



UNIFESSPA

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE
FÍSICA**

CLÁUDIO ALVES DA SILVA

**ESTUDO DA SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA VIA ROTAÇÃO POR
ESTAÇÕES**

**MARABÁ, PA
2021**

CLÁUDIO ALVES DA SILVA

**ESTUDO DA SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA VIA ROTAÇÃO POR
ESTAÇÕES**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em ensino de Física, no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Jeânderson de Melo Dantas.

MARABÁ, PA
2021

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Setorial Campus do Taurizinho (BSCT)

Silva, Cláudio Alves da

Estudo da segunda lei da termodinâmica via rotação por estações / Cláudio Alves da Silva; orientador, Jêanderson de Melo Dantas. — Marabá: [s. n.], 2021.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), Marabá, 2021.

1. Física. 2. Lei da Termodinâmica. 3. Metodologia ativa. I. Dantas, Jêanderson de Melo, orient. II. Título.

CDD: 23. ed.: 536.7

ESTUDO DA SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA VIA ROTAÇÃO POR ESTAÇÕES

CLÁUDIO ALVES DA SILVA

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

Orientador: Prof. Dr. Jeânderson de Melo Dantas.

Data da aprovação: Marabá (PA), ____ de ____ de 2021.

Aprovada por: _____

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Jeânderson de Melo Dantas
Orientador

Profa. Dra. Cláudia Adriana Silva
UFFS - Membro Externo

Profa. Dra. Andreia de Lima Ferreira Novais
Membro Interno

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter iluminado meus caminhos nesta trajetória.

Tenho imenso agradecimento aos meus pais Antonio Alves de Oliveira e Nilde Vieira da Silva, pôr em vida sempre torcer, acreditar e me incentivar a estudar e nunca desistir e compreender minha ausência em muitos momentos das suas vidas.

A minha esposa Raimunda Vieira e aos meus filhos Maria Lauany e Lucas e aos meus irmãos por todo apoio e compreensão em que estive ausente durante esses anos de curso, pelo incentivo indispensável nesta caminhada.

Aos meus colegas de trabalho, Aerto, Edilene, Francisco, Jean Carlos, Rosinete, Rute Pereira, Valdenise e de modo especial aos amigos Alexandre Nunes, Ednilson Rodrigues e Francisca Núbia pelas valiosas orientações e pesquisas que contribuíram de forma significativa para fundamentação teórica e didática de todo o trabalho.

Aos amigos, Cristina Antunes, Gildson Sousa, Judite Martins, Jhonatan Viana, Itamar Campos e Roberto Vieira, pelo incentivo e contribuições.

Aos amigos da turma, Anderson Amaro, Álvaro, Daniele, Emerson, Jose Leite, Leandro, Luciana e Vagno pelas trocas de ideias e apoio durante todo curso.

Ao meu orientador, Jeânderson de Melo Dantas, pelo apoio na orientação deste trabalho, pelas valiosas sugestões e observações, que possibilitaram novas reflexões e crescimento intelectual.

A todos os Professores do mestrado da Unifesspa, pelo convívio, socialização de experiências, construção do conhecimento, apoio e incentivo.

Por fim, a coordenação de aperfeiçoamento de pessoal de nível superior (CAPES) pelo apoio financeiro durante o curso, a Sociedade brasileira de física (SBF) e a Universidade (UNIFESSPA), por oportunizar a participação de um programa de mestrado profissional.

RESUMO

O presente trabalho descreve as experiências relacionadas aos modelos híbridos do ensino de Física, em específico sobre os conceitos que envolvem a segunda lei da termodinâmica, para alunos da segunda série do Ensino Médio. Para a realização dessa descrição foi utilizada a metodologia ativa através do modelo rotacional, rotação por estações para estudo teórico-prático e experimental. Tendo, portanto, o propósito de contribuir para o processo de ensino e aprendizagem, favorecendo aos alunos um conhecimento proficiente, cuja dinâmica e concepção atrativa do currículo em estudo configura-se como um caminho para a concretização da aprendizagem. Como caminho metodológico da proposta, uma escola da rede estadual de ensino em uma cidade no interior do estado do Maranhão será o local de análise em campo. Os sujeitos em estudo compõem as turmas 200 e 201. Esse universo de análise, ou seja, os alunos têm-se como referência de quantidade os dados do educacenso de 2020. Com a aplicação da proposta metodológica de ensino, os alunos responderão ao um questionário fechado, que objetivará uma análise da aplicabilidade do método, bem como da aprendizagem proficiente. Tais dados serão analisados pelo escopo da pesquisa tanto quantitativa como qualitativa, e será alicerce para a dissertação.

Palavras-chave: Ensino de Física. Metodologia Ativa. Termodinâmica.

ABSTRACT

The present work describes the experiences related to hybrid models of Physics teaching, specifically about the concepts that involve the second law of thermodynamics, for students in the second grade of high school. To carry out this description, the active methodology was used through the rotational model, rotation by stations for theoretical-practical and experimental study. Having, therefore, the purpose of contributing to the teaching and learning process, favoring students with a proficient knowledge, whose dynamics and attractive conception of the curriculum under study configures itself as a path to the realization of learning. As a methodological approach to the proposal, a state school in a city in the interior of the state of Maranhão will be the site for field analysis. The subjects under study comprise classes 200 and 201. This universe of analysis, that is, the students, have the 2020 educacense data as a reference for quantity. With the application of the teaching methodological proposal, students will answer a closed questionnaire, which will aim at analyzing the applicability of the method, as well as proficient learning. Such data will be analyzed by the scope of both quantitative and qualitative research, and will be the foundation for the dissertation.

Keywords: Teaching Physics. Active Methodology. Thermodynamics.

ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Esquema dos principais conceitos relativos à aprendizagem.	19
Figura 2 - Esquema da teoria da assimilação de Ausubel.	21
Figura 3 - Processos reversíveis e irreversíveis.....	34
Figura 4 - Funcionamento de uma máquina a vapor	39
Figura 5 - Funcionamento de um motor térmico.....	40
Figura 6 - Princípio de funcionamento de um refrigerador.....	41
Figura 7 - Ciclo de canot para um gás ideal	44
Figura 8 - A pesquisa-ação.	47
Figura 9 - Questionário prévio como suporte para a aprendizagem da segunda lei da termodinâmica.....	55
Figura 10 - Resultados sobre a avaliação da aplicação da metodologia rotação por estações.....	58
Figura 11 - Resultados em porcentagem dos resultados obtidos sobre as aprendizagens no questionário pós-teste.....	60

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel	17
2.1.1	Estrutura cognitiva e sua caracterização	19
2.1.2	Processo de assimilação	20
2.1.3	Formação de subsunçores e organizadores prévios.....	22
2.1.4	Tipos e formas de aprendizagem significativa	23
2.1.5	Circunstâncias para ocorrência da aprendizagem significativa.....	25
2.2	Teoria da aprendizagem de Bruner	27
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	31
3.1	Termodinâmica	31
3.2	Calor	31
3.3	Energia	32
3.4	Temperatura	32
3.5	Processos irreversíveis	32
3.6	Processos reversíveis	33
3.7	Entropia	35
3.8	A segunda lei da termodinâmica	37
3.9	Máquinas térmicas	38
3.10	Refrigeradores	41
3.11	Ciclo de Carnot	42
3.12	Variação de entropia em processos reversível e irreversível	45
4	METODOLOGIA	46
4.1	Materiais e métodos	46
4.2	Plano da Pesquisa	46
4.3	Ambiente de pesquisa	47
4.3.1	Etapas de aplicação da Pesquisa.....	48
4.3.2	Primeira Etapa	48
4.3.3	Segunda Etapa	49
4.3.4	Terceira Etapa.....	49
5	ANÁLISE DOS RESULTADOS	50
5.1	Análise da aplicação da proposta através da metodologia rotação por estações 50	
5.1.1	Estações de Aprendizagem.....	50
5.1.2	Estação A – Reversibilidade.....	51

5.1.3	Estação B – Transformação Irreversível	51
5.1.4	Estação C – Máquinas térmicas.....	52
5.1.5	Estação D – Resolução de questões ojetivas	52
5.1.6	Estação E – Desordem das moléculas	54
5.1.7	Socialização.....	54
5.2	Primeira etapa da pesquisa	55
5.3	Segunda etapa da pesquisa	57
5.4	Terceira etapa da pesquisa	60
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	64
	REFERÊNCIAS	67
	APÊNDICE A: PLANO DE AULA	70
	APÊNDICE B: QUESTIONÁRIO I - PRÉVIO SOBRE A PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA.....	72
	APÊNDICE C - QUESTIONÁRIO III - AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA ROTAÇÃO POR ESTAÇÃO - ALUNO	75
	APÊNDICE D - QUESTIONÁRIO IV - AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM – PÓS – TESTE.	77
	APÊNDICE F - PRODUTO EDUCACIONAL	85

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO

Há diversas possibilidades metodológicas que pode proporcionar aos estudantes uma aprendizagem significativa dos conceitos que envolvem os fenômenos Físicos, seja utilizando como modelo o ensino tradicional, como nas correntes pedagógicas contemporâneas, tais como no ensino híbrido. “O ensino híbrido diz respeito ao fato de que todos os indivíduos são aprendizes e mestres, consumidores e produtores de informação e de conhecimento” ^[1]. O desenvolvimento do ensino em sua forma tradicional e as ferramentas tecnológicas presentes na vida dos estudantes são concorrentes. A própria Base Nacional Comum Curricular (BNCC) cita a necessidade de se promover na escola a união com a tecnologia, visto que é uma das competências gerais da educação básica [2]. Os componentes curriculares da área de ciências, tal qual a Física, precisam envolver-se num caminho mais árduo de conquista da percepção do aluno para o encantamento da aprendizagem.

Dentre as competências específicas na Base Nacional Comum Curricular (BNCC) há a que define o conteúdo obrigatório aplicados na escola para a ciência da natureza e de suas tecnologias. “Deve-se priorizar a relação do conteúdo obrigatório com as problemáticas vividas pelos alunos, seja oriundo de fenômenos naturais ou de processos tecnológicos, com base nas relações entre matéria e energia, para posteriormente propor ações individuais e coletivas que busquem o aperfeiçoamento de processos produtivos, que melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e ou global, minimizando impactos socioambientais” [2].

O componente curricular Física é visto no Ensino Médio, como algo pouco atraente para a maioria dos alunos egressos, mesmo existindo inúmeras aplicações no cotidiano e estando diretamente ligada ao desenvolvimento tecnológico. Observa-se que os professores, além de lidar com alunos desmotivados e com resultados educacionais negativos. Há uma vigência de práticas docentes que priorizam métodos tradicionais, com pouco enfoque na experimentação e fenômenos que pouco contribuem para motivação e adesão efetiva ao estudo e pesquisa desta ciência. A disciplina é uma ciência viva, observada cotidianamente, mas por que os docentes insistem em trabalhar de forma monótona e apenas no cunho teórico?

Para demonstrar a possibilidade de despertar nos alunos a curiosidade e motivação para o estudo de Física, esta proposta baseia-se em uma metodologia inovadora, oriunda dos

modelos rotacionais de ensino híbrido, no tema Rotação por Estações. A base teórica da proposta tem ênfase nas teorias da aprendizagem de David Paul Ausubel (1918-2008) e Jerome Seymour Bruner (1915 - 2016). “É preciso favorecer a aprendizagem do aluno para o sentindo, a compreensão” [3].

Ao desenvolver o momento de observação no local de estudo, parte inicial e prioritária para o método científico, observou-se o ensino da segunda lei da termodinâmica ocorre em volta do ciclo de Carnot, enunciado aos alunos, sem nenhuma explicação do motivo dele ter as duas transformações isotérmica e adiabática. Os conceitos associados ao Ciclo de Carnot não são aprendidos pelos alunos, causando uma desmotivação e, ao mesmo tempo o desinteresse pela disciplina de Física. Mudar essa realidade e ofertar aos alunos uma dinâmica diferente, uma abordagem atrativa, que motive o despertar para o estudo e aprendizagem sobre a termodinâmica é a ideia primordial dessa proposta, que visa ter subsídios para a produção e desenvolvimento da dissertação.

