999), é entendida como a assimilação e organização do conhecimento. A estrutura cognitiva torna-se um fator essencial para a assimilação de conhecimentos interferindo de modo significativo na aprendizagem. A estrutura cognitiva do sujeito seria um complexo organizado de esquemas de assimilação. Por este

motivo, é imprescindível que o ensino proporcione a reorganização dos conhecimentos dos educandos para que haja maior proximidade com o conhecimento científico.

Para MOREIRA e OSTERMANN (2005) o construtivismo é uma posição filosófica cognitivista interpretacionista pela qual a aprendizagem é considerada como um processo de construção de conhecimentos e elaboração deste processo com a ajuda do mediador – no entanto, o epicentro está no estudante. Corroborando com estes conceitos ZOMPERO e LABURÚ (2010) apontam que as atividades de ensino têm por finalidade fazer os estudantes construir representações coerentes com o conhecimento científico. Assim, a metodologia utilizada pelo professor poderá ou não favorecer essa construção de significados para o estudante.

Em relação ao ensino da Física no Ensino Médio, a construção de significados da disciplina somente será possível se o educador assumir uma postura construtivista. Neste modelo, o professor apresenta materiais que tem significado para os estudantes, para que sejam explorados e em seguida explorados pelo aluno com a participação do professor como facilitador. Eles conjuntamente discutem o tema para a próxima aula. A oportunidade do discente agir e problematizar a ação possibilita uma melhor compreensão, o que leva à aprendizagem relacional. Na aprendizagem relacional, deve-se respeitar os conhecimentos existentes dos educandos, visto que cada indivíduo possui seu grau de entendimento, desta forma, o conhecimento necessita ser construído a partir do que já foi interiorizado, e não somente transmitido. Portanto, o discente precisa agir, participar, fazer, para poder melhor fixar as aprendizagens.

De acordo com a concepção construtivista as pessoas nascem com predisposição neurofisiológicas para pensar. Estes elementos devem ser desenvolvidos no percurso da vida. Os princípios do construtivismo determinam que as estruturas mentais são construídas em etapas de reflexão e interação com o outro (ARIAS; YERA, 1999). A abordagem construtivista visa à elaboração do conhecimento de maneira que possa ser identificada e empregada no cotidiano, utilizando o que foi aprendido. Isso exige a reorganização dos conhecimentos dos estudantes predispondo-se a aprender,

para uma maior aproximação dos saberes.

Primeiramente o educador deve convencer-se de que ensinar não é apenas transferir conhecimento, e sim, criar possibilidades para que haja sua produção e construção. Em torno deste saber indispensável, elabora-se a máxima do educador Paulo Freire, que afirma em sua obra *Pedagogia da Autonomia* (2005, p. 23) que “quem ensina aprende ao ensinar e que aprende ensina ao aprender”. Pela força criadora do aprender, mediante a dúvida rebelde, a capacidade de arriscar-se e aventurar-se na busca do conhecimento.

Marco Antônio Moreira afirma que para ensinar com significado é necessário que o professor utilize estratégias de ensino e materiais pedagógicos diversificados. Além disso, o professor da disciplina de Física deve adotar postura que deve privilegiar questionamento em relação às respostas prontas, abandonar o modelo de aulas narradas, favorecer o diálogo e a crítica em sala de aula. Para o pesquisador as palavras de ordem para o processo ensino aprendizagem da Física são aprendizagem significativa, mudança conceitual e construtivismo (MOREIRA, 1997).

Por esta perspectiva, pode-se afirmar que durante as aulas de Física, o professor deve privilegiar a proximidade do discente com o conhecimento, onde o mesmo pode estabelecer relações de valor e sentido para sua vida. Desta forma, o professor tem a oportunidade de fazer com que a educação transcenda a escola com força para imbuir o cidadão de capacidade de pensamento, senso crítico, questionamento e sentimentos visando a abrangência de saberes universais e a transformação do contexto social.

## **2.2 TEORIAS DA APRENDIZAGEM: ARQUITETURA COGNITIVA**

As teorias voltadas para a aprendizagem apresentam implicações óbvias para a melhoria e facilitação do processo ensino aprendizagem com a pretensão de fundamentar a “aprendizagem com significado, compreensão, capacidade de explicar, descrever, aplicar, transferir conhecimentos procedimentais e declarativos” (MOREIRA, 2015, p. 7). A teoria da

aprendizagem cognitivista preocupa-se com o processo da compreensão, transformação, armazenamento e uso da informação envolvida na cognição (MOREIRA; MASINI, 2006).

A psicologia cognitiva apresenta a perspectiva de explicar a conduta dos elementos mentais, preocupando-se com a atribuição de significados, compreensão e uso da informação. Estratégias de ensino aplicadas sob os fundamentos da psicologia cognitiva esforçam-se na promoção da aprendizagem, do raciocínio e das habilidades cognitivas dos estudantes (ZOMPERO; LABURÚ, 2010).

As teorias da aprendizagem, voltadas para o entendimento de como se processa a cognição ou como se dá a ação de aprender tem a finalidade de intervir no processo ensino, visando assegurar a aprendizagem. Isso permite garantir a eficácia das práticas pedagógicas garantindo que o processo ensino aprendizagem aconteça. O construtivismo é uma interpelação psicológica de aprendizagem que busca explicar como se processa a compreensão da aprendizagem do discente no contexto formal de ensino e como são modificadas as estratégias de cognição do ser humano no decorrer de sua vida (ARIAS; YERA, 1999).

As dimensões teóricas construtivistas serão aqui apresentadas como norteadores das práticas pedagógicas utilizadas no desenvolvimento e aplicação do Produto Educacional. Com este intuito, propôs-se um ensino da termodinâmica de maneira mediada pelo professor de forma que o estudante seja sujeito de sua aprendizagem, atuando de modo inteligente em busca da compreensão do mundo que o rodeia pautado nos conhecimentos da Termodinâmica, criando relações entre acontecimentos e o meio em que interage.

Entre as teorias da aprendizagem, o modelo construtivista pode ser citado como um dos mais conhecidos no ambiente educacional. A abordagem construtivista é defendida por estudiosos da área da Educação como Jean Piaget e David Ausubel e, mais especificamente na área de Física, por Marco Antonio Moreira – pois, acredita-se, que suas teorias relacionadas à aquisição do processo cognitivo podem contribuir de forma essencial para a aprendizagem da Física.

### 2.2.1 Teoria da Epistemologia Genética

Jean Piaget (1896-1980) define inteligência como sendo uma forma de “equilíbrio na direção da qual as adaptações sucessivas e trocas entre o organismo e o meio são dirigidas”. MOREIRA e OSTERMANN (2005, p. 11) explicam que Piaget utilizou o termo equilíbrio emprestado da Física, que sugere “balanço, um ajuste harmonioso entre pelo menos dois fatores - estruturas cognitivas da pessoa e o meio”.

Para Piaget o processo de construção de conhecimento é originado pela ação do indivíduo mediante os mecanismos de adaptação e organização próprios. O conhecimento advém do comportamento como resultado de uma atividade estruturadora que dá origem a esquemas de ação, quando o sujeito interage com o objeto da aprendizagem. A proposta mais conhecida de Piaget é a classificação do desenvolvimento mental em quatro períodos (sensório motor, pré-operacional, operacional-concreto e operacional formal). No entanto, para este estudo, interessa evidenciar os aspectos da estruturação mental e do funcionamento cognitivo que Piaget denominou de assimilação, esquemas de assimilação, acomodação, equilíbrio, conflito cognitivo, adaptação, conforme apresentado no Esquema da Teoria da Epistemologia Genética da Figura 1.

Figura 1: Esquema da Teoria da Epistemologia Genética



Fonte: PINHO, 2015.



O primeiro princípio é o da assimilação que se inicia pela interação do sujeito com o objeto de estudo. Isso se dá pela construção de esquemas mentais de assimilação, incorporando a realidade a estes esquemas, que permite a compreensão das situações relacionadas ao objeto de estudo apresentado (MOREIRA; MASSONI, 2015).

O princípio da assimilação, relacionado às máquinas térmicas, representa o primeiro contato do estudante com o assunto. Concentra-se na apresentação teórica e abrangente da temática, seu uso na sociedade e a importância do seu desenvolvimento para o processo de evolução da sociedade. Este processamento pode ser evidenciado na abordagem do tema e verificação dos conhecimentos prévios dos estudantes (MOREIRA, 1999).

O esquema de assimilação pode ser descrito como o conjunto de processos que o indivíduo realiza em seu cérebro para adaptar e organizar intelectualmente algo aprendido. Quando o indivíduo não dispõe deste esquema de assimilação, cria-se um conflito cognitivo e, para assimilá-lo, a estrutura cognitiva é obrigada a se modificar ou desistir desta assimilação. Se houve a modificação – ocorre um processo cognitivo de acomodação pela qual o indivíduo constrói novos esquemas de assimilação, fazendo evoluir seu conhecimento (MOREIRA; MASSONI, 2015).

O esquema de assimilação consiste na demonstração do problema, ou seja, quando o professor interroga sobre as diversas utilizações das máquinas térmicas na atualidade. No decorrer dos questionamentos, ocorre um processo progressivo de interpretação, assimilando conteúdos aos fenômenos percorridos durante a apresentação da problemática apresentada. A acomodação consiste na reestruturação da assimilação e o estabelecimento de equilíbrio entre a assimilação e a acomodação resulta na adaptação à nova situação, gerando um estado de equilíbrio (MOREIRA; MASSONI, 2015). A acomodação representa a interiorização dos processos de funcionamento e reconhecimento da importância das máquinas térmicas para o crescimento da sociedade. Este princípio pode ser alcançado pelo desenvolvimento da etapa de Recursos e montagem das máquinas térmicas.

No princípio da equilibração as estruturas da mente se movem para o estado de reorganização e equilíbrio tornando-se mais pronunciadas e mais

delineadas do que anteriormente. Experiências acomodadas dão origem a novos esquemas de assimilação, alcançando-se um novo estado de equilíbrio (MOREIRA; OSTERMANN, 2005). O princípio da equilibração evidencia que a mente está constantemente em busca do equilíbrio cognitivo sendo essencial para a evolução da mente humana no que se refere-se à aprendizagem, quanto mais complexos os esquemas de assimilação maior é a aprendizagem (MOREIRA; MASSONI, 2015).

Em relação ao ensino da termodinâmica, a teoria da Epistemologia Genética de Piaget aponta que os conteúdos devem ser apresentados levando em consideração o nível de equilibração dos estudantes. Por isso, o professor de Física deve dar as direções pela promoção de atividades que contribuam com a formação de conceitos próprios para o estudante modificando-os de forma que os estudantes não sejam sobrecarregados de conteúdos complexos demais para seu estágio de entendimento cognitivo, adaptando o conhecimento.

O princípio da equilibração, especificamente voltado para a abordagem do assunto máquinas térmicas para o Ensino Médio, consiste na efetivação de um novo formato de acomodação cognitiva ou armazenamento dos conhecimentos, abrangendo, inclusive as aprendizagens recentes. Este processo pode ser alcançado por meio da etapa denominada de Aplicabilidade e relevância (MOREIRA, 2016a).

O conflito cognitivo acontece quando o indivíduo é confrontado com o esquema de assimilação. Se não houver conflito cognitivo, não haverá aprendizagem. Cabe ressaltar que o conflito cognitivo não deve ser tão grande, de forma que o estudante desista da aprendizagem (MOREIRA; MASSONI, 2015). Esse conflito cognitivo pode ser evidenciado pelo contato participativo do estudante na construção e promoção do funcionamento das máquinas térmicas que o permite experienciar ativamente cada situação apresentada em sala de aula construindo seu próprio conhecimento.

A teoria da Epistemologia Genética de Piaget pode contribuir para com as aulas do conteúdo de termodinâmica no sentido de propiciar situações práticas planejadas intencionalmente para promover o processo de aprendizagem da disciplina de Física, como neste caso, relacionada com as

máquinas térmicas. As atividades práticas são fundamentais para a promoção do processo ensino aprendizagem tornando-se elementos importantes para aprimorar e desenvolver o conhecimento dos estudantes de forma significativa. Pelo exposto, quando o professor de Física reconhece os conhecimentos prévios dos estudantes, poderá apresentar novos conhecimentos muito mais elaborados e complexos.

O professor da disciplina de Física, como mediador entre os conhecimentos já interiorizados e os novos conhecimentos, ao apresentar os conteúdos da Termodinâmica deve estar alerta para o processo de conflito cognitivo, de maneira que estes novos conteúdos não sejam tão incompreensíveis que os estudantes desistam da aprendizagem. A adaptação é composta de dois processos distintos que se complementam: assimilação e acomodação. A construção do conhecimento ocorre quando acontecem ações físicas ou mentais sobre objetos que, provocando o desequilíbrio, resultam em assimilação ou acomodação dessas ações e, assim, em construção de esquemas ou de conhecimento, pelo equilíbrio alcançado, tornando os conceitos compreensíveis (PRASS, 2012).

Uma alternativa para tornar o conteúdo mais palatável é possibilitar a relação dialógica mediante a discussão do processo histórico cultural da termodinâmica. Esta estratégia pode ser visualizada como uma forma de despertar o interesse pela disciplina por estabelecer relações com as dificuldades da época em que as máquinas foram descobertas, apresentando indícios da história de Savery, Watt, Carnot, Newcomen, Thomson, Joule, Helmholtz, Clausius e tantos outros, que contribuíram para a construção das máquinas térmicas - cada qual ao seu modo, na sua forma de entendimento e, muitas vezes por tentativa e erro, até chegar aos conceitos termodinâmicos conhecidos na atualidade.

A aprendizagem mediada consiste no processo de aprendizagem que se desenvolve mediante a intervenção de elo intermediário entre aprendente e o ambiente a partir da prática de atividades colaborativas entre indivíduos (LOPES, 2015). As situações colaborativas, no produto proposto neste trabalho, podem ser conseguidas pela pesquisa em grupo, pelos debates e pelas discussões dialógicas – estas situações podem promover uma

efetividade nas atividades em grupo, com a abordagem de aspectos da termodinâmica relacionada com o surgimento das máquinas térmicas as quais geram discussões sobre a energia, trocas de calor, sensação de calor, entropia, transformações gasosas, dilatações, movimento dos átomos e das moléculas, processos reversíveis e irreversíveis.

Um exemplo disso é que muitos deles demonstram algum conhecimento sobre o princípio do funcionamento das máquinas térmicas, sobre as trocas de calor e as diferenças de temperaturas como bases de funcionamento de máquinas como ar condicionado, refrigeradores e motores automotivos. No entanto, desconhecem as circunstâncias e razões que levaram à construção das máquinas térmicas em larga escala. Desconhecem que o evento do maquinismo, por volta de 1760, substituiu a energia humana e animal pela força motriz, levando a falência o sistema doméstico de produção pelo surgimento do sistema fabril. O aperfeiçoamento das máquinas térmicas originou o encarecimento dos meios de produção (ferramentas, máquinas, instalações) consolidando a tendência de concentração dos meios de produção a uma pequena parcela da sociedade. Aqueles que não dispunham de meios de produção foram forçados a vender sua capacidade de trabalho, dando origem à separação de capital e trabalho – raiz do capitalismo, que conseqüentemente, separou a sociedade em burguesia e proletariado (QUADROS, 1996).

A ideia de contextualizar historicamente o aparecimento e a evolução das máquinas térmicas leva o estudante a estabelecer uma linha do tempo da composição histórica. Além disso, conduz a compressão dos princípios de troca de calor que ocorrem entre os corpos e ambiente e a produção do trabalho no sistema termodinâmico. Essa compreensão faz com que perceba a importância das máquinas e seu constante aperfeiçoamento para o avanço da industrialização e da tecnologia, aumentando o rendimento fabril e sua inevitável intervenção no contexto econômico e social.

Pelo estudo da termodinâmica o estudante poderá perceber a importância da máquina a vapor, que foi a peça chave que impulsionou o desenvolvimento tecnológico e reestruturação produtiva, em época em que não haviam outras alternativas, além de moinhos limitados a água e ao vento.

Seguindo esse pensamento progressista, os aperfeiçoamentos feitos na máquina a vapor por James Watt permitiu a utilização em diversas outras áreas. Watt foi responsável pela criação do sistema de pistões que possibilitou o aumento no desempenho, dispositivo utilizado no meio automobilístico até a atualidade. O ciclo da máquina a vapor foi marcado por curto espaço de tempo, sendo substituída por novas ferramentas, mas pode ser considerado ponto inicial do crescimento exponencial do homem em relação à tecnologia.

Outro fator a ser observado durante as aulas de Física se refere à apresentação e novos conceitos e conteúdos, visto que devem ser respeitadas as etapas principais para a aquisição do conhecimento que são assimilação, acomodação e equilíbrio possibilitando o amadurecimento e a concretização do saber. Isso desencadeia o desequilíbrio por meio de indagações, despertando o interesse em buscar as respostas para assimilação dos conhecimentos que, finalmente irão acomodar-se originando a aprendizagem e, conseqüentemente, um estado de equilíbrio em forma de espiral mais abrangente.

Neste aspecto, destacamos a importância de privilegiar aos estudantes o contato direto com o conhecimento, de forma que possa participar da sua construção. Este formato pode ser efetuado pela aplicação do Produto Educacional que se trata de um documento suporte para o desenvolvimento de aulas referentes à determinada temática, visando à interação dos estudantes com o professor no processo ensino aprendizagem de forma significativa.

### *2.2.2 Teoria da Aprendizagem significativa de Ausubel*

David Paul Ausubel (1918-2008) elaborou o conceito de aprendizagem significativa como uma teoria de aquisição, “com significados, de corpos organizados de conhecimento em condição formal de ensino”. Nesta perspectiva, se fosse possível isolar a variável que mais influencia a aprendizagem – esta seria o conhecimento prévio do aluno (MOREIRA, 2011a, p. 41).

Os conhecimentos prévios são os saberes que o discente já assimilou. Para que a aprendizagem significativa se efetive, o estudante deve fazer uso

dos conhecimentos prévios de maneira substantiva e não arbitrária, para poder captar os significados dos materiais educativos (MOREIRA, 2012).

Em contraste à aprendizagem significativa, Ausubel denomina a aprendizagem mecânica (ou automática) como sendo a aprendizagem de novas informações com pouca ou nenhuma interação com conceitos relevantes existentes na estrutura cognitiva do estudante. Quando isso acontece, a nova informação é armazenada de forma aleatória. “Não há interação entre a nova informação e aquela já armazenada. O conhecimento assim adquirido fica arbitrariamente distribuído na estrutura cognitiva, sem ligar-se a conceitos subsunçores específicos” (MOREIRA, 1999, p. 154).

Entretanto, quando o estudante não possui estes conhecimentos prévios ou preexistentes deve apresentar características como determinado grau de clareza, estabilidade e diferenciação. Sugere-se a utilização de organizadores prévios que são “recurso instrucional apresentado em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade em relação ao material de aprendizagem” (MOREIRA, 2012, p. 11).

Os organizadores prévios, de acordo com MOREIRA (2010), são materiais introdutórios apresentados antes do material de aprendizagem propriamente dito, em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade. Este processo serve de “ponte” entre o que o aprendiz já sabe e o que ele deveria saber para que esse material fosse potencialmente significativo. Os organizadores prévios podem se apresentar sob a forma de textos, filmes, esquemas, desenhos, fotos, perguntas, mapas conceituais, entre outros, que são apresentados ao estudante, em primeiro lugar, em nível de maior abrangência, permitindo a integração dos novos conceitos aprendidos, tornando mais fácil o relacionamento da nova informação com a estrutura cognitiva já existente (MOREIRA; MASINI, 2006).

Seguindo esta linha de pensamento que evidencia os organizadores prévios como intermediação entre o que o estudante já sabe e o que o professor planejou ensinar, optou-se neste estudo utilizar as máquinas térmicas como fundamento para a elaboração do Produto Educacional. O Produto Educacional servirá de apoio para a aplicação do projeto de intervenção, apresentando: Motor Stirling, Máquina a vapor e Motor de Elástico.

Estas máquinas térmicas, além de servirem de contextualização histórica e teórica que fundamentam o conteúdo a ser desenvolvido de forma diferenciada, representam os subsunçores para a efetivação da aprendizagem significativa. Durante a apresentação das máquinas térmicas, desperta nos estudantes um processo de assimilação entre o conhecimento popular, advindo das suas relações sócio, econômicas e culturais e o conhecimento científico, apresentado pelo professor. O conhecimento prévio ou subsunçor funciona como elo entre o que o estudante conhece e as novas aprendizagens. Em outras palavras, constitui-se na nova informação que se relaciona ao conceito subsunçor que já existe no cognitivo (foi assimilado) que posteriormente será modificado pelas interações dos conhecimentos (anterior e novo) (MOREIRA, 2012).

Por exemplo, no que tange a entropia, o estudante possui a compreensão prévia mínima do que ocorre no universo e que pode relacionar-se a uma determinada desordem. Porém este não sabe o que causa esta “desordem” e nem mesmo quais as consequências disto. Portanto, não consegue relacionar ou diferenciar processos reversíveis e irreversíveis que ocorrem no seu cotidiano. Neste ponto, o professor poderá estabelecer o conhecimento das máquinas térmicas com o fenômeno da entropia, isto porque não é possível usar integralmente todo o calor da fonte para promover o trabalho. Segundo FOGAÇA (2017), a energia que é dissipada na forma de calor é convertida em uma forma de energia mais espalhada, e por isso, mais entrópica aumentando a desordem do sistema. Isso implica em saber que a qualidade das situações planejadas e sistematizadas são pontos importantes para o processo ensino aprendizagem.

Portanto, a teoria de Ausubel fala da aquisição de conhecimento de forma significativa para o estudante. Isso só se consegue quando o professor souber o que o aluno já sabe sobre o conteúdo que deseja trabalhar. A partir do relacionamento do conteúdo da disciplina com o conhecimento que o discente já possui, a aprendizagem passa a um estágio no qual é caracterizada como aprendizagem significativa.

Em relação ao conteúdo da termodinâmica, percebe-se que é possível ilustrar fenômenos que ocorrem no cotidiano com as leis da termodinâmica. Um

exemplo muito simples de relações entre o conhecimento do estudante e o conteúdo, pode ser a própria utilização dos motores automotivos que se baseia diretamente no comportamento dos gases. O estudante geralmente pouco sabe que o funcionamento de um motor somente é possível devido à alta pressão interna do recipiente. Quando o pistão do motor é empurrado, este realiza trabalho gerando movimento. A abertura das válvulas de exaustão permite que os gases provenientes da combustão sejam expelidos devido à alta pressão. O meio externo para onde o calor é despejado exerce o papel de fonte fria no contexto das máquinas térmicas. Este mecanismo, por exemplo, pode representar algumas transformações gasosas que ocorrem nesse processo (conceitos esses que não costumam ser comuns aos educandos). O conhecimento prático da utilização de ferramentas termodinâmicas pode ser o ponto de partida para a explicação e compreensão das leis da termodinâmica, o comportamento dos gases e os fenômenos causados pela transformação da energia.

No conteúdo de termodinâmica existem muitas possibilidades de relacionar o conhecimento de algo que o estudante já conhece, mesmo que parcialmente, como é o caso da combustão do combustível no motor de um automóvel. Para explicar o ciclo de Carnot, pode-se iniciar deste ponto, visto que o rendimento do motor de um automóvel é muito menor do que capacidade de combustão. O potencial de rendimento nesta situação é de aproximadamente 25%. Esta descoberta deve-se a Nicolas Léonard Sadi Carnot (1716-1832) que percebeu e demonstrou por meio de cálculos de um ciclo termodinâmico idealizado que, por mais que as máquinas térmicas fossem melhoradas para ampliar o rendimento, estariam sempre limitadas a uma eficiência máxima determinada pelas temperaturas das fontes térmicas de onde de absorve e despeja calor. Isso o fez constatar uma limitação física nas transformações de energia presentes na natureza e que não seria possível usar a energia de uma fonte quente de uma máquina térmica que trabalha em ciclos e transformá-lo integralmente em trabalho mecânico. Carnot definiu que todo resultado do trabalho termodinâmico precisa desperdiçar energia na forma de calor, porque se isso não acontecer, o sistema não funciona. Assim, Carnot propôs a teoria do rendimento máximo, conhecida até hoje como ciclo de



Carnot.

Outro exemplo da relação existente entre conhecimento prévio e científico pode ser destacado através do conhecimento dos estudantes sobre o fato dos motores transformarem a energia potencial química das substâncias combustíveis em energia mecânica. No entanto, não conseguem estabelecer uma relação entre o consumo de energia e o trabalho realizado. Isso porque, raramente são percebidas as transformações gasosas que ocorrem no ciclo do motor e tampouco os aspectos da dilatação dos gases e componentes mecânicos.

O conhecimento do estudante normalmente está restrito à expansão dos corpos sem relacioná-las às variações da temperatura que podem resultar em contrações e expansões em todas as dimensões possíveis. Neste contexto, pode-se afirmar que o planejamento das aulas de Física requer profunda reflexão por parte do professor da disciplina, visando desenvolver uma prática pedagógica dinâmica e criativa, que privilegie a participação do estudante na construção do conhecimento.

Outro fator que deve ser evidenciado no material proposto neste trabalho é a constante participação dos discentes nas aulas de Física, com a oportunidade de interagir a todo o momento com a prática da construção das máquinas térmicas. Esta interação do estudante com o objeto de estudo, com seus pares e o professor no papel de mediador, permite a troca de conhecimentos. As interações pontuais do professor de Física permitem a união de saberes, estabelecida mediante a transformação, evolução e aperfeiçoamento deste conhecimento.

Por este motivo, destaca-se a importância da adoção de Produto Educacional elaborado planejado para estimular a pesquisa e a investigação nas aulas da disciplina de Física.

### *2.2.3 Contribuições de Marco Antonio Moreira*

O físico Marco Antonio Moreira aprofundou o conceito formulado inicialmente por Ausubel, criando o conceito de Aprendizagem significativa Crítica. A Aprendizagem significativa Crítica evidencia a importância de

proporcionar ao estudante condições de elaborar o conhecimento pelo prisma da criticidade, podendo participar ativamente das transformações sociais.

Em suas publicações, MOREIRA (1997; 1999; 2010; 2011a; 2011b; 2011c) incentiva a utilização de estratégias e práticas educativas diferenciadas ao abordar os conteúdos da disciplina de Física, com o propósito de tornar as aulas mais significativas para o estudante. Entre as estratégias e ações indicadas por Moreira em seus estudos e utilizadas neste trabalho para melhorar a qualidade do Ensino de Física, destacam-se:

- Centrar o processo de aprendizagem no estudante estabelecendo relação dialógica, com interação professor-aluno, aluno-aluno. Para que isso seja possível, o ensino deve ser organizado de modo a prover situações que os alunos devam resolver colaborativamente, em pequenos grupos. Pode ser um projeto, um problema clássico (exemplar), um problema aberto, uma prática de laboratório, a análise crítica de um texto literário, uma dramatização. Desta forma o estudante torna-se responsável por sua própria aprendizagem (MOREIRA, 2010, p. 5).

- Abandono da prática da aula expositiva ou da narrativa por parte do professor de física. Segundo Moreira, esta atitude implica a busca de maneiras de ensinar, nas quais, metaforicamente, o professor fale menos, narre menos, e o estudante fale mais, participe criticamente de sua aprendizagem (MOREIRA, 2010).

- Estimular a pesquisa e investigação visto que investigar é produzir conhecimentos através de uma busca de respostas para determinadas questões-foco. O ser humano é por natureza um investigador, pois sempre esteve preocupado em explicar, ou seja, em obter respostas sobre o universo em que vive em termos macroscópicos (cosmológicos), microscópicos (atômico, elementar), cotidiano (o fluxo de eventos no qual está imerso) e sobre seu universo pessoal (sua mente, por exemplo) (MOREIRA, 2016b).

MOREIRA (2011c) elaborou uma sequência didática fundamentada nas Teorias de Aprendizagem para articular o ensino da Física em sala de aula. Esta sequência didática foi nomeada de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) – trata-se de um roteiro de atividades fundamentado na teoria da aprendizagem significativa que tem como finalidade estimular a

pesquisa aplicada em educação e incentivar a prática do uso de teorias de aprendizagem, podendo ser seguido pelo professor para a apresentação de conteúdos de Física. As UEPS são usadas para facilitar o processo de Aprendizagem significativa Crítica que pressupõe o ensino da Física por etapas sequenciais, que devem ser planejadas antecipadamente pelo professor.

O emprego da sequência didática como metodologia para articulação dos conteúdos da Termodinâmica ajusta-se convenientemente com a adoção do Produto Educacional como ferramenta a ser seguida para o desenvolvimento das aulas da disciplina de Física. A sequência didática proposta permite que o estudante participe ativamente das atividades, produzindo o conhecimento de forma personalizada, atendendo aos requisitos individuais e específicos de cada estudante mediante relação dialogicamente estabelecida. Ressalta-se a importância do professor da disciplina, que atua como mediador do processo ensino aprendizagem, facilitando a compreensão dos conteúdos e a assimilação dos conhecimentos pelos estudantes.

Pelos pressupostos teóricos apresentados, percebe-se que ambas as teorias da aprendizagem - Teoria da Epistemologia Genética e Teoria da Aprendizagem significativa voltam-se para elaboração da aprendizagem centralizada no aluno, somente assim, é possível obter uma aprendizagem significativa. Por este motivo, fica clara a importância da atuação do professor da disciplina de Física como elemento que direciona a evolução cognitiva, alargando os horizontes da compreensão dos seus estudantes promovendo aprendizagem significativa.

O professor, neste contexto, assume o papel de mediador do processo ensino aprendizagem com ênfase em tornar o ensino da Física uma ação diretamente vinculada com a vivência e as experiências do cotidiano dos estudantes. Por isso a apresentação dos conteúdos da disciplina deve ser efetuada de forma intencional, planejada e sistematizada. O professor deve observar que a apresentação dos conceitos não seja classificada pelos estudantes como difícil demais de serem entendidos.

De acordo com a teoria proposta por Ausubel, o conteúdo deve estar pautado em subsunçores que são conhecimentos assimilados anteriormente que tem a capacidade de dar significado a um novo saber. Estes subsunçores

servem de base para que o estudante possa ancorar seu entendimento para posterior compreensão de outros fatores relacionados à temática visando um maior estabelecimento, evolução e abrangência da aprendizagem.

É importante que haja o diálogo sobre a situação, o conteúdo apresentado e a atividade prática a ser desenvolvida. Esse diálogo entre o docente e os discentes representa a possibilidade de poder trocar ideias e conceitos acerca do que foi aprendido, visa ao estudante a possibilidade de ser mais autônomo, colaborando com o processo de socialização e comunicação ao alcançar uma melhor compreensão do universo em que vive, interiorizando os conhecimentos e tecendo reflexões acerca dos acontecimentos e situações vivenciadas no cotidiano.

### **3 METODOLOGIA**

Neste tópico apresentam-se as etapas realizadas para a construção deste estudo com a descrição da abordagem metodológica adotada para a elaboração do Produto Educacional. Inicialmente foi realizada uma pesquisa bibliográfica para fundamentação da parte teórica sobre ensino da Física e conceitos pertencentes a área da Termodinâmica. Pela reflexão e análise, aliado ao fato de haver possibilidade de escolha de turmas, optou-se pela intervenção desta pesquisa junto aos estudantes da turma de 3º Ano do curso de Formação de Docentes. A escolha desta turma visa valorizar o curso de Formação de Docentes que tem como base o ensino.

Para tanto, inicialmente foram construídas as máquinas térmicas pelo professor e depois apresentadas aos estudantes, que, logo após, em grupos, construirão as suas próprias máquinas. A pesquisa de material didático embasará a elaboração das etapas do Produto Educacional com explicações teóricas, atividades diversificadas, questionamentos e avaliações. O Produto Educacional será utilizado durante as aulas da disciplina de Física, visando proporcionar ao estudante uma diferenciação metodológica tornando sua aprendizagem mais significativa para os conteúdos da Termodinâmica.

#### **3.1 TIPO DE PESQUISA**

A metodologia deste estudo pode ser dividida em duas partes. A primeira etapa é a teórica, que abrange o método de estudo e embasará as ações docentes durante o processo de implementação do Produto Educacional. Os objetivos a serem atingidos durante a implementação, a abordagem da situação problema e os procedimentos metodológicos utilizados no trabalho são pertencentes a primeira parte. A segunda etapa é a prática que se constitui nos processos de construção das máquinas térmicas, através das inter-relações desenvolvidas pelos estudantes e mediadas pelo professor, caracterizando um processo de pesquisa ação, também denominada como pesquisa ativa.

Na etapa teórica, em relação a metodologia aplicada a este estudo é o método dedutivo, onde parte das leis e teorias prediz a ocorrência de fenômenos particulares, em conexão descendente, que a partir de princípios gerais e fatos particulares sejam deduzidos (LAKATOS; MARCONI, 2005). Os objetivos evidenciam pesquisa exploratória e descritiva já que a pesquisa exploratória tem por objetivo familiarizar-se com o fenômeno e com o propósito de descobrir relações existentes entre os elementos pesquisados. A natureza descritiva do fenômeno está pautado na descrição das características, propriedades ou relações existentes na comunidade, grupo ou realidade pesquisada (CERVO; BERVIAN, 2002).

Em conotação com o problema de pesquisa o estudo foi caracterizado pela abordagem qualitativa. Essa abordagem evidenciou-se a partir de elementos, fenômenos, fatos e fatores vivenciados pelos estudantes em suas ações cotidianas, onde serão comparados e analisados com conceitos científicos intrínsecos na termodinâmica.

Quanto aos procedimentos o estudo utilizou-se de pesquisa bibliográfica. Em seguida realizou-se análise criteriosa do conteúdo abordado em cada documento indexado referente ao assunto sobre a utilização de máquinas térmicas para o ensino da termodinâmica no ensino médio visando a aprendizagem significativa.

A etapa prática se fundamenta na pesquisa-ação, que constitui a intervenção junto aos estudantes do 3º ano do curso de Formação de Docentes pertencentes a instituição de ensino Colégio Humberto de Alencar Castelo Branco – Ensino Normal e Médio do município de Santa Helena – PR. Na pesquisa ação o proponente da pesquisa desempenha um papel ativo junto aos estudantes como mediador entre os conhecimentos advindos destes e a nova metodologia de aprendizagem proposta, contextualizando a realidade dos fatos vivenciados pelos estudantes com o novo método científico apresentado.

De acordo com THOLLENT (2005) a pesquisa-ação se fundamenta no empirismo sendo desenvolvida estreita relação ou associação com uma ação ou com a resolução de um problema coletivo, em situação nos quais o pesquisador e os participantes estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo da resolução de determinado problema. A pesquisa-ação é

caracterizada como uma pesquisa participante engajada, procurando unir a pesquisa à ação ou prática. Desta forma, pode-se dizer que a pesquisa-ação é uma maneira de realizar pesquisa em situações em que se é uma pessoa envolvida na prática e que deseja melhorar a compreensão pela necessidade de superar a lacuna entre teoria e a prática.

Como principais aspectos a pesquisa-ação pode ser considerada uma estratégia metodológica da pesquisa social na qual há uma ampla e explícita interação entre pesquisadores e pessoas implicadas na situação investigada, apesar do objetivo da investigação não é constituído pelas pessoas e sim pela situação social e pelos problemas de diferentes naturezas encontradas nesta situação. Desta interação resulta a ordem de prioridade dos problemas as serem pesquisados e das soluções a serem encaminhadas sob forma de ação concreta (THIOLLENT, 2005, p. 16).

Pode-se afirmar que a pesquisa-ação apresenta características de pesquisa participante engajada com profundo envolvimento, na qual existe uma “ampla e explícita interação entre pesquisadores e pessoas implicadas na situação investigada” (THIOLLENT, 2005, p. 16), oportunizando o aprender fazendo e o fazer aprendendo pelas próprias experiências, é aprendiz-educador, agente perpetuador do aprendido, por meio do diálogo e do “encontro de saberes”.

No trabalho, a pesquisa-ação consiste na participação do proponente da pesquisa mediante a aplicação do Produto Educacional de maneira intencional e planejada, a fim de investigar sobre a temática junto aos estudantes, no ambiente escolar. O contato com a realidade dos estudantes quando da apresentação do conteúdo da Termodinâmica pode oferecer subsídios para que o pesquisador possa privilegiar a aprendizagem significativa.

A análise reflexiva do pesquisador sobre as dúvidas, anseios e assimilações dos estudantes durante o desenvolvimento da intervenção abordando as máquinas térmicas representa campo para a melhoria dos elementos que integram a aprendizagem. A reflexão sobre a prática e o objeto de estudo de forma mais densa, oferece subsídios para uma maior abrangência do conhecimento do pesquisador em relação ao processamento cognitivo do discente, levando ao aprimoramento da prática. Para os estudantes, a pesquisa-ação possibilita a fundamentação da compreensão por

meio da participação efetiva.