De acordo com Moreira [4] “aprendemos a partir do que temos em nossa estrutura cognitiva”, ou seja, aprende-se a partir dos conhecimentos prévios. Para um ensino de Física com foco na aprendizagem dos alunos é preciso um trabalho pedagógico e didático que saiba utilizar os recursos já existentes, tais como o livro didático, com propostas mais enfáticas e dinâmicas, assim como as ferramentas tecnológicas síncronas e assíncronas. Os objetos digitais, fazer parte do cotidiano dos alunos, haja vista, a mudança da rotina educacional no Brasil e no mundo, devido o estado de pandemia. A aprendizagem das ferramentas tecnológicas nunca foi tão presente e necessária. Por isso, vivenciar algo dinâmico e favorecedor à aprendizagem significativa pode mudar a relação distante entre a Física e os alunos do Ensino Médio.

No ensino híbrido, foco da metodologia de trabalho para o objeto de estudo, concerne em viabilizar um trabalho pedagógico em que transitam no ensino e aprendizagem a prática tradicional e as propostas *online*. Essa metodologia de ensino, híbrida, proporciona inúmeras mudanças procedimentais, de acordo com a realidade do aluno e com o conteúdo a ser aprendido. Para [5], o ensino híbrido deve compreender três características: Primeira, que o aluno através do ensino *online*, deve controlar seu tempo de acordo com o seu ritmo de aprendizagem. A segunda característica é que sua aprendizagem deve ocorrer em local com a possibilidade de ser supervisionado, ou seja, longe de sua residência. A terceira e última característica, refere-se sobre as modalidades ou estratégias adotadas pelos professores que

devem ser interligadas, para que o conteúdo a ser trabalhado na forma presencial esteja em consonância com o desenvolvido na forma *online*.

O ensino híbrido é uma das metodologias ativas com maior expansão na educação atualmente, sendo uma das que mais insere as tecnologias digitais na aprendizagem no ambiente escolar. Assim no mundo digital, as metodologias ativas apresentam-se por meio do ensino híbrido [6]. Em outra definição [7], híbrida significa misturado ou mesclado que também no contexto educacional, pode significar a articulação entre processos de ensino formais e informais de aprendizagem.

Esse modelo de ensino corresponde a um plano metodológico que atende as necessidades e as características do aluno e da turma. Dessa forma o professor e alunos trabalham juntos, na seleção de materiais ou recursos que contribuem para uma aproximação da melhor forma de aprender [1]. Neste sentido, a utilização de uma única estratégia metodológica no ensino de física, pode excluir alunos que apresentam ritmos diferentes de aprendizagem ou dificuldades de apropriação de um determinado conteúdo, dessa maneira, as tecnologias inseridas no processo por meio do ensino híbrido, pode ser uma excelente possibilidade de personificação do ensino por apresentar diversos recursos, e designar como uma proposta metodológica democrática, que pode se adequar a várias realidades tanto por parte de alunos, como escolas.

Sendo necessário um olhar democrático ao ensino e às diversidades de aprendizagens, verifica-se que o ensino tradicional da disciplina de Física não tem levado em consideração, a heterogeneidade encontrada nas salas de aulas. Os estudantes apresentam níveis diferenciados de conhecimentos mesmo estudando em séries/idades iguais e às vezes não há maturidade para assimilar os conteúdos desenvolvidos no Ensino Médio. Nesse contexto é necessário buscar formas ou maneiras de ensinar que atendam às necessidades de aprendizagens atuais, ou seja, não faz sentido utilizar métodos tradicionais se existem meios e formas diversificadas de ensino e aprendizagem. Na contemporaneidade, a tecnologia e as mídias permitem caminhos diversos que favorecem não apenas o conhecimento, a aprendizagem, como também uma relação entre professor e aluno mais confiável e mais próxima, que poderá motivar e ao mesmo tempo conquistar o aluno para o conhecimento sobre a disciplina de Física com mais atenção e de forma objetiva. O ensino híbrido permite ao professor a mediação da aprendizagem com mais ênfase no desenvolvimento individual, pela percepção especialmente, da produção autônoma de atividades ou exercícios propostos.

A aprendizagem é mais significativa quando motivamos os alunos em seu íntimo, quando eles acham sentido nas atividades propostas, quando consultamos suas motivações profundas, quando se engajam em projetos criativos e socialmente relevantes [6].

Assim, inúmeras mudanças rápidas da sociedade contemporânea trazem um novo delineamento diante da exigência de um novo perfil docente. Daí surge a necessidade de repensar e fortalecer a formação de professores, tendo como ponto de partida a diversidade dos saberes essenciais à sua prática, transportando assim, suas habilidades e o fazer pedagógico para uma perspectiva que busque ressignificação em sua prática, valorizando os saberes já construídos, com base numa postura reflexiva, investigativa e crítica.

Ferramentas tecnológicas como *zoom*, *meet*, *google forms*, *google class*, *podcast* e muitas outras são utilizadas no ensino híbrido, o que favoreceu o conhecimento de descobertas não apenas aos alunos, como também professores. De repente um exercício no *kahoot* pode tornar-se uma competição que motive os alunos a mais e mais conhecimento. Dessa forma, essa junção entre ferramentas tecnológicas e o livro didático, por exemplo, pode ser uma via que impulse ao conhecimento, a novas diretrizes no ensino da Física, uma vez que o tradicionalismo deixa de ser a única forma de ensino e aprendizagem vivenciada em sala de aula.

Ensinar com metodologia híbrida, passa a ser experiência em rede de conhecimentos que cresce de acordo com o ritmo de aprendizagem de cada aluno. Nesta perspectiva, ressalva-se que alguns alunos irão desenvolver suas aprendizagens de forma rápida e outros o farão mais tardiamente, apesar de isso ocorrer em tempos distintos, considera-se que uma parcela de estudantes ou todos possa aprender sendo superior ao número de alunos que aprendem através dos métodos tradicionais. Atualmente, em sala de aula, os estudantes em grande parte, sentem-se desmotivados para aprender, por diversos fatores que se originam na realidade social que vivem. “Crianças e jovens estão cada vez mais conectados às tecnologias digitais, configurando-se como uma geração que estabelece novas relações com o conhecimento e que, portanto, requer que transformações aconteçam na escola” [1].

Com o surgimento da tecnologia, já se previa que a educação precisaria de mudanças. O ensino híbrido pode representar uma oportunidade de acesso às tecnologias, no desenvolvimento de novas práticas educativas, pois começa-se a não ter o professor como o principal protagonista ou o centro do processo, mas sim o aluno como foco principal na obtenção de suas aprendizagens desejadas.

[...] Só que as tecnologias móveis, que chegam às mãos de alunos e professores, trazem desafios imensos de como organizar esses processos de forma interessante, atraente e eficiente dentro e fora da sala de aula, aproveitando o melhor de cada ambiente, presencial e digital [8].

Partindo dessa concepção, com advento da tecnologia, para professores e estudantes há o desafio de acompanhar a evolução tecnológica que possibilita aquisição do conhecimento, pois toda e qualquer informação encontrada, merece habilidades para o manuseio de novas ferramentas que possibilitam a transformação do seu ser individual na educação. As várias plataformas tecnológicas, como citadas a exemplo o *zoom* e *meet*, contribuem não somente para facilitar o ensino, mas como *feedback* em tempo real, possibilitando uma aproximação de conteúdos aos alunos, como também na realização de acompanhamento sobre suas aprendizagens, em menor espaço de tempo possível por parte do professor.

Várias atividades e objetos educacionais podem ser utilizados no ensino híbrido, no entanto para um trabalho eficaz é preciso planejar quais as ferramentas tecnológicas melhor se adequam ao conteúdo e objetivos de aprendizagem. Há duas tendências no ensino híbrido: primeira, que utiliza o método tradicional no modelo rotacional, como rotação por estações, laboratórios rotacionais e sala de aula invertida; segunda, com maior dinamismo, nos modelos flex, à la carte, o virtual enriquecido e a rotação individual. [5], apresenta as características do modelo Rotação por Estações de Aprendizagem como aquele que se constitui em criar uma espécie de circuito dentro da sala de aula onde os alunos são colocados em grupos, onde cada grupo leva as considerações e propósito de atividades orientadas pelo professor. Em cada uma das estações são sugeridas atividades diferenciadas sobre um mesmo tema central ou gerador, sendo que em uma delas há necessidade da inclusão de recursos tecnológicos digitais. As atividades podem ser leituras, escritas, dentre outras. Cada grupo deve conter no máximo 5 alunos, e com isso proporcionar um melhor rodízio entre as estações. O professor deve planejar atividade com usos da rotação por estação previamente, dividindo cada estação ao seu critério, por exemplo: as atividades das estações podem ter tarefas online, formulário *google* vídeo aula, *quiz* etc. Dessa forma os alunos podem desenvolver suas atividades de forma colaborativa, e o professor na função de mediador de aprendizagem fixa o tempo que devem ficar em cada estação ou simplesmente dar comandos de acordo com o planejamento e objetivos do conteúdo em trabalho.

De acordo com Heron e Skaker [5], os professores devem utilizar o modelo de ensino híbrido que mais se adequem a sua realidade, ou combinação metodológica entre vários

modelos, para uma personificação consistente que melhor se adeque aos alunos e a estrutura física e pedagógica da escola. Nesta proposta, optamos pelo modelo de rotação por estações, não por ser o a que melhor se adequa a aprendizagem dos alunos e a realidade da escola, mas pela possibilidade da apropriação do conhecimento sobre a segunda lei da termodinâmica de forma significativa, pautada nas teorias da aprendizagem de Ausubel e Bruner. Reitera-se que nessa modalidade os alunos são divididos em grupos e separados em vários espaços da sala de aula, chamada de estações de aprendizagem, com atividades diversificadas em cada uma do mesmo conteúdo e, assim sucessivamente até que todos concluem todas as propostas em cada estação.

Após esse momento introdutório segue-se com a apresentação do Capítulo 2, o referencial teórico utilizado com temas: Teoria significativa de aprendizagem de David Ausubel e Teoria da Aprendizagem por Descoberta de Bruner, que possibilita a fundamentação pedagógica que norteia a presente proposta; no Capítulo 3 aborda-se os conhecimentos físicos da segunda lei da termodinâmica, com os conhecimentos teóricos sobre a temática, construído e embasado em pesquisas bibliográficas de nível superior; no Capítulo 4 são apresentados aspectos a metodologia de pesquisa; o capítulo 5, através da aplicação do produto educacional, mostrará a análise dos resultados e conclusão do trabalho, respectivamente, no Capítulo 6 as Considerações finais. No apêndice encontra-se, o plano de aula, questionários do aluno e por fim o produto educacional com o detalhamento das atividades nas estações utilizadas na aplicação da proposta de ensino.

CAPÍTULO 2

2 REFERENCIAL TEÓRICO

No capítulo 2 serão apresentadas as teorias de David Ausubel e de Jerome Bruner e suas contribuições para o ensino e aprendizagem. Os principais conceitos das citadas teorias como subsunção, conhecimentos prévios, conhecimento preexistente na estrutura cognitiva do aluno, aprendizagem por descoberta, e sua importância para o ensino e aprendizagem de forma significativa serão descritos a seguir.

2.1 Teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel

Conforme Ausubel, a aprendizagem em sua essência significa organização, integração ou incorporação de informações como também, conhecimentos presentes na estrutura cognitiva do aprendiz. As interações ocorrem se o conhecimento for relevante para quem deseja aprender, pois o ensino aprendizagem tem o foco não somente em termos de estímulos, respostas e esforços positivos, mas propriamente significativos.