### **3.2 PROCEDIMENTOS DE PESQUISA**

Após a realização da pesquisa para a fundamentação teórica sobre o ensino da Termodinâmica no Ensino Médio foi possível refletir acerca das práticas pedagógicas desenvolvidas em sala de aula durante as aulas de Física. A partir da constatação das dificuldades, tanto por parte dos estudantes em relação a compreensão do conteúdo da disciplina como da complexidade que se apresenta para o professor de Física em promover a aprendizagem dos conteúdos, optou-se pela elaboração do Produto Educacional para auxiliar na minimização dos obstáculos impostos pelas circunstâncias nas quais o Ensino de Física está inserido.

O Produto Educacional é um material instrucional, resultado da articulação entre o ensino e a pesquisa de mestrado, que poderá ser utilizado por professores da disciplina de Física como recurso para aprendizagem. As atividades previstas no Produto Educacional voltam-se ao aprimoramento na maneira com que os conteúdos de termodinâmica podem ser abordados em classe, de forma que os estudantes estabeleçam vínculo entre a teoria e a prática, melhorando o interesse pela disciplina de física e, conseqüentemente, adquirindo maior conhecimento. Essas contribuições estão pautadas e presentes nas teorias da aprendizagem que norteiam esse trabalho.

O Produto Educacional foi aplicado em sala de aula com a posterior apresentação dos resultados da experiência na implementação deste. Durante a intervenção, inicialmente foi apresentado pelo professor aos estudantes o funcionamento das máquinas, que após foram construídas em grupos e exploradas durante as atividades propostas.

Estas atividades desenvolvidas contaram com a participação ativa dos estudantes, mediada pelo professor com base na relação dialógica entre os envolvidos, considerando diferentes pontos de vista sobre a importância e relevância da termodinâmica. As máquinas térmicas cumprem o papel de organizadores prévios de subsunçores para o aprendizado, proporcionando



uma abordagem ativa dos temas da termodinâmica, servindo ainda para a contextualização de diferentes aspectos que se encontram inserida nesta temática.

### 3.3 ELABORAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

O Produto Educacional contempla os conteúdos da Termodinâmica abordados durante a intervenção junto aos estudantes, de acordo com as diferentes características apresentadas, sendo adaptável às necessidades particulares da turma e dos estudantes. Uma característica marcante da turma, constata-se no fato de ter a disciplina de física pela primeira vez no currículo dos estudantes, motivo pelo qual priorizou-se uma abordagem mais conceitual sobre a temática.

O Produto Educacional, resultado da aplicação desta pesquisa-ação, durante a elaboração da dissertação de mestrado será uma sequência didática. A construção desta sequência didática foi adaptada das Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) criadas por Moreira (2011). Trata-se de um roteiro de apresentação dos conteúdos distribuídos em seis passos, conforme apresentado na Tabela 1:

Tabela 1 - Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS)

<b>Baseada nas Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS)</b>		
<b>Sequência</b>	<b>Procedimentos Metodológicos</b>	<b>Teoria (s) da Aprendizagem</b>
1ª Aula: Abordagem do tema e verificação do conhecimento prévio	Nesta etapa, é abordado o conteúdo da Termodinâmica aos estudantes por meio de relação dialógica. Durante a atividade deve deixar que os próprios estudantes apresentem e externem seus conhecimentos e conceitos sobre a temática, independentemente de estar certo ou errado. Pela relação dialógica entre o docente e os discentes haverá oportunidade de o professor situar o nível de conhecimento que os estudantes já têm sobre o assunto, ou seja, verificar o conhecimento prévio dos estudantes.	Teoria da Epistemologia Genética e Teoria da Aprendizagem significativa
2ª Aula: Apresentação da situação problema	Trata-se da inserção da situação problema levando em consideração o conhecimento do estudante, por meio dos organizadores prévios. O conteúdo deve ser iniciado pelo assunto mais abrangente, mas factível de entendimento, usando para isso problemas do cotidiano.	Teoria da Aprendizagem significativa

<b>Baseada nas Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS)</b>		
<b>Sequência</b>	<b>Procedimentos Metodológicos</b>	<b>Teoria (s) da Aprendizagem</b>
3 <sup>a</sup> Aula: Embasamento teórico	Pode ser apresentado em forma de texto, vídeo e outros materiais, observando a progressão da temática e o direcionamento ao objetivo específico do conteúdo. Focar as atividades naquilo que se pretende ensinar.	Teoria da Epistemologia Genética e Teoria da Aprendizagem significativa
4 <sup>a</sup> Aula: Recursos e montagem das máquinas térmicas	Demonstrar o que se pretende com o experimento, verificar o nível de acompanhamento mental e compreensão do estudante. Nesta fase, o professor pode aumentar a complexidade da temática, com a elucidação de significados amparados pela prática, com a mediação do professor para a construção do conhecimento.	Teoria da Epistemologia Genética e Teoria da Aprendizagem significativa
5 <sup>a</sup> Aula: Aplicabilidade e Relevância	Nesta etapa demonstra-se a aplicabilidade do conteúdo e sua relevância para a sociedade propondo novas situações problema, induzindo a níveis mais altos de complexidade em relação às situações anteriores. Além disso, privilegia-se as atividades em grupo de forma colaborativa.	Teoria da Epistemologia Genética e Teoria da Aprendizagem significativa
6 <sup>a</sup> Aula: Avaliação (debate em grupo/discussão e diálogo)	O processo de avaliação é realizado pela prática dialógica (professor-aluno; aluno-aluno), relativas à compreensão do conteúdo com a capacidade de empreender e utilizar os significados e, finalmente, de comunicar o conhecimento aos demais.	Teoria da Epistemologia Genética e Teoria da Aprendizagem significativa

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Num segundo momento, espera-se que este Produto Educacional possa ser utilizado por outros professores da disciplina de Física como um apoio para o desenvolvimento das aulas. A pretensão é que este material seja usado de acordo com as necessidades vivenciadas no cotidiano de cada professor ou escola, podendo ser aplicado integral ou parcialmente e, se necessário, poderá ser modificado ou adaptado para suprir as necessidades de acordo com o público ou ambiente.

### **3.4 APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL**

O Produto Educacional é resultado da reflexão construída pelo professor para oferecer aos educandos uma prática pedagógica de forma dinâmica privilegiando a participação, com a perspectiva de centrar o processo ensino aprendizagem no estudante, estimulando a pesquisa e a investigação durante

as aulas da disciplina de Física. O Produto Educacional é um material instrucional, que poderá ser utilizado por professores da disciplina como recurso para aprendizagem durante as aulas relativas ao conteúdo da Termodinâmica.

A decisão da elaboração e aplicação de material voltado para minimizar o impasse referente à aprendizagem dos conteúdos foi tomada a partir da constatação das dificuldades, quanto por parte dos estudantes em relação a compreensão e assimilação dos conteúdos da disciplina de Física, mais precisamente quando se refere ao assunto Termodinâmica, visto que a temática apresenta complexidade que dificulta consideravelmente a aprendizagem dos conteúdos.

Por este motivo, optou-se pela elaboração do Produto Educacional, apresentado na íntegra no Anexo I, para auxiliar na minimização destas dificuldades com o planejamento de atividades voltadas para a ação docente, visando à discussão dos conteúdos com qualidade, de forma que os estudantes estabeleçam vínculo entre a teoria e a prática, pautada nas contribuições das teorias da aprendizagem. O público alvo não estava familiarizado à disciplina de Física o que inicialmente provocou, por parte dos estudantes, algum temor em relação a compreensão e matematização do conteúdo e dúvidas quanto a perspectiva de aprendizagem significativa por parte do professor da disciplina.

O Produto Educacional sugere um roteiro de atividades para serem desenvolvidas nas aulas de Física, fundamentadas na termodinâmica e no processo de criação e evolução das máquinas térmicas com o estabelecimento de relações com os conteúdos curriculares. O tema “Termodinâmica” permite atividades de investigação, discussão ativa e dialógica a partir da construção das máquinas térmicas sobre abordagem de conteúdos relacionados às leis da termodinâmica, pressão, volume, temperatura, calor, transferência de calor, energia, entropia, dilatação, transformações gasosas, processos reversíveis e irreversíveis, possibilitando que o estudante melhore a sua compreensão sobre os conceitos abordados.

A aplicação do Produto Educacional foi dividida em três etapas. Cada uma das etapas foi fundamentada pela construção de uma máquina térmica,

sendo escolhidos para este estudo o Motor Stirling, a Máquina a vapor e o Motor de Elástico. As atividades foram programadas com base nas sequências didáticas, sendo formadas por 6 aulas em cada etapa, totalizando 18 aulas, as quais serão norteadas pela UEPS.

## **4 CONTEXTUALIZAÇÃO DOS CONTEÚDOS**

Neste capítulo serão relatados os conteúdos que servirão como embasamento teórico nas construções das máquinas térmicas presentes no Produto Educacional (Anexo I) nas seções 4.1, 4.2 e 4.3 e que serão abordados de forma contextualizada no Produto Educacional deste trabalho. Esses conteúdos estarão distribuídos neste capítulo de acordo com as etapas apresentadas no Produto Educacional. A seção 4.1 deste capítulo refere-se aos conteúdos trabalhados no item 1 (Motor de Stirling), a seção 4.2 refere-se aos conteúdos trabalhados no item 2 (Máquina a Vapor) e a seção 4.3 trata dos conteúdos que serão trabalhados no item 3 (Motor de Elásticos) que estão inseridos no Produto Educacional.

A utilização das máquinas térmicas serve como base para a contextualização dos conteúdos da termodinâmica e como material pedagógico para apresentação, explicação e desenvolvimento da temática. Neste Produto Educacional, a opção pelo uso das máquinas térmicas foi adotada pelo fato de acreditarmos que estes modelos podem auxiliar a compreensão dos estudantes sobre a termodinâmica, principalmente pela intervenção de forma prática com a participação ativa dos estudantes, como ressaltado pelas teorias da aprendizagem.

Estes conteúdos foram abordados dialogicamente com os estudantes entre a demonstração e a construção dos motores térmicos. O propósito da demonstração e posterior apresentação dos conteúdos é provocar/instigar o estudante na busca por informações para aprimorar seu conhecimento e que o conteúdo tenha significado em seu cotidiano.

### **4.1 AS MÁQUINAS TÉRMICAS**

No século XVII as máquinas térmicas foram aperfeiçoadas por James Watt, amenizando o percentual de perda de calor entre os processos de resfriamento e aquecimento do cilindro, acoplando um condensador separado. O condensador diminuiu consideravelmente o desperdício de

energia e por consequência melhorou a potência, a eficiência e a relação custo-benefício. Após esse ajuste ser feito, as máquinas térmicas foram utilizadas em larga escala nos setores produtivos, modificando os modos de produção, comércio, economia e sociedade em geral. Seu objetivo maior era o estudo e aplicação das transformações da energia térmica proveniente da queima de carvão em energia cinética a fim de movimentar pistões e proporcionar uma melhor qualidade de vida através da transformação que hoje consideramos simplória (QUADROS, 1996).

O surgimento das máquinas térmicas para a época da revolução industrial, pode ser considerado como um evento de grande inovação dentro das ciências, bem como na organização social. A utilização destas máquinas retirou o homem da era braçal, levando-o para a era do vapor, substituindo o trabalho do homem pelo trabalho termodinâmico, desenvolvido pelas máquinas a vapor. Esta dissertação apresentará a construção de três máquinas térmicas, o motor de Stirling, a Máquina a Vapor e o Motor de Elásticos que estarão inseridos em três etapas dentro do Produto Educacional (Anexo I).

A finalidade do estudo destas máquinas térmicas vai além de resgatar a história do surgimento das mesmas, mas também suas contribuições para a sociedade e avanços tecnológicos. Através do surgimento das máquinas térmicas iniciou-se o estudo de um ramo da Física denominado termodinâmica que estuda as inter-relações da transformação do calor em trabalho e que veremos com maior ênfase na sequência deste estudo.

A abordagem dos conceitos das variáveis de estado ( $P$ ,  $V$  e  $T$ ) é fundamental para a demonstração dos ciclos termodinâmicos presentes no motor de Stirling que é composto de quatro etapas: Aquecimento isométrico (Volume constante), Expansão isotérmica (Temperatura constante), Resfriamento isométrico (Volume constante), Compressão isotérmica (Temperatura constante) – estes processos são nomeados com o prefixo “iso” (que significa igualdade) seguido da palavra que indica a variável imutável. Este ciclo será a base para o estudo das transformações gasosas durante a construção do motor de Stirling e também durante a realização das atividades propostas através da apresentação de vídeos, simuladores e questões.

A explanação dos conteúdos mencionados abaixo servirá como

embasamento teórico (material de apoio) para a construção do motor de Stirling que estará inserido no Produto Educacional. A compreensão dos conceitos apresentados na sequência será fundamental para a implementação deste estudo.

#### 4.1.1 Grandezas termodinâmicas de um gás

A partir da consideração de que as partículas de um gás se comportam como esferas perfeitamente elásticas e que seus movimentos sejam independentes e de forma aleatória em qualquer direção, define-se o modelo de gás ideal. Essas partículas estão a uma determinada distância uma das outras, porém, ocupam pequena parte do recipiente, sendo a maior parte do volume um espaço vazio.

A energia associada ao movimento destas moléculas (energia cinética) pode variar de acordo com a temperatura do gás. Portanto, quanto maior a temperatura deste gás, pode se afirmar que maior será em média a velocidade de suas moléculas.

Quando essas moléculas se chocam contra as paredes do recipiente, as mesmas exercem uma determinada força por unidade de área de contato. Pode-se definir pressão como sendo um impulso transmitido a uma área por unidade de tempo e podemos representá-la de acordo com a equação a seguir.

$$P = \frac{F \cdot \Delta t}{A \cdot \Delta t}, \quad (1)$$

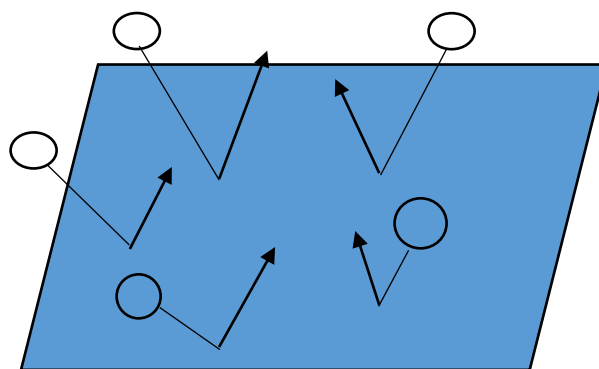
onde as grandezas físicas envolvidas são respectivamente, a pressão  $P$  ( $\text{N}/\text{m}^2$ ), a força  $F$  (N), a área da superfície  $A$  ( $\text{m}^2$ ) e a variação de tempo  $\Delta t$  (s). Por definição temos que a pressão de um gás é análoga à pressão nos sólidos e determinada pela relação matemática

$$P = \frac{F}{A}. \quad (2)$$

No entanto, definimos que a pressão exercida por um gás é uma

consequência dos choques das moléculas (representadas pelas esferas na Figura 2) sobre as paredes de um recipiente em todas as direções (representado pelas setas). Então, quanto maior for o número de choques das partículas de gás num dado tempo unitário, maior será também a pressão o que pode ser visualizado através da Figura 2:

Figura 2 – Pressão exercida por um gás



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

A unidade a qual a pressão é mensurada no Sistema Internacional (SI) é o Pascal (Pa) em homenagem ao físico Blaise Pascal (1623-1662) que é definida como 1 Newton por unidade de metro quadrado. Outras unidades de medida de pressão comumente usadas são; atmosferas (atm), milímetros de mercúrio (mmHg), Torricelli (torr), bar (bar), libras por polegada quadrada (psi), entre outras, sendo que as relações destas unidades com a unidade de pressão em SI são:  $1\text{atm}=1,013\times 10^5\text{Pa}$ ;  $760\text{mmHg}=1\text{torr}=133,32\text{Pa}$ ;  $1\text{bar}=10^5\text{Pa}$ ;  $1\text{psi}=6,895\times 10^3\text{Pa}$ .

Outra grandeza termodinâmica macroscópica de um gás é o seu volume. Volume é a medida de ocupação espacial de um corpo. Quando nos referimos aos gases estes devem estar contidos em recipiente fechados, pois as dimensões de espaço correspondem ao volume. No Sistema Internacional de Unidades (SI) é expresso em  $\text{m}^3$ .

A temperatura é uma grandeza termodinâmica relacionada à quantidade de movimento molecular de um corpo e que determina se dois sistemas estão em equilíbrio termodinâmico caso suas temperaturas sejam iguais. Está associada à energia interna de um determinado sistema. Quando um corpo ou



sistema recebe energia térmica (calor), este tende a elevar o movimento molecular e, conseqüentemente, aumenta sua temperatura. Quando do contrário, (retira-se calor) ocorre a diminuição nos movimentos das moléculas gerando decréscimo de temperatura.

Nos livros didáticos de Ensino Médio temos algumas definições de temperatura: “É definida pela intensidade de agitação dessas partículas (átomos, moléculas, íons, elétrons livres)” (GUIMARÃES; PIQUEIRA; CARRON, 2014).

Quando um corpo recebe calor continuamente sua temperatura aumenta tendendo ao infinito, mas quando retiramos calor do mesmo, este tende para um limite inferior o qual chamamos de Zero Absoluto ou Zero Kelvin, que corresponde ao valor de  $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$  ou  $-459,67\text{ }^{\circ}\text{F}$ . Compreende-se este limite de temperatura inferior como sendo o menor estado de agitação molecular que pode ser expresso. No Sistema Internacional de Unidades (SI) essa grandeza é mensurada em unidades de Kelvins (K), porém, utiliza-se também outras escalas como  $^{\circ}\text{C}$  e  $^{\circ}\text{F}$  entre outros, permitindo-nos fazer conversões entre essas escalas mencionadas (GUIMARÃES; PIQUEIRA; CARRON, 2014).

#### *4.1.2 Termodinâmica e o estudo dos Gases*

Para uma abordagem termodinâmica do ponto de vista da teoria cinética adota-se convencionalmente o modelo de gases perfeitos ou ideais. Nesse sentido, adotamos por definição que: a) existe um movimento desordenado (caótico) de suas partículas; b) essas partículas só interagem através de colisões; c) os choques destas partículas entre si e com as paredes do recipiente são consideradas elásticas e d) as suas moléculas possuem dimensões desprezíveis (ATKINS; DE PAULA, 2008).

Sabe-se que nenhum gás é perfeito, no entanto descrevemos estas condições para simplificar o estudo. Se for considerado um gás real monoatômico submetido à baixa pressão e temperatura, este gás exibirá um comportamento muito semelhante ao do modelo de gás ideal.

A Equação de Clapeyron ou Equação de estado dos gases é uma

relação empírica que relaciona as variáveis de estado (pressão, volume e temperatura) e a quantidade de moléculas do gás, expressa pelo número de mols ( $n$ ), através de uma relação matemática dada por:

$$P.V = n.R.T. \quad (3)$$

Onde  $R$  é a constante universal dos gases obtidos empiricamente através de experimentos com gases diferentes, onde a grandeza  $P.V/nT$  se aproxima de um determinado valor independentemente do gás. O valor para  $R$  depende das unidades utilizadas. Com o uso da unidade de temperatura, volume e pressão no Sistema Internacional de Unidades, temos o valor para a constante, de  $R=8,314 \text{ J/mol.K}$ , sendo também comum o uso de  $R= 0,082 \text{ atm.L/mol.K}$ , mesmo não pertencente ao Sistema Internacional de Unidades (SI) (ATKINS; DE PAULA, 2008).

Quando uma massa gasosa sofre alteração em suas variáveis de estado ( $P$ ,  $V$ ,  $T$ ) e não há variação do número de moléculas (o gás não é vazado do recipiente nem tampouco injetado no recipiente) a resultante de  $\frac{P.V}{T}$ , é uma constante, resultando na equação:

$$\frac{P_1.V_1}{T_1} = \frac{P_2.V_2}{T_2} \quad (4)$$

Conclui-se com isso que a alteração de uma das variáveis de estado de um gás deve implicar na alteração de pelo menos outra, pois são grandezas dependentes através da equação de estado.

Um exemplo que podemos citar para esta aplicação é o uso dos aerossóis, onde nas prescrições do recipiente geralmente alerta para manter longe de ambientes quentes ou mesmo em contato com fogo. Qual o grande motivo desta precaução?

Como o volume do recipiente não se altera significativamente com o aumento da temperatura, o aumento da temperatura incorre diretamente em um aumento da pressão interna no recipiente. Constata-se com este exemplo

que, quando mantemos uma variável de estado constante, a alteração de uma delas acarreta diretamente no aumento ou diminuição de outra. Qualquer mudança no valor de uma variável de estado de um gás e nas demais que dela dependerem pode ser chamada de transformação gasosa.

#### 4.1.3 Transformações Gasosas

Quando uma ou mais variáveis de estado se alteram o gás sofre uma transformação. Essas transformações diferem na forma de como se dá a variação da pressão com a variação do volume do gás, apresentando diversas propriedades diferentes entre si. De acordo com a variável de estado que se mantém constante (pressão, volume ou temperatura), é possível destacar algumas dessas propriedades.

A temperatura do gás quando permanece constante, variando a sua pressão e conseqüentemente seu volume, provoca uma transformação denominada de isotérmica. Nesta situação a variação de pressão sobre uma determinada massa de gás é inversamente proporcional à variação de seu volume. Exemplificamos numericamente uma transformação isotérmica através dos valores existentes na Tabela 2. Esses valores são expressos, considerando o número de mols do gás em aproximadamente 0,73 mols.

O mesmo processo isotérmico está presente na segunda etapa de funcionamento do motor de Stirling, sendo o gás expandido a temperatura constante. Outra etapa a ser destacada durante o funcionamento do motor de Stirling é a compressão isotérmica, que compreende a quarta etapa.

Em um diagrama de pressão vs. volume as transformações isotérmicas descrevem hipérbolas denominadas isotermas, como a exemplificada na Figura 2. Três estados intermediários do processo de compressão isotérmica estão esquematicamente representados na ilustração da Figura 3 em que o volume decresce e a pressão aumenta sem com isso alterar a temperatura (o que evidencia uma perda de calor para o ambiente).

Durante o funcionamento do motor de Stirling e no decorrer das atividades propostas no Produto Educacional enfatiza-se essas duas etapas isotérmicas que são intercaladas por duas etapas de pressurização e

despressurização isovolumétricas.

No caso da transformação isotérmica a temperatura inicial é igual a temperatura final, então matematicamente partindo da equação (4), obtemos a expressão:

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2, \quad (5)$$

que é válida para esta transformação. Na Tabela 2, abaixo, exemplificamos alguns valores das grandezas ou variáveis de estado para aproximadamente 0,73 mols de gás.

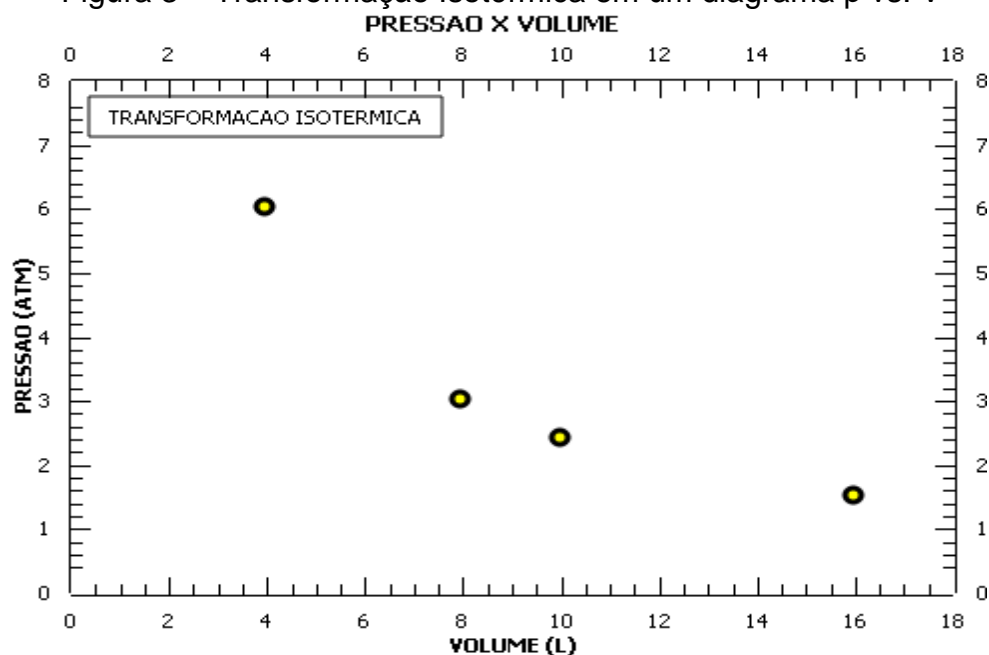
Essa tabela representa os estados inicial e final de uma determinada massa de gás numa transformação isotérmica em que a temperatura foi mantida constante em 400K.

Tabela 2 – Transformação Isotérmica com temperatura constante

Estado Inicial	Estado Final
$T_1 = 400 \text{ K}$	$T_2 = 400 \text{ K}$
$V_1 = 16 \text{ L}$	$V_2 = 4 \text{ L}$
$P_1 = 1,5 \text{ atm}$	$P_2 = 6 \text{ atm}$

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

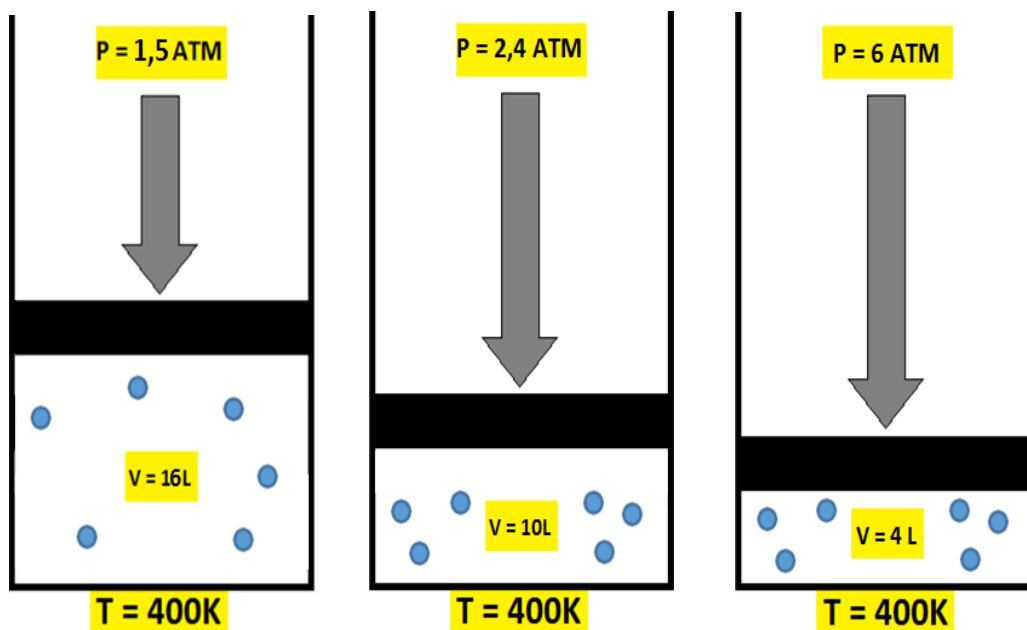
Figura 3 – Transformação Isotérmica em um diagrama p vs. V



Fonte: Disponível em: < <https://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/isotermica.htm> >.

Observe na Figura 3 que com o aumento da pressão o volume se reduz de forma inversamente proporcional, o que podemos representar e visualizar melhor através da Figura 4 abaixo.

Figura 4 – Pressão e proporcionalidade da redução do volume



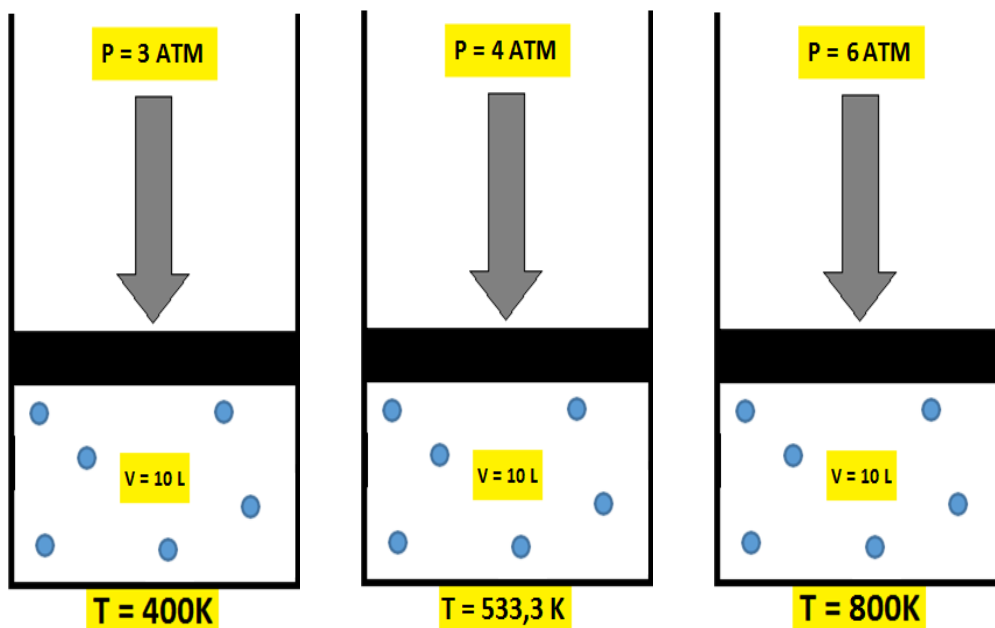
Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

As transformações ditas isométricas (isocóricas ou isovolumétricas) ocorrem quando se mantém constante o volume da massa gasosa, não ocorrendo expansão ou compressão do gás e por consequência gerando variações na pressão e temperatura. Este processo está inserido no funcionamento do Motor de Stirling em duas etapas que intercalam a expansão isotérmica e a compressão isotérmica. Após o término da expansão do gás, é percebida uma perda gradativa de pressão devido a um resfriamento, o oposto ocorre após a compressão isotérmica do gás, onde há um aumento de pressão devido a um aumento de temperatura.

O processo isométrico acontece quando não ocorre transferência de energia sob forma de trabalho, sendo representada por um diagrama de pressão vs. Volume, conforme Figura 6 e em outro diagrama de pressão vs. temperatura apresentado na Figura 7, inseridos na sequência do texto.

Estes três estados intermediários do processo isométrico podem ser esquematicamente representados na ilustração da Figura 5.

Figura 5 - Proporcionalidade do aumento da pressão



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Na transformação isométrica, o volume inicial é igual ao volume final, então partindo da equação (4), obtemos a expressão:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \quad (6)$$

válida para esta transformação.

Exemplificamos numericamente abaixo, na Tabela 3, os valores das grandezas ou variáveis de estado, representadas por uma massa gasosa de aproximadamente 0,91 mols. Essa tabela representa os estados, inicial e final de uma determinada massa gasosa numa transformação isométrica em que o volume foi mantido constante em 10L.

Tabela 3 – Transformação Isométrica

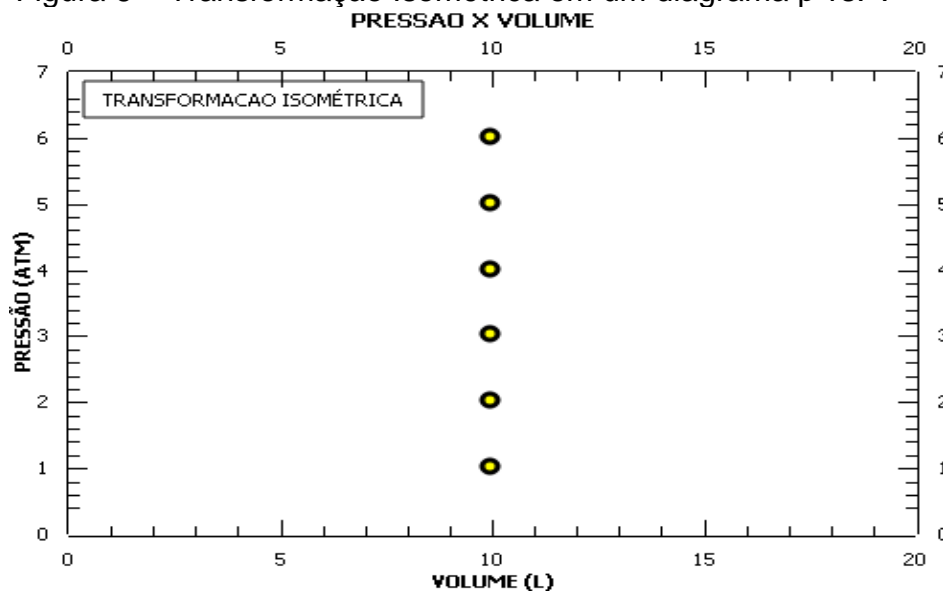
Estado Inicial	Estado Final
$T_1 = 400 \text{ K}$	$T_2 = 800 \text{ K}$
$V_1 = 10 \text{ L}$	$V_2 = 10 \text{ L}$
$P_1 = 3 \text{ atm}$	$P_2 = 6 \text{ atm}$

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

A Figura 6 revela a transformação isométrica em um diagrama de pressão em função do volume. Podemos notar que mesmo com a variação da pressão, o volume se manteve constante, sendo que para que isso seja

possível, as variações de pressão ocorrerão mediante a uma variação de temperatura através de um aquecimento ou resfriamento.

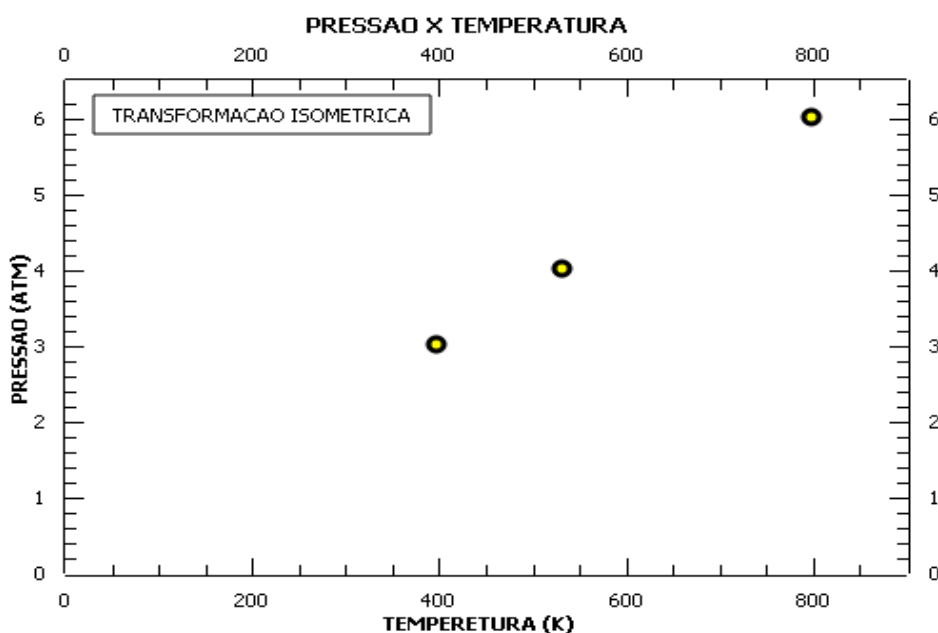
Figura 6 – Transformação Isométrica em um diagrama p vs. V



Fonte: Disponível em: < <https://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/isotermica.htm> >.

A Figura 7, a seguir, ilustra a mesma transformação em um diagrama p vs. T para a mesma massa gasosa expressa na Figura 6. Podemos observar através do gráfico que para manter o volume constante, quando há uma variação na temperatura do gás, sua pressão, também varia.