Para Ausubel (apud Moreira) [9], a aprendizagem significativa é um processo em que o novo conhecimento se relaciona de forma não arbitrária e substantiva, sendo não literal, à estrutura cognitiva preexistente do sujeito que aprende. O uso da não arbitrariedade como forma de interação cognitiva significa que o material potencialmente significativo deve se relacionar não com algum aspecto aleatório da estrutura de cognição, ou qualquer ideia que possa ser prévia, mas com algum conhecimento que seja especificamente relevante presente na estrutura cognitiva do indivíduo que aprende.

Entende-se que a subjetividade ou a não literalidade enquanto modo de interação entre os conhecimentos prévios e a nova informação promove aprendizagem. Também que aquilo que é incorporado à estrutura cognitiva é a essência do novo saber, das novas ideias usadas para expressá-lo. Entretanto um novo conhecimento, conceito, proposições ou ideias poderão ser expressos de maneiras diferentes, como através de sinais ou signos, distintos e equivalentes aos mesmos significados [9].

De acordo com Moreira [10]:

[...] um fator de extrema relevância para a aprendizagem significativa é a predisposição para aprender, o esforço deliberado, cognitivo e afetivo, para relacionar de maneira não arbitrária e não literal os novos conhecimentos à estrutura cognitiva.

Esse conhecimento relevante e adequado para a nova aprendizagem, do qual pode ser: símbolo, uma proposição, uma ideia, uma imagem, modelo mental, um conceito, dentre outros, a teoria proposta por Ausubel define como “subsunçor” ou “ideia âncora”. Neste processo trata-se de um conhecimento preexistente na estrutura cognitiva do sujeito, que lhe dá condições de atribuir significado a um novo conhecimento que possa ser a ele transmitido ou descoberto. Quando refere-se a conhecimentos preexistentes ou ideias-âncora é em razão do novo conhecimento se ancorarem nele para adquirirem o significado desejado [11].

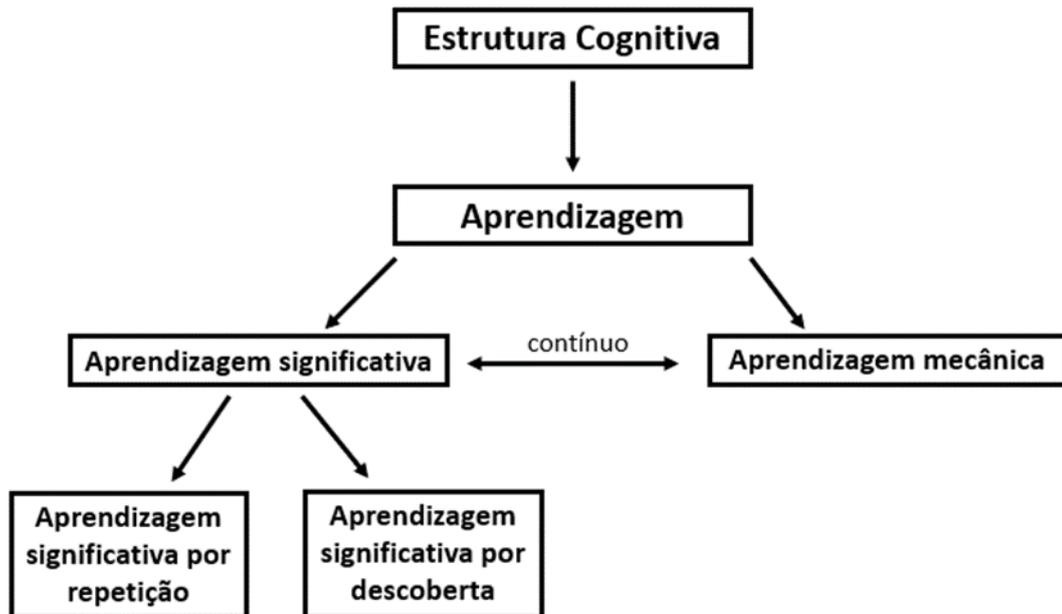
Os conhecimentos prévios ou subsunçores devem contribuir de forma substantiva e indispensável para a incorporação de novos conhecimentos, dando atribuições a novos significados tornando-se progressivamente mais ricos e elaborados no decorrer do tempo, podendo haver casos em que o conhecimento prévio se bloqueia ao invés de contribuir para facilitar a aprendizagem. Implica-se dizer que os conhecimentos prévios por si só não é uma variável facilitadora, ou melhor, dizendo que ele constrói, mas em algumas situações em que exige o papel fundamental de identificação por parte do professor. Nesta situação, convém ao aprendiz ressignificar os seus conhecimentos prévios de acordo com a necessidade. Nas palavras de [9],

A aprendizagem significativa ocorre quando a nova informação se ancora em conceitos relevantes preexistentes na estrutura cognitiva de quem aprende. Neste processo, a nova informação interage com uma estrutura de conhecimento específica, que Ausubel chama de “conceito subsunçor”, ou simplesmente “subsunçor” [12].

Por outro lado, Ausubel define que nesse processo de interação entre os conhecimentos prévios e os novos conhecimentos que configura a aprendizagem significativa, os conhecimentos preexistentes se modificam, ou melhor, adquirem novos significados, ora alcançam maior equilíbrio cognitivo. Dessa forma os subsunçores podem ter maior ou menor estabilidade cognitiva, podem estar diferentes em termos de elaboração e significação [11].

Nesta ótica, os subsunçores não permanecem constantes, mesmo servindo de base aos novos conhecimentos, onde eles poderão ser modificados à medida que a aprendizagem se instaura. Com o passar do tempo e de forma progressiva, os subsunçores vão ficando estáveis, diferenciados de acordo com as suas características, mas ricos e complexos em significados, podendo contribuir e facilitar ainda mais novos processos de aprendizagens [12]. A Figura 1 mostra um fluxograma com os conceitos relacionados aos tipos de aprendizagem.

Figura 1 - Esquema dos principais conceitos relativos à aprendizagem.



Fonte: Adaptado de Faria (1989 apud PAZ, 2019, p. 33).

Conforme esquema acima (fig.1), o processo de aprendizagem resulta da ampliação da estrutura cognitiva, através da aquisição de novos conceitos. A relação entre esses novos conceitos e os já existentes na estrutura cognitiva do aprendiz, estabelecerão se a aprendizagem ocorreu de forma mecânica ou significativa.

2.1.1 Estrutura cognitiva e sua caracterização

A estrutura cognitiva constitui-se como um conjunto hierárquico de subsunções de ideias de um indivíduo dinamicamente inter-relacionados dentro de uma determinada área de conhecimento. Estrutura esta que é especificamente de cada sujeito e quando há essa organização hierárquica pode-se dizer que há subsunções dependentes a outros, que por sua vez são mais gerais e extremamente inclusos, e isso quer dizer que existem sob os quais outros sub-conceitos menos inclusos que podem ser incorporados [13].

Essa hierarquia não é estática e está em constante transformação, pois quando uma disciplina é ministrada pelo professor, o estudante começa a organizar suas ideias hierarquicamente, é o mesmo que acontece na ocorrência de uma aprendizagem significativa superordenada, em que o novo conhecimento é mais abrangente e passa a ser anexado ou integrado a outros. Por esse motivo afirma-se que as hierarquias de subsunções não serão

fixas se tratando de um mesmo domínio de conhecimentos variando de um determinado campo para outro [14].

Por se tratar de uma estrutura tão dinâmica, caracteriza-se por dois processos fundamentais: a reconciliação integradora ou integrativa e a diferenciação progressiva. Esses dois processos estabelecem princípios dos quais o indivíduo organiza em sua estrutura cognitiva, tornando-se capaz de aprender de forma significativa. A diferenciação progressiva é o processo que acontece quando há atribuição de novos significados a um determinado conhecimento prévio, que por sua vez ancora por subordinação que resulta da sucessiva utilização deste subsunçor para dar significado aos novos conhecimentos e por sua vez levando a sua modificação [11].

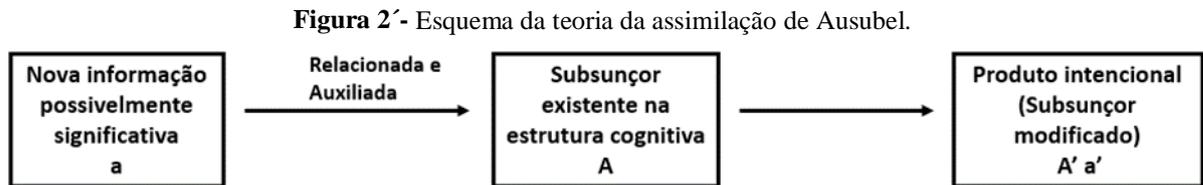
Diante de sucessivas interações, um certo subsunçor vai adquirindo de forma progressiva, novos significados tornando-se mais rico e elaborado, mais determinado e aprimorado, mais diferenciado e mais adequado a servir o ancoradouro para aprendizagem significativa e aquisição de novos conhecimentos. Já na reconciliação integradora ou integrativa constitui-se por ser a parte dinâmica da estrutura cognitiva simultaneamente ao da diferenciação progressiva. Define-se por suprir aparentes diferenças, eliminar inconsistências, construir superordenações e integrar diversos significados [11].

A diferenciação progressiva e a reconciliação integradora são processos que acontecem simultaneamente, e que ambos constituem a própria dinâmica da estrutura cognitiva de um sujeito que aprende. Não se refere a processos opostos ou excludentes na aprendizagem do indivíduo em si. Isso quer dizer que aprendemos a um só tempo, ou seja, os novos conhecimentos e sua aquisição fazem-se reconciliando interativamente com interação a aqueles preexistentes. Por outro lado, se essa integração de significados acontecer indefinitivamente, sem haver diferenciação ou distinção entre si, refere-se a uma organização do conhecimento em razão de alguns subsunçores serem mais inclusos e amplos do que os outros apresentados, construída de uma hierarquia, que não é constante, pois na medida em que ocorrem os processos a estrutura cognitiva sofre alterações [13].

2.1.2 Processo de assimilação

É o resultado da interação que ocorre após uma aprendizagem significativa de um determinado conteúdo, onde uma nova informação está relacionada a conceitos atribuídos a novos significados, e estão presentes na estrutura cognitiva funcionando com subsunçor e por

fim obtém-se um produto interacional entre ambos. A Figura 2 mostra um fluxograma relacionado à teoria da assimilação de Ausubel.



Fonte: Adaptado de ARAÚJO (2005), *apud* PAZ, (2019), p. 38.

Segundo a figura 2, o processo de assimilação ocorre quando um novo conceito **a**, potencialmente significativo, é assimilado com referência a uma ideia mais inclusiva presente na estrutura cognitiva do indivíduo. Entretanto essa nova informação pode ser considerada uma extensão, elaboração ou qualificação quando se relaciona com o conceito **A**, durante o processo ambas as informações sofrem modificações através da interação, concebendo como produto final um subsunçor modificado **A'a'**.

Entretanto, o conceito de aprendizagem significativa não surge da ideia de uma aprendizagem insuscetível de esquecimento por parte de quem aprende, isso define a assimilação obliteradora, isto é, um processo de continuidade da aprendizagem significativa. Firma-se que na aprendizagem significativa há possibilidade de o sujeito esquecer o conhecimento significativamente incorporado não sendo considerado como um esquecimento em sua totalidade. Sendo assim o que a melhor define como significativa, é a forma como o conhecimento aprendido pode ser naturalmente lembrado ou acessado, ainda que de maneira parcialmente [14].

Neste contexto, quando se trata de aprendizagem significativa, não é necessariamente dizer aprendizagem correta. Quando o aprendiz atribui significado a um determinado conhecimento, o ancoradouro interativamente presente em algum subsunçor ou conhecimento prévio, a aprendizagem nesse caso é dita significativa independentemente se são de conhecimentos oriundos do contexto de alguma maneira proveniente de ensino ou do saber, sendo autonomamente de quaisquer significados atribuídos de contextos socialmente reconhecidos e aceitos, para além do nível subjetivo e pessoal. Daí percebe-se o papel fundamental do professor durante o processo na identificação de significados atribuídos previamente e de determinado conhecimento assimilado por parte do aprendiz, bem como da forma que foi introduzido à sua estrutura cognitiva, a fim de contribuir com o estudante na ressignificação devida [15].