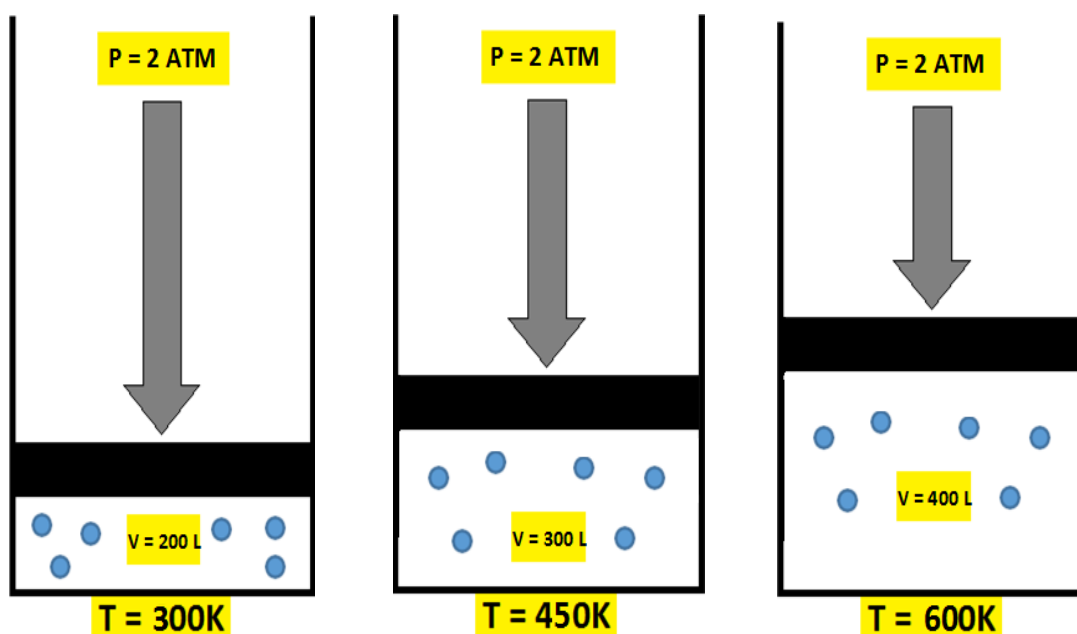
Figura 7 – Transformação Isométrica em um diagrama p vs. T



Fonte: Disponível em: < <https://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/isotermica.htm> >.

As transformações denominadas Isobáricas ocorrem quando se mantém constante a pressão sobre a massa gasosa. Quando aquecemos uma massa gasosa, haverá conseqüentemente um aumento na energia cinética das moléculas que compõe este gás. Para que a pressão do gás não se altere com o aumento do impacto das moléculas, faz-se necessário permitir que o gás se expanda livremente. A transformação isobárica está representada por três estados intermediários do processo de expansão, apresentado na Figura 8 abaixo. Os valores de pressão estão representados por 2 atm, caracterizando-a como uma expansão forçada do gás.

Figura 8 - Pressão constante do gás



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Na transformação isobárica, a pressão inicial é igual a pressão final, então partindo da equação (4), obtemos a expressão

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad (7)$$

Assim, interpretamos que a pressão permanece constante e a variação do volume aumenta ou diminui proporcionalmente à variação da temperatura. Ou seja, se dobrarmos a temperatura, o volume ocupado pelo gás também dobrará. Por exemplo, se a transformação for realizada em recipiente com um êmbolo móvel e livre a transformação será isobárica, pois a pressão será igual



à pressão atmosférica. À medida em que o gás for aquecido e sua pressão aumentar infinitesimalmente, haverá uma resultante de forças sobre o êmbolo devido à diferença de pressões dentro e fora do gás. Esta resultante de forças expandirá seu volume, fazendo com que a pressão caia imediatamente até seu valor original igual à pressão atmosférica.

Exemplificamos numericamente abaixo, na Tabela 4, os valores das grandezas ou variáveis de estado, representadas por uma massa gasosa de aproximadamente 16,26 mols. Essa tabela representa os estados, inicial e final de uma determinada massa gasosa numa transformação isobárica em que a pressão foi mantida constante em 2 atm.

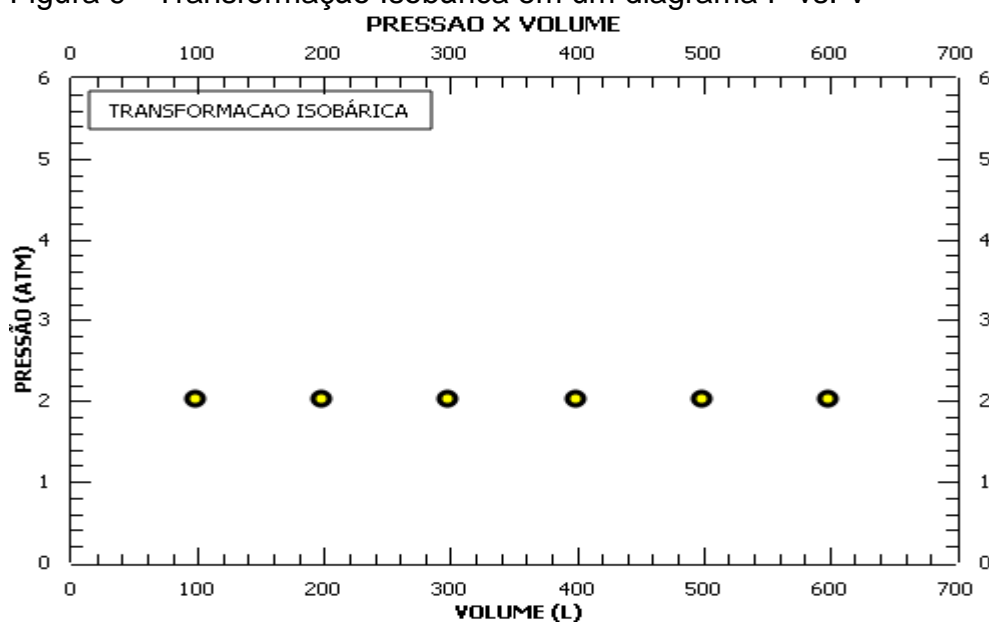
Tabela 4 – Transformação Isobárica

Estado Inicial	Estado Final
$T_1 = 300 \text{ K}$	$T_2 = 600 \text{ K}$
$V_1 = 200 \text{ L}$	$V_2 = 400 \text{ L}$
$P_1 = 2 \text{ atm}$	$P_2 = 2 \text{ atm}$

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

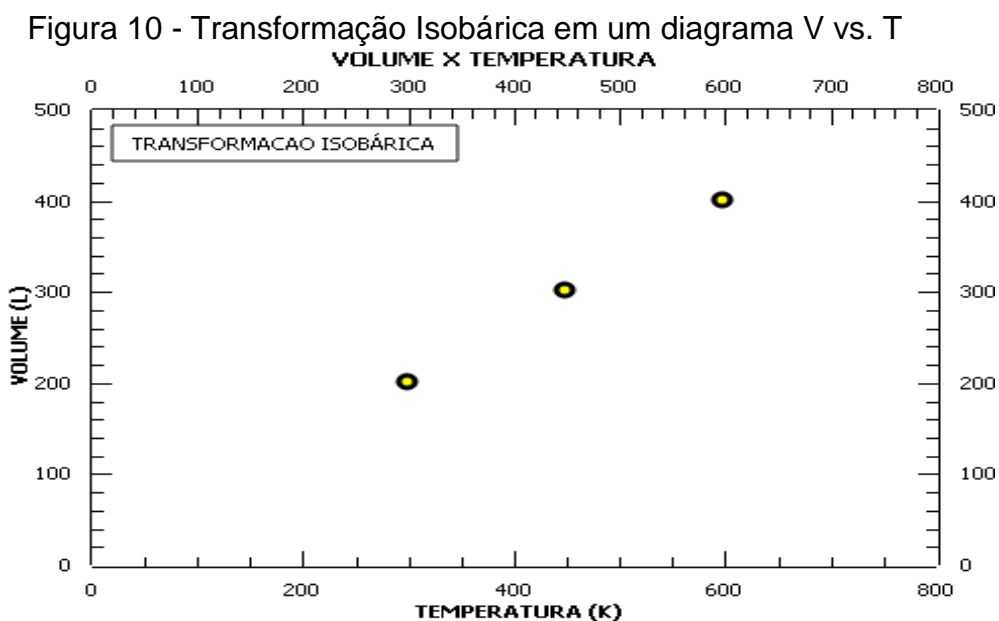
A Figura 9 revela a transformação isobárica em um diagrama P vs. V, em que podemos perceber que mesmo com o aumento do volume ocasionado pela variação da temperatura, sua pressão permanece constante.

Figura 9 - Transformação Isobárica em um diagrama P vs. V



Fonte: Disponível em: < <https://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/isobarica.htm> >

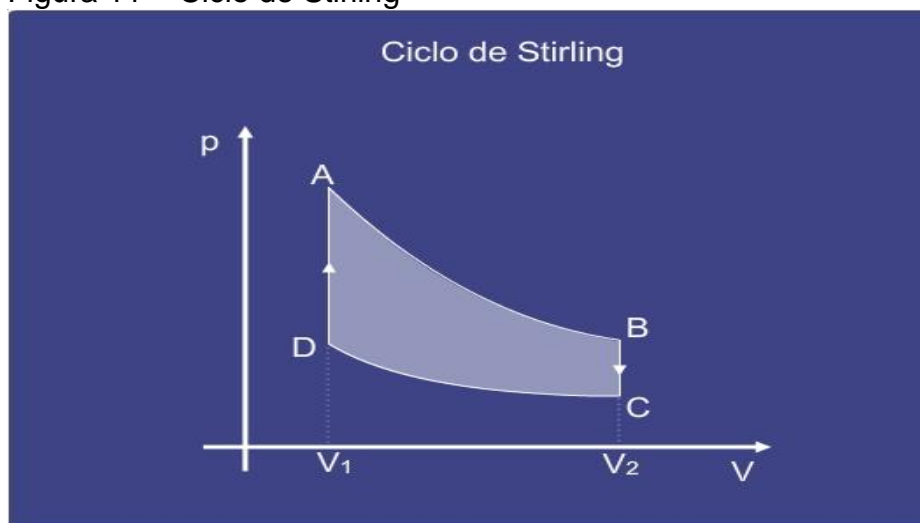
Já a Figura 10 ilustra uma mesma transformação (isobárica) em um diagrama V vs. T. Neste diagrama pode-se observar que, mantendo a pressão constante, no momento em que ocorre um aumento na temperatura do gás, este aumenta seu volume. A expansão do gás pode ser caracterizada como, expansão livre ( $P=1 \text{ atm}$ ) ou expansão forçada ( $P>1 \text{ atm}$ ).



Fonte: Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/isobarica.htm>>.

As expansões e compressões isotérmicas, resfriamentos e aquecimentos isométricos sofridos pelo gás estão presentes durante o funcionamento do motor de Stirling e são exploradas a partir das variações ocorridas na pressão do gás em cada etapa, conforme Figura 11:

Figura 11 – Ciclo de Stirling

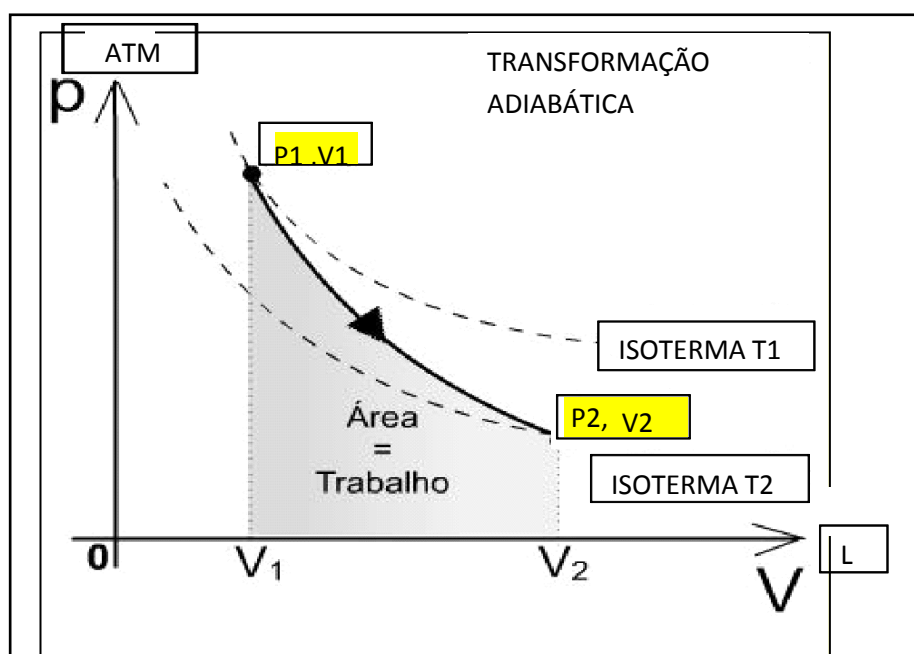


Fonte: Disponível em: <[https://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/ciclo\\_stirling.htm](https://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/ciclo_stirling.htm)>

Durante as quatro etapas que compõem o ciclo de Stirling a pressão varia de acordo com o volume e temperatura do gás. No entanto, não são caracterizadas como transformações isobáricas.

As transformações adiabáticas ocorrem quando o sistema não troca calor com o meio externo, onde então a quantidade de calor  $Q = 0$ . Só é possível realizarmos esta transformação se o sistema for isolado termicamente ou se a transformação for realizada de forma suficientemente rápida impedindo que os mecanismos de transferência de calor na forma de radiação e condução térmicas sejam efetivos, como pode ser verificado através da Figura 12.

Figura 12 – Transformação Adiabática



Fonte: Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/adiabatica.htm>>

Nota-se na Figura 12, que uma expansão adiabática de mesma variação de volume que a de uma expansão isotérmica implica em uma queda de pressão mais acentuada. Durante o processo adiabático a pressão, o volume, a temperatura e a energia interna da massa gasosa variam, não permanecendo nenhuma grandeza constante.

Durante a expansão, o gás realiza trabalho, sendo necessário o gasto de uma certa quantidade de energia. Caso a expansão fosse isotérmica ou isobárica o gás deveria absorver energia do meio externo para realização de trabalho. Como nos processos adiabáticos não há trocas de calor com agentes

externos, então o gás deve realizar trabalho com sua própria energia acarretando numa diminuição de temperatura.

Durante a compressão adiabática, quem realiza trabalho são agentes externos sobre o gás. A energia interna do gás aumenta conforme o aumento de trabalho efetuado sobre ele, sendo que não há trocas de calor pelo gás para o meio externo, então a energia interna obtida do trabalho sobre o gás é acumulada e manifesta-se através de um aumento de temperatura.

Uma expansão de um gás, em qualquer transformação termodinâmica, acarreta em realização de trabalho mecânico por ele e, portanto, em gasto de sua energia. A energia gasta pelo gás só pode ser oriunda de sua energia interna ou de absorções de calor do meio externo.

Por não haver trocas de calor com o ambiente externo, esta energia gasta pelo gás só pode ser oriunda de sua energia interna, o que implica em uma diminuição de sua temperatura. Já uma contração inevitavelmente acarreta em um aumento da energia interna do gás e, conseqüentemente, de sua temperatura. Portanto, não se pode dizer que a relação de pressão e volume segue uma relação inversamente proporcional (ATKINS; DE PAULA, 2008). A relação entre pressão e volume, em uma transformação adiabática, é na verdade expressa por:

$$P_1 \cdot V_1^\gamma = P_2 \cdot V_2^\gamma, \quad (8)$$

em que  $\gamma$  é um expoente denominado expoente adiabático, que para os gases ideais monoatômicos é dado por 5/3.

A seqüência deste estudo abordará conceitos relativos ao ensino da física envolvidos na apresentação da Máquina a vapor, que consiste em uma turbina com medidores de temperatura e pressão, além de uma válvula com uma mangueira acoplada para saída do vapor. Para que os estudantes tenham melhor compreensão sobre a temática, apresentaremos de forma dialógica e contextualizada, a história das máquinas a vapor e sua interferência na sociedade e as leis da termodinâmica. O conteúdo teórico, relativo ao conhecimento histórico servirá de base para as atividades propostas nessa seção do Produto Educacional.

## 4.2 A TERMODINÂMICA E A MÁQUINA A VAPOR

A termodinâmica é a área da Física que descreve a relação entre calor, trabalho e suas transformações energéticas, tendo seu estudo aprofundado após o advento das máquinas térmicas. O estudo dessa área da física tratava dessas inter-relações com o intuito de promover maior eficácia nos motores, facilitando os meios de produção requisitados pela sociedade e substituindo parte da força animal pelo trabalho advindo das máquinas.

As máquinas a vapor faziam a queima de combustível (carvão) que aquecia a água e a vaporizava acionando uma turbina, gerando energia cinética. Na atualidade, a utilização dos motores automotivos (que são máquinas térmicas) produzem trabalho através da expansão e compressão rápida, alternado por explosões de gás atmosférico saturado de vapor de gasolina, movimentando os pistões e transmitindo energia cinética para o carro (QUADROS, 1996).

Isto difere essencialmente das máquinas a vapor, uma vez que a combustão ocorre internamente à câmara de expansão (por isso o nome de motores à combustão interna) enquanto nas máquinas à vapor o gás é aquecido e resfriado fora da câmara, nas caldeiras e condensadores respectivamente (QUADROS, 1996). A compreensão desses conceitos dará base para a construção da Máquina Vapor e também durante realização das atividades propostas.

Na sequência descreveremos, de forma sucinta, os conteúdos trabalhados durante a construção da Máquina a Vapor e durante as atividades diversificadas, propostas através de vídeos, simuladores e questões que se encontram inseridas no Produto Educacional. Subsequentemente, seguem os tópicos abordados dialogicamente pelo docente durante a implementação deste produto.

### 4.2.1 O Trabalho e as Leis da Termodinâmica

Pode-se afirmar que, para que haja força e deslocamento, o gás deve

sofrer uma variação em seu volume que está contido em um recipiente, como um cilindro limitado por um pistão. Essa variação está relacionada ao conceito de trabalho termodinâmico ( $W$ ), que através da expansão (trabalho positivo) ou compressão (trabalho negativo) do gás, haverá uma transferência de energia interna do sistema para o ambiente na forma de movimento. O trabalho realizado por um gás durante uma transformação pode ser obtido pela relação

$$W = \int_{V_1}^{V_2} P \cdot dV. \quad (9)$$

Na expressão acima, a variável  $P$  representa a pressão do gás, mensurada em Pascal (Pa),  $dV$  representa a variação infinitesimal do volume do gás,  $V_1$  é o volume inicial e  $V_2$  seu volume final após a expansão medidos em metros cúbicos ( $m^3$ ) e  $W$  é a grandeza definida como trabalho realizado por um gás mensurado em unidade de energia no sistema SI, ou seja, Joules (J) (ATKINS; DE PAULA, 2008).

O trabalho realizado é o objetivo final da construção de uma máquina térmica. Quando uma máquina recebe calor de uma fonte (fonte quente), a energia não é convertida integralmente em trabalho. Uma determinada parte desse calor será transformada em variação da energia interna e conseqüentemente não será convertido integralmente em trabalho mecânico. A energia recebida na forma de calor pode somente ser armazenada internamente através de um aumento de temperatura, ser utilizada para a realização de trabalho através de um aumento de volume ou ser desperdiçada através de uma liberação de calor para uma fonte fria.

Durante a construção e posterior funcionamento da máquina a vapor, as relações entre calor recebido pelo gás, trabalho realizado e aumento de energia interna são exploradas através das medições do termômetro e manômetro acoplados no cilindro da máquina. Quando a máquina a vapor recebe calor da fonte quente (etanol), há um aumento de temperatura e pressão do gás que está confinado no cilindro e registrado pelos seus respectivos medidores. Após é aberta a válvula para a saída do vapor aprisionado em alta pressão, que percorre por uma mangueira e provoca o movimento das hélices de um cooler, explicitando a transformação de calor em

trabalho mecânico.

A conversão do calor em trabalho e energia térmica fundamenta a Primeira Lei da Termodinâmica que é o princípio da conservação da energia aplicada a sistemas termodinâmicos. Já a Segunda Lei da Termodinâmica nos mostra as limitações impostas pela natureza quando se transforma calor em trabalho. Essas leis serão apresentadas com mais detalhes na seção a seguir.

#### 4.2.2 As Leis da Termodinâmica e o Rendimento das Máquinas Térmicas

Para compreender essas leis, é preciso inicialmente o embasamento teórico de duas grandezas físicas importantes, o trabalho e a energia interna. A 1ª Lei da termodinâmica baseia-se no princípio da conservação de energia. Uma máquina térmica ao receber calor de uma fonte (fonte quente), transforma parte dele em trabalho e dissipa para o meio externo (fonte fria) o restante. Essa lei é expressa matematicamente por:

$$Q = \Delta U + W, \quad (10)$$

onde Q refere-se à quantidade total de calor cedida ou retirada,  $\Delta U$  refere-se à variação da energia interna do sistema e W corresponde ao trabalho realizado pelo sistema.

Na máquina a vapor proposta produzida no Produto Educacional anexo a esta dissertação a fonte quente corresponde à queima do etanol contido em um recipiente metálico e a fonte fria corresponde ao meio externo. Durante o processo de funcionamento da máquina a vapor, ocorre a transferência de calor proveniente da combustão do etanol para a massa de água contida dentro do cilindro.

A água após ter recebido certa quantidade de calor tende a entrar em processo de vaporização, aumentando a pressão interna do cilindro. Nesse instante é aberta a válvula de compressão que se encontra acoplada numa das extremidades do cilindro, liberando o vapor através de uma mangueira, fazendo girar um sistema de hélices, caracterizando a transformação da energia térmica (calor) em energia mecânica (movimento). Conforme pode ser visualizado na

Figura 13:

Figura 13 – Máquina a Vapor



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

O processo de transformação de energia térmica em energia mecânica (trabalho) é apresentado durante o funcionamento da máquina a vapor. Nem toda a energia da queima do etanol é transformada em trabalho, pois deve ser considerada também a energia necessária para o aquecimento no cilindro, nas válvulas, mangueiras e meio externo, levando-nos a interpretação de que parte da energia é dissipada e, portanto, sem ocorrer a conversão integral de calor em trabalho mecânico.

A interpretação da Tabela 5 abaixo visa ressaltar algumas particularidades da Primeira Lei da Termodinâmica. Na linha A, percebe-se que: se um gás ao receber calor e mantiver constante a sua temperatura, sua energia interna não se altera e então todo calor seria convertido em trabalho, demonstrado pela equação  $Q=W$ . A linha B indica que quando não há variação de volume, então todo o calor será convertido em energia interna. Observando a linha C, podemos perceber que quando a pressão se mantém constante, o calor absorvido é transformado em energia interna e trabalho realizado pelo sistema. Já no processo termodinâmico destacado na linha D não ocorrem trocas de calor entre o sistema e o ambiente, portanto o trabalho realizado pelo sistema provoca uma queda na energia interna do sistema e, portanto, na temperatura do gás.



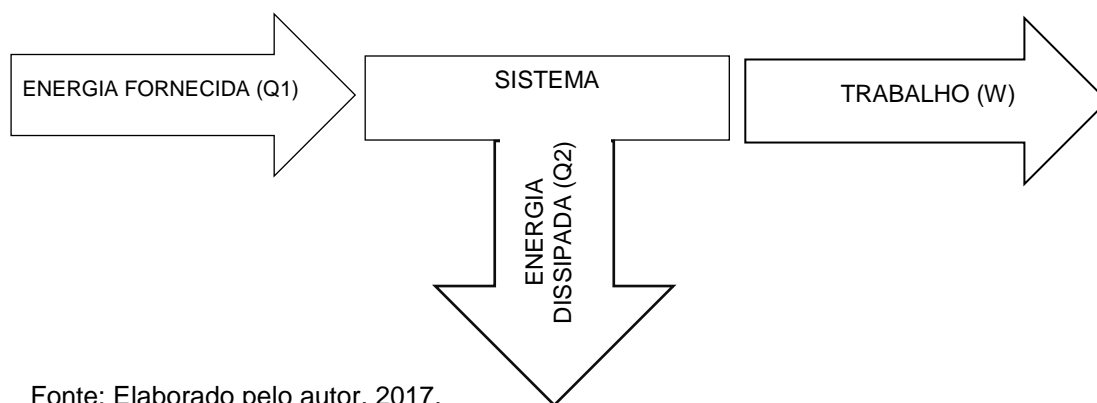
Tabela 5 – Calor, variação da energia interna e realização do trabalho

	TRANSFORMAÇÃO	CONSTANTE	EQUAÇÃO
A	Isotérmica	Temperatura	$Q = W$
B	Isométrica	Volume	$Q = \Delta U$
C	Isobárica	Pressão	$Q = \Delta U + W$
D	Adiabática	Calor	$W = -\Delta U$

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

O percentual de aproveitamento da energia absorvida na forma de calor durante um processo cíclico é denominado rendimento ( $n$ ) o que pode variar de acordo com cada ciclo termodinâmico. O rendimento geralmente é inferior a 50% o que nos mostra que uma maior parte da energia recebida de uma fonte quente (fonte de energia que alimenta o sistema) é transformada em energia interna e rejeitada para o meio externo (fonte fria) (ALMEIDA, 2015). Isso pode ser verificado esquematicamente na Figura 14 a seguir:

Figura 14 - Rendimento de uma Máquina Térmica



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Analisando a Figura 14, definimos que o rendimento de um sistema termodinâmico pode ser expresso pela razão entre o trabalho líquido realizado e a quantidade de calor proveniente da fonte quente, o que está expresso matematicamente pela equação:

$$n = \frac{W}{Q_1}. \quad (11)$$

Em um ciclo termodinâmico, os estados inicial e final do gás são os

mesmos. Por este motivo não há variação da energia interna do gás, uma vez que a energia é uma variável de estado. Desta forma, a energia gasta pelo gás para que se realize trabalho só pode ser relacionada com a diferença entre o calor absorvido de uma fonte quente ( $Q_1$ ) e o rejeitado para uma fonte fria ( $Q_2$ ). Neste contexto temos a relação:

$$W = Q_1 - Q_2, \quad (12)$$

que quando substituída na equação (11), resulta em uma nova forma de calcularmos o rendimento de uma máquina térmica, expressa por:

$$n = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}. \quad (13)$$

A Segunda Lei da Termodinâmica determina quais fenômenos podem ocorrer de forma espontânea e quais não podem. Enquanto a Primeira Lei da Termodinâmica nos mostra o princípio da conservação da energia, a Segunda Lei da Termodinâmica aponta para os limites da natureza em convertê-la em suas diferentes formas. Assim, quando transformamos calor em trabalho surgem algumas limitações que são impostas pela natureza determinadas pela Segunda Lei da Termodinâmica. Definimos a Segunda Lei da Termodinâmica na forma de 3 enunciados.

1º Enunciado – é impossível retirar calor de um sistema e transformá-lo totalmente em trabalho sem modificar o sistema ou sua vizinhança (enunciado de Kelvin) (SERWAY; JEWET JR, 2012).

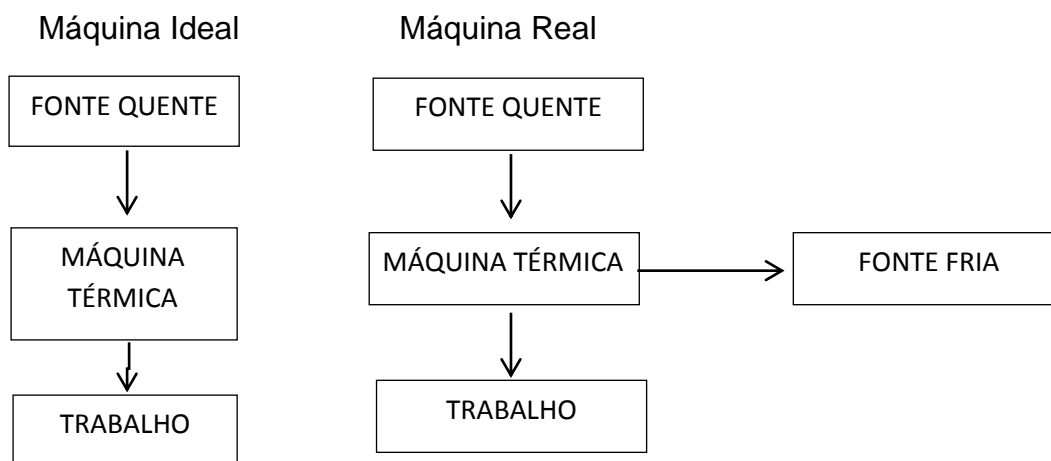
2º Enunciado – a energia térmica (calor) não passa espontaneamente de um corpo de menor temperatura para outro de temperatura maior (enunciado de Classius) (SERWAY; JEWET JR, 2012).

3º Enunciado – é impossível que uma máquina térmica que trabalha em ciclos converta integralmente o calor retirado de uma fonte quente em trabalho útil (enunciado de Kelvin- Planck) (SERWAY; JEWET JR, 2012).

Uma máquina térmica considerada ideal teria a função de transformar 100% da energia recebida na forma de calor em trabalho útil, porém sabemos que é preciso haver uma degradação dessa energia para que uma máquina térmica opere, diminuindo o seu rendimento consideravelmente. As máquinas

são projetadas para desenvolverem o maior rendimento possível, operando em ciclos. Na maioria dos casos, o valor desse rendimento se encontra entre 40% a 50%. No entanto, apesar dos motores dos automóveis também serem máquinas térmicas, eles possuem rendimento médio de 25% a 30%, o que significa que a maior parte da energia é rejeitada para o ambiente (ATKINS; DE PAULA, 2008). Por esta perspectiva, constata-se através da Figura 15, que é impossível uma máquina possuir 100% de rendimento, pois parte de sua energia deve ser rejeitada para a fonte fria.

Figura 15 - Máquina Ideal e Máquina Real



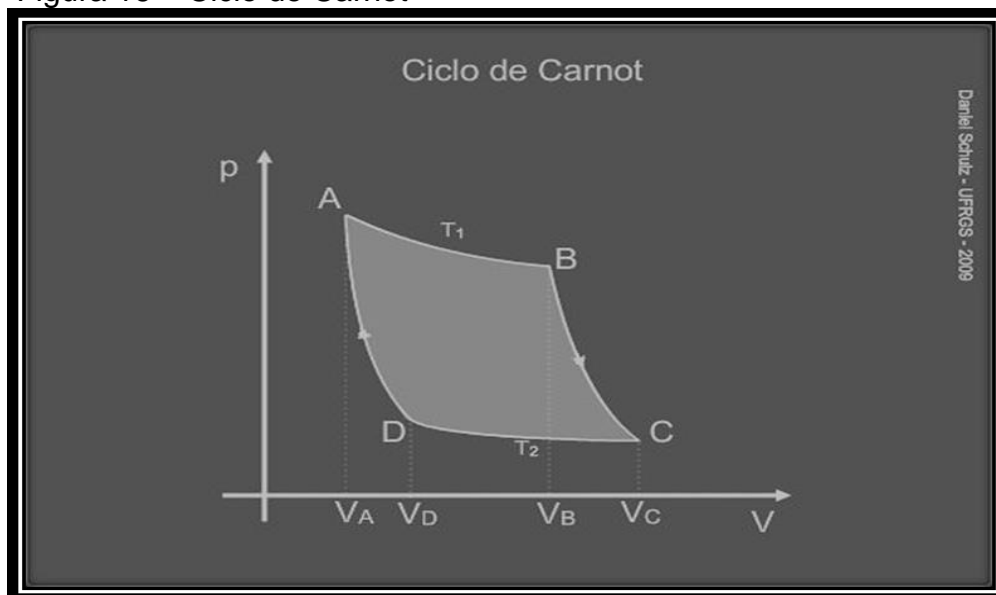
Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

O engenheiro francês Nicolas Leonard Sadi Carnot publicou em 1824 um trabalho de extrema importância para se determinar o rendimento máximo das máquinas térmicas, denominado: *“Reflexões sobre o poder motriz do fogo e sobre as máquinas adequadas para desenvolver este poder”* (SARAIVA, 2016).

Nesta análise Carnot propôs um ciclo ao qual seria ideal para se obter o maior rendimento possível em uma máquina quando operasse em ciclos. O ciclo operaria a maior parte do tempo em equilíbrio térmico entre as fontes quentes e frias. Além disso, nas etapas de aquecimento e resfriamento, o gás utilizaria a sua própria energia interna para realizar trabalho ou aumentaria a sua energia interna a partir de uma realização de trabalho do ambiente sobre o gás ao ser comprimido evitando com isso as trocas de calor entre o gás e o ambiente fora do equilíbrio (SARAIVA, 2016). Este ciclo é, portanto, composto

por 4 transformações, sendo elas: 2 isotérmicas e 2 adiabáticas ilustradas em um diagrama de pressão vs. volume na Figura 16:

Figura 16 – Ciclo de Carnot



Fonte: Disponível em: <[http://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/ciclo\\_carnot.htm](http://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/ciclo_carnot.htm)>

A etapa AB representa uma expansão isotérmica, no qual o gás retira calor da fonte quente aumentando seu volume e mantendo constante a temperatura. Na etapa BC ocorre uma expansão adiabática onde o gás não troca calor com o meio externo, diminuindo consideravelmente sua pressão e expandindo-se até resfriar à temperatura da fonte fria. A compressão isotérmica é representada na etapa CD, em que o gás rejeita calor para fonte fria, mantendo constante sua temperatura e diminuindo seu volume. A última etapa DA, representada na Figura 16 trata-se de uma compressão adiabática, em que o gás não troca calor, aumentando consideravelmente a pressão, contraindo-se até aquecer-se à temperatura da fonte fria (SARAIVA, 2016).

Há impedimentos técnicos que inviabilizam a realização de ciclos de Carnot por máquinas reais. Nos processos adiabáticos o gás sofreria expansões e contrações muito pequenas, fazendo com que o trabalho líquido do ciclo fosse próximo de zero. Além disso, os processos isotérmicos são inerentemente lentos, tornando sua potência próxima à zero. Porém, se utilizarmos teoricamente este ciclo, as máquinas térmicas terão o maior rendimento possível a partir de duas temperaturas extremas pré-estabelecidas. Mesmo adotando o ciclo de Carnot, as máquinas não atingirão e tampouco se

aproximarão de um rendimento de 100%, mas será maior que qualquer outra máquina que opere entre as mesmas temperaturas pré-estabelecidas.

No ciclo de Carnot há uma igualdade entre a razão das quantidades de calor perdido e absorvido e a razão das temperaturas da fonte fria (para onde o calor é liberado) e a fonte quente (de onde o calor é retirado). Essas razões são representadas a seguir pela expressão

$$\left| \frac{Q_2}{Q_1} \right| = \left| \frac{T_2}{T_1} \right| \quad (14)$$

Como o rendimento é expresso pela equação (13), então uma máquina que opere seguindo o ciclo de Carnot, terá seu rendimento determinado por

$$n = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (15)$$

Esse ciclo é considerado como reversível assim como qualquer outro ciclo composto de processos quase-estáticos e ideal para determinar o rendimento através das temperaturas das fontes quente e fria. Qualquer outro ciclo, quando opera a partir das mesmas temperaturas extremas terá rendimento menor, pois a natureza apresenta limites na transformação do calor em trabalho. Esse limite está relacionado a quantidade de calor transformado em energia degradada, que está intimamente ligada ao conceito de entropia.

O conceito de entropia será apresentado na seção a seguir e apresentado aos alunos de forma contextualizada através do Motor de Elásticos, que estará inserido na terceira parte do Produto Educacional (Anexo I).

### 4.3 ENTROPIA

A energia interna, pressão, volume, temperatura e o número de mols existentes numa massa gasosa, são variáveis de estado que formam um macroestado deste gás. Podemos definir um microestado de um gás como um

arranjo ou configuração microscópica específica de moléculas que o compõe, cada uma com uma posição e velocidade determinada. Cada microestado produzirá um único macroestado, mas um macroestado pode ser obtido através de uma infinidade de diferentes tipos de microestados. A entropia é uma característica de estado termodinâmico determinada pelo número de microestados consistentes com o macroestado do sistema. Desta maneira, é comum relacionar entropia com a quantidade de informação adicional necessária para se especificar o estado exato de cada molécula de um gás a partir do conhecimento de suas variáveis macroscópicas (como pressão, volume, temperatura e massa). Por este motivo, algumas interpretações da entropia a relacionam com a aleatoriedade apresentada por um sistema termodinâmico e, portanto, com a “desordem” destes sistemas (ALMEIDA, 2015).

Quando um sistema recebe calor, seu macroestado muda para outro em que o número de configurações microscópicas é maior. Suas moléculas tendem a se agitar e a entrar em desordem gerando vários possíveis microestados compatíveis com o macroestado observado. Desta forma, quanto maior a desorganização e a quantidade de energia transformada, maior é a entropia. O contrário também é correto, ou seja, quanto maior a organização, menor a entropia. Dessa forma a entropia poderá ser interpretada como uma leitura probabilística, relacionando o número de microestados existentes e que correspondem às propriedades termodinâmicas do macroestado. Dessa maneira relacionamos a entropia com a quantidade de informações que foram adicionadas a cada formação dos diferentes microestados gerados (ALMEIDA, 2015).