2.1.3 Formação de subsunçores e organizadores prévios

Quando não houver os subsunçores a aprendizagem poderá ser por recepção, onde o estudante apresenta a maturidade necessária para a compreensão de conceitos, mesmo não sendo os subsunçores propícios para aprendizagem no momento. Porém cabe ao professor durante a sua aula, desenvolver o conteúdo de forma mecânica em busca de uma nova informação onde possa servir de subsunçores mesmo sendo de pouca eficácia, mas de grande importância para o desenvolvimento da aprendizagem do estudante [11].

Dentro da teoria da aprendizagem significativa, emergem duas questões distintas, porém intimamente relacionadas entre si: como se forma os primeiros subsunçores? O que se deve fazer quando o aprendiz não dispõe de subsunçores adequados que lhe possibilita atribuir significados aos novos conhecimentos? A questão inicial, refere-se ao processo ensino aprendizagem peculiar aos primeiros anos de vida e a segunda questão refere-se a necessidade de organizadores prévios [11].

Por conjectura a construção dos primeiros subsunçores se dá mediante processos de inferência, abstração, discriminação, descobertas e representação, envolvidos em uma dinâmica de sucessivos impactos de sujeitos com persistências de objetos, eventos conceitos. Logo de início depende eminentemente da experiência concreta de exemplos de objetos e eventos, ou da presença de intervenção humana de pessoas adultas. Progressivamente, a criança se vale de subsunçores já construídos para de fato incorporar novos conhecimentos, e a mediação de seus familiares e professores passa a ser um mecanismo de combinação de significados, que posteriormente poderão ser aceitos ou não no contexto sobre um determinado campo de conhecimento socialmente reconhecido [12].

Nesta perspectiva quando o aprendiz não dispõe de subsunçores adequados e relevantes que dão possibilidade de atribuir significados ao novo saber, seja por descoberta ou por ser apresentado, Ausubel sugere que essa problemática seja solucionada através de organizadores prévios, solução esta que na prática de sala de aula revela ser extremamente limitada, por se tratar de ancoradouros provisórios para a nova aprendizagem, sendo capazes de conduzir no desdobramento de ideias, conceitos e proposições [11].

Ao contrário de resumo, sínteses gerais ou sumários, que estão no mesmo nível de abstração quando é lhe apresentado como material a ser aprendido, os organizadores prévios têm por característica ser apresentado em níveis mais elevados de abstração, generalização e abrangência, pois existem várias possibilidades de um organizador prévio ser anunciado, que

poderá ser através de uma questão ou situação-problema, demonstrações, um filme, simulações ou leitura simples para iniciar uma aula. Dessa maneira reconhece-se que são inúmeras possibilidades, mas a condição é somente única, a de antecipação da representação do conteúdo de aprendizagem e que seja mais abrangente possível [11].

Assim destaca-se que os organizadores prévios podem contribuir como ideias-âncoras pertinentes para aprendizagem significativa do novo material a ser aprendido, bem como servir de condução entre a relação dos novos conhecimentos àqueles do que já se dispõe por parte do aprendiz, de modo que há percepção que ambos se relacionam entre si tanto no sentido de uma integração, como na relação de diferenciação. Nesta perspectiva observa-se que há dois tipos de organizadores prévios: o organizador expositivo e o organizador comparativo [11].

Entretanto, deve-se usar o organizador expositivo, quando o conteúdo não for totalmente familiar, isto é, quando o indivíduo não dispõe de subsunções adequados e relevantes para aprendizagem, neste momento ele serve para suprir a ausência de conceitos, proposições ou ideias no processo servindo como ponto de ancoragem inicial. Entende-se que este tipo de organizador prévio tem o propósito de fazer uma ponte entre o que o sujeito já sabe em outras denominações do saber e que de fato deveria saber com o novo material potencialmente significativo para a sua aprendizagem [14].

Por outro lado, deve-se usar o organizador comparativo quando o conhecimento a ser aprendido estiver relativamente familiarizado, ou seja, quando esse novo material parcialmente familiar contribuirá com o aprendiz a integrar os novos conhecimentos a sua estrutura cognitiva, podendo com o passar do tempo fazer uma discriminação de ideias ou conceitos ou proposições das informações recebidas já existentes. Vale ressaltar, que deve-se fazer uma identificação do conteúdo apropriado e essencialmente presente na estrutura cognitiva e explicitar a relevância deste conteúdo para a obtenção das novas informações, possibilitando ao estudante uma visão geral do material a ser aprendido na forma mais ampla possível, para a promoção de elementos organizadores mais gerais e inclusos, que possa possibilitar a aquisição de novos conhecimentos significativos [14].

2.1.4 Tipos e formas de aprendizagem significativa

Para Moreira [9], a aprendizagem significativa, se divide em três tipos: a representacional, a conceitual e a proposicional. Sendo a mais fundamental, a aprendizagem

do tipo representacional ou de representações. Entretanto, por ser a mais simples, a partir dela dependem os outros tipos. Refere-se a um tipo de aprendizagem que quando os símbolos arbitrários passam a representar significados, ou melhor, os símbolos são palavras que faz uma referência a objetos, eventos ou conceitos de mesma natureza, quando há essa ocorrência, diz-se que houve uma aprendizagem representacional. Exemplificando, para criança a palavra “esfera”, pode significar apenas bola, por ela não ter desenvolvido o conceito de esfera, apenas a sua representação. Por sua vez, há uma aproximação desse tipo de aprendizagem com a aprendizagem mecânica, por envolver características de significados de determinados símbolos, sendo estes referentes a algo concreto.

O processo através do qual ele aprende isso, denominado aprendizagem representacional, é coextensivo com o processo pelo qual novas palavras passam a representar para ele ideias ou objetos correspondentes aos quais as palavras se referem. As novas palavras passam a significar para ele as mesmas coisas que os referentes e remetem ao mesmo conteúdo significativo diferenciado [16].