Essa forma de interpretarmos a entropia, através do grau de organização ou desordem de um sistema, é o que define a espontaneidade dos processos físicos. Assim, ao observarmos que a entropia (a desordem) aumenta, afirmamos que o processo é espontâneo, seguindo um sentido preferencial na ocorrência dos fenômenos naturais que os levam na maioria das vezes a um aumento na aleatoriedade dos sistemas e a uma homogeneização da distribuição de energias nos mais variados graus de liberdade dos sistemas. A este aspecto, normalmente referimos como uma

“Quebra de Simetria Temporal” dos fenômenos.

Para exemplificar, podemos pensar na queda d’água de uma barragem que é um processo espontâneo em que a entropia aumenta. Após a queda uma grande parte da energia, que antes estava concentrada na forma de energia potencial gravitacional, fica mais homoganeamente distribuída em energias cinéticas rotacionais e translacionais das diversas moléculas e com isso aumentando a desordem do sistema. No entanto, a água retornar sozinha para o alto da barragem não pode ser considerado um processo espontâneo. Seria necessária uma ação externa para tanto, como a ação de uma bomba d’água.

Na hipótese de uma bomba d’água trazer novamente à quantidade de água para a configuração inicial, a entropia do sistema barragem+água iria diminuir, mas a bomba aqueceria e consumiria energia fazendo com que a sua própria entropia aumentasse em uma quantidade maior que o valor da diminuição da entropia do sistema barragem+água. A Segunda Lei da Termodinâmica impõe que a variação da entropia do sistema e de suas vizinhanças é sempre positiva em processos irreversíveis e nula nos processos reversíveis.

Para melhor compreensão de nosso trabalho faremos abaixo uma abordagem de alguns tópicos que serão trabalhados na terceira parte do Produto Educacional onde trataremos da construção de uma máquina térmica denominada de Motor de Elásticos que visa trabalhar os conceitos de entropia, processos reversíveis e irreversíveis. A compreensão desses conceitos poderá estabelecer a base para a construção do Motor de Elásticos e também na realização das atividades propostas através de vídeos, simuladores, questões e atividades experimentais.

#### *4.3.1 Entropia na Borracha*

A expansão ou contração de um material, quando aquecido ou resfriado, pode ser associada ao espaço intramolecular necessário para que as moléculas possam vibrar com uma maior amplitude e frequência devido ao aumento de suas energias cinéticas com o aumento da temperatura. Quando

as moléculas são organizadas de forma mais ordenada, a entropia da matéria diminui enquanto se as moléculas apresentarem maior desordem, a entropia aumenta. Na maior parte dos fenômenos onde ocorre aquecimento, suas moléculas vibram mais acentuadamente e isso implica em uma maior desorganização.

A borracha é um material que apresenta um comportamento mecânico peculiar, tendo a capacidade de sofrer grande deformação e retornar às dimensões originais. Isso porque ela é constituída de moléculas muito longas, em forma de cadeia. Quando a borracha é aquecida, as áreas centrais das cadeias de moléculas vibram mais vigorosamente (as extremidades da cadeia estão mais firmemente presas por ligações químicas às outras cadeias do que a região central), trazendo suas partes vizinhas para mais perto e resultando no encolhimento da borracha. Esse comportamento é o oposto da maioria dos materiais que quando aquecidos geralmente se dilatam, aumentando suas dimensões.

Para melhor compreensão façamos a seguinte analogia: imagine vários pedaços de correntes de ferro, presos uns aos outros por laçadas de barbante e o conjunto esticado sobre uma mesa. Os pedaços de corrente são análogos às cadeias de moléculas da borracha e as laçadas de barbantes as ligações químicas entre essas cadeias. Quando é tensionada a região central dos pedaços de corrente para o lado (tanto para a direita quanto para a esquerda da direção do conjunto), observa-se que ocorre uma aproximação entre os extremos livres do conjunto. O conjunto formado por pedaços de correntes encolhe.

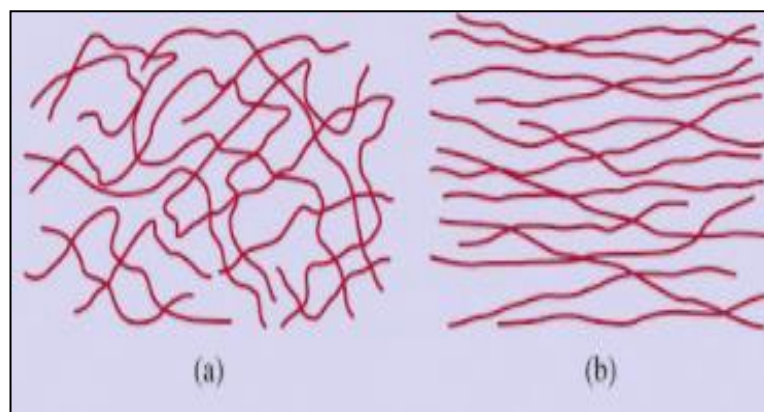
Algo semelhante ocorre com a borracha. Por efeito do calor, as regiões centrais das cadeias individuais vibram mais intensamente, puxam as cadeias adjacentes e determinam o encolhimento da borracha.

A contração da borracha provocada pelo aquecimento deixará suas cadeias mais tensionadas, com maior desorganização e conseqüentemente com maior quantidade de entropia.

Podemos demonstrar este fenômeno sofrido pelas cadeias de moléculas da borracha conforme a Figura 17, na qual em (a) ilustramos as moléculas em uma configuração de maior temperatura que em (b):



Figura 17 – Moléculas de borracha.

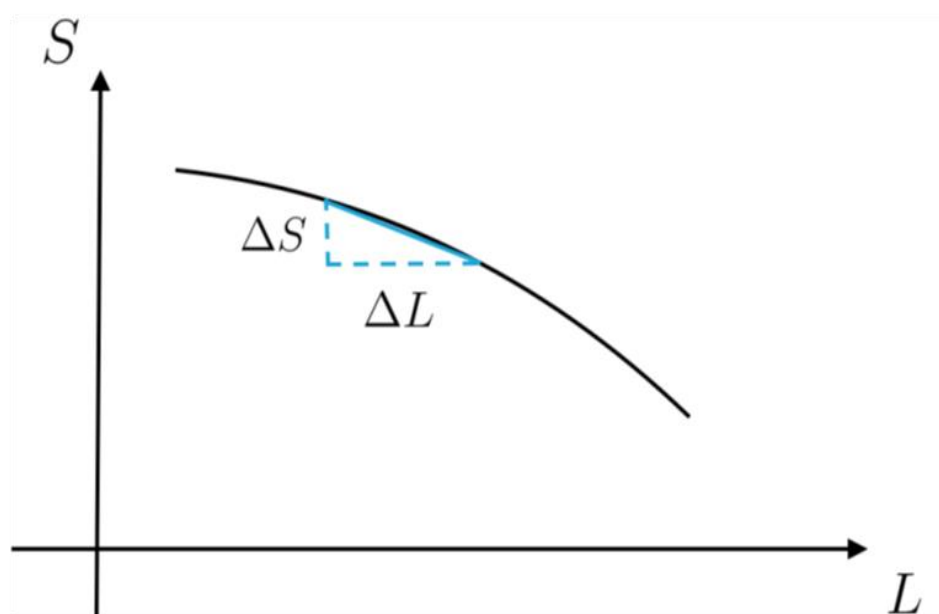


Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Na Figura 17 podemos perceber em (a) um determinado nível de desordem e as possíveis configurações de cada molécula (microestados) que correspondem a uma mesma contração (macroestado), caracterizando um alto nível de entropia. Em (b) as cadeias encontram-se tensionadas, alinhando-se de forma mais ordenada, diminuindo o número de microestados e caracterizando menor nível de entropia.

Na Figura 18 a seguir, representaremos a entropia ( $S$ ) em função do comprimento ( $L$ ) da borracha. Desta forma, pode-se afirmar que a entropia da borracha diminui à medida que o comprimento da borracha aumenta, já que há cada vez menos microestados capazes de produzir grandes comprimentos.

Figura 18 - Entropia ( $S$ ) em função do comprimento ( $L$ ).



Fonte: MOURA; AGUIAR (2016).

Durante a construção, montagem e funcionamento do motor de elásticos, ocorre uma variação de entropia através da contração dos elásticos. Quando os elásticos recebem calor através do processo de radiação da lâmpada, absorvendo e conduzindo-o de molécula a molécula, ocorre aumento do número de microestados dos sistemas, deixando-os mais tensionados gerando um aumento de entropia.

A contração dos elásticos e consequente variação de entropia faz com que o centro de massa do sistema seja alterado, girando o aro repetidamente. Quando a parte aquecida é afastada da fonte de calor (lâmpada) o processo ocorre o de forma contrária, os elásticos são resfriados, suas moléculas reorganizadas, ocorrendo uma expansão.

Figura 19 – Motor de Elástico e Entropia



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

#### 4.3.2 Entropia e a Flecha do Tempo

Em nosso trabalho quando mencionamos os ciclos termodinâmicos realizados pelas máquinas térmicas, a relação entre calor e temperatura determina a variação de entropia ( $\Delta S$ ). Em processos termodinâmicos

quaisquer, a variação da entropia é definida como:

$$\Delta S = \int_i^f \frac{\delta Q}{T} \quad (16)$$

onde  $\delta Q$  representa uma absorção infinitesimal de calor durante um processo termodinâmico que leva o sistema de um estado inicial  $i$  para um estado final  $f$ . Esta integral reduz-se à forma  $Q/T$  quando a temperatura mantém-se constante (caso isotérmico), onde a entropia diminuirá na fonte quente e aumentará na fonte fria. Para Rudolf Julius Emanuel Clausius o ciclo será reversível se o módulo da variação da entropia da fonte quente for igual ao da fonte fria e será irreversível se a entropia for maior na fonte fria. Diminuir a entropia total é impossível, pois permitiria o retorno às configurações iniciais após um processo irreversível sem com isso alterar nenhuma outra característica do Universo, violando assim a Segunda Lei da Termodinâmica (ALMEIDA, 2015)

Fisicamente, o tempo é tratado como uma “dimensão” espacial a mais ou como o parâmetro conveniente para caracterizar os diferentes estados de um sistema. No entanto, uma análise mais cuidadosa mostra que o tempo objetivo, o tempo das ciências naturais, só pode ser estruturado se lhe associamos (1) uma unidade de medida e (2) uma direção preferencial. Na natureza existe uma distinção entre duas classes de fenômenos aos quais podemos associar a flecha do tempo (ALMEIDA, 2015).

Esses fenômenos são denominados de processos reversíveis e irreversíveis. A maioria dos processos ocorrem seguindo uma ordem de tempo (processos irreversíveis). Esses processos serão abordados nas seções seguintes e trabalhados no Produto Educacional (Anexo I) através da construção do Motor de Elásticos e realização de atividades com vídeos, simuladores e experimentos com materiais alternativos (materiais de baixo custo).

#### 4.3.3 Processos Reversíveis

Podemos definir como processos reversíveis as transformações ocorridas em um sistema termodinâmico em que ao fim dessa transformação, o

sistema e sua vizinhança possam ser restaurados a seus estados originais, sem com isso causar qualquer alteração no restante do universo. A partir do conceito de processos reversíveis, definimos a entropia como sendo uma variável de estado em que ao final de todo processo termodinâmico reversível, a entropia do universo permaneça constante.

A variação da entropia total após um processo (ou seja, a variação de entropia de um sistema termodinâmico somada à variação de entropia do ambiente com o qual interage) pode ser nula ou positiva, sendo que teremos  $\Delta S_{\text{Tot}} = 0$  quando os processos são reversíveis. Isso significa que o sistema e a vizinhança podem ser perfeitamente restaurados aos estados iniciais após o processo sem com isso provocar qualquer alteração no restante do Universo e a probabilidade de o fenômeno acontecer em um sentido é igual a de ocorrer no sentido contrário.

A compressão extremamente lenta de um gás através de um êmbolo de modo que, em cada instante o sistema permaneça em equilíbrio termodinâmico (mantendo constante a temperatura do gás) pode ser considerado um exemplo de processo reversível. A energia fornecida ao gás sob a forma de trabalho, seria continuamente transferida para o ambiente sob a forma de calor. Se permitíssemos que o gás agora absorvesse o calor do ambiente de forma isotérmica mantendo para isso uma diferença de temperatura infinitesimal com o ambiente, a expansão do gás retornaria tanto o sistema quanto o ambiente às suas configurações originais.

É importante destacar a necessidade de que, na prática, os processos reversíveis ocorram de maneira extremamente lenta, ou quase-estática. Somente desta forma assegura-se um equilíbrio termodinâmico interno do sistema e também o seu equilíbrio com o meio externo. O estado de equilíbrio será sempre um estado de máxima entropia possível. Portanto, assegurando que um processo ocorra durante uma situação de equilíbrio termodinâmico saberemos que não haverá aumento de entropia total (pois já é máxima) e portanto teremos  $\Delta S_{\text{Tot}} = 0$  (ATKINS; DE PAULA, 2008).

Voltando ao exemplo do êmbolo, se a compressão for rápida o êmbolo também voltará a se expandir após ser liberado, mas isso não significa que o processo foi reversível. Isso porque a temperatura do gás no interior do cilindro,

a temperatura do ambiente que o cerca, as características do agente que realizou a compressão assim como todas as outras variáveis de estado do sistema e do ambiente serão diferentes às dos seus valores originais anteriores à compressão. Por este motivo é um equívoco afirmar que uma pedra lançada para cima consiste de um processo reversível por retornar à sua posição inicial após o movimento, uma vez que as propriedades de estado da pedra e do ambiente que a cerca são modificadas após o fenômeno (ATKINS; DE PAULA, 2008).

#### *4.3.4 Processos Irreversíveis*

As transformações energéticas quase sempre ocorrem através de processos irreversíveis, de forma a tornar a distribuição de matéria e energia cada vez mais homogeneamente distribuídas. Existem eventos isolados em que a entropia pode diminuir em um sistema. Porém esta redução é compensada por seu aumento, quando pensamos neste sistema como um subsistema de um sistema maior. De forma geral, a entropia total sempre irá aumentar no Universo.

Podemos citar como exemplo, o funcionamento de uma geladeira: o resfriamento no interior faz com que entropia do sistema seja reduzido, porque a transferência do calor permite que átomos e moléculas fiquem menos agitados, isso significa uma menor desordem. No entanto, esse fato é compensado pelo aquecimento maior do eletrodoméstico no meio externo, produzindo uma quantidade de calor ainda maior do que a retirada da parte interna do refrigerador, o que representa um aumento maior de entropia se pensarmos no sistema como a cozinha na qual a geladeira se encontra.

O processo irreversível é aquele em que o sistema não pode retornar ao estado original de forma espontânea. Se acaso um sistema termodinâmico isolado esteja em um estado de não equilíbrio, no momento seguinte o seu novo estado provavelmente apresentará uma maior homogeneidade na forma com que a energia se distribui. A tendência do sistema que passa por um processo irreversível é a de se aproximar cada vez mais da desordem. Podemos citar como exemplos de processos irreversíveis, o resfriamento de

uma xícara de café, a mistura entre tintas de cores diferentes, a ebulição de um líquido. Em todos esses exemplos a flecha do tempo aponta para uma gradativa diminuição da ordem. Nos fenômenos térmicos isto significa uma dificuldade cada vez maior em se converter calor em trabalho mecânico.

Quando alcançado o estado de equilíbrio, é pouco provável que o sistema termodinâmico retorne ao estado inicial. A irreversibilidade dos processos termodinâmicos tem um caráter probabilístico, ou seja, a reversibilidade não é impossível, mas é tanto mais improvável quanto maior o número de partículas que constituem o sistema. Quanto maior for o número de partículas pertencentes a um macroestado, maior será também o número de configurações e informações existentes em seus vários microestados gerados (ATKINS; DE PAULA, 2008).

Para um número elevado de partículas poderíamos argumentar que esperando o tempo suficiente, a ordem das partículas poderia ser reestabelecida. No entanto esse tempo poderia ser maior que muitas vezes a idade do Universo. Esse caráter probabilístico será explorado na atividade experimental sobre entropia, (aula 2) construída com materiais alternativos (garrafas PET, mangueira e bolas de gude) que está inserido no Produto Educacional.

## **5 RESULTADOS OBTIDOS**

Nesta seção são relatados os resultados obtidos a partir da aplicação do Produto Educacional no Ensino da Física referente ao conteúdo da termodinâmica mediante a construção conjunta de máquinas térmicas, sendo elas: o Motor Stirling, a Máquina a vapor e o Motor de Elástico. A aplicação do Produto e os resultados ocorreram em uma turma de estudantes do 3º Ano do curso de Formação de Docentes do Colégio Humberto de Alencar Castelo Branco – Ensino Normal e Médio do município de Santa Helena – PR, realizado entre os meses de março e outubro de 2017.

### **5.1 RESULTADOS MOTOR DE STIRLING**

Inicialmente, para a abordagem do tema máquinas térmicas (motor de Stirling) optou-se pela explanação sucinta referente ao contexto histórico das máquinas térmicas e suas grandezas térmicas envolvidas. A explanação teve como objetivo a verificação do conhecimento prévio dos estudantes através das atividades vivenciadas em suas práticas diárias. Durante a explanação os conceitos de pressão, volume e temperatura foram abordados com maior ênfase, sendo que os estudantes demonstraram pouco conhecimento referente ao tema, comparando o conceito de temperatura com sensação térmica, pressão a uma quantidade de força, calor altas temperaturas e volume a uma quantidade de massa, bem como a interpretação equívoca sobre que toda máquina térmica são máquinas a vapor. No decorrer do diálogo, notou-se que o conhecimento prévio destes estudantes é caracterizado, essencialmente, pelo conhecimento empírico, construído a partir de suas experiências cotidianas, sendo fundamentado no conhecimento popular, sem o embasamento científico.

MORO, NEIDE e REHFELDT (2016) apontam que é possível que o aluno não consiga relacionar e corresponder, no primeiro momento, seu conhecimento e experiência com o novo material de aprendizagem. Neste caso, o professor deve estar atento no sentido de ampliar a apresentação do

assunto, levando a detecção de indícios relacionados ao conhecimento prévio significativo existente na estrutura cognitiva do estudante.

Na sequência ocorreu a apresentação do motor de Stirling em pleno funcionamento, como uma forma de subsunção, alicerçando suas estruturas cognitivas preexistentes com o assunto abordado. Pela teoria da aprendizagem de Ausubel, a aprendizagem ocorre quando uma nova informação está alicerçada em conceitos relevantes, preexistentes na estrutura cognitiva do estudante, ou seja, quando encontra-se o significado real do fenômeno estudado.

Através do entusiasmo despertado pelo funcionamento do motor, os estudantes inter-relacionaram a importância das máquinas térmicas e a interferência delas na sociedade atual. Alguns conceitos foram revisados, através de questionamentos pré-estabelecidos pelo professor, gerando uma troca de ideias e opiniões em forma de debate em sala de aula, o que permitiu a identificação dos conhecimentos prévios em relação à temática discutida.

A cada grandeza termodinâmica identificada os estudantes dialogaram sobre as definições de seus conceitos, associando geralmente a fenômenos ocorridos em suas vivências cotidianas. Nesse momento o conhecimento popular apontado pelos estudantes foi aprimorado através de um aprofundamento calcado em bases científicas mais sólidas, guiado pelo professor.

Para que os estudantes mantivessem o interesse sobre a temática e a possível introdução de novos conceitos, a situação problema foi apresentada (aula 2) através do questionamento “Como se deu o processo de estudo, adaptação, aperfeiçoamento e aumento do rendimento das máquinas térmicas até o desenvolvimento dos motores utilizados na atualidade?” Com a indagação referente ao processo de aperfeiçoamento das máquinas, seu rendimento e desenvolvimento dos motores utilizados na atualidade. A situação problema apresentada fez com que a turma ficasse focada na temática, gerando questionamento, observações, reflexões e opiniões acerca da evolução das máquinas térmicas. É através de uma situação-problema, que desafia-se o estudante a encontrar a solução para algo proposto.

Após a formação dos grupos, e apresentação das questões abordadas



nessa seção, os estudantes responderam de forma consensual aos questionamentos.

1. Quais os aspectos mais relevantes durante o funcionamento do motor de Stirling? Cite se houve alguma transformação gasosa?

Combustão externa, funcionamento com diferentes combustíveis, diferença de temperatura. As transformações que correspondem ao ciclo de Stirling foram citadas, a isotérmica e a isométrica.

2. Seu rendimento é satisfatório? É superior aos motores de combustão interna?

Possui rendimento alto, acima dos motores de combustão interna.

3. Onde são utilizados?

Para fins de entretenimento e estudo.

4. Quais os motores mais utilizados na atualidade? Os motores de Stirling serviriam para o uso em indústrias? Os motores elétricos e a combustão interna são os mais utilizados na atualidade. Em indústrias o Stirling não suportaria temperaturas muito elevadas e tem dificuldade de variação de velocidade (arranque).

O trabalho transcorreu de forma dialógica entre os integrantes do grupo, sendo satisfatório o nível de empenho durante a aula, e as reflexões feitas. Os estudantes refletiram sobre diversos temas interligados ao assunto sugerido. Os temas apresentados variaram desde fontes de energia, consumo, evolução tecnológica, transformações sociais e econômicas até rendimentos de motores automotivos, o que caracterizou o total envolvimento dos estudantes e a assimilação da proposta apresentada pelo professor com o contexto cotidiano vivenciado por cada pessoa.

Nesta perspectiva foi exibido um documentário intitulado, “História dos motores”, na aula 3 com o relato de fatos históricos acerca do assunto. Após terem assistido ao documentário através de trechos (descritos no Produto Educacional), intercalados com intervenções do professor para que fossem destacados e discutidos aspectos nevrálgicos do tema do vídeo conforme entendimento e mediação do professor, os estudantes apresentaram várias indagações e colocações referentes ao avanço da tecnologia propiciado pelo aperfeiçoamento das máquinas. Isso propiciou o estabelecimento de relações

entre avanços científicos x avanços tecnológicos, tecnologia x economia e o progresso econômico x social. O recurso audiovisual (vídeo), proposto nesta etapa como uma proposta metodológica diversificada, permitiu aos estudantes a visualização de fatos e fenômenos que estavam somente fixados em memórias imaginárias. Essas memórias que, tinham sido construídas através da leitura ou de debates calcados no empirismo, passam agora a ter maior significado em suas vivências. Essa etapa está fundamentada na teoria de Piaget, pois trata da assimilação do estudante como a capacidade de incorporar um novo objeto ou ideia a um esquema, ou seja, às estruturas já construídas ou já consolidadas. Já a acomodação está no fundamento em que ocorre o ajuste do novo objeto com os esquemas anteriores a fim de adequar ao novo recém-assimilado.

Alguns estudantes chegaram a exclamar: “Jamais tinha imaginado que o assunto fosse tão importante na sociedade.”, “As máquinas térmicas impulsionaram o progresso do mundo.”, “Resumindo, a Física está presente em tudo, direta ou indiretamente.” Através dessas reflexões feitas pelos estudantes foi possível mensurar qualitativamente a eficácia da proposta metodológica apresentada através da visualização do vídeo, intercalados com questionamentos e apontamentos. O ambiente propiciado pela aula, e o aprendizado adquirido, através da participação ativa dos estudantes, também se destacaram nessa etapa, pois a interação entre estudantes e estudante-professor gerou um equilíbrio de ideias construtivas permitindo que a sequência dos trabalhos seguissem com êxito.

Na sequência, foi proposto a exibição de um vídeo com a demonstração do funcionamento do motor de Stirling e seu ciclo termodinâmico com quatro etapas: aquecimento isocórico (volume constante), expansão isotérmica, resfriamento isocórico e compressão isotérmica (temperatura constante), Nesse momento, a cada etapa apresentada o professor pausava o vídeo e explicava o funcionamento, o que propiciou aos estudantes maior embasamento e despertou o seu interesse para a futura construção do Motor de Stirling. Esta atividade permitiu aos estudantes verificar os materiais que posteriormente foram utilizados para a construção e possibilitou a eles que tivessem uma noção intuitiva do assunto, realização de aproximações e

levantamento de hipóteses referentes a aplicação do motor de Stirling.

Durante a construção do Motor de Stirling (aula 4) foi possível perceber uma interação maior entre os estudantes, socializando conhecimentos prévios, tornando o ambiente agradável. Também foi possível promover uma maior proximidade entre professor e estudantes, uma vez que o professor passou a assumir o papel de mediador do processo.

As dificuldades eram superadas dialogicamente à medida em que surgiam. No decorrer do processo de ensino, novas indagações referentes aos conteúdos abordados surgiram. No entanto, a interação entre os próprios colegas, foram suficientes para que fossem esclarecidas. O contato dos estudantes com os materiais permitiu uma maior proximidade entre a teoria e a prática envolvida no assunto. As relações da construção do conhecimento seguindo um passo-a-passo, fez com que os estudantes associassem os conceitos pré-estabelecidos anteriormente aos fenômenos ocorridos cotidianamente. Alguns estudantes expressaram a satisfação com o modelo de aula adotado exclamando: “Quero mais aulas assim.” E outros que afirmaram: “Na prática a teoria se torna mais agradável.” Conforme as dificuldades dos estudantes surgiam, eram retomados os conceitos com novas explicações para que estas pudessem ser superadas e gerados novos estímulos.

Após a montagem e durante o funcionamento do Motor de Stirling ficou clara a satisfação dos grupos de estudantes por terem conseguido realizar o experimento com êxito. No entanto, quando não era alcançado o êxito no funcionamento do motor de Stirling, debates surgiam espontaneamente na turma com o intuito de encontrar o porquê do não funcionamento. Estas situações foram então encaradas como oportunidades para se revisar a teoria. De modo geral era obtida uma solução consensual para o problema enfrentado.

Alguns exemplos de afirmações proferidas pelos estudantes, assim foram citadas. “Foi difícil montar, mas conseguimos”. “Não imaginava que esse experimento tivesse relação com um motor.” Através destas afirmações constata-se a participação ativa do estudante, o êxito da aula e a construção da aprendizagem de forma significativa entre o professor e estudantes. A

metodologia proposta através da montagem desse motor privilegiou a construção ativa do conhecimento pelo estudante, tendo-o como agente principal do processo de ensino-aprendizagem, perante a mediação do professor.

Na realização das atividades da aula 5, após a demonstração do vídeo “Simulador de Transformação Gasosa 1”, os estudantes deveriam assinalar com a letra x nas colunas da tabela, identificando o processo ocorrido em cada fase, de acordo com o comportamento evidenciado no vídeo, e apresentados na Tabela 6 abaixo. A tabela foi assinalada individualmente por todos os integrantes dos grupos de estudantes, identificando todos os processos ocorridos durante o ciclo de Stirling.

Tabela 6 - Atividade de transformação gasosa durante o ciclo de Stirling

	ISOTÉRMICA/ EXPANSÃO	ISOTÉRMICA COMPRESSÃO	ISOCÓRICA AQUECIMENTO	ISOCÓRICA RESFRIAMENTO	ISOBARICA
FASE 1			X		
FASE 2	X				
FASE 3				X	
FASE 4		X			

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Houve grande comprometimento dos estudantes durante o desenvolvimento da atividade, os mesmos pediam para pausar o vídeo para fazer anotações, para posterior execução do preenchimento da tabela. Um total de 20 estudantes completaram o exercício sobre o ciclo de Stirling, sendo que para preencher integralmente a tabela era necessário assinalar somente 4 retângulos indicando a etapa e o nome do processo termodinâmico envolvido. Os resultados desta atividade foram individuais com os seguintes índices, representados na Tabela 7 abaixo.

Tabela 7 – Erros e acertos dos estudantes na atividade

Nº de Estudantes	Erros	Acertos	% de acertos
10	00	4	100%
06	01	3	75%
04	02	2	50%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

A partir dos resultados apresentados na Tabela 7 é possível verificar que 50% dos estudantes obtiveram êxito com 100% de acertos, 30% (06 estudantes) obtiveram 75% de acertos e somente 20% (04 estudantes) obtiveram 50% de acertos. A média de acertos da turma foi de 82,5%, o que demonstra um ótimo aproveitamento. As dúvidas foram esclarecidas durante pausas na apresentação do vídeo como sequência desta atividade.

Na sequência foram apresentados alguns aplicativos computacionais (simuladores) que desenvolvem simulações na área de ensino de física. Estes aplicativos podem ser utilizados diretamente no sítio eletrônico ou através do *download* do programa executável. Nestes simuladores os estudantes puderam verificar visualmente as variações da pressão, volume e temperatura em cada situação. Foi realizada, através da exploração do simulador, alguns questionamentos com o foco nas transformações gasosas e o ciclo de Stirling e as representações nos diagramas de pressão em função do volume.

1. É possível representar nesse simulador (cuja captura de tela está ilustrada na Figura 20) as fases do ciclo de Stirling?

2. Usando o simulador, represente graficamente cada fase do ciclo de Stirling.

3. Quando se mantém o volume constante, o que ocorre quando há um aumento de temperatura? E uma diminuição de temperatura?

4. Usando o simulador, represente graficamente o item anterior no diagrama P vs. V e V vs. T.

Durante a exploração dos simuladores os estudantes interagiram entre os grupos e identificaram as variáveis que se mantinham constantes, relacionando-as com suas respectivas transformações. A transformação isotérmica e a isométrica foram destacadas como pertencentes ao ciclo de Stirling, sendo a isobárica indicada como não pertencente a este ciclo. As representações gráficas foram o ponto de maior dificuldade de execução pelos estudantes, porém manualmente obtiveram êxito durante esta etapa, cumprindo satisfatoriamente com o proposto.

De forma mais visual os resultados eram expostos nos simuladores e comentados no grupo. Os estudantes eram estimulados a relacionar e discutir os equívocos e acertos na atividade anterior referente ao preenchimento da

tabela. A participação efetiva dos estudantes nessa etapa da aula oportunizou que os grupos sanassem as dúvidas entre si, respondendo os questionamentos de forma mais elaborada e contextualizada com o cotidiano vivenciado. A mediação feita pelo professor garantiu o foco dos estudantes na temática trabalhada, organizando a aula em etapas, otimizando o tempo, proporcionando um ambiente favorável para ocorrer a aprendizagem.

Na aula 6, seção 1.6 (avaliação) foi realizado um debate entre os 4 grupos. Na apresentação de cada questão proposta pelo professor os grupos debatiam até atingirem um consenso. Os questionamentos sugeridos foram.

1. Quais as grandezas físicas envolvidas no processo de funcionamento do Motor de Stirling em suas 4 fases?
2. Quais as transformações gasosas trabalhadas neste tópico? Em quais delas o gás realizou trabalho?
3. Quais as vantagens e desvantagens de um motor de Stirling?
4. Devemos investir em máquinas térmicas mais eficientes ou em fontes de energia renováveis?
5. Teremos combustível suficiente para a queima em motores em um futuro próximo? Se não, quais seriam as alternativas?

As duas primeiras questões propostas no Produto Educacional foram debatidas e facilmente compreendidas, ressaltando as grandezas (pressão, volume, temperatura e calor) envolvidas e suas transformações isotérmicas e isométricas existentes em cada etapa no ciclo de Stirling. A expressão proferida por um estudante resume o nível satisfatório do debate. “A variação do volume implica em trabalho, portanto só há trabalho na expansão e na compressão isotérmica”

Os relatos feitos pelos grupos, referente às vantagens deste motor foram sobre as possibilidades de utilização de diversos tipos de combustível, sobre o seu baixo nível de ruído, a simplicidade dos princípios de seu funcionamento, a baixa emissão de gases poluentes e a alta eficiência do motor. As desvantagens apontadas também foram relatadas, sendo as principais delas: O custo mais caro em comparação a um motor a combustão interna; difícil vedação; dificuldade para variar a velocidade (arranque).

O debate proposto pelas duas últimas questões do Produto Educacional

foi maior, onde cada grupo contribuiu com sugestões de novas fontes de energias e análise das vantagens e desvantagens no uso do motor de Stirling. Na concepção dos estudantes a humanidade deve investir mais em energias renováveis, concomitantemente ao melhoramento da eficiência dos motores, pois estas medidas contribuiriam para uma redução da queima de combustíveis fósseis e todos os impactos ambientais que dela decorrem. Além disso, devemos priorizar ao máximo as fontes de energias consideradas como limpas (renováveis).

Os relatos feitos pelos estudantes pressupõem a efetiva aprendizagem significativa que, de acordo com Fernandes (2010) permite a ampliação e reconfiguração de concepções existentes e anteriormente fixados na estrutura mental, relacionando e acessando aos novos conteúdos.

Esta perspectiva encontra fundamentos nos conceitos elaborados por Moreira (2012) quando afirma que à medida que novas aprendizagens são alicerçadas significativamente, os conhecimentos que foram usados anteriormente como base, são aprimorados e progressivamente diferenciados. Conforme o subsunçor torna-se mais robusto, processo que ocorre continuamente no de ensino-aprendizagem, acontece a diferenciação progressiva em que o aluno estabelece relações entre as ideias, conceitos e conhecimentos existentes na estrutura cognitiva.

## **5.2 RESULTADOS DA MÁQUINA A VAPOR**

A apresentação do tema e verificação do conhecimento prévio sobre a Máquina a Vapor foi discutida através da contextualização do surgimento das máquinas a vapor durante a Revolução Industrial, demonstrando que seu uso modificou definitivamente o trabalho do homem. A apresentação da máquina a vapor em funcionamento despertou nos estudantes o interesse pelo assunto proposto, gerando diferentes opiniões, sugestões, afirmações e questionamentos. O conhecimento prévio foi verificado através do debate dos questionamentos abaixo elencados.

1. Qual a fonte de energia para o funcionamento da máquina a vapor?
2. Qual a finalidade do uso da máquina a vapor?

3. Qual o impacto sócio econômico após o advento da máquina a vapor?

4. Quais as grandezas termodinâmicas envolvidas durante o processo de funcionamento do motor?

A partir da discussão gerada pelos questionamentos abordados para identificação dos conhecimentos prévios, os estudantes identificaram algumas grandezas termodinâmicas presentes durante o funcionamento da máquina a vapor, tais como energia, pressão, temperatura e movimento. Mesmo identificando essas grandezas, os estudantes ainda desconhecem o processo mecânico de funcionamento da máquina a vapor. O momento de maior reflexão ocorreu quando os 4 grupos relacionaram o surgimento das máquinas a vapor, o aperfeiçoamento, o seu uso na sociedade daquela época e principalmente o impacto sócio-econômico causado pela substituição da mão de obra braçal humana ou mesmo animal, pelo advento das máquinas a vapor.

Os grupos contribuíram com vários apontamentos feitos, correlacionando a época do surgimento e implementação das máquinas a vapor na indústria, com o avanço tecnológico digital vivenciado pela sociedade atual. Chamou a atenção a seguinte frase proferida por um grupo durante a aula. “Toda tecnologia, considerada avançada hoje, é um produto de conhecimentos adquiridos durante um longo tempo, nisso podemos citar os avanços da sociedade moderna através do uso das máquinas”. Através dessa percepção dos estudantes, as correlações apontadas e reflexões referentes a temática é que podemos definir o resultado desta aula como sendo proveitosa e significativa para o nosso cotidiano. O conhecimento prévio destes estudantes é caracterizado, pelo conhecimento empírico, construído a partir de suas experiências cotidianas, porém de alta relevância para a sequência deste trabalho. É a partir do conhecimento que o estudante já possui através de suas práticas cotidianas que o professor irá transformar o empirismo em embasamento científico.

A problematização levantada para esta etapa (aula 2) volta-se para o impacto causado devido ao surgimento das máquinas a vapor na sociedade moderna. Os estudantes refletiram sobre os seguintes questionamentos.

1. Qual a primeira função da máquina a vapor após seu surgimento?

2. Porque a máquina a vapor está vinculada com a revolução industrial?



3. Qual o impacto social causado com o surgimento das máquinas a vapor?

4. Porque a maioria dos motores da atualidade não são motores a vapor?

Após breve reflexão os estudantes mencionaram o uso das máquinas a vapor para transporte de carga e de pessoas, bem como o uso em indústrias, motivo esse de ser vinculada com a revolução industrial. Durante essa etapa os grupos expuseram as barreiras impostas por esta nova tecnologia às pessoas das castas econômicas mais baixas da sociedade e a possível dependência tecnológica em que o homem contemporâneo está inserido. Os avanços tecnológicos permitiram ao homem o uso de motores com rendimentos melhores, motivo este pelo qual as máquinas a vapor foram gradativamente sendo substituídas por motores a combustão. Após esses assuntos abordados pelos grupos, um aluno propôs a seguinte reflexão. “O que vimos até aqui é que as maquinas estão, cada vez mais, substituindo o trabalho do homem. Qual seria o limite para esses avanços? ”

Na sequência, seção 2.3, foi sugerida a exibição do vídeo “Legendas da Ciência – Episódio Queimar”, dando maior ênfase aos trechos citados no Produto Educacional, visando a maior compreensão dos conceitos e conteúdos propostos pelo professor aos estudantes. Na discussão do assunto, os estudantes apresentaram comparativos entre o mundo vivido por nossos ancestrais, a modernidade vivida pelo homem contemporâneo e o mundo que está por vir. Todo o debate fundamentou-se com ênfase nos avanços obtidos através do aperfeiçoamento das máquinas térmicas para realização de trabalho.

No início do vídeo (2:00 até 4:20 minutos) os estudantes estabeleceram uma relação entre o “Mundo Mecânico” (frio) do trabalho e o “Mundo Termodinâmico” (quente) ou do trabalho termodinâmico. Constatou-se, através de uma mediação dialógica, a influência do calor na transformação destes trabalhos, o surgimento das máquinas a vapor e o início de uma nova era denominada de Revolução Industrial. Os estudantes enfatizaram os mundos totalmente diferentes vividos por Lazare Carnot (Carnot pai) denominado de “mundo mecânico” e Sadi Carnot (Carnot Filho) chamado de mundo

termodinâmico.

Os estudantes expressaram grande satisfação com a metodologia adotada, culminado em novas e significativas aprendizagens, o que podem ser verificadas pelas seguintes afirmações. “Sempre iremos precisar de ferramentas manuais, porém a termodinâmica tem um significado de avanço tecnológico”. “O uso do calor como fonte de energia revolucionou a sociedade.” Para finalizar a aula foi apresentado aos estudantes um simulador do motor a vapor de James Watt, onde exploraram em seus grupos as fontes de calor (quente e fria), o trabalho termodinâmico produzido através do deslocamento do pistão, e a função de cada uma das partes da máquina. Cada etapa era comentada pelos estudantes, sendo que a grande maioria expressou a compreensão em que a queima do combustível, aquece a caldeira, gera vapor e está relacionada ao processo de movimento do pistão da máquina a vapor.

Através desta atividade os estudantes visualizaram a transformação da energia proveniente da queima do combustível (calor) em energia de movimento (cinética). Uma análise mais criteriosa foi feita pelos estudantes, onde ressaltaram a grande quantidade de energia gasta na queima em relação ao movimento realizado. Esta análise resultou em um debate referente ao baixo rendimento das máquinas a vapor, expressas através das frases seguintes pelos estudantes. “Nessa máquina o consumo de energia era muito alto em relação ao movimento gerado”. “O rendimento é muito baixo, perde-se muita energia”.

Na aula 4, seção 2.4, durante a montagem e construção da máquina a vapor, houve intensa participação dos estudantes, tendo o professor da disciplina atuado como mediador para que os grupos pudessem avançar paralelamente de acordo com as instruções. Houve sociabilização de materiais, ideias e conhecimentos entre os integrantes dos grupos e também entre os grupos distintos, ocorrendo uma maior proximidade entre os estudantes e também entre professor e estudantes. O contato dos estudantes com os materiais, provocou um maior estreitamento entre a teoria explanada e a prática desenvolvida. As relações construtivistas do conhecimento onde o estudante é o agente central da proposta, faz com que o conhecimento seja aprimorado. A associação entre conceitos pré-estabelecidos anteriormente, a

prática metodológica e aos fenômenos ocorridos, culminou num maior conhecimento adquirido.

Durante a montagem, dúvidas eram elucidadas e o aprendizado assimilado de forma colaborativa. Os grupos desenvolveram satisfatoriamente as atividades e prontamente relacionaram as diferentes formas com que a energia se manifesta em suas devidas transformações com a assimilação do princípio da conservação da energia, descrita pela Primeira Lei da Termodinâmica.

No decorrer desta etapa, os próprios estudantes realizavam aproximações e levantavam hipóteses, demonstradas através das seguintes expressões. “Cada sistema possui uma quantidade  $x$  de energia e essa não se altera, se transforma em outros tipos de energia.” “Quando aumentamos o fogo na caldeira, o movimento da turbina também aumenta, então a energia está se transformando”. “Percebemos que ocorre perda de energia para o ambiente”. Neste ponto, foi possível estabelecer um diálogo coletivo referente a Primeira Lei da Termodinâmica e suas aplicações, também enfatizado o conceito de pressão, suas unidades de medidas e as possíveis transformações. De acordo com Moreira (2006) o aluno demonstra a aprendizagem através das relações que estabelece, de como processa a estruturação, diferenciação de elementos e conceitos de uma determinada unidade de estudo.

Na sequência, foram respondidas as questões sugeridas na Aula 5, onde cada grupo respondeu com suas palavras sem exposição coletiva, para posterior debate na aula 6 com o propósito de avaliar o conhecimento assimilado durante as atividades.

1. As máquinas a vapor convertem energia? Como acontece esta conversão?

2. Nas máquinas a vapor a energia se conserva? Explique embasando-se na Primeira Lei da Termodinâmica.

3. Quando uma máquina a vapor realiza trabalho? Relacione com a expansão do gás.

4. É possível o funcionamento de uma máquina a vapor sem o consumo de energia? Nessas condições há possibilidade do gás realizar trabalho?

5. Como se dá o funcionamento de uma máquina térmica? O que faz

com que o êmbolo se desloque?

6. Se o rendimento é abaixo dos 100%, para onde vai o restante da energia que não é utilizada para trabalho útil?

7. Como se obtém o rendimento de uma máquina térmica? Relacione o trabalho realizado durante o funcionamento.

Durante a realização do questionário, os estudantes priorizaram por respostas curtas e objetivas, porém embasadas nos conceitos assimilados anteriormente. Encerrando o questionário, foi apresentado um aplicativo de simulações (simulador de rendimento térmico), que explorou o rendimento de algumas máquinas térmicas, o calor fornecido e o calor rejeitado para o ambiente. Este simulador teve como principal enfoque a visualização da quantidade de energia desperdiçada (rejeitada) por uma máquina térmica e sua implicação na eficiência da máquina.

Estudo semelhante, com a abordagem da energia térmica para estudantes do 2º Ano do Ensino Médio por meio de atividades experimentais e simulações computacionais, foi apresentada na pesquisa realizada por MORO, NEIDE e REHFELDT (2016). Os resultados desta pesquisa evidenciaram que tanto os experimentos realizados em sala de aula como os simuladores computacionais acessados são recursos pedagógicos que podem proporcionar aulas mais atrativas que incluem intercaladamente, tarefas teóricas e experimentais, fazendo com que o estudante reflita para compreender os conceitos.

Na sequência os estudantes debateram sobre a eficiência de cada máquina apresentada no simulador, compreendendo as relações entre transformação de calor em trabalho e o rendimento de cada um. Nesta etapa os estudantes tiveram boa compreensão sobre os conteúdos trabalhados, através do cumprimento das atividades propostas.

Ainda nesta etapa foi proposto o preenchimento de uma tabela de conversões de unidades da grandeza pressão, tendo como base as aproximações de  $1 \text{ atm} \cong 1 \times 10^5 \text{ Pa} \cong 14,7 \text{ psi}$ . A atividade proposta foi desenvolvida em grupo para priorizar a troca de ideias e a socialização de informações entre os integrantes, além de otimizar o tempo para a conclusão da atividade:

Tabela 8 – Atividade de transformação de Equivalências

1,5 atm	? Pa	? psi
? atm	$2 \times 10^5$ Pa	? psi
? atm	2,5 Pa	? psi
? atm	? Pa	26 psi
5 atm	? Pa	? psi

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

As dificuldades matemáticas apresentadas por alguns estudantes eram supridas através da socialização do conhecimento no grupo, não interferindo no rendimento e sim melhorando o aprendizado. Todos os grupos realizaram a atividade com 100% de acertos, não demonstrando grandes dificuldades, assim, não sendo necessária a retomada dos conteúdos.

Por fim (aula 6), foi realizado um debate das questões referentes a aplicação dos conceitos da máquina a vapor, presentes na aula 5, Aplicabilidade e Relevância, em que cada grupo explanou coletivamente as questões em ordem numérica, abrindo espaço para sugestões, apontamentos e novos questionamentos se assim fosse necessário. Os estudantes demonstraram um bom nível de compreensão do assunto, de forma organizada, sucinta e eficaz. Houve a discussão dos pontos mais relevantes do conteúdo estudado, com a oportunidade de o professor verificar a assimilação dos conhecimentos dos alunos no decorrer das aulas.

Referindo-se às questões abordadas, todos os grupos chegaram a um consenso de que há conversão de energia térmica em movimento (energia mecânica) e que está relacionada ao princípio da conservação da energia, trabalhada na Primeira Lei da Termodinâmica. A compreensão de que o trabalho mecânico está relacionado ao movimento, e este é resultado da transformação de calor (energia térmica) em energia cinética também foi destacado nesta etapa da aula. A necessidade de uma máquina consumir energia e a necessidade da perda de parte dessa energia para o ambiente, implicando em um rendimento sempre inferior a 100 %, também foi evidenciada pelos estudantes. Alguns apontamentos foram feitos, dos quais podemos citar aqui. “Só há trabalho se a máquina realiza movimento”. “É impossível obter rendimento sem consumir energia”. “Como sempre desperdiçamos energia

para o ambiente, fica impossível atingir 100% de rendimento.” E ainda: “A energia rejeitada para o ambiente representam as perdas”.

Como evidência da aceitação do método pelos estudantes e a condução de conclusões acertadas por eles, estes mencionaram as seguintes reflexões: “Ainda desperdiçamos muita energia, temos que melhorar o rendimento dos motores.” “Se o rendimento vem melhorando, significa que estamos no caminho certo.” Cada grupo comentou suas respostas de forma gradativa, demonstrando uma convergência de ideias e tornando o conteúdo atrativo e sua aprendizagem significativa para o estudante. No decorrer das aulas e na finalização desta etapa, foi possível perceber que os estudantes demonstravam os resultados esperados em relação à aprendizagem já que os mesmos não haviam estudado Termodinâmica de forma sistemática anteriormente.

Por esta constatação, concorda-se com a afirmação de Moreira (2011) que afirma que a aprendizagem significativa ocorre de maneira progressiva, mediante a evolução dos subsunçores. Este processo envolve captação, internalização, diferenciação e reconciliação de significados, características que não são imediatas. Portanto, trata-se de um processo longo na construção de significados (MOREIRA, 2011a).

### **5.3 RESULTADOS DO MOTOR DE ELÁSTICOS**

Nesta seção, a ênfase do trabalho foi a entropia, transferência de calor e os processos reversíveis e irreversíveis presentes nos fenômenos ocorridos no cotidiano dos estudantes. Desde o início da apresentação do tema através da explanação do conteúdo e posterior apresentação do motor de elásticos em funcionamento, como forma de subsunçor. Durante a aula, o interesse dos estudantes foi despertado, originando muitas indagações, reflexões, questionamentos e dúvidas referentes ao motor, suas funcionalidades e aplicações, o que permitiu a verificação do conhecimento prévio. Com o intuito de aprofundar a verificação de seus conhecimentos, durante a aula o professor deve instigá-los a refletir sobre questões como:

1. Como ocorre o aquecimento do elástico?

2. O que ocorre com as moléculas do elástico quando são aquecidas?
3. Por que quando o elástico é aquecido faz com que o aro gire?
4. Durante o aquecimento o elástico se expande ou se contrai?
5. Qual a diferença entre a expansão ou contração do elástico comparando com a maioria dos outros materiais?

A partir do momento em que o professor propôs alguns questionamentos durante a aula, os estudantes prenderam-se totalmente ao assunto e ações dialógicas foram acontecendo gradativamente entre os grupos, sendo mediadas pelo professor. Durante a aula percebeu-se que os estudantes tinham a ideia de que todos os materiais quando sofrem um aquecimento se expandem. Algumas intervenções foram feitas de forma pontual pelo professor, com o intuito de melhorar a compreensão dos conceitos abordados e estimular o estudante para a sequência das aulas.

Durante a apresentação do vídeo, onde os eventos passavam em uma ordem temporal contrária, os estudantes questionaram sobre a possibilidade de que ocorressem aqueles eventos, e relacionaram ao grau de dificuldade que a natureza impõe para que tais fenômenos aconteçam nessa ordem apresentada no vídeo. Alguns estudantes expuseram suas opiniões indicando que se tratava de algo impossível de ocorrer, sendo divergidos por outros que afirmavam que havia possibilidade, porém remota. A apresentação do vídeo despertou o interesse e permitiu a correlação de alguns fenômenos naturais vivenciados pelos estudantes e professor. As metodologias adotadas geraram um ambiente participativo-colaborativo entre os estudantes mediados pelo professor (embora ainda nesta etapa houvesse conflitos de ideias referentes ao conceito de entropia).

Durante a apresentação da situação problema (aula 2) a mediação do professor torna-se fundamental para o êxito do processo de ensino aprendizagem, organizando ideias, situações e questionamentos entre os estudantes ou entre os grupos. Na reflexão da situação problema os estudantes analisaram os questionamentos havendo algumas divergências de ideias entre os grupos. Na sequência foi proposto uma situação problema baseada no ENEM do ano de 2011, onde deveriam refletir a cada alternativa para após serem debatidas:

1. Um motor só poderá realizar trabalho se receber uma quantidade de energia de outro sistema (combustível). Essa energia é, em parte, liberada durante a combustão para que o motor funcione. Durante o funcionamento do motor, parte da energia convertida ou transformada na combustão não poderá mais ser utilizada para a realização de trabalho. Isso significa que há transformação da energia em outra forma (ENEM 2011 adaptado).

De acordo com o texto as transformações de energia durante o funcionamento do motor estão relacionadas a:

- a) Liberação de calor dentro do motor ser impossível.
- b) Realização de trabalho pelo motor ser incontrolável.
- c) Conversão integral de calor em trabalho ser impossível.
- d) Transformação de energia térmica em cinética ser impossível.
- e) Utilização de energia potencial do combustível ser incontrolável.

Todos os grupos, após leitura da situação problema indicaram a letra “c” como resposta da questão proposta no Produto Educacional, pois entenderam que não há possibilidade de conversão integral de calor em trabalho, ocorrendo, portanto, sempre alguma perda de energia. Na atividade seguinte, elaborada com materiais alternativos (materiais de custo baixo e fácil acesso), os estudantes demonstraram maior e melhor interação entre eles, propiciando um ambiente favorável para a aprendizagem. O objetivo proposto foi a verificação da entropia como um processo probabilístico, ou seja, quanto maior o número de moléculas no sistema, menor a probabilidade de reversão do fenômeno

Durante a atividade houve socialização de materiais, ideias, reflexões e questionamentos referentes a construção e aplicação do experimento, possibilitando a comparação dos resultados em cada grupo. Após as seguidas repetições da atividade feitas por cada integrante do grupo foi possível verificar por cada grupo o fato de que nenhuma sequência foi obtida de forma repetida, o mesmo ocorrendo ao se comparar as sequências de diferentes grupos. No entanto quando os grupos diminuíram consideravelmente o número de bolas de gude na garrafa pet, vários estudantes tiveram sequências iguais. A comparação entre a primeira parte da atividade (com 10 bolas de gude) e a segunda parte (com 5 bolas de gude) foi inevitável, relacionando o número de



bolas de gude ao número de moléculas de um corpo. O principal fator mencionado pelos estudantes foi a relação entre o número maior de bolas de gude com a maior dificuldade de se obter a sequência inicial, estando relacionada a um maior grau de irreversibilidade, ou seja, um aumento de entropia.

A realização de atividades como estas, coloca o aluno como o centro do processo ensino-aprendizagem, reforçando um caráter construtivista do conhecimento. Para (Becker, 1993. p.88), o conhecimento se constitui pela interação do indivíduo com o meio físico e social, com o simbolismo, com o mundo das relações sociais; e se constitui por fora de sua ação e não por qualquer dotação prévia.

Durante a aula 3 desta etapa ocorreu a exibição de trechos do vídeo “Além do Cosmos: O Tempo (Dublado) Documentário *National Geographic*”; com pausas pontuais para apontamentos, sugestões e reflexões referentes aos questionamentos propostos. Os trechos (01:00 e 05:00 minutos), onde relata sobre o conceito de tempo e ordem temporal, (30:00 e 34:00 minutos), de fenômenos ocorrerem de forma inversa, distinguindo os fenômenos em reversíveis e irreversíveis e (34:00 e 40:00 minutos) destacando o conceito de entropia tiveram maior destaque e relevância entre os estudantes. Conforme os trechos do vídeo eram visualizados, os estudantes anotavam as possíveis respostas para os questionamentos propostos nesta etapa.

1. É possível reverter um acontecimento? De que forma?
2. O que é responsável pela flecha do tempo?
3. Cite exemplos de aumento de entropia relatados no vídeo? Identifique eventos que ocorrem em seu cotidiano em que a entropia aumenta.
4. Porque os eventos ocorrem de um estado ordenado para um desordenado? Qual a relação desses eventos com a entropia?
5. A partir de que acontecimento a ciência indica que surgiu o tempo? Qual era o estado da entropia nesse momento?
6. Se a desordem só tende a aumentar, isso indica que teremos um fim para o tempo? Como será o universo num futuro distante?

A cada pausa, os estudantes anotavam as possíveis respostas e então, dava-se sequência à aula de forma organizada, tranquila e fluente cumprindo

com os objetivos da etapa. As respostas dos grupos foram curtas, objetivas e consistentes, com fácil compreensão pelos demais grupos, facilitando o debate realizado na aula 6, com o intuito de promover a avaliação desta seção. A partir desse momento com os conceitos já pré-estabelecidos, a proposta experimental foi implementada através da apresentação do Motor de Elásticos e sua posterior construção. A construção do Motor de Elásticos foi realizada primeiramente pelo professor e, na sequência, pelos próprios estudantes.

Durante a construção (aula 4) os estudantes tiveram dificuldades na aquisição dos materiais, bem como na predisposição do sistema (Motor de Elásticos). Nestas situações, fez-se necessária a intervenção do professor para orientá-los. Durante os ajustes do experimento a dificuldade aumentou ainda mais, até o momento chave em que pôde ser estimado com satisfatória precisão a posição do centro de massa do aro. Somente após terem feito esses ajustes os grupos obtiveram êxito com o funcionamento do motor. Um dos quatro grupos envolvidos na aplicação do Produto Educacional não conseguiu fazer o aro girar, sendo necessário um tempo maior para o ajuste dos elásticos. Este problema foi plenamente resolvido e o objetivo final foi alcançado.

A questão mais evidenciada durante a construção do motor de elásticos foi a contração da borracha após sofrer um aquecimento e conseqüentemente uma variação de entropia positiva. As transferências de calor por radiação entre a lâmpada e a borracha e por condução entre as moléculas da borracha também foram assimiladas durante o processo, através de uma relação dialógica entre os estudantes e entre professor e estudantes. Durante essa etapa os estudantes tiveram dúvidas referentes ao aumento ou diminuição da entropia durante o aquecimento da borracha. Essas dúvidas foram sanadas, quando mencionado pelo professor que houve aumento de entropia durante o aquecimento da borracha, mesmo ocorrendo uma contração.

Todas as dúvidas referentes ao conteúdo proposto que foram surgindo, por interação dialógica entre professor-estudante ou mesmo entre os próprios estudantes foram solucionadas satisfatoriamente com o material proposto. A interação interpessoal influenciou o aspecto motivacional da turma privilegiando o processo de aprendizagem. Nesta etapa ocorreram sociabilizações de materiais, sugestões, ideias e trabalhos manuais entre os integrantes dos

grupos e também entre grupos distintos, atingindo os objetivos da proposta metodológica. Dentro da concepção construtivista da aprendizagem e do ensino, há um caráter ativo do qual participa não apenas o sujeito que aprende como também outros elementos a sua volta. Fica em evidência, esse aspecto da aprendizagem escolar como um processo ativo no qual o estudante constrói, modifica, diversifica seus esquemas de conhecimento, reelabora, soma com outros para se chegar a um objetivo.

Na aula 5, denominada Aplicabilidade e Relevância os estudantes foram estimulados a refletir sobre os processos de transferência de energia térmica, a dilatação, as fontes de calor (fria e quente) e a entropia presentes no funcionamento do motor de elásticos. Para esta etapa foram propostos os seguintes questionamentos.

1. Quais os processos de transferência de energia térmica apresentados durante o funcionamento do motor de elásticos? Onde podemos presenciar esses processos em nosso cotidiano?

2. O que ocorre com as dimensões da borracha quando ela é aquecida? Cite outro material que possui características de dilatação semelhante quando é aquecido.

3. Durante o aquecimento da borracha, o que acontece com a entropia de suas moléculas? Qual o fator que contribui para que isso ocorra?

4. Em nosso cotidiano, cite eventos em que a entropia aumenta? Com sua resposta, como você faria para diminuir a entropia?

5. Qual a fonte quente de calor presente no motor de elásticos construído nessa etapa? Identifique onde encontramos a fonte fria desse sistema?

6. Seria viável utilizarmos o motor de elásticos para desenvolver tarefas domésticas ou na indústria? Quais os pontos positivos e negativos deste motor?

Após serem feitas as reflexões, os estudantes anotaram as respostas das 6 questões propostas pelo professor, para que, na aula 6 fossem debatidas entre os grupos, como forma de avaliação do processo. Os questionamentos propostos geraram diferentes opiniões entre os estudantes, porém após uma breve interação de ideias, chegaram a um consenso de respostas. Essa

proposta incentivou a socialização de saberes entre os integrantes do grupo e entre professor e estudantes.

Um aplicativo de simulações físicas referente a entropia foi apresentado com sua interface projetada numa tela, onde os estudantes acompanharam as funções do aplicativo em seus grupos através de um notebook. Esse simulador foi disponibilizado anteriormente para *download* e explorado durante a aula com o objetivo da visualização da ocorrência de processos entrópicos, através do número de moléculas, do aumento ou diminuição de temperatura, das diferentes velocidades obtidas pelas moléculas e pelo grau de irreversibilidade associadas a essas variações de grandezas. Com base na funcionalidade desse aplicativo, os estudantes puderam responder as questões propostas,

1. Quando há um aumento no número de moléculas de um sistema, a probabilidade de reversibilidade, aumenta ou diminui? De que forma podemos ver isso através do simulador?

2. A entropia de um sistema aumenta ou diminui quando a ele fornecemos calor? E se retirarmos calor? Relacione com o funcionamento do motor de elásticos.

3. Uma massa gasosa ao receber energia de uma fonte de calor faz com que suas moléculas alterem sua velocidade. Qual a transformação de energia que ocorreu durante esse processo?

4. Aumentando-se ao máximo o número de moléculas e fornecendo calor gradativamente ao sistema, o que ocorre com a entropia? Aumenta ou diminui a probabilidade de reversão?

5. Se somente parte da energia fornecida para as moléculas do gás será convertida e utilizada, para onde vai a outra parte? É reaproveitada? É desperdiçada?

6. Quanto maior for a quantidade de energia desperdiçada durante o funcionamento de uma máquina térmica, o rendimento aumenta ou diminui? E a entropia aumenta ou diminui?

A visualização e interação proporcionada nessa etapa, favoreceu e estimulou o aprendizado dos grupos, podendo aqui ser relatado através de exclamações, que foram expostas coletivamente pelos grupo: “Com um maior número de moléculas e aumentando a temperatura, percebemos um aumento

de entropia (desordem) e uma maior dificuldade do processo se reverter”. “Quando visualizamos o processo acontecendo fica mais fácil a compreensão do conteúdo. ”

As diferentes formas de configurações deste aplicativo permitiu uma interpretação do conceito de entropia de forma qualitativa através de algumas situações em que a desordem pôde ser visualizada. Todos os grupos apresentaram boa compreensão nas interpretações do simulador, sempre relacionando as variações de temperatura com o grau de desordem do sistema e posterior aumento de entropia. Porém também ficou evidente para os estudantes que dificilmente o sistema se reverte e isso tende assintoticamente a um estado irreversível conforme se aumenta o número de moléculas de um sistema.

Durante as atividades realizadas nessa aula, vários questionamentos foram levantados e debatidos chegando a algumas conclusões exemplificadas através das exclamações proferidas pelos grupos: “É possível, após ‘muitas’ tentativas obtermos a disposição molecular inicial”. “Quanto maior o número de moléculas, maior a dificuldade de reverter o processo.” “A possibilidade de um processo espontâneo ser revertido existe, porém é praticamente impossível.” Partindo das falas descritas pelos estudantes, percebeu-se um avanço significativo nos conceitos de Processos Reversíveis e Irreversíveis, bem como da variação da entropia de um sistema. Esses conceitos foram reforçados na aula 6, através de um processo de avaliação na forma de debate entre os grupos, orientado pelo professor.

A partir desse momento (aula 6) em que os estudantes tiveram acesso aos questionamentos, reflexões e visualização do videoclipe que foi gravado na ordem inversa (de trás para frente) onde pode-se identificar vários processos irreversíveis ocorrendo de forma reversível, iniciou-se o processo avaliativo através de um debate sobre as questões refletidas na aula 5 desta etapa, onde consensualmente chegaram as seguintes respostas.

1. Quando há um aumento no número de moléculas de um sistema, a probabilidade de reversibilidade, aumenta ou diminui? De que forma podemos ver isso através do simulador? R: A probabilidade de reverter um fenômeno diminui com o aumento do número de moléculas, pois aumenta o número de

configurações.

2. A entropia de um sistema aumenta ou diminui quando a ele fornecemos calor? E se retirarmos calor? Relacione com o funcionamento do motor de elásticos. R: A entropia aumenta ao receber calor, percebemos na contração da borracha quando aquecida.

3. Uma massa gasosa ao receber energia de uma fonte de calor faz com que suas moléculas alterem sua velocidade. Qual a transformação de energia que ocorreu durante esse processo? R: Energia térmica (calor) em energia cinética (movimento).

4. Aumentando-se ao máximo o número de moléculas e fornecendo calor gradativamente ao sistema, o que ocorre com a entropia? Aumenta ou diminui a probabilidade de reversão? R: A entropia aumenta e a probabilidade de reversão diminui.

5. Se somente parte da energia fornecida para as moléculas do gás será convertida e utilizada, para onde vai a outra parte? É reaproveitada? É desperdiçada? R: Para a variação da energia interna, onde não é reaproveitada, é rejeitada.

6. Quanto maior for a quantidade de energia desperdiçada durante o funcionamento de uma máquina térmica, o rendimento aumenta ou diminui? E a entropia aumenta ou diminui? R: O rendimento diminui e a entropia aumenta.

Cada grupo explanou uma questão coletivamente, que foi discutida pelos demais até atingirem um consenso de ideias. Esse processo discorreu até o momento em que todas as questões foram abordadas, debatidas, contextualizadas e acordadas por todos os grupos.

O debate transcorreu de forma organizada, sucinta e muito produtiva. A aceitação da metodologia proposta ajudou muito a fluência da aula, tendo retornos significativos de aprendizagem. A participação efetiva dos estudantes, a mediação pontual do professor, o ambiente descontraído através de uma proposta metodológica não tradicional, gerou resultados satisfatórios e facilitou o processo de ensino-aprendizagem. Para o término dessa aula o professor sugeriu para que cada grupo apontasse um fenômeno ao qual aparentemente seria irreversível e deveria interpretá-lo com uma análise relacionada aos conceitos trabalhados durante as aulas. Os processos mencionados por cada

grupo foram respectivamente:

Grupo 1: Aquecimento de um líquido até a evaporação;

Grupo 2: Uma placa de vidro quebrada em minúsculos pedacinhos;

Grupo 3: A quebra de um ovo;

Grupo 4: A mistura de partículas entre 2 farinhas diferentes para formar uma massa de bolo.

De acordo com a conclusão dos estudantes, em todos os casos há uma possibilidade remota desses fenômenos ocorrerem de forma inversa. No entanto, por tratarem-se todos de processos espontâneos, os estudantes reconheceram a probabilidade praticamente nula de estes processos ocorrerem de forma reversa. Mediante as atividades realizadas, foi possível perceber que os estudantes estavam predispostos a executar a construção das máquinas térmicas e as atividades propostas, realizando-as com entusiasmo e demonstrando interesse na temática abordada. Os indícios podem ser comprovados pelas seguintes frases proferidas pelos estudantes. “Gasta-se muito mais energia para reorganizar um sistema do que para desorganizá-lo.” Nesta afirmação feita por um dos grupos, comentado pelos demais grupos refletindo da seguinte forma. “De onde vem essa energia para reorganizar o sistema?” “Essa energia vinda dos arredores provoca desorganização, então o aumento da entropia continua ocorrendo”.

A interação dos estudantes com o conteúdo e com o grupo, possibilitam a progressão gradativa das representações figurativas e conceituais. Isso porque o conteúdo cognitivo destas representações são versões simplificadas e abstratas das múltiplas realidades captadas (MOREIRA, 2006).

Em estudo similar realizado por AZEVEDO (2011) com alunos do Ensino Médio visando ensinar conceitos de termodinâmica utilizando a abordagem da teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, evidenciou que a prática pedagógica pautada na didática operatória baseada no construtivismo sobre o conteúdo a ser aprendido, facilitou a compreensão, assimilação e fixação dos conhecimentos por parte dos estudantes. Além de motivar para o desenvolvimento de habilidades operatórias, garantindo uma aprendizagem mais duradoura.

A metodologia adotada neste estudo foi comparada com pesquisas

realizadas por outros estudiosos do Ensino da Física como MORO, NEIDE e REHFELDT (2016) que indicam resultados otimistas pelo uso de atividades experimentais vinculadas às simulações computacionais como ferramenta para auxiliar na aprendizagem de alguns conceitos de transferência de energia térmica para estudantes do Ensino Médio. Em pesquisa similar realizada por ALMEIDA (2015) com o objetivo de propor uma unidade didática contemplando o conceito de entropia para estudantes do Ensino Médio, não foi possível afirmar com certeza que houve aprendizagem significativa, apenas que há indícios de que ela ocorreu. Em estudo efetivado por FACCIN (2015) com o objetivo de desenvolver estratégia didática para sala de aula que auxilie o professor de Física a construir com seus alunos os conceitos termodinâmicos de calor e temperatura, evidenciou como resultado que as Unidades de Ensino Potencialmente Significativas podem promover a aprendizagem significativa, porém necessitam de uma estruturação e preparo do professor na sua elaboração e implementação, visto que as atividades são desenvolvidas de forma a acompanhar a evolução conceitual dos alunos. As análises feitas dos resultados obtidos através dos instrumentos utilizados nas duas UEPS demonstraram indícios de aprendizagem significativa.

Assim, ao final da aplicação do Produto Educacional, pode-se inferir que as atividades de construção das máquinas térmicas, as simulações computacionais, as atividades propostas, os questionamentos, as discussões e debates constituíram-se em um material potencialmente significativo que privilegiou a aprendizagem dos estudantes.



## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa discorreu sobre a temática do Ensino da Termodinâmica para estudantes do Ensino Médio e curso profissionalizante de Formação de Docentes, no qual a essência das estratégias pedagógicas centra-se no desenvolvimento da capacidade reflexiva, a evolução do espírito crítico e atividades de ensino investigativas que propiciem a aprendizagem significativa. A presente produção ultrapassa a formação profissional do curso de Mestrado, no propósito de contribuir para a prática pedagógica do Ensino da Física por meio da elaboração do Produto Educacional que possa ser utilizado por outros professores da disciplina.

A elaboração do Produto Educacional é resultado da aplicação da pesquisa-ação desenvolvida durante a elaboração da dissertação de mestrado. A pesquisa-ação fundamentou-se na intervenção realizada com o desenvolvimento da sequência didática adaptadas das Unidades de Ensino Potencialmente Significativas. Foi possível notar a melhoria da compreensão dos alunos da dimensão da termodinâmica mediante a integração dos conteúdos e a possibilidade de o estudante participar ativamente da investigação a respeito das máquinas térmicas estabelecendo a aprendizagem significativa. O desenvolvimento das aulas de Física pautadas nas UEPS tornou as aulas mais leves e facilitou a compreensão dos conceitos e leis da termodinâmica. Houve um aumento da participação e rendimento dos estudantes.

Por esta perspectiva, foi possível a contextualização do conhecimento científico a partir da identificação dos conhecimentos prévios dos estudantes para a construção conjunta das máquinas térmicas. A construção das máquinas térmicas foi proposta com a finalidade de oferecer meios, através da ação-reflexão-ação, para ampliar a discussão sobre a importância de privilegiar a aprendizagem significativa, contribuindo para a assimilação dos conteúdos da termodinâmica para o Ensino da Física no Ensino Médio.

Com a aplicação do Produto Educacional fundamentados nas teorias da aprendizagem de Piaget, Ausubel e, especificamente para o Ensino da Física as contribuições de Marco Antonio Moreira foi possível discutir com os

estudantes sobre a importância da Termodinâmica e sua relevância para a evolução da sociedade. Por meio da contextualização histórica, foi possibilitado aos discentes compreenderem os processos que se desenvolveram desde a criação das máquinas térmicas, permitindo o estabelecimento de uma linha do tempo da composição histórica.

A compreensão do contexto histórico e da importância das máquinas térmicas permite que os estudantes percebam a importância das máquinas e seu constante aperfeiçoamento para o avanço da industrialização e da tecnologia, intervindo inevitavelmente no contexto econômico e social da sociedade atual. A relevância do estudo das máquinas térmicas nesse Produto Educacional vem ao encontro a um estreitamento entre conceitos discorridos na Termodinâmica e suas aplicações reais vivenciadas em fenômenos ocorridos em nosso cotidiano

Os resultados obtidos a partir da aplicação do Produto Educacional demonstraram o aumento do interesse dos estudantes pelo conteúdo abordado que pode ser evidenciado pela intensificação da participação destes nas discussões e debates, por meio de questionamentos, opiniões, argumentações e através da mediação docente. As diversificações metodológicas inseridas nos processos de aprendizagem fazem com que os estudantes tenham maior interesse pelo conteúdo abordado, torna as aulas mais atrativas e menos monótonas que as aulas ministradas de forma tradicional, onde se prioriza somente um repasse de conteúdos através da explanação docente.

Conclui-se que a contextualização dos conteúdos da termodinâmica mediante a construção das máquinas térmicas pode enriquecer consideravelmente a estruturação dos processos cognitivos do estudante, promovendo efetivamente a aprendizagem significativa. A aproximação entre professor e estudantes, geradas pela proposta pedagógica, a diversificação metodológica, e principalmente, a participação ativa dos estudantes nos processos de construção das máquinas térmicas, tiveram um papel importante na aprendizagem.

Através dos vários elementos pedagógicos propostos e implementados nesse Produto Educacional, mudou-se a visão que os estudantes tinham da disciplina de Física, como sendo dotadas de conteúdos maçantes, com ênfase

matemática, para uma disciplina agradável, útil socialmente e indispensável para nossas vidas.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Ubaldo Fernandes de. **Uma proposta para o ensino de entropia no Ensino Médio**. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, 2015.

ARIAS, J. O. C.; YERA, A. P. O fazer pedagógico: O que é a Pedagogia Construtivista? **Revista Educação Pública**. Cuiabá, v. 5, n. 8, p. 11-72, jul./dez. 1999.. Disponível em: <[http://ie.ufmt.br/revista/userfiles/file/n08/8\\_O\\_fazer\\_pedagogico.pdf](http://ie.ufmt.br/revista/userfiles/file/n08/8_O_fazer_pedagogico.pdf)> Acesso em: 30 set. 2017.

ASSIS, A.; AMORIM, C.; CARVALHO DE, F. O uso do motor stirling no ensino de termodinâmica: uma estratégia metodológica. **Enseñanza de las Ciencias**, VIII Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias. 2009. Disponível em: <[https://ddd.uab.cat/pub/edlc/edlc\\_a2009nEXTRA/edlc\\_a2009nExtrap218.pdf](https://ddd.uab.cat/pub/edlc/edlc_a2009nEXTRA/edlc_a2009nExtrap218.pdf)>. Acesso em: 25 ago. 2018.

ATKINS, P. W.; DE PAULA, J. **Físico-Química**. Vol. 1, Livros Técnicos e Científicos, 8 ed., Rio de Janeiro. 2008.

AZEVEDO, C. M.S. M. **Entropia**: uma intervenção didática, utilizando a linguagem estatística. 2011. Disponível em: <<http://bd.centro.iff.edu.br/bitstream/123456789/618/3/Documento.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2018.

BARRETO, K. G. **Estudo da Termodinâmica a partir da História da Ciência**: conceito de Entropia. 2014. Disponível em:< <http://bd.centro.iff.edu.br/xmlui/bitstream.../>>. Acesso em 12 set. 2016.

BECKER, F. **O que é construtivismo**. Ideias. São Paulo: FDE, n.20, p.87-93, 1993.

BRASIL. Brasil. Secretaria de Educação Fundamental. **Parâmetros Curriculares Nacionais**: Ciências Naturais/Secretaria de Educação Fundamental. Brasília: MEC/SEF, 1998. Disponível em:<<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencias.pdf>>. Acesso em: 07 set. 2016.

BRASIL, Ministério da Educação, Secretaria da Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais**: Ensino Médio. Brasília: Ministério da Educação, 1999.

BRASIL, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **PCN+ Ensino Médio**: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC, SEMTEC, 2002.

BRASIL. **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+)**. Ensino Médio: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Ministério da Educação. Brasília: MEC, 2006

Disponível em: < <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>>. Acesso em 20 abr. 2017.

BRASIL. **Diretrizes Curriculares Nacionais Gerais da Educação Básica**. Ministério da Educação. Secretária de Educação Básica. Brasília: MEC, SEB, DICEI, 2013. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/docman/julho-2013-pdf/13677-diretrizes-educacao-basica-2013-pdf/file>>. Acesso em 03 abr. 2017.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A. **Metodologia Científica**. 5. Ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

FACCIN, F. **Implementação de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas sobre Física Térmica para alunos do 2º Ano do Ensino Médio**. Dissertação de Mestrado Programa de Pós Graduação em Educação Matemática e em Ensino de Física (PPGEM E EF) Universidade Federal de Santa Maria, 2015.

FERNANDES, S. A aprendizagem baseada em projetos interdisciplinares: avaliação do impacto de uma experiência no ensino de engenharia. *Avaliação*, Campinas; Sorocaba, v. 15, n. 3, p. 59-86, 2010.

FOGAÇA, J. R. V. **Entropia**: Brasil Escola. Disponível em <<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/entropia.htm>>. Acesso em 22 de fev. de 2018.

FREIRE, P. **Pedagogia da Autonomia**: saberes necessários à prática educativa. 31 ed. São Paulo: Paz e Terra, 2005.

GIL, E. F.; SAVI, A. A. **Segunda lei da termodinâmica**: Algumas relações com o cotidiano. 2009. Disponível em: <[http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/cadernospde/pdebusca/producoes\\_pde/2009\\_uem\\_fisica\\_artigo\\_eva\\_de\\_fatima\\_gil.pdf](http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/cadernospde/pdebusca/producoes_pde/2009_uem_fisica_artigo_eva_de_fatima_gil.pdf)>. Acesso em 12 set. 2016.

GUIMARÃES, O.; PIQUEIRA, J. R.; CARRON, W. **Física 2**. 1 ed. São Paulo: Ática, 2014.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 6 ed. São Paulo: Atlas, 2005.

LOPES, L. F. **O uso de MC em uma abordagem Socio-interacionista no ensino de Física**. 63 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2015.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa**: um Conceito Subjacente. In: MOREIRA, M. A.; CABALLERO, M. C.; RODRÍGUEZ, M.L. (orgs.) *Actas del Encuentro Internacional sobre el Aprendizaje Significativo*. Burgos, España. pp. 19-44.1997. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/~moreira/apsigsubport.pdf>>. Acesso em 10 abr. 2017.

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

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa**: da visão clássica à visão crítica. In: Encontro Internacional sobre Aprendizagem significativa, 5, Madrid. **Anais...** Madri, 2006. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/~moreira/visaoclasicavisaocritica.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2018.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa Crítica. Indivisa, **Boletín de Estudios e Investigación**, 2ª edição, nº 6, p. 83-101, 2010. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/~moreira/apsigcritport.pdf>>. Acesso em: 07 set. 2016.

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

MOREIRA, M. A. Abandono da narrativa, ensino centrado no aluno e aprender a aprender criticamente. **Aprendizagem significativa em Revista**, v1, p. 84-95. 2011b.

MOREIRA, M. A. **Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS)**. Aprendizagem significativa em revista. 2011c. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/~moreira/UEPSport.pdf>>. Acesso em 12 maio 2017.

MOREIRA, M. A. **O que é afinal Aprendizagem significativa?** Aula Inaugural do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais, Instituto de Física, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, MT, 23 de abril de 2012. Aceito para publicação, Curriculum, La Laguna, Espanha, 2012. Disponível em:< <http://www.if.ufrgs.br/~moreira/oqueefinal.pdf>>. Acesso em: 24 ago. 2018.

MOREIRA, M. A. **Subsídios teóricos para o professor pesquisador em ensino de Ciências**: comportamentalismo, construtivismo e humanismo. Porto Alegre, 2 ed. 2016. Disponível em <<https://www.if.ufrgs.br/~moreira/Subsidios6.pdf>>. Acesso em 29 set. 2018.

MOREIRA, M.; MASINI, E. F. S. **Aprendizagem significativa**: a teoria de David Ausubel. 2. ed. São Paulo: Centauro, 2006. 83p.

MOREIRA, M. A.; MASSONI, N. T. **Interfaces entre teoria de aprendizagem e Ensino de Ciências / Física**. Porto Alegre: UFRGS: 2015.

MOREIRA, M. A. OSTERMANN, F. **Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa "física moderna e contemporânea no Ensino Médio**. 2005. Disponível em: < [http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol5/n1/v5\\_n1\\_a2.htm](http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol5/n1/v5_n1_a2.htm)>. Acesso em 12 set. 2016.

MORO, F. T.; NEIDE, I. G.; RESCHFED, M. J. H. Atividades experimentais e simulações computacionais: integração para a construção de conceitos de transferência de energia térmica no Ensino Médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 33, n. 3, p. 987-1008, dez. 2016.

MOURA, M.; AGUIAR, C. E. **Entropia e a Segunda Lei da Termodinâmica II**.

Entropia e Temperatura. 2016. Disponível em: <[http://www.if.ufrj.br/~pef/producao\\_academica/dissertacoes/2016\\_Marcos\\_Moura/modulo2.pdf](http://www.if.ufrj.br/~pef/producao_academica/dissertacoes/2016_Marcos_Moura/modulo2.pdf)>. Acesso em 20 dez. 2017.

MOTA, Sávio. **A eolípila da vez.** 2016. Disponível em: <<http://papodeprimata.com.br/a-eolipila-da-vez/>>. Acesso em: 21 de set. 2018.

NETO, A. S.; GOMES, R. M. O processo de introdução da maquinaria na indústria fabril e o trabalhador. **Revista Eletrônica da Ciência Administrativa**, v.1, n.2, Nov/2003. Disponível em: <<http://revistas.facecla.com.br/index.php/recadm/article/view/453/0>>. Acesso em 22 ago. 2016.

NETTO, L. F. **Atividades Didáticas de Ciências:** Feira de Ciências. 2011. Disponível em: <[http://www.cienciamao.usp.br/tudo/indice.php?midia=fci&grupo=F%EDsica%20T%E9rmica&topico=\(%20Indefinido%20\)&pag=2.](http://www.cienciamao.usp.br/tudo/indice.php?midia=fci&grupo=F%EDsica%20T%E9rmica&topico=(%20Indefinido%20)&pag=2.)> Acesso em 27 mar. 2017.

PRASS, Alberto Ricardo. **Teoria de Aprendizagem.** ScriniaLibris.com. 2012.

PINHO, F. S. N. **Teorias do desenvolvimento.** 2015. Disponível em: <<https://www.slideshare.net/felipespinho/teorias-do-desenvolvimento-56505841>>. Acesso em: 28 ago. 2018.

QUADROS, Sérgio. **A termodinâmica e a invenção das máquinas térmicas.** São Paulo: Scipione, 1996.

RAFAEL, F. J. **Elaboração e Aplicação de uma Estratégia de Ensino sobre os conceitos de calor e temperatura.** 83 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências Naturais e Matemática) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

SARAIVA, R. Z. **Máquinas Térmicas:** uma proposta para o ensino das Leis da Termodinâmica para o Ensino Médio. Dissertação (MNPEF) - Universidade Federal do Amazonas/Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Amazonas. Manaus, 2016.

SANTOS, M. M. **A História da Termodinâmica e suas Leis.** 2012. Disponível em: <<http://www.unucet.ueg.br/biblioteca/arquivos/monografias/TCC/.../pdf>>. Acesso em: 07 set. 2016.

SERWAY, R. A.; JEWETT JR., J. W. **Princípios de Física.** v. 2. Cengage Learning, 2012

SOARES, T. F. **Livros didáticos e o desenvolvimento da Termodinâmica:** a era das máquinas térmicas. 2014. Disponível em: <<http://dspace.bc.uepb.edu.br/jspui/bitstream/123456789/6594/1/PDF%20-%20Tatiana%20Felix%20Soares.pdf>>. Acesso em: 05 set. 2016.

SOUZA, P. V. S.; DIAS, P. M. C.; SANTOS, F. M.P. Ensinando a natureza estatística da Segunda Lei da Termodinâmica no Ensino Médio. **Revista**

**Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, n. 2, 2502 (2013). Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/273108646\\_Ensinando\\_a\\_natureza\\_e\\_statistica\\_da\\_segunda\\_lei\\_da\\_termodinamica\\_no\\_ensino\\_medio](https://www.researchgate.net/publication/273108646_Ensinando_a_natureza_e_statistica_da_segunda_lei_da_termodinamica_no_ensino_medio)>. Acesso em: 20 out. 2018.

THIOLLENT, M. **Metodologia da pesquisa-ação**. 14. ed. aum. São Paulo: Cortez, 2005.

ZOMPERO, A.; LABURÚ, C. E. As atividades de investigação no Ensino de Ciências na perspectiva da teoria da Aprendizagem significativa. **Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias**, vol. 5, núm. 2, diciembre, 2010, pp. 12-19. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/pdf/2733/273319421002.pdf>>. Acesso em 27 abr. 2017.



## **ANEXO I – PRODUTO EDUCACIONAL**

Nesta seção anexa será apresentado o Produto Educacional que é resultado da pesquisa realizada para este mestrado e da reflexão construída durante anos de atuação como professor da disciplina de Física. A aplicação deste Produto Educacional é indicada para alunos do 2º ano do Ensino Médio ou 3º Ano do curso de Formação de Docentes.

O Produto Educacional aborda o desenvolvimento de aulas referentes ao conteúdo da Termodinâmica e o processo de criação e evolução das máquinas térmicas estabelecendo relações com os conteúdos curriculares, com o intuito de oferecer meios para a assimilação dos conteúdos nas aulas. A elaboração fundamentou-se em três etapas com a construção de uma máquina térmica em cada uma delas, sendo, o Motor Stirling, a Máquina a Vapor e Motor de Elástico. As atividades foram programadas com base nas sequências didáticas, sendo formadas por 6 aulas em cada etapa, as quais serão norteadas pelas Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS).

A aplicação do Produto Educacional deu-se por meio da pesquisa-ação com a utilização de diversos recursos e atividades de investigação, discussões e experimentação através da construção das máquinas térmicas. O objetivo da metodologia é promover a compreensão do conteúdo com aprendizagem significativa pelos estudantes. Para a construção das máquinas térmicas foram utilizados diversos materiais dando preferência aos de baixo custo e fácil aquisição. O processo de avaliação da aprendizagem foi realizado por meio da prática dialógica com discussões e debates, mediados pelo professor da disciplina, as notas eram atribuídas conforme a participação da construção das máquinas, pelo desenvolvimento das atividades, pela elaboração de resposta às questões efetivadas de forma oral e escrita.

Neste Produto Educacional foi sugerido um roteiro de atividades para serem desenvolvidas nas aulas de Física, fundamentadas na termodinâmica e no processo de criação e evolução das máquinas térmicas estabelecendo relações com os conteúdos curriculares. Esses conteúdos abordam temas tais como as transformações gasosas, as leis da termodinâmica, calor e transferência, energia, entropia, dilatação, transformação dos gases e

processos reversíveis e irreversíveis. Desta maneira, o conteúdo programático de termodinâmica contará com ferramentas que possibilitem uma aprendizagem significativa. Os conteúdos foram dispostos em 3 etapas:

Tabela 9 – Conteúdo Programático

<b>Etapa 1 (Motor de Stirling)</b>	<b>Etapa 2 (Máquina a vapor)</b>	<b>Etapa 3 (Motor de elásticos)</b>
Contexto histórico das máquinas térmicas	Trabalho termodinâmico	Transferência de calor
Transformações gasosas	Primeira Lei da termodinâmica	Leis da termodinâmica
Ciclos termodinâmicos	Rendimento térmico	Entropia
		Processos reversíveis e irreversíveis

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Inicialmente, o professor deve certificar-se de que os estudantes estão familiarizados com o significado conceitual de algumas grandezas físicas essenciais para a área de termodinâmica, como por exemplo: calor, temperatura pressão e volume. Estes assuntos, por sua vez, devem ser trabalhados de uma maneira qualitativa com uma sucinta explanação referentes a esses conceitos, na aula 1, etapa 1, referente ao motor de Stirling, contemplada nesse Produto Educacional. Outro fator que deve ser observado é se a escola em que pretende aplicar a intervenção dispõe de recursos para a efetivação das atividades como laboratório, recursos tecnológicos como computadores para os alunos, entre outros.

Dialogicamente o professor deve introduzir também parcialmente no decorrer das aulas, os seguintes fundamentos para melhor assimilação por parte dos estudantes: a) que a termodinâmica é o estudo da relação entre calor e trabalho; b) que a energia térmica se transforma em movimento; c) reconhecer a 1ª Lei da Termodinâmica (o princípio da conservação da energia aplicada a sistemas termodinâmicos) e a 2ª Lei da Termodinâmica (é impossível construir uma máquina térmica que transforme integralmente o calor em trabalho). Desta forma, neste Anexo será sugerido um roteiro de atividades pedagógicas a serem desenvolvidas nas aulas de Física fundamentadas acerca do assunto de máquinas térmicas, divididas em três tópicos. Os tópicos foram programados com base nas sequências didáticas, norteadas pelas Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS).

## 1. MOTOR DE STIRLING

O motor de combustão externa ao gás foi proposto inicialmente por Robert Stirling (1790-1878), pastor escocês e inventor. Stirling nasceu em Cloag Farm perto de Methven, Perthshire e herdou do seu pai o interesse pela engenharia. Este motor é caracterizado pela sua capacidade de gerar movimento tirando proveito do comportamento termodinâmico de um gás submetido a uma oscilação térmica periódica. A absorção de calor acontece necessariamente de um reservatório térmico externo ao compartimento em que o gás realiza as expansões e contrações. O ciclo térmico idealizado do motor de Stirling é muito parecido ao ciclo de Carnot, por isso, o desenvolvimento deste motor pôde viabilizar maior elaboração dos subsunçores dos alunos, proporcionando a aprendizagem sobre o ciclo de Carnot (ASSIS; AMORIN; CARVALHO, 2009).

O motor de Stirling pode ser utilizado para o ensino e compreensão dos processos termodinâmicos existentes nele, tais como o aquecimento isométrico (volume constante), a expansão isotérmica (temperatura constante), resfriamento isométrico (volume constante) e a compressão isotérmica (temperatura constante). Isso permite aos alunos visualizar, através da construção do motor, conceitos muito abstratos, como pressão, volume e temperatura de forma prática, levando a compreensão do conteúdo sobre o rendimento das máquinas térmicas. Assim, foi apresentado o funcionamento do motor de Stirling aos alunos antes da construção conjunta desta máquina.

A visualização do funcionamento do motor de Stirling permite que sejam estabelecidas relações entre os conceitos teóricos assimilados e o conhecimento prático. Esta metodologia pedagógica se fundamenta na aprendizagem significativa pela qual as informações conceituais são relacionadas aos conceitos prévios, como resposta ao processo cognitivo do estudante com a ampliação do conhecimento. Este processo cognitivo abrange níveis crescentes, fazendo com que sejam entendidos conceitos termodinâmicos cada vez mais difíceis e abstratos, como a evolução da compreensão das leis da termodinâmica, do comportamento dos gases e dos fenômenos causados pela transformação da energia e demais conceitos envolvidos nas diversas áreas da Física.

Os conteúdos abordados nesta etapa envolvem o surgimento e o impacto das máquinas térmicas na sociedade, as transformações gasosas, comportamento dos gases e os ciclos termodinâmicos constituídos de quatro processos: aquecimento isométrico (volume constante), expansão isotérmica (temperatura constante), resfriamento isométrico (volume constante) e compressão isotérmica (temperatura constante). Deve-se ressaltar que estas etapas constituem o ciclo Stirling idealizado. O que hoje denominamos Máquina de Stirling engloba a totalidade das máquinas térmicas cujo calor é produzido fora do compartimento que armazena o gás da transformação. No entanto, o ciclo real de transformações termodinâmicas sofridas pelo gás segue uma trajetória no diagrama  $p$  vs.  $V$  que difere substancialmente do ciclo idealizado.

Os objetivos a serem alcançados pelos alunos nesta etapa consistem em abordar o contexto histórico e a importância das máquinas térmicas para a evolução da sociedade, revisar conceitos básicos da termodinâmica relacionados às transformações gasosas, trabalhar junto aos alunos os diferentes comportamentos dos gases e consolidar o conhecimento adquirido pelos alunos pela aplicação dos conceitos das transformações gasosas em situações cotidianas.

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

Na primeira aula de aplicação do Produto Educacional, o professor deve apresentar o motor de Stirling em pleno funcionamento aos alunos para que despertem curiosidade e interesse de seu funcionamento. Deve-se ressaltar que existem vários modelos deste motor e que o escolhido se deu pela facilidade de obter os materiais e pela montagem simples.

Na sequência, utilizando-se do entusiasmo despertado pela surpresa da apresentação, o docente abordará de forma sucinta o surgimento das máquinas térmicas, sua utilização e importância para a sociedade. Pela relação dialógica com os estudantes e pela participação na discussão, o professor pode perceber o nível de profundidade do conhecimento a respeito da origem das máquinas térmicas e as mudanças ocasionadas devido à sua utilização na navegação, transporte, agricultura e indústrias. Além disso, deve-se identificar

aspectos sobre o reconhecimento das transformações gasosas e compreensão da existência de transformações de energia na natureza. O professor, através de questionamentos feitos aos estudantes deve elencar no quadro as grandezas físicas pré-identificadas durante o processo de funcionamento do motor de Stirling.

As grandezas termodinâmicas como pressão, volume, temperatura e calor devem ser identificadas e elencadas no quadro pelo professor. Caso as grandezas termodinâmicas não sejam identificadas, o professor retomará questionando: “Onde está a fonte de energia (calor) para o funcionamento do motor?”; “O que ocorre com o gás após o aquecimento?”; “Houve alteração no volume do gás?”; “O que faz com que as bolas de gude se movimentem?”. A identificação destas grandezas permitirá que o professor as conceitue, explanando oralmente para toda a turma de forma dialógica permitindo aos estudantes os questionamentos pertinentes aos conteúdos referidos, tornando satisfatória a compreensão dos conceitos e a associação deles com o funcionamento do motor de Stirling.

A revisão destes conceitos elaborados em forma de debate com toda a turma, em sala de aula, está fundamentada na oralidade e participação do estudante, permitindo ao professor de Física identificar os conhecimentos prévios do estudante em relação à temática discutida. Esta aula poderá ser dividida em três etapas, a apresentação do motor de Stirling, a identificação de grandezas termodinâmicas e, por fim a explanação dialógica e a assimilação dos conceitos. Cada etapa deverá ter o tempo controlado pelo professor, de acordo com a participação da turma.

Ressaltamos a importância do esforço do professor no sentido de unificar a linguagem relacionada aos conceitos e grandezas para facilitar o entendimento dos estudantes. Os conhecimentos prévios são elementos essenciais para que haja evolução da aprendizagem servindo como pré-requisito para abordagens mais complexas sobre a temática.

### *1.2 Aula 2 - Apresentação da situação problema*

Após a identificação dos conhecimentos prévios dos estudantes, torna-se possível introduzir novos conceitos para a reflexão acerca das influências

das máquinas térmicas na sociedade atual. Estes novos conceitos podem ser lançados aos estudantes mediante à apresentação da situação problema com o seguinte questionamento: “Como se deu o processo de estudo, adaptação, aperfeiçoamento e aumento do rendimento das máquinas térmicas até o desenvolvimento dos motores utilizados na atualidade?”.

Neste momento, deve-se permitir o estudante a refletir sobre a época em que ocorreu a construção das máquinas térmicas, escassez de recursos e ferramentas, a forma de construção usando a metodologia da tentativa e erro, entre outros aspectos referentes. Na sequência da aula o professor organizará a turma em grupos (neste trabalho foram quatro grupos), cada qual com até cinco estudantes onde cada grupo irá responder por escrito em uma só folha os seguintes questionamentos.

1. Quais os aspectos mais relevantes durante o funcionamento do motor de Stirling? Cite se houve alguma transformação gasosa?

2. Seu rendimento é satisfatório? É superior aos motores de combustão interna?

3. Onde são utilizados?

4. Quais os motores mais utilizados na atualidade? Os motores de Stirling serviriam para o uso em indústrias?

Após o término dessa etapa cada grupo apresentará de forma oral os questionamentos apresentados anteriormente, onde todos terão acesso as respostas dos demais, assim sendo feito a cada questão proposta. Concomitante com as leituras das respostas, cada grupo deverá anotar as concordâncias e discordâncias das questões por grupo. Estes questionamentos serão lidos, debatidos por todos os grupos até que se atinja um consenso entre as respostas.

Podemos dividir esta aula em cinco etapas. A apresentação pelo professor da situação problema, a formação dos grupos, leitura das questões e respostas escritas, leitura das respostas coletivamente, e finalizando pelos apontamentos das concordâncias ou discordâncias das respostas pelos demais grupos. Deve-se salientar que o tempo proposto para essas atividades é de uma aula de no máximo 50 minutos e que será controlada pelo professor por etapas de acordo com a fluência da aula. Sendo que, sempre que necessário o professor deve intervir para o acréscimo de informações, esclarecimentos e

apontamentos, sugestões, críticas construtivas e controle do ambiente de estudos.

### *1.3 Aula 3 - Embasamento teórico*

Para o embasamento teórico serão apresentados dois vídeos. O primeiro vídeo (cuja captura de tela está ilustrada na Figura 17) versa sobre a “História dos Motores” com um documentário sobre as máquinas térmicas e a importância destes artefatos na sociedade. Neste vídeo é apresentado um histórico sobre a construção dos motores (da máquina a vapor até os motores elétricos) e sua utilização na navegação, transporte, agricultura e indústrias. Como o tempo de duração do vídeo é extenso para uma aula (aproximadamente 45 min) recomenda-se que o professor assista-o previamente e informe o link para os estudantes com antecedência para que durante a aula sejam exibidos somente recortes de especial relevância, pausando-o e dialogando quando necessário. Podemos destacar no início do vídeo (01:10 até 03:00 minutos), as transformações entre calor e trabalho e a substituição do trabalho manual pelo termodinâmico. Na sequência (04:00 até 08:00 minutos), o vídeo discorre sobre a evolução das máquinas térmicas até chegar a máquina de Watt e a industrialização. O motor de Stirling e os elétricos são destacados entre os instantes (12:00 até 16:00 minutos), sendo que os motores de combustão interna (a gasolina e a diesel) são apresentados entre os instantes (22:00 até 25:00). Os motores híbridos (elétricos e de combustão), a economia e rendimento são destacados entre os instantes (39:00 até 43:00 minutos).

Este vídeo tem como finalidade explorar o contexto histórico e a evolução das máquinas térmicas em geral, sem, no entanto enfatizar o motor de Stirling, uma vez que pouco se descreve sobre ele. A abordagem deste vídeo permite que o estudante debata sobre os vários tipos de motores existentes, seus progressos, suas funções na sociedade atual, sua importância para o homem. O debate se dará em torno das questões de como seria a vida das pessoas em séculos passados sem a invenção dos motores e na atualidade e qual o impacto social se no futuro os motores parassem o funcionamento.

Figura 20 – História dos Motores



Fonte: Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?/.../>>. Acesso 20 set. 2017.

O segundo vídeo a ser utilizado nesta aula (cuja captura de tela está ilustrada na Figura 18) apresenta detalhadamente o funcionamento de um modelo específico de motor de Stirling e de sua montagem.

A escolha deste vídeo se deu devido à forma clara como é exposta a relação entre a simplicidade do motor de Stirling com os motores atuais mais sofisticados. Deve-se instigar o estudante, nessa etapa da aula para que tenha o máximo de atenção ao vídeo, pois esse modelo será adotado devido à facilidade de obtenção de materiais (que podem ser alternativos) e sua montagem descomplicada.

Figura 21 – Funcionamento do Motor de Stirling



Disponível em: <<https://youtu.com/video/WTmmvs3ulv0>>. Acesso em 18 set. 2017



Os materiais utilizados para elaboração e as etapas da construção do motor serão apresentados na aula seguinte.

#### *1.4 Aula 4 - Recursos e montagem das máquinas térmicas*

Nesta aula propõe-se a montagem do Motor de Stirling para demonstrar como ocorre o ciclo termodinâmico com quatro etapas, cada uma constituída de um processo termodinâmico distinto. No caso de um ciclo Stirling idealizado estas etapas consistem de: aquecimento isométrico (volume constante), a expansão isotérmica (temperatura constante), resfriamento isométrico (volume constante) e a compressão isotérmica (temperatura constante).

Esta atividade deve ser realizada com a participação ativa dos estudantes no processo de construção tornando a aprendizagem significativa. O processo de construção pode ser realizado durante uma aula com a organização antecipada dos materiais e equipamentos necessários para sua montagem.

Para a construção do referido motor, são necessários os seguintes materiais:

1 base de madeira plana com dimensões aproximadas de 60 x 30 x 3 cm., para sustentação do suporte do motor;

2 retângulos de madeira de aproximadamente 30 x 40 x 4cm perfurados a 1cm;

1 tubo de ensaio de vidro com aproximadamente 25 cm;

1 seringa de vidro grande com pontas de metal;

10 cm de cano de PVC de 25 mm;

cola para PVC;

5 bolinhas de vidro ou de gude que caibam no tubo de ensaio;

1 mangueira de silicone;

2 rebites; 1 rolha de cortiça;

1 lâmparina;

broca para furadeira.

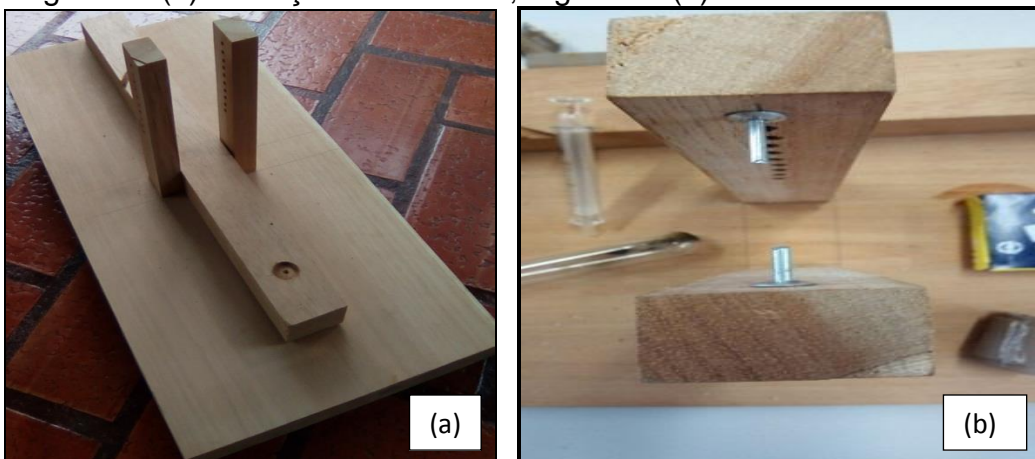
Para a montagem o professor deve organizar antecipadamente os materiais e ferramentas como furadeira, serrote entre outros, que serão necessários para o procedimento. Para a construção, sugere-se seguir as

indicações de acordo com as Figuras 22 (a) até a Figura 22 (j), que apresentam o passo a passo na sequência.

O processo de Montagem do Motor de Stirling está ilustrado na Figura 22, cujos passos ilustrados são:

1. Primeiramente, fixar verticalmente, em base de madeira os retângulos perfurados Figura 22 (a), nos quais serão fixados os rebites conforme representado na Figura 22 (b).

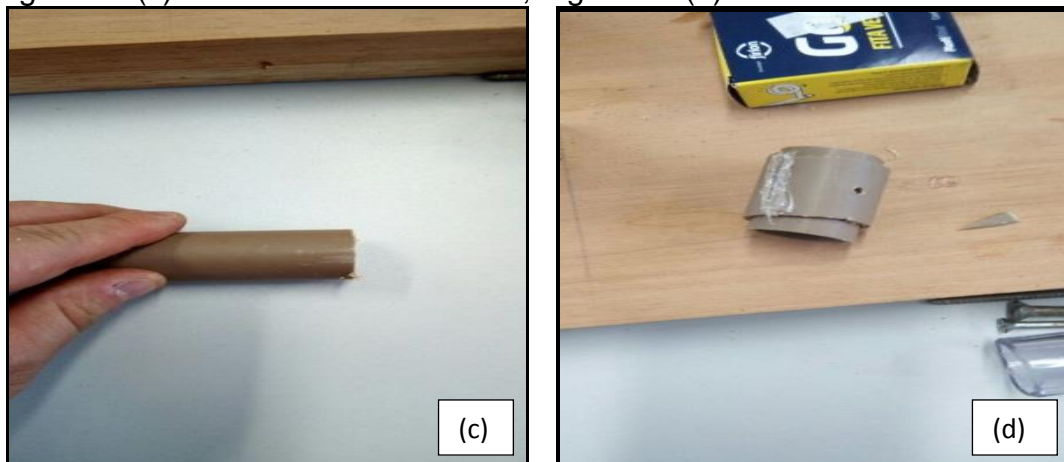
Figura 22 (a) - Fixação da madeira; Figura 22 (b) - Corte do cano de PVC



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

2. Em seguida, cortar o cano de PVC em duas partes de aproximadamente 3 cm conforme Figura 22 (c). Fazer um corte horizontal em uma das partes cortadas do cano de PVC, perfurá-la com uma broca de 2mm e encaixar uma dentro da outra (caso necessário, utilizar cola para unir as duas partes do cano) conforme Figura 22 (d).

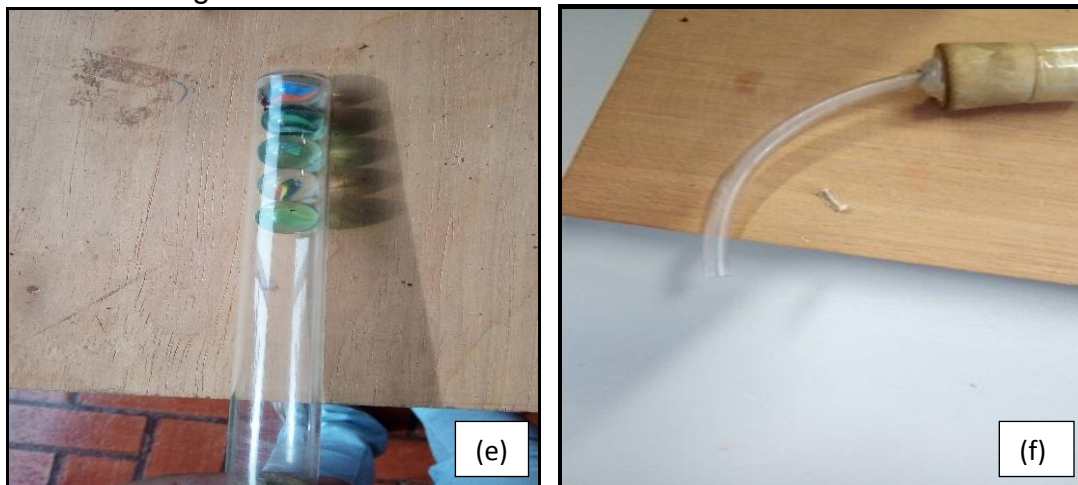
Figura 22 (c) - Corte do cano de PVC; Figura 22 (d) - Encaixe do cano de PVC



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

3. Colocar as cinco bolas de gude dentro do tubo de ensaio, conforme Figura 22 (e). Introduzir a mangueira na rolha de cortiça, atravessando-a e encaixa-la no tubo de ensaio (por onde irá passar o ar) até a seringa, conforme Figura 22 (f).

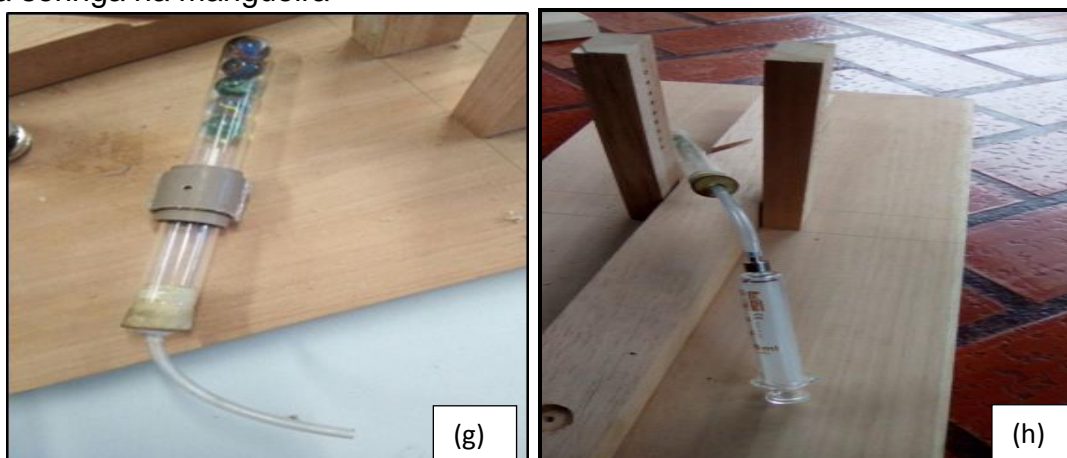
Figura 22 (e) - Tubo de ensaio com bolas de gude; Figura 22 (f) - Encaixe da mangueira e rolha



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

4. Encaixe a peça de PVC no tubo de ensaio de forma que possa deslocá-la para frente e para atrás com facilidade, conforme a Figura 22 (g). Na sequência, acoplar a seringa de vidro na extremidade da mangueira conforme Figura 22 (h).

Figura 22 (g) - Encaixe cano ao tubo de ensaio; Figura 22 (h) - Junção da seringa na mangueira

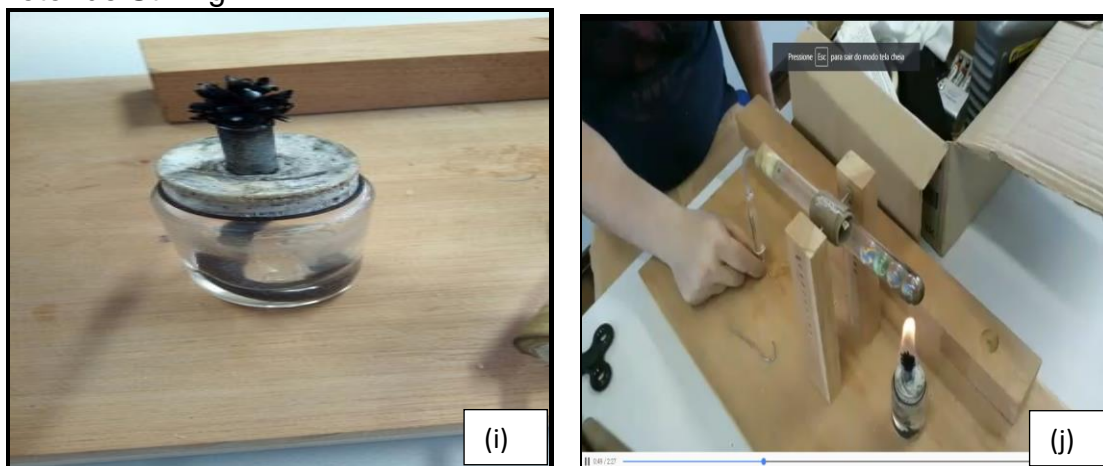


Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

5. Colocar álcool na lamparina, conforme Figura 22 (i). Fixar o tubo de

ensaio na madeira que serve de base de forma que este possa ser movimentado na direção vertical e acender a lamparina, conforme demonstrado na Figura 22 (j). O último passo é a fase da regulagem do tubo de ensaio (para frente ou para atrás) e da posição certa da seringa.

Figura 22 (i) - Lamparina com álcool; Figura 22 (j) - Funcionamento Motor de Stirling



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Após feitos os ajustes o motor começa seu funcionamento descrevendo suas 4 fases, as quais devem ser trabalhadas com os estudantes durante a montagem do motor. Para facilitar a compreensão do funcionamento do motor, descrevemos separadamente as fases abaixo.

1. Aquecimento a volume constante (aquecimento isocórico), onde a chama entra em contato com o tubo de ensaio, aquecendo o gás sem variar o volume.

2. Expansão a uma temperatura (baixa) constante (expansão isotérmica), onde o as bolas de gude se afastam da fonte de calor, abaixando o êmbolo da seringa.

3. Resfriamento a volume constante (resfriamento isocórico), onde o tubo está afastado da fonte de calor, então a massa de ar migra da região de alta pressão para a região de baixa pressão, sem alterar o volume.

4. Compressão a temperatura (alta) constante (compressão isotérmica), onde o gás aumenta a pressão e empurra o pistão, realizando trabalho.

Os estudantes foram divididos em 4 grupos com 5 componentes onde cada grupo deve construir um motor de Stirling com a mediação do professor,

intervindo, colaborando, sugerindo e propondo os melhores métodos para a montagem e funcionamento. Durante a aula o professor pode estabelecer dialogicamente os conceitos da termodinâmica, sanando dúvidas a respeito do experimento e do próprio conteúdo, fazendo uma conexão com o ciclo de Stirling e suas 4 fases.

De acordo com o progresso de montagem dos grupos o professor explica as fases de funcionamento e conceitos envolvidos como temperatura, pressão, volume e transferência de calor. Além de permitir o manuseio dos materiais que promovem uma noção intuitiva, realização de aproximações e levantamento de hipóteses.

### 1.5 Aula 5 - Aplicabilidade e Relevância

Para consolidar o conhecimento adquirido nas aulas sobre o Motor de Stirling, o aluno deve ser capaz de estabelecer relações com os conceitos apreendidos com a sua vivência cotidiana. Isso significa que o estudante irá assimilar a primeira Lei da Termodinâmica com o princípio da conservação da energia, ou seja, de que a energia não pode ser criada nem destruída mas sim transformada. Quando o reservatório térmico fornece calor ao sistema, ocorre um aumento de energia interna do sistema e também a expansão do gás através da realização de trabalho.

Para a sequência da aula os grupos de estudantes devem portar além de seus materiais escolares, um notebook (ou similar) para o uso de aplicativos simuladores. A aplicabilidade destes conceitos pode ser verificada nas atividades propostas através da demonstração (através do vídeo ilustrado na Figura 21, por exemplo) do motor de Stirling em funcionamento. Na primeira atividade o professor apresenta o motor em funcionamento e os estudantes deverão preencher a Tabela 10 abaixo, individualmente, em seus cadernos:

Tabela 10 - Atividade sobre transformações de unidades de pressão.

	ISOTÉRMICA (Expansão)	ISOTÉRMICA (Compressão)	ISOCÓRICA (Aquecimento)	ISOCÓRICA (Resfriamento)	ISOBARICA
FASE 1					
FASE2					
FASE3					
FASE4					

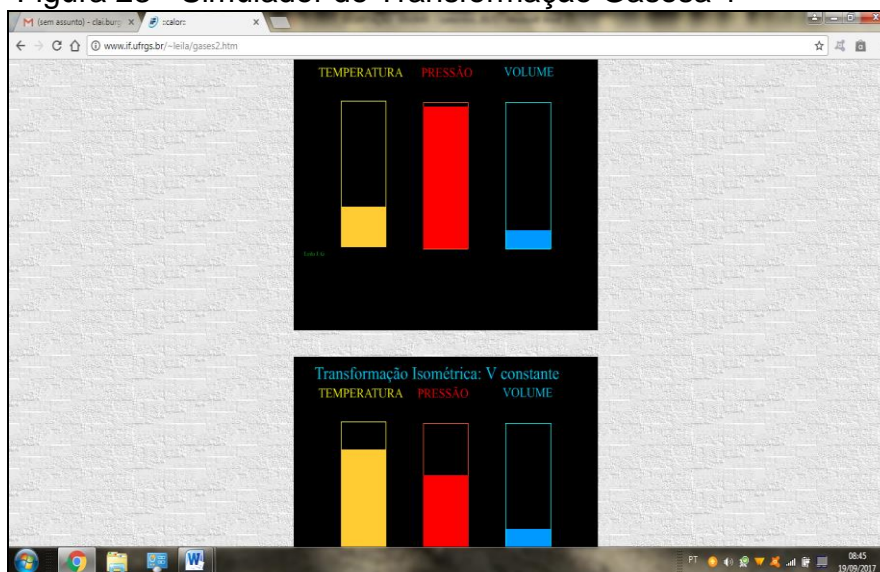
Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Na atividade, devem indicar quais transformações gasosas estão presentes durante as respectivas fases no funcionamento do motor de Stirling. Segue abaixo a tabela para posterior preenchimento pelos estudantes.

Após todos os estudantes terem desenvolvido a atividade o professor retoma de forma dialógica indicando as transformações em suas respectivas fases no motor de Stirling. Os equívocos/dúvidas ocorridos durante a atividade devem ser anotados e posteriormente esclarecidos pelo professor.

Na sequência da aula, os estudantes devem se reorganizar formando o grupo com os mesmos integrantes das atividades anteriores. Nesta atividade os alunos deverão utilizar o notebook para explorar os simuladores propostos pelo professor, anteriormente pesquisados. Sendo o primeiro simulador a ser explorado (simulador de transformação gasosa 1), conforme apresentado pela Figura 23:

Figura 23 - Simulador de Transformação Gasosa 1



Fonte: Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/~leila/gases2.htm>>. Acesso 20 set. 2017

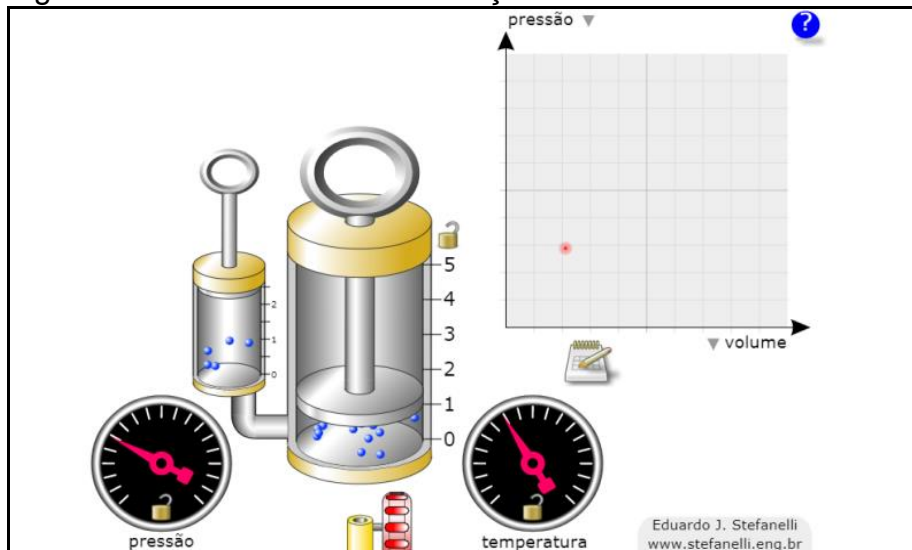
Este simulador será explorado brevemente como recurso lúdico visual com o intuito de identificar as relações existentes entre as variáveis de estado, suas respectivas transformações gasosas e identificar as fases existentes no ciclo de Stirling.

Ao término da exploração do primeiro simulador e pela identificação de cada uma das fases do ciclo de Stirling pelos estudantes, prosseguimos a atividade com o segundo simulador a ser trabalhado (cuja captura de tela está

ilustrada na Figura 24 - Simulador de Transformação Gasosa 2).

Propomos que se permita aos estudantes que explorem este aplicativo livremente, modificando uma variável termodinâmica do modelo e observando o que acontece com as demais variáveis.

Figura 24 - Simulador Transformação Gasosa 2



Fonte: Disponível em: <http://www.stefanelli.eng.br/.../>. Acesso em 20 set. 2017.

Em seguida os educandos devem responder em seus grupos as seguintes questões.

1. É possível representar nesse simulador (cuja captura de tela está ilustrada na Figura 23) as fases do ciclo de Stirling?
2. Usando o simulador, represente graficamente cada fase do ciclo de Stirling.
3. Quando se mantém o volume constante, o que ocorre quando há um aumento de temperatura? E uma diminuição de temperatura?
4. Usando o simulador, represente graficamente o item anterior no diagrama P vs. V e V vs. T.

As respostas deverão ser lidas no grande grupo, mediadas pelo professor, comparadas por grupos e debatidas de forma sucinta para que todos os estudantes tenham pleno conhecimento do conteúdo trabalhado. No que tange as questões que sugerem os gráficos, cada grupo deve apresentar cópias (capturas de tela) para análise, comparação, debate e discussão de equívocos e acertos e após com isso melhorar a compreensão dos conteúdos abordados.

### 1.6 Aula 6 - Avaliação (debate em grupo – discussão e diálogo)

Para finalizar a etapa exploratória da máquina de Stirling, o professor deve propor um debate com os alunos (que será em 4 grupos de 5 cinco estudantes) para a discussão dos pontos mais relevantes do conteúdo estudado. Simultaneamente, haverá a oportunidade de verificar a assimilação dos conhecimentos dos estudantes no decorrer das aulas.

A verificação do conhecimento será possível pela identificação das transformações gasosas existentes no motor de Stirling em suas 4 fases, através das questões elencadas abaixo, relacionando-as e adaptando-as às situações vivenciadas no cotidiano.

Cada grupo de estudantes deve responder as questões e em seguida as respostas devem ser lidas e debatidas coletivamente através da mediação do professor.

As questões a serem debatidas são:

1. Quais as grandezas físicas envolvidas no processo de funcionamento do Motor de Stirling em suas 4 fases?
2. Quais as transformações gasosas trabalhadas neste tópico? Em quais delas o gás realizou trabalho?
3. Quais as vantagens e desvantagens de um motor de Stirling?
4. Devemos investir em máquinas térmicas mais eficientes ou em fontes de energia renováveis?
5. Teremos combustível suficiente para a queima em motores em um futuro próximo? Se não, quais seriam as alternativas?

Após o término desta etapa, cada grupo irá expor coletivamente suas respostas, que serão debatidas por ordem numérica das questões, sendo mediadas pelo professor.

Quando todos os grupos externarem suas respostas e debaterem a questão 1, atingindo uma aprendizagem satisfatória, reinicia-se o processo de debate com a questão 2 e assim se dará até que todas as questões sejam satisfatoriamente debatidas. Esse formato de avaliação permite com que o estudante tenha maior participação nas aulas e, conseqüentemente, pode ocorrer a melhoria do aprendizado, quando comparado ao método tradicional de avaliação fundamentado em provas escritas.



## 2. MÁQUINA A VAPOR

A primeira máquina a vapor foi inventada no século I pelo engenheiro grego Hero de Alexandria, porém não foi por muito tempo cientificamente estudada, tendo somente a função de entretenimento ou mero brinquedo. Esta máquina que recebeu o nome de Eolípila, consiste de uma câmara (normalmente uma esfera ou um cilindro) com tubos curvados, por onde o vapor é expelido. A força resultante faz com que o aparelho gire, geralmente a água é aquecida num reservatório que está ligado a um sistema giratório por um par de tubos que também servem como eixo para a câmara (MOTA, 2016).

Ainda de acordo com MOTA (2016), o nome Eolípila vem do latim, "*aeoli*" e "*pilha*", traduzido como bola de Eolo, em honra ao deus grego do vento. Um protótipo da máquina de Hero foi desenvolvido em sala de aula por um grupo de estudantes com o auxílio do professor, ilustrado na Figura 25 abaixo.

Figura 25 – Máquina de Hero



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Somente em 1698 o engenheiro militar inglês, Thomas Savery (1650-1715) criou a primeira máquina à vapor com utilidade prática, que era usada para retirar água das minas. Posteriormente, por volta de 1712, essa máquina de Savery foi aperfeiçoada por Thomas Newcomen (1664-1729) com a finalidade de levantar cargas. No entanto, foi James Watt (1736-1819), em

1763 que criou uma máquina capaz de atingir maior eficiência em comparação com as demais existentes até então. Assim, elas passaram a ser utilizadas na indústria em grande escala, contribuindo para a Revolução Industrial. A partir de então surgiram as locomotivas a vapor que transportavam grandes cargas e deslocavam pessoas entre grandes distâncias, contribuindo para um avanço sócio-econômico sem precedentes, alterando a população das cidades através do êxodo.

A construção da Máquina a Vapor neste Produto Educacional deve demonstrar o princípio da utilização do vapor como meio de fornecimento de energia motora a partir do calor absorvido, contextualizando a historicidade referente ao surgimento das máquinas durante a Revolução Industrial. De forma prática, irá demonstrar como o calor pode ser transformado em energia mecânica, substituindo o trabalho do homem pela utilização das máquinas.

Basicamente, as máquinas a vapor transformam a parte da energia interna do vapor (que anteriormente era absorvida na forma de calor de um reservatório quente) em movimento por meio de um êmbolo que se move dentro de um cilindro. A água contida na caldeira é aquecida transformando-se em vapor. Quando este vapor é liberado ao interior do cilindro, sua pressão exercerá uma força no pistão empurrando-o, e com isto, realizando o trabalho mecânico.

Esses processos podem ser visualizados e intuídos pelos alunos na montagem da máquina a vapor. A máquina a vapor foi apresentada funcionando para os alunos em momento anterior a sua construção em sala de aula. A possibilidade de verificar o funcionamento da máquina, questionar, propor hipóteses, torna a aprendizagem significativa levando o estudante a uma maior compreensão da termodinâmica.

Portanto, os conteúdos a serem abordados nesta etapa relacionam-se com: trabalho termodinâmico, potência térmica, 1ª Lei da Termodinâmica e rendimento. Os objetivos a serem alcançados pelos alunos nesta etapa referem-se a, revisar os conceitos da 1ª Lei da Termodinâmica, entender como as máquinas térmicas convertem a energia interna dos gases em trabalho e definir seu rendimento e potência térmica, calcular o trabalho realizado pelos gases e o rendimento das máquinas térmicas, reconhecer os conhecimentos assimilados pelos alunos nas situações do cotidiano.

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

Iniciaremos a abordagem das máquinas a vapor no ensino de termodinâmica apresentando um protótipo com uma breve demonstração de seu funcionamento para que os estudantes fiquem instigados e tenham maior interesse pelo assunto que será abordado. Em seguida, faremos a contextualização do surgimento das máquinas a vapor durante a Revolução Industrial, transformando de modo definitivo o trabalho do homem.

A máquina a vapor permitiu que o homem utilizasse a força do vapor para impulsionar um conjunto de engrenagens que antes realizavam o seu trabalho. No decorrer da aula, através da discussão em conjunto sobre o assunto, o professor deve verificar o conhecimento prévio dos alunos sobre o trabalho termodinâmico, potência térmica e rendimento através de questionamentos abordados coletivamente.

1. Qual a fonte de energia para o funcionamento da máquina a vapor?
2. Qual a finalidade do uso da máquina a vapor?
3. Qual o impacto sócio econômico após o advento da máquina a vapor?
4. Quais as grandezas termodinâmicas envolvidas durante o processo de funcionamento do motor?

Para atingir os resultados esperados em relação à aprendizagem dos estudantes será necessário recapitular conceitos referentes ao princípio da conservação da energia, enunciado na 1ª Lei da Termodinâmica. Essa etapa da aula será expositiva e sucinta fazendo com que o estudante tenha uma breve compreensão de que a variação da energia interna de um sistema é expressa pela diferença entre a quantidade de calor trocada com o ambiente e o trabalho realizado no processo.

## *2.2 Aula 2 - Apresentação da situação problema*

O trabalho mecânico pode ser considerado como objetivo final do processo de construção da máquina térmica, e em especial das máquinas a vapor. As primeiras máquinas a vapor utilizavam como combustível o carvão que gerava calor convertido em movimento através do trabalho mecânico.

Durante a aula o professor deve fazer com que os estudantes reflitam

sobre a aceitação e descrença da sociedade em geral, a respeito das inovações proporcionadas através do advento da máquina a vapor. Quais os pontos positivos e negativos? Como se deu a disseminação deste conhecimento, a adoção destes novos conceitos e efetivo uso das máquinas para substituir o trabalho do homem?

A partir da contextualização do surgimento das máquinas a vapor, propõe-se para cada grupo formado nas aulas anteriores a apresentação de uma situação problema exposta através do seguinte questionamento.

1. Qual a primeira função da máquina a vapor após seu surgimento?
2. Porque a máquina a vapor está vinculada com a revolução industrial?
3. Qual o impacto social causado pelo surgimento da máquina a vapor?
4. Porque a maioria dos motores atuais não são motores a vapor?

Após o término dessa etapa cada grupo apresentará de forma oral os questionamentos apresentados anteriormente, onde serão debatidas coletivamente cada questão proposta acima até atingir um consenso entre as respostas. Esta etapa é composta pela apresentação da situação problema pelo professor, a leitura das questões e respostas escritas em grupos, explanação das respostas coletivamente, e finalizando pelos apontamentos das concordâncias ou discordâncias das respostas pelos demais grupos. O tempo proposto para essas atividades é de uma aula de no máximo 50 minutos e que será controlada pelo professor por etapas de acordo com a fluência da aula. Sempre que necessário o professor deve intervir para apontamentos, sugestões, críticas construtivas e controle do ambiente de estudos.

### *2.3 Aula 3 - Embasamento teórico*

Para o embasamento teórico, o professor apresentará aos alunos o vídeo *Legendas da Ciência - Episódio "Queimar"* que trata a diferença entre dois mundos. O mundo estático, frio e silencioso que se refere ao mundo totalmente manual sem o uso do calor como energia motriz e o mundo dinâmico quente e barulhento, no qual o calor é a fonte que gera o movimento.

Esses conceitos bem como o surgimento, aperfeiçoamento, avanços e utilização da máquina a vapor serão explorados no vídeo *Episódio "Queimar"* (cuja captura de tela está ilustrada na Figura 26) de forma didática, com

linguagem simples e efetiva o que possibilita uma melhor compreensão pelos estudantes dos vários conceitos propostos na Seção 2.2 deste Produto Educacional. Este vídeo representa como a termodinâmica revolucionou o mundo das máquinas possibilitando profundas mudanças no modo de produção, consumo e de vida do homem após a criação da máquina a vapor.

Como o tempo de duração do vídeo é extenso para uma aula (aproximadamente 51 min), o professor deverá assisti-lo anteriormente e informar o link para os estudantes. Recomenda-se aos estudantes que assistam com antecedência para que durante a aula se assista e enfatize somente trechos, como por exemplo, o trecho que ressalta sobre o trabalho manual antes do uso do calor para gerar movimento (2:00 até 4:20 minutos). Outro trecho a se destacar é o início da transformação do calor em trabalho, substituindo o trabalho manual pelo termodinâmico, culminando na revolução industrial (8:00 até 12:00 minutos). Uma breve ilustração referente ao surgimento das máquinas a vapor, bem como seu aperfeiçoamento de Savery até Watt se encontra entre os momentos (15:00 até 22:00 minutos) e deve ser destacada. Para finalizar prioriza-se o trecho entre (31:00 até 39:00 minutos) onde enfatizamos as leis da termodinâmica, transferência de calor, fonte quente e fonte fria, rendimentos e potência térmica, abordando os principais conceitos relativos a termodinâmica. As pausas e diálogo coletivo são imprescindíveis, e deverão ocorrer conforme a fluência dos conceitos trabalhados.

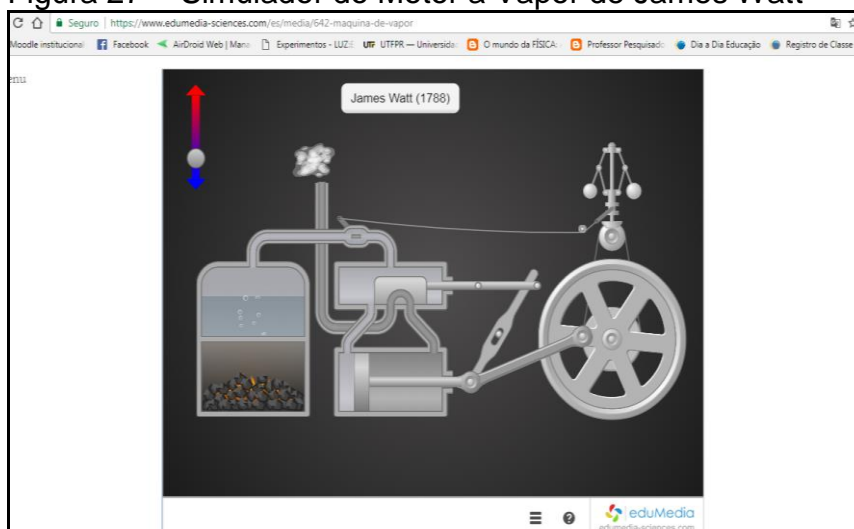
Figura 26 - Vídeo Legendas da Ciência - Episódio "Queimar"



Fonte: Disponível em: <<https://www.youtube.com/.../>>. Acesso 20 set. 2017.

Na sequência sugere-se para melhorar a compreensão de como funcionam as máquinas a vapor, a exploração de um aplicativo on-line que simula o motor a vapor de James Watt cuja captura de tela está ilustrada na Figura 27. Pela visualização do referido simulador é possível compreender que a variação da bola entre as posições quente e fria, indicadas pelas cores vermelha e azul, respectivamente representadas no simulador, permite com que a máquina produza velocidades diferentes.

Figura 27 - Simulador do Motor a Vapor de James Watt



Fonte: Disponível em: <<https://www.edumedia-sciences.com/.../>>. Acesso: 10 dez. 2017.

A visualização deste simulador possibilita que os estudantes compreendam sobre o princípio de operação da máquina, o processo de conversão de calor em trabalho, a função de cada uma das partes da máquina de Watt e que estes assimilem estes conceitos com o progresso da revolução industrial. Nesta etapa o estudante deve relacionar o aumento de combustível queimado com a quantidade de movimento realizado, o processo de deslocamento do êmbolo, identificar as fontes quente e fria da máquina e relacionar o calor ao trabalho. Essas relações devem ser feitas individualmente e anotadas para utiliza-las na aula 6 desta etapa.

Na sequência podemos sugerir ao estudante que acesse em contra turno, a uma sequência de vídeos abaixo, intitulada “Termodinâmica – Tudo o que você deve saber” (cuja captura de tela está ilustrada na Figuras 28 até a Figura 31) com quatro vídeos que apresentam e retratam o estudo das máquinas térmicas, seus ciclos, leis, transformações e rendimentos de uma forma detalhada. Pretende-se com esses vídeos demonstrar os conceitos mais

importantes reforçando o assunto trabalhado e aprofundando o conhecimento dos estudantes. Recomenda-se aos estudantes que visualizem somente os trechos indicados. O primeiro vídeo ressalta-se os trechos (16:00 até 21:00 minutos), onde destaca-se a máquina de Watt. No vídeo seguinte sugere-se a visualização do trecho (5:00 até 10:00 minutos), onde destaca a Primeira Lei da Termodinâmica. A segunda Lei da Termodinâmica e o rendimento são destacados no vídeo a seguir entre os momentos (00:00 até 06:00 minutos).

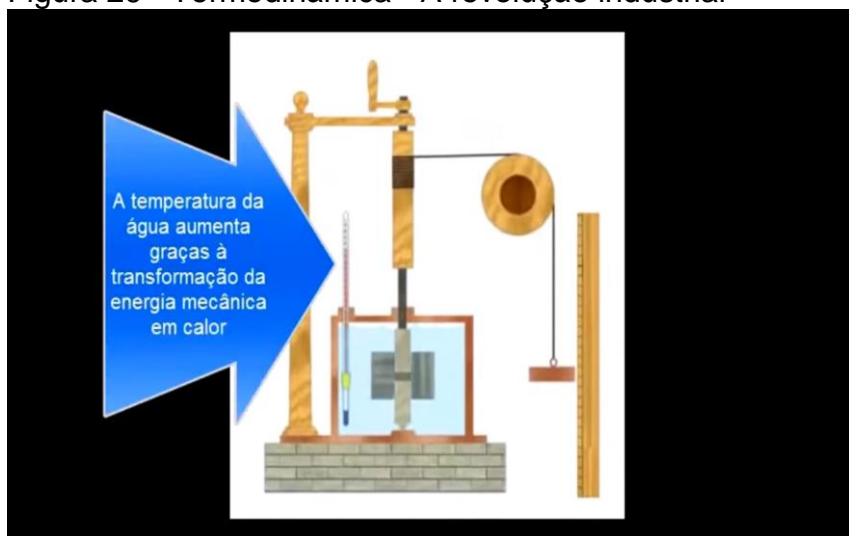
Figura 28 - Termodinâmica - Evolução das máquinas a vapor



Fonte: Disponível em: <<https://www.youtube.com/wat.../>>. Acesso em 12 dez. 2017.

No segundo vídeo Termodinâmica – “A revolução industrial” (cuja captura de tela está ilustrada na Figura 29) aborda sobre a evolução das máquinas a vapor e sua importância para a sociedade.

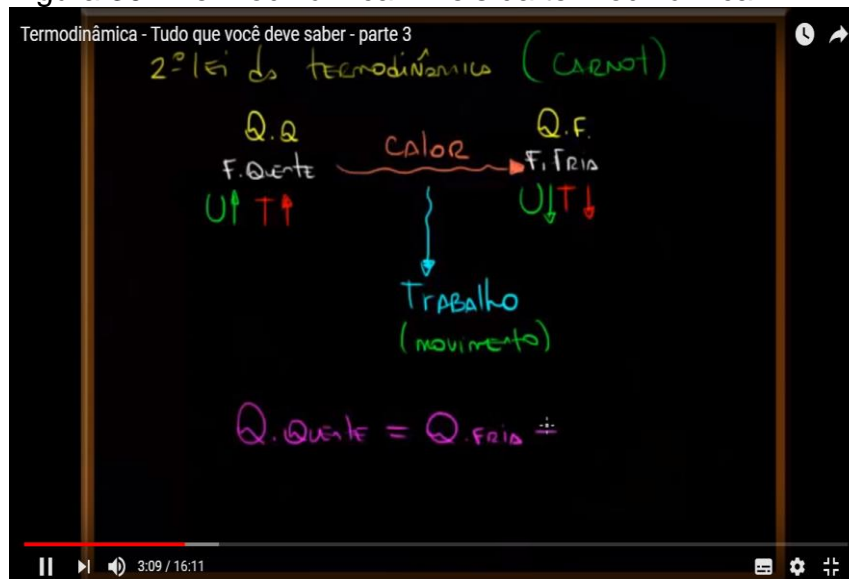
Figura 29 - Termodinâmica - A revolução industrial



Fonte: Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch/.../>>. Acesso em 12 dez. 2017.

Neste vídeo são apresentadas algumas equações demonstrando o conceito de trabalho termodinâmico e rendimento termodinâmico, relacionados às leis da termodinâmica. Através destes vídeos os estudantes visualizaram a transformação da energia proveniente da combustão em energia de movimento. No vídeo Termodinâmica - “Leis da termodinâmica” (cuja captura de tela está ilustrada na Figura 30),

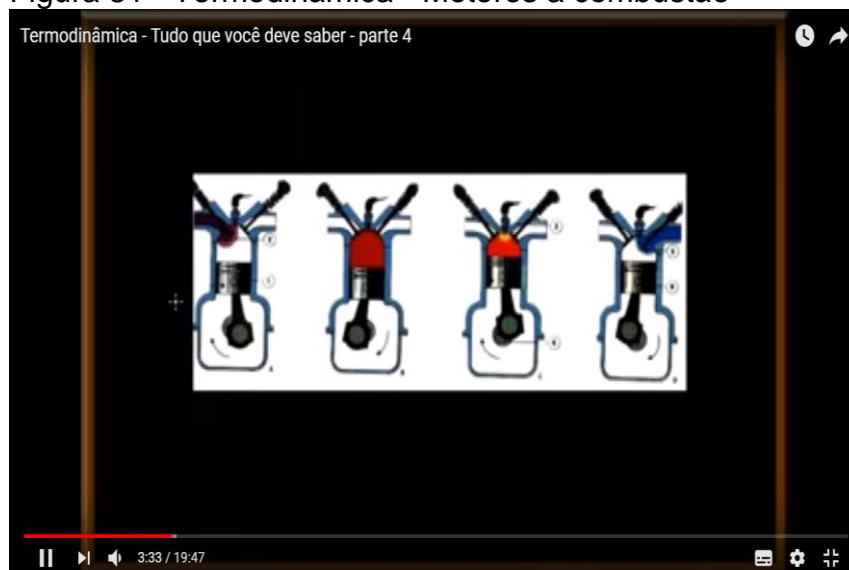
Figura 30 - Termodinâmica - Leis da termodinâmica



Fonte: Disponível em: <<https://www.youtube.com/.../>>. Acesso em 12 dez. 2017.

Também é sugerido assistir ao vídeo Termodinâmica - “Motores a combustão” (cuja captura de tela está ilustrada na Figura 31):

Figura 31 - Termodinâmica - Motores a combustão



Fonte: Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch/.../>>. Acesso em 12 dez. 2017.



A visualização desta sequência de vídeos permitirá ao estudante um maior embasamento teórico e facilitará a compreensão dos questionamentos sugeridos na avaliação, presentes na aula descrita na Seção 2.6 desta etapa. Ressalta-se esta sequência de vídeos é somente uma sugestão de acesso que servirá como material de apoio ao estudante.

#### *2.4 Aula 4 - Recursos e montagem das máquinas térmicas*

A construção do protótipo da máquina a vapor do tipo caldeira deve ser planejada antecipadamente para que sejam providenciados os materiais e equipamentos indispensáveis para a montagem. Entre os materiais e equipamentos serão necessários:

- 1 cilindro de aço ou similar (pode ser utilizada uma lata de refrigerante);
- 1 base para suporte da combustão;
- 1 manômetro e 1 termômetro;
- 1 válvula para o controle da pressão, 1 turbina (cooler de computador);
- 1 metro de mangueira flexível indicada para alta temperatura;
- 2 recipientes de lata e etanol.

Para a montagem o professor deve organizar antecipadamente os materiais e seguir as indicações para construção. O processo de montagem da Máquina a Vapor está ilustrado nas figuras, seguindo as etapas:

1. Primeiramente foram organizados e conectados os materiais periféricos como a válvula na mangueira, conforme Figura 32:

Figura 32 – Conexão da válvula na mangueira



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

2. Acoplamos o termômetro e o manômetro ao cilindro de aço conforme Figura 33:

Figura 33 – Acoplagem do termômetro e manômetro ao cilindro



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

3. Em seguida foi rosqueada a conexão da válvula no cilindro de aço, conforme Figura 34:

Figura 34 – Rosqueamento da válvula ao cilindro



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

4. Posteriormente o cilindro já pronto para ser utilizado foi colocado sobre a base de metal, em que se encontravam os recipientes contendo etanol que servirá de combustível para o processo, conforme demonstrado na Figura 35:

Figura 35 – Colocação do cilindro sobre a base



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

5. Preenchemos parcialmente o cilindro com água (de preferência quente, para acelerar o processo).

6. O passo seguinte é acender o etanol em seus recipientes e manter a válvula fechada.

7. Com o termômetro marcando acima de 100 graus Celsius e o manômetro acima de 14,7 psi, abre-se a válvula e aproxima-se a mangueira do cooler, conforme Figura 36:

Figura 36 – Abertura da válvula



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

A água que se encontra no cilindro é aquecida até sua vaporização, no entanto a válvula se mantendo fechada gera uma região de alta pressão no

interior do cilindro. Quando a válvula é aberta o vapor sairá pela mangueira fazendo com que o cooler gire, produzindo movimento através da transformação do calor em trabalho. Será abordado nesta etapa os conceitos de pressão (atmosférica, manométrica e absoluta) e suas unidades de medida através da leitura do manômetro durante o processo de aquecimento.

A pressão atmosférica ou barométrica é a força exercida pela atmosfera perpendicularmente a qualquer superfície que nela esteja imersa, e é normalmente medida por meio do barômetro (pressão barométrica). Ao nível do mar ou em alturas próximas a isso, o valor da pressão é próximo a 14,7 psi (101,35 Kpa) ou 1 atm, sendo que esses valores decaem com o aumento da altitude.

A pressão manométrica é a pressão medida em um instrumento denominado manômetro, sendo a diferença entre a pressão interna de um sistema e a pressão atmosférica definida neste local. No entanto a pressão absoluta é a soma da pressão atmosférica com a manométrica de um fluido. A pressão manométrica pode ser obtida adicionando o valor da pressão atmosférica à leitura de um manômetro.

Para exemplificarmos melhor as unidades de medida de pressão, incorporamos ao nosso trabalho a Tabela 11 com valores de pressão e suas várias unidades de medida referenciadas, tais como o Pascal (Pa), barômetro (bar), atmosférica técnica, Torricelli (Torr) e libras por polegada quadrada (psi). Essa tabela servirá de auxílio para a aula da seção 2.5, onde os estudantes realizarão uma atividade proposta referente às transformações de unidades sobre pressão.

Tabela 11 - Unidades de pressão e equivalências

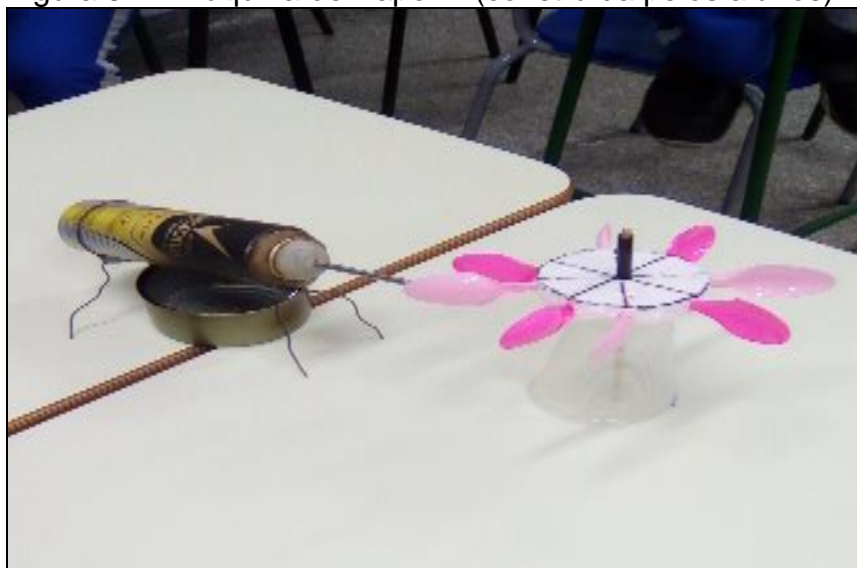
1 atm	$1,01325 \times 10^5$ (Pa)	1,01325 (bar)	1,0332 Atmosférica técnica	1 (atm)	$\cong 760$ (Torr)	14,69595 (psi)
-------	-------------------------------	------------------	----------------------------------	------------	-----------------------	-------------------

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Neste trabalho, o cilindro foi produzido em metalúrgica utilizando uma chapa de aço. Os demais materiais (mangueira, válvula, manômetro e termômetro) foram adquiridos com recursos próprio o que gera um custo considerável para os estudantes.

Como o objetivo é o aprendizado dos conceitos, foi sugerido aos estudantes o uso de materiais de baixo custo para a montagem de suas máquinas a vapor, tais como: latas de refrigerante ou de aerossóis, canudos, cola epóxi, arrame, colheres de plástico, peças de resina, isopor, palitos e demais materiais em que possa ser utilizado para a construção da máquina a vapor. Ilustramos nas Figuras 37; 38; 39 e 40, as imagens da construção de algumas máquinas a vapor construídas pelos estudantes no decorrer das aulas.

Figura 37 – Máquina de Vapor 1 (construída pelos alunos)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Figura 38 – Máquina de Vapor 2 (construída pelos alunos)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Figura 39 – Máquina de Vapor 3 (construída pelos alunos)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Figura 40 – Máquina de Vapor 4 (construída pelos alunos)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

### 2.5 Aula 5 - Aplicabilidade e Relevância

Esta seção contempla três etapas propostas com atividades mediadas pelo professor onde o tempo para cada atividade deve ser de aproximadamente 25 minutos para as respostas dos questionamentos apresentados na primeira parte, 10 minutos para a atividade com o simulador de rendimento térmico e 10 minutos para a atividade proposta de transformação de unidades de pressão. Esses tempos poderão ser

flexibilizados conforme o decorrer da aula, analisando as dificuldades ou facilidades de cada grupo.

No início da aula, o professor deverá propor aos alunos que respondam ao questionamento para a aplicação dos conceitos da máquina a vapor:

1. As máquinas a vapor convertem energia? Como acontece esta conversão?

2. Nas máquinas a vapor a energia se conserva? Explique embasando-se na Primeira Lei da Termodinâmica.

3. Quando uma máquina a vapor realiza trabalho? Relacione com a expansão do gás.

4. É possível o funcionamento de uma máquina a vapor sem o consumo de energia? Nessas condições há possibilidade do gás realizar trabalho?

5. Como se dá o funcionamento de uma máquina térmica? O que faz com que o êmbolo se desloque?

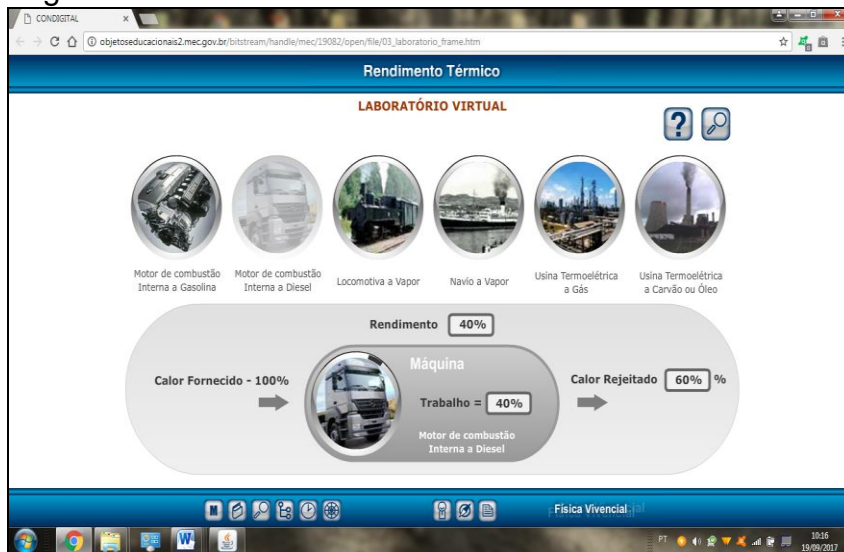
6. Se o rendimento é abaixo dos 100%, para onde vai o restante da energia que não é utilizada para trabalho útil?

7. Como se obtém o rendimento de uma máquina térmica? Relacione o trabalho realizado durante o funcionamento.

As respostas dos questionamentos anteriores devem ser escritas em uma folha por grupo que após serão lidas coletivamente, como parte da avaliação contemplada na aula descrita na Seção 2.6 deste trabalho. O professor deve propiciar a abertura ao diálogo para sanar dúvidas e responder a eventuais questionamentos dos estudantes durante o desenvolvimento da atividade proposta.

Na sequência, apresenta-se aos estudantes um simulador relacionado ao rendimento térmico de algumas máquinas térmicas cuja captura de tela está ilustrada na Figura 41. Esse simulador contempla a locomotiva a vapor, navio a vapor, motor de combustão interna a diesel, motor de combustão interna a gasolina, usina termoelétrica a gás e usina termoelétrica a carvão ou óleo. Na visualização do simulador, os estudantes devem ser instigados a refletir sobre os rendimentos dessas máquinas comparando-as entre elas, analisar a viabilidade de cada máquina presente no simulador para as tarefas desenvolvidas atualmente e indicar as possíveis transformações de energia em cada máquina.

Figura 41 - Simulador de rendimento térmico



Disponível em: <<http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/.../>>. Acesso em 18 set. 2017.

Os grupos devem anotar as reflexões feitas para um posterior debate que será realizado na aula descrita na Seção 2.6 (debate em grupo – discussão e diálogo)

Finalizando a aula, propõe-se uma atividade referente as transformações de unidades de pressão, na qual os estudantes devem encontrar os fatores de conversão entre as unidades de atm, Pa e psi, seguindo como exemplo a Tabela 10 de conversão na seção 2.4. Os estudantes preencherão a Tabela 12 em grupos, fazendo as conversões podendo utilizar os valores aproximados de  $1 \text{ atm} \cong 1 \times 10^5 \text{ Pa} \cong 14,7 \text{ psi}$ .

Tabela 12 – Atividade de transformação de unidades de pressão

1,5 atm	Pa	Psi
Atm	$2 \times 10^5 \text{ Pa}$	Psi
Atm	2,5 Pa	Psi
Atm	Pa	26 psi
5 atm	Pa	Psi

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

### 2.6 Aula 6 - Avaliação (debate em grupo – discussão e diálogo)

Nesta aula pretende-se realizar a avaliação por meio de debate em grupo com a discussão e diálogo sobre os pontos mais relevantes do conteúdo



estudado a fim de verificar a assimilação dos conhecimentos dos alunos e validar o conhecimento. Sugere-se que o professor promova um debate em grupo com a discussão das questões (de 1 a 7) já abordadas anteriormente na Seção 2.5 (Aula 5 - Aplicabilidade e Relevância).

O debate deve ser mediado pelo professor através da leitura da questão e posterior apresentação da resposta elaborada por cada grupo. Após a leitura da questão 1 feita pelo professor cada grupo externará sua conclusão referente a questão abordada sem a necessidade de ordem numérica sequencial de grupos (grupo1, grupo 2, grupo 3 e grupo 4). Nessa etapa os grupos farão apontamentos dos êxitos ou equívocos encontrados nas respostas dos demais grupos, com o intuito de uma maior convergência entre as respectivas respostas.

Todo esse processo se repetirá sucessivamente para as demais questões (questões 2 a 7), tendo o professor como agente mediador das etapas de leitura, explanação ideias e debates entre os grupos. O tempo para cada questão poderá ser flexibilizado de acordo com a fluência do debate, podendo ser maior para as questões que gerarem maior discussão. No entanto, deve-se procurar manter uma média de 5 a 6 min por questão, abrindo a oportunidade para que os estudantes façam questionamentos referentes a temática abordada.

### **3. MOTOR DE ELÁSTICO**

A entropia de um sistema termodinâmico é uma medida da maneira com que a energia está distribuída nos diferentes graus de liberdade. Isto pode ser interpretado como uma certa desorganização das moléculas que o compõe. Quando as moléculas possuem menor energia cinética, a temperatura da matéria é menor e, portanto, há um menor nível de desorganização destas moléculas. Neste caso a entropia do material é baixa. Quando as moléculas apresentam um arranjo desordenado por terem absorvido calor, a entropia aumenta (ALMEIDA, 2015).

O princípio da conservação de energia possui um caráter universal. No entanto, existe na natureza uma notada distinção entre duas classes de

fenômenos, os reversíveis e irreversíveis. Esta linha divisória, “evidenciada nos trabalhos de Carnot, estabelece a noção de flecha do tempo. A grande maioria dos fenômenos só pode ocorrer obedecendo uma estrita ordem temporal” [...] Nenhuma lei fundamental da física estabelece uma distinção entre passado e futuro” (QUADROS, 1996, p. 68).

“A entropia total do sistema aumenta quando o calor flui de um corpo quente para um corpo frio. É impossível realizar processo cujo único efeito seja transferir calor de um corpo mais frio para um corpo mais quente” (MOURA; AGUIAR, 2016, p. 164). Quando o calor flui de uma fonte fria para uma fonte quente espontaneamente, sem nenhum outro efeito, a entropia total diminui (QUADROS, 1996, p. 72).

A expansão ou contração de um material, quando aquecido ou resfriado, pode ser associada ao espaço intramolecular necessário para que as moléculas possam vibrar com uma maior amplitude e frequência devido ao aumento de suas energias cinéticas com o aumento da temperatura. Quando as moléculas são organizadas de forma mais ordenada, a entropia da matéria diminui enquanto se as moléculas apresentarem maior desordem, a entropia aumenta. Na maior parte dos fenômenos onde ocorre aquecimento, suas moléculas vibram mais acentuadamente e isso implica em uma maior desorganização.

A borracha é um material que apresenta um comportamento mecânico peculiar, tendo a capacidade de sofrer grande deformação e retornar às dimensões originais. Isso porque ela é constituída de moléculas muito longas, em forma de cadeia. Quando a borracha é aquecida, as áreas centrais das cadeias de moléculas vibram mais vigorosamente (as extremidades da cadeia estão mais firmemente presas por ligações químicas às outras cadeias do que a região central), trazendo suas partes vizinhas para mais perto e resultando no encolhimento da borracha. Esse comportamento é o oposto da maioria dos materiais que quando aquecidos geralmente se dilatam, aumentando suas dimensões.

Para melhor compreensão façamos a seguinte analogia: imagine vários pedaços de correntes de ferro, presos uns aos outros por laçadas de barbante e o conjunto esticado sobre uma mesa. Os pedaços de corrente são análogos às cadeias de moléculas da borracha e as laçadas de barbantes as ligações

químicas entre essas cadeias. Quando tensiona-se a região central dos pedaços de corrente para o lado (à direita ou à esquerda da direção do conjunto), observa-se que ocorre uma aproximação entre os extremos livres do conjunto. O conjunto formado por pedaços de correntes encolhe.

Algo semelhante ocorre com a borracha. Pelo efeito do calor, as regiões centrais das cadeias individuais vibram mais intensamente, puxam as cadeias adjacentes e determinam o encolhimento da borracha. A contração da borracha provocada pelo aquecimento deixará suas cadeias mais tensionadas, com maior desorganização e, conseqüentemente, com maior quantidade de entropia.

Quando a borracha está em estado de repouso ela se apresenta amorfa, não tensionada, mas quando é esticada, ela esquenta rapidamente, pois sua constante elástica aumenta com a temperatura. A contração da borracha provocada pelo aquecimento deixará suas cadeias mais tensionadas, com maior desorganização e, conseqüentemente, maior entropia. Este comportamento é surpreendente, pois é muito diferente da dilatação térmica encontrada em sólidos e da expansão de um gás aquecido (MOURA, 2016).

Este fato pode ser ilustrado pela Figura 17 – Moléculas de borracha (apresentada na página 73 do Referencial Teórico deste estudo), que possibilita visualizar as moléculas com uma temperatura menor conforme representado em 'a', contrastando com uma configuração de maior temperatura que em 'b'. O objeto central dessa seção (seção 3) é a construção do motor de elásticos, ilustrado na Figura 42. Esse motor consiste basicamente de um aro de bicicleta de 16 polegadas com elásticos (utilizados para ligados entre o eixo da bicicleta e a região periférica – este processo será explicado com mais detalhes na seção 3.4), que receberá energia de uma fonte quente fazendo-o girar.

O fator principal a se destacar é a contração e expansão das cadeias longas da borracha, apresentadas no parágrafo acima. Uma determinada região de moléculas, recebem calor de uma fonte quente por radiação (neste caso específico de uma lâmpada incandescente), aumentando a energia cinética das moléculas. A transferência desta energia (calor) ocorrerá através do contato entre as moléculas pelo processo de condução, conforme pode ser visto na Figura 42:

Figura 42 – Motor de elásticos



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Durante o processo de aquecimento, contração e aumento da tensão da borracha ocorre maior desorganização em suas cadeias de moléculas. Ressalta-se aos estudantes que neste momento caracteriza-se um aumento na entropia.

Na sequência foi apresentado o motor em funcionamento para os alunos em momento anterior à sua construção em sala de aula. O motor de elástico foi construído com o propósito de permitir a melhor compreensão dos conceitos de transferência de calor (radiação e condução) e também a entropia e seus processos reversíveis e irreversíveis.

A possibilidade de verificar o funcionamento da máquina, questionar, propor hipóteses, torna a aprendizagem significativa levando o estudante à uma melhor compreensão dos conteúdos abordados. Os principais objetivos para esta etapa concentram-se em diferenciar processos reversíveis e irreversíveis, identificar fenômenos relacionados com a variação da entropia no universo, explicar as propriedades termodinâmicas em materiais elásticos relacionadas à entropia e identificar os processos de transferência de calor existentes no funcionamento do motor.

### 3.1 Aula 1 - Abordagem do tema e verificação do conhecimento prévio

Iniciaremos a abordagem do motor de elástico no ensino de termodinâmica, apresentando-o em funcionamento aos estudantes, para que possam ver, refletir, tocar, questionar, instigando-os a querer saber mais sobre seu processo de funcionamento. A compreensão a respeito da entropia, processos reversíveis e irreversíveis e os processos de transferência de calor por radiação e condução deverá ser verificado pelo professor na sequência desta aula.

Sugere-se, para isso, que o professor propicie um ambiente para reflexões e questionamentos, retomando a metodologia de formação de grupos conforme já trabalhadas nas Seções 2 e 3 deste produto educacional. Esta aula poderá ser realizada com os 4 grupos de 5 estudantes formando um semicírculo permitindo que exponham suas opiniões acerca do seu entendimento sobre o funcionamento do motor e suas grandezas envolvidas nessa etapa.

Durante a aula o professor deve instigar os estudantes a refletir sobre questões:

1. Como ocorre o aquecimento do elástico?
2. O que ocorre com as moléculas do elástico quando são aquecidas?
3. Por que quando o elástico é aquecido faz com que o aro gire?
4. Durante o aquecimento o elástico se expande ou se contrai?
5. Qual a diferença entre a expansão ou contração do elástico comparando com a maioria dos outros materiais?

Cada grupo deverá fazer anotações para que na sequência da aula as utilize de forma dialógica entre professor e estudante ou mesmo entre os demais grupos. Nesta discussão, o professor deve levar os alunos a perceber que quanto maior o processo de transformação de um estado, maior será a sua desordem e, conseqüentemente a variação da entropia e que no motor de elástico a entropia aumenta durante o processo de aquecimento.

Na sequência apresenta-se um vídeo (cuja captura de tela está ilustrada na Figura 43), que expõe alguns eventos ocorrendo no sentido contrário de seus acontecimentos. Esses eventos ocorrendo nesse sentido indicam que existe a possibilidade de ocorrer alguns processos reversíveis.

Figura 43 – Vídeo *Awesome reversed vídeo*

Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?/.../>>. Acesso em 20 dez. 2017.

Este vídeo motiva discussões sobre o porquê seria impossível que estes eventos acontecessem no sentido real, seguindo uma ordem preferencial de tempo. Todas as imagens desses diversos eventos visualizados no vídeo indicam que a entropia (desordem) diminui e então se assim acontecessem todos seriam processos reversíveis. A interpretação da Segunda Lei da Termodinâmica nos permite concluir que a entropia aumenta em sistemas termodinâmicos isolados, portanto se seguissemos a ordem temporal desses eventos, todos seriam processos espontâneos e irreversíveis. Finalizando a aula o professor deverá propor aos grupos que reflitam e anotem a possibilidade de reverter alguns fenômenos. Isso servirá como material de apoio para a avaliação proposta na aula apresentada na Seção 3.6 desta etapa.

### 3.2 Aula 2 - Apresentação da situação problema

Depois de explicação introdutória sobre a temática da entropia, o professor pode sugerir aos alunos os seguintes questionamentos: Como ocorre o processo de envelhecimento humano? Após a morte a entropia aumenta ou diminui? Porque é mais fácil destruir do que construir? Estas situações problema serão trabalhadas com os estudantes em seus grupos (já formados anteriormente nas etapas 1 e 2), de forma dialógica, com o professor perguntando e cada grupo anotando suas respostas para serem debatidas

posteriormente na Seção 3.6.

Para instigá-los ainda mais, propõe-se aos grupos de estudantes a leitura e análise de uma questão adaptada do ENEM do ano de 2011 que trata sobre as transformações de energia que estão envolvidas durante o funcionamento de um motor a combustão interna. Nesse momento apresenta-se um questionamento onde os estudantes devem responder assinalando uma das alternativas e após relacioná-la com o conceito de entropia. Sugere-se aos grupos que guardem cuidadosamente essas anotações para serem debatidas na aula a ser apresentada na Seção 3.6.

1. Um motor só poderá realizar trabalho se receber uma quantidade de energia de outro sistema (combustível). Essa energia é, em parte, liberada durante a combustão para que o motor funcione. Durante o funcionamento do motor, parte da energia convertida ou transformada na combustão não poderá mais ser utilizada para a realização de trabalho. Isso significa que há transformação da energia em outra forma (ENEM, 2011- adaptado). De acordo com o texto as transformações de energia durante o funcionamento do motor estão relacionadas a:

- a) Liberação de calor dentro do motor ser impossível.
- b) Realização de trabalho pelo motor ser incontrolável.
- c) Conversão integral de calor em trabalho ser impossível.
- d) Transformação de energia térmica em cinética ser impossível.
- e) Utilização de energia potencial do combustível ser incontrolável.

Na sequência, os grupos participarão de uma atividade que visa demonstrar o grau de irreversibilidade de fenômenos ocorridos em nosso cotidiano. Esta atividade tem como base o artigo “Ensinando a natureza estatística da Segunda Lei da Termodinâmica no Ensino Médio” de SOUZA, DIAS e SANTOS (2013) em que é enfatizado o trabalho em grupo e de forma lúdica melhora a compreensão sobre o conceito de entropia.

Para a atividade, cada grupo deverá ter todos os materiais disponíveis para a realização da atividade, para isso o professor pode trazer e distribuir um kit para cada grupo ou, se preferir, combinar com antecedência com os grupos para que tragam de casa. Os materiais são de baixo custo, tais como:

- 1 garrafa pet transparente de 2 litros,
- 10 bolas de gude de cores diferentes (ou com identificações diferentes);

- 1 pedaço de mangueira transparente para encaixar no bocal da garrafa;
- 1 abraçadeira e 1 rolha para vedar uma das extremidades da mangueira.

A montagem do sistema e o procedimento da atividade são simples, sendo que cada grupo deverá seguir as instruções abaixo que estão dispostas no formato passo-a-passo das Figuras 44 a 48 da montagem:

1. Vede uma extremidade da mangueira com a rolha, passe fita para melhor fixação, conforme a Figura 44:

Figura 44 – Vedação da extremidade da mangueira



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

2. Introduza as 10 bolas de gude de forma aleatória na mangueira, de forma que estas possam cair na garrafa pet posteriormente, conforme Figura 45:

Figura 45 – Introdução de bolas de gude aleatoriamente



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

3. Encaixe a abraçadeira na mangueira e acople na garrafa pet,



apertando-a posteriormente, conforme Figura 46:

Figura 46 – Encaixe da braçadeira na mangueira



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

4. A partir disso, o sistema está pronto podendo ser iniciada a atividade, conforme Figura 47.

Para realizar o procedimento, cada integrante do grupo deve agitar o sistema e virá-lo de forma que as bolas de gude fiquem empilhadas na mangueira, conforme Figura 48. Os dados de cada procedimento feito pelos estudantes devem ser anotados para que possam ser comparados.

Figura 47 – Finalização do Sistema



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

5. Recomenda-se que esse procedimento seja repetido ao menos 5 vezes por estudante para que possam comparar seus resultados com os resultados obtidos com os colegas.

Figura 48 – Realização da brincadeira pelos alunos



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

6. A cada nova disposição das bolas de gude na mangueira, anota-se a ordem das cores (ou outras identificações) de 1 a 10 com que ficaram sobrepostas.

7. Após tudo anotado confere-se os resultados por grupo, tentando identificar se houve alguma formação igual.

8. A partir desse ponto pode-se repetir todo o procedimento diminuindo a quantidade de bolas de gude para 5, comparando novamente os resultados

Quando se diminui consideravelmente o número de bolas de gude, o estudante fará relação com número de moléculas e a possibilidade de se reverter determinados fenômenos. Associando a maior quantidade moléculas a uma maior dificuldade de reversão. Durante a aula o professor deve levar os alunos a refletir sobre o porquê da dificuldade de se reverter um fenômeno, encontrando-se geralmente associada ao que se denomina por desordem ou grau de irreversibilidade de um sistema termodinâmico. Essa aula poderá ser dividida em 3 etapas, introdução da situação-problema através de questões, leitura e resposta do questionamento adaptado do ENEM 2011 e atividade em grupo. O professor deverá mediar as discussões referentes ao conteúdo proposto e controlar o tempo necessário para que o desenvolver de cada etapa atinja aprendizagem satisfatória.

### *3.3 Aula 3 - Embasamento teórico*

Nesta aula sugere-se que o professor apresente aos estudantes o vídeo

“Além do Cosmos: O Tempo (Dublado) Documentário National Geographic” (cuja captura de tela está ilustrada na Figura 49), e também disponibilize o link para acesso, pois nessa aula o material será explorado de forma parcial.

O vídeo tem como enfoque principal a relação da entropia com a flecha do tempo. Nessa etapa da aula o professor apresentará o vídeo, pausando conforme for necessário e permitindo questionamentos e apontamentos relevantes a temática abordada. Até aproximadamente o tempo de 29 minutos deste vídeo ele aborda o conceito de tempo, sem relacionar com a entropia, que é a temática central desta etapa. Por esse motivo daremos prioridade ao trecho do vídeo a partir deste instante, o que não descarta que se discuta assuntos abordados anteriormente nele.

Durante a aula serão feitas pausas para reflexões e apontamentos, a partir de questões propostas pelo professor. Deve-se destacar o início do vídeo entre os instantes (01:00 e 05:00 minutos), onde relata sobre o conceito de tempo e ordem temporal. Outros trechos que merecem destaque são a possibilidade de fenômenos ocorrerem de forma inversa, distinguindo os fenômenos em reversíveis e irreversíveis, exemplificados entre os instantes (30:00 e 34:00 minutos). O conceito de entropia é destacado no vídeo entre os instantes (34:00 e 40:00 minutos), destacando alguns fenômenos e fazendo um comparativo com o surgimento do Big Bang (maior estado de ordem) até os fenômenos vivenciados por nós hoje (aumento da desordem).

Figura 49 - Vídeo - Além do Cosmos: O Tempo



Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch/.../s>>. Acesso em 18 set. 2017.

Antes de iniciar o vídeo o professor deve propor ao aluno que reflita sobre o porquê não vemos os acontecimentos na ordem inversa de tempo? Será que as leis da física permitem que isso ocorra? O primeiro momento de pausa se dará no minuto 32:20 para possíveis apontamentos e reflexões. Após feitas as primeiras reflexões referentes as questões abordadas neste parágrafo, o professor deverá propor ao estudante alguns questionamentos que serão abordados e explicados durante o transcorrer do vídeo. As questões são formuladas na ordem de tempo do vídeo, então conforme forem abordadas será pausado o vídeo e debatida entre o professor e estudante. Na sequência apresentam-se as questões a serem trabalhadas durante a exploração desse material.

1. É possível reverter um acontecimento? De que forma?
2. O que é responsável pela flecha do tempo?
3. Cite exemplos de aumento de entropia relatados no vídeo? Identifique eventos que ocorrem em seu cotidiano em que a entropia aumenta.
4. Porque os eventos ocorrem de um estado ordenado para um desordenado? Qual a relação desses eventos com a entropia?
5. A partir de que acontecimento a ciência indica que surgiu o tempo? Qual era o estado da entropia nesse momento?
6. Se a desordem só tende a aumentar, isso indica que teremos um fim para o tempo? Como será o universo num futuro distante?

Esses questionamentos, baseados no vídeo e intercalados gradativamente para possível reflexão e discussão sobre a temática permitirá um aprofundamento teórico do estudante, referente aos conteúdos trabalhados nesta etapa. O professor deverá mediar as questões abordadas entre os estudantes e controlar o tempo de cada questionamento de acordo com necessidade de reflexões relevantes ao tema. Ressalta-se aos estudantes para que façam anotações da aula para que possam utiliza-las na avaliação que estará na aula 6, seção 3.6 desta etapa.

### *3.4 Aula 4 - Recursos e montagem das máquinas térmicas*

Na quarta aula deste assunto, professor e estudantes deverão montar a máquina de elástico propriamente dita. Os estudantes devem ter todos os

materiais disponíveis para o início da montagem, para isso o professor em aulas anteriores deverá lembrá-los que tragam os materiais, para que se obtenha êxito durante a construção.

Para esta montagem são necessários os seguintes materiais:

1 base retangular de madeira 30cm x 20 cm x 5 cm;

2 braços de 50 cm;

1 soquete para lâmpada;

1 braço de madeira de aproximadamente 30 cm x 5 cm;

1 extensão com plugue;

1 aro de bicicleta 16 polegadas;

1 eixo de bicicleta;

1 lâmpada incandescente com aproximadamente 200 W;

elásticos (pode ser realizado com borrachinhas de prender dinheiro).

Para a montagem do motor de elásticos sugere-se aos professores da disciplina ou aos estudantes que sigam o manual abaixo, no qual está detalhado numericamente os passos na Figura 40 – Montagem do Motor de Elástico:

1. Encaixe o soquete no braço de madeira de 30 cm e conecte uma extremidade da extensão ao plugue e a outra extremidade ao soquete conforme Figura 50 abaixo:

Figura 50 – Encaixe do soquete no braço de madeira



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

2. Fixe os dois braços de madeira de 50 cm a base retangular, conforme

demonstrado na Figura 51:

Figura 51 – Fixação dos braços de madeira na base



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

3. Fixe com um parafuso o sistema descrito anteriormente no passo 1, demonstrado na Figura 50, a base de madeira construída no passo 2 (Figura 51), que deverá ficar firme.

Este esquema deve permitir pequenas variações no posicionamento, caso seja necessário, para que exerça o calor sobre os elásticos, conforme apresentado na Figura 52:

Figura 52 – Fixação do soquete no braço de madeira



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

4. Amarre uma das extremidades das borrachas ao eixo de bicicleta

formando um pequeno laço com o elástico para que este não se desprenda do eixo durante o procedimento de expansão do elástico, conforme representado na Figura 53:

Figura 53 – Amarração das borrachas no eixo



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

5. Ligue a outra extremidade da borracha aos furos do aro e amarre-as conforme Figura 54:

Figura 54 – Encaixe da borracha ao aro



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

6. Encaixe o sistema montado no passo 5 a base de madeira (conforme demonstrado na Figura 53) no passo 3, de acordo com a representação da Figura 55:

Figura 55 – Junção do sistema à base de madeira



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

7. Para finalizar a montagem do Motor de Elásticos, rosqueie a lâmpada ao soquete e conecte o plugue a uma tomada de eletricidade, Figura 56:

Figura 56 – Finalização do Motor de Elásticos



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

8. No último passo faz-se os ajustes nos elásticos para centralizar o aro, ajusta-se também a posição da lâmpada para que possa aquecer



suficientemente as borrachas.

Após todos os ajustes feitos de forma detalhada o motor inicia seu funcionamento, vagarosamente, porém suficiente para que o professor explique seu processo aos estudantes. Durante a montagem o professor deverá ir explicando a cada passo desenvolvido os conceitos que serão abordados por essa máquina térmica.

Quando liga-se a lâmpada incandescente ela emite calor por radiação (motivo pelo qual foi escolhida este tipo de lâmpada), que será absorvida lentamente pelas moléculas da borracha, transferindo essa energia através do contato entre elas, processo pelo qual denominamos de condução. A borracha quando é aquecida passa por um processo de dilatação que é geralmente o contrário da maioria dos demais materiais pelos motivos expostos anteriormente

Podemos exemplificar melhor o funcionamento do motor de elásticos, através da Figura 56 presente na etapa 3 (motor de elásticos). Com a contração da borracha acontecendo na região aquecida o aro terá seu centro de gravidade alterado, fazendo com que o eixo gire, ocasionando no movimento da roda. Agora outra região da borracha será aquecida, repetindo o mesmo processo, dando continuidade ao movimento.

Vale salientar que o motor de elásticos pode ser construído com outros tipos de materiais e medidas diferentes das utilizadas, basta somente seguir os princípios básicos de centralização do aro e aquecimento da borracha. Durante essa aula o professor deverá dar auxílio para que os grupos acompanhem em simetria os passos de construção e explicações referentes ao funcionamento do motor, bem como os conceitos termodinâmicos envolvidos.

### *3.5 Aula 5 - Aplicabilidade e Relevância*

Nesta aula os alunos serão estimulados a refletir sobre os processos de transferência de energia térmica, a dilatação, as fontes de calor (fria e quente) e a entropia presentes no funcionamento do motor de elásticos. Para que isso ocorra, o professor deverá organizar os grupos de estudantes (com 4 ou 5 integrantes) anteriormente já formados para as etapas 1 e 2 e propor alguns questionamentos referentes ao motor construído na seção anterior (seção 3.4).

Através desses questionamentos propostos pelo professor, os estudantes deverão responder de forma escrita em seus grupos e só serão explanados coletivamente na aula 6, seção 3.6, desta etapa.

Para promover a reflexão da temática proposta nesta etapa 3, sugere-se aos grupos que reflitam e respondam sobre as questões a seguir.

1. Quais os processos de transferência de energia térmica apresentados durante o funcionamento do motor de elásticos? Onde podemos presenciar esses processos em nosso cotidiano?

2. O que ocorre com as dimensões da borracha quando ela é aquecida? Cite outro material que possui características de dilatação semelhante quando é aquecido.

3. Durante o aquecimento da borracha, o que acontece com a entropia de suas moléculas? Qual o fator que contribui para que isso ocorra?

4. Em nosso cotidiano, cite eventos em que a entropia aumenta? Com sua resposta, como você faria para diminuir a entropia?

5. Qual a fonte quente de calor presente no motor de elásticos construído nessa etapa? Identifique onde encontramos a fonte fria desse sistema?

6. Seria viável utilizarmos o motor de elásticos para desenvolver tarefas domésticas ou na indústria? Quais os pontos positivos e negativos deste motor?

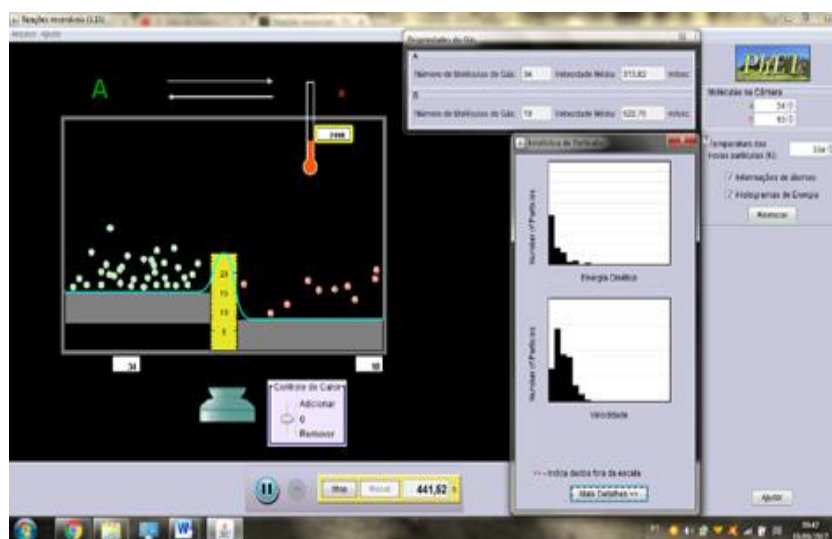
Após o término das reflexões acerca dos questionamentos abordados pelo professor, propõe-se aos estudantes após breve apresentação o uso de um aplicativo (cuja captura de tela está ilustrada na Figura 57) referente a entropia. Os estudantes deverão ter um tempo (aproximadamente 5 minutos) para que explorem o aplicativo e entendam seu funcionamento.

Para que seja possível a realização desta atividade, cada grupo deverá ter para acesso um notebook (ou similar), onde deverá estar instalado o aplicativo. Sugere-se que essa aula seja realizada em um laboratório de informática, caso isso não seja possível, o professor deverá avisar os grupos com antecedência para que tragam o dispositivo para acesso ao aplicativo.

Este aplicativo simula duas câmaras A e B contendo gases ideais e que está disposta sobre uma fonte de calor que pode ser ajustada de acordo com a proposta a ser estudada. Podemos, através do aplicativo, aumentar ou diminuir

o número de moléculas do gás de um determinado sistema, aumentar ou diminuir a temperatura do sistema, verificar a velocidade das moléculas de A e B. Após atingir-se um equilíbrio interno do gás, é possível pausar o tempo para que nesse momento realize-se a leitura do número de moléculas e a velocidade em cada câmara.

Figura 57 - Simuladores de Processos Reversíveis



Disponível em: <<https://phet.colorado.edu/pt/simulation/.../>>. Acesso em 18 set. 2017.

Na sequência da aula, após a visualização e exploração do aplicativo o professor propõe uma série de questionamentos para que os grupos de estudantes respondam as questões de forma escrita e façam a exposição coletivamente na aula 6, descrita na Seção 3.6, onde faremos a avaliação (debate em grupo – discussão e diálogo). Cada grupo deverá fazer as seguintes reflexões sobre a temática abordada.

1. Quando há um aumento no número de moléculas de um sistema, a probabilidade de reversibilidade, aumenta ou diminui? De que forma podemos ver isso através do simulador?

2. A entropia de um sistema aumenta ou diminui quando a ele fornecemos calor? E se retirarmos calor? Relacione com o funcionamento do motor de elásticos.

3. Uma massa gasosa ao receber energia de uma fonte de calor faz com que suas moléculas alterem sua velocidade. Qual a transformação de energia que ocorreu durante esse processo?

4. Aumentando-se ao máximo o número de moléculas e fornecendo

calor gradativamente ao sistema, o que ocorre com a entropia? Aumenta ou diminui a probabilidade de reversão?

5. Se somente parte da energia fornecida para as moléculas do gás será convertida e utilizada, para onde vai a outra parte? É reaproveitada? É desperdiçada?

6. Quanto maior for a quantidade de energia desperdiçada durante o funcionamento de uma máquina térmica, o rendimento aumenta ou diminui? E a entropia aumenta ou diminui?

Durante as reflexões dos questionamentos propostos o professor poderá auxiliar os estudantes a reproduzirem no simulador a situação sobre a qual se está indagando, facilitando a interpretação e atingindo a aprendizagem desejada. O tempo da aula deverá ser dividido em duas etapas e mediado pelo professor conforme o transcorrer das atividades.

### 3.6 Aula 6 - Avaliação (debate em grupo – discussão e diálogo)

Sugere-se que nesta aula o professor promova um debate em grupo com a discussão das questões sobre entropia já abordadas anteriormente na seção 3.5. Com a intenção de melhorar as reflexões das questões a serem debatidas em ordem numérica, apresenta-se um videoclipe (cuja captura de tela está ilustrada na Figura 58) com a característica peculiar de ter sido gravado em uma única tomada e exibido no sentido reverso.

Figura 58 – Videoclipe Reversed Vídeo (Vídeo Invertido)



Disponível em <<https://www.youtube.com/.../>>. Acesso em 18 set. 2017.

Nele pode-se identificar vários processos irreversíveis ocorrendo de forma reversível (diminuindo a entropia, o que é impossível). Nesse momento, o professor propõe aos estudantes para que apontem quais os momentos em que a Segunda Lei da Termodinâmica é infringida e o que isso tem a ver com a quebra de simetria temporal?

O debate deverá ser realizado em grupos (já formados anteriormente nas etapas 1 e 2 deste trabalho) com a mediação do professor, sendo que cada grupo irá expor coletivamente as respostas feitas na aula 5, detalhada na Seção 3.5 onde serão lidas e debatidas com apontamentos dos demais grupos e do professor, referindo-se aos equívocos e acertos para cada questão. A partir do momento em que todos os grupos explanaram suas considerações e debateram a questão 1, segue-se o mesmo procedimento para as demais questões até que todas sejam debatidas. O professor nesta etapa da aula deve mediar o debate e fazer apontamentos em casos de dúvida. Este debate tem como intuito perceber a assimilação dos conhecimentos dos estudantes e sua aplicação em situações cotidianas.

Para finalizar a atividade avaliativa o professor poderá propor que cada grupo aponte uma situação onde pode-se perceber intuitivamente um aumento de entropia em um sistema. Após um breve tempo as situações sugeridas pelos 4 grupos formados foram apresentadas, onde ficaram nominadas seguindo a ordem a abaixo.

Grupo 1: Aquecimento de um líquido até a evaporação.

Grupo 2: Uma placa de vidro quebra em minúsculos pedacinhos.

Grupo 3: A quebra de um ovo.

Grupo 4: A mistura de partículas entre 2 farinhas diferentes para formar uma massa de bolo.

Cada grupo fez a explanação sobre a situação sugerida, onde foi analisada pelos demais grupos e posteriormente debatida com o enfoque na tentativa de provar o porquê esses processos são praticamente impossíveis de revertê-los. Para avaliação dos grupos pode ser utilizado como critério a aplicação de um simulado elaborado pelo professor e aplicado para cada grupo, tendo como objetivo a verificação do aprendizado ocorrido durante a intervenção deste Produto Educacional. Finalizando esta etapa o professor deverá incentivar os estudantes para busquem mais informações através de

pesquisas, debates, leituras e demais fontes para que possam, cada vez mais aprimorarem seus conhecimentos.