Essas considerações afirmam que a aprendizagem por conceitos ou conceitual, também é de certa forma representacional, porém de nível mais abrangente, uma vez que os conceitos representam símbolos específicos. Assim, os diferentes sujeitos ou acontecimentos sob o mesmo signo pode abstrair-se de peculiaridades ou características que sejam comuns entre eles. Com relação ao exemplo da esfera, quando ocorre aprendizagem conceitual a criança pode ir além do conceito concreto de esfera, sendo capaz de ampliar o significado da palavra esfera sobre outros meios, seja no meio social, político, linguístico dentre outros [11].

Nesta perspectiva entende-se que aprendizagem conceitual ocorre essencialmente quando o aprendiz observa as regularidades em eventos ou objetos que passam a representá-los através de símbolos, não dependendo de um referencial concreto para dar significado ao símbolo. Por sua vez na aprendizagem proposicional ou de proposições, não se refere a uma aprendizagem através de significados ou com uso de palavras isoladas que possam representar símbolos, em um processo cognitivo que vai além da aprendizagem representacional, trata-se de apreender os significados de ideias através de proposições. Na aprendizagem representacional os significados de conceitos servem como pré-requisitos para a aprendizagem proposicional, que a mesmo tempo eleva a estrutura cognitiva do aprendiz [9].

Esses três tipos de aprendizagem significativa podem ser considerados como subordinada, superordenada ou combinatória. Neste sentido percebe-se que na aprendizagem significativa, os novos conhecimentos adquiridos têm significados por meio da interação com subsunçores. Portanto essa interação por sua vez pode ser por subordinação, superordenação

ou combinatória, isto é, quando o novo conteúdo se subordina a estrutura cognitiva preexistente, implicando em uma aprendizagem do tipo subordinada [17].

A aprendizagem significativa é chamada subordinada quando novos conhecimentos potencialmente significativos adquirem significados para o aprendiz através de um processo de ancoragem cognitiva e interativa diante dos conhecimentos prévios relevantes, na aprendizagem por subordinação, o conhecimento prévio se apresenta com mais amplitude e os subsunçores preexistentes são mais globais, daí a aquisição do novo conhecimento se subordina à estrutura cognitiva já existente [13].

Com efeito, a aprendizagem durante o processo é dedutiva, partindo do conhecimento mais geral já anteriormente existente na estrutura cognitiva, a um caso particular até então desconhecido, isto é, não absorvido ao conhecimento prévio. Logo, enquanto mais abrangente for o subsunçor preexistente, este lhe permitirá a diferenciação gradativa das novas informações que provém dos diversos tipos de campo, onde o aprendiz concilia integralmente com o passar do tempo o que lhe é apresentado como o novo material ao seu conhecimento prévio [11].

Com relação à aprendizagem superordenada, acontece ao inverso, isto é novo conhecimento se apresenta mais geral ou mais incluso do que as ideias ou conceitos pré-estabelecidos na estrutura cognitiva do aluno, logo com a aquisição a partir desses últimos tipos de aprendizagem, o novo conhecimento pode ser uma nova ideia, conceito ou proposição, potencialmente significativos e passa a ser assimilado. Contudo o novo material cognitivo, enquanto se apresenta como mais amplo, passa a subordinar os conhecimentos prévios presentes.

No entanto há casos de aprendizagem significativa que nem é subordinada que se apresenta com mais frequência, nem superordenada que é mais comum no campo da conceituação. De fato, o novo conhecimento não poderá ser assimilado em detrimento a outros que existem na estrutura cognitiva, nem sendo capaz de assimilá-los. Tem-se aprendizagem do tipo significativa por combinação ou combinatória. Essa interação não é, nem mais inclusiva do que os conhecimentos preexistentes, ela não os subordina e muito menos superordena, mas há uma combinação dos conhecimentos prévios com os novos demonstrando, uma teia de conhecimentos interconexos e interligados entre si [15].

2.1.5 Circunstâncias para ocorrência da aprendizagem significativa

Para Ausubel (Apud Moreira) [9], pode-se dizer que para a aprendizagem significativa aconteça, ela estabelece duas condições necessárias. A primeira é que o material cognitivo seja potencialmente significativo para o aluno durante o processo. No entanto esta condição, impõem-se duas implicações. Uma é que o material a ser apresentado ao aprendiz tem relação ou incorporação, a estrutura do aprendiz e que essa incorporação dá-se de forma não arbitrária e não literal. Ou seja, o material de aprendizagem deve apresentar um significado lógico para o aprendiz, de forma que ele seja relacionável de maneira não arbitrária e não literal ao seu conhecimento prévio ou a sua estrutura cognitiva. Assim não há aula, nem livro ou problemas significativos em si mesmos. trata-se apenas de um material em que o aprendiz atribui o sentido para a sua aprendizagem.

A segunda condição é a que o aprendiz como sujeito cognoscitivo deve demonstrar uma predisposição para aprender é um novo material cognitivo, potencialmente significativo. Essa predisposição significa que o aprendiz deve querer relacionar os novos materiais ou conhecimentos aos seus conhecimentos prévios, relaciona-se a um ato de vontade e não uma simples motivação para aprender ou gosto pela disciplina [9].

No entanto o aprendiz deve ter disposição para interagir, integrar, progredir, reconciliar integralmente com o novo conhecimento potencialmente significativo, e ao mesmo tempo relacionar com os seus conhecimentos prévios, que por sua vez enriquece, altera, atribui sentido e significado ao novo conhecimento apropriado. Além disso, tal condição demanda que se a intenção do aprendiz for apenas memorizar o novo material independentemente de ser significativo ou não, tanto o processo de aprendizagem como aquisição do conhecimento poderão ser de forma mecânica ou automática. Dessa maneira independentemente de qual disposição esteja o aprendiz, se o material não for significativo nem o processo e muito menos o produto serão significativos [9].

Em suma, essas são as duas condições indispensáveis para que a aprendizagem significativa aconteça. A primeira a de novos conhecimentos, potencialmente significativos apresentados pelos materiais de aprendizagens. A segunda, a predisposição do aprendiz em aprender. Ambas dependem diretamente do sujeito que aprende em relação ao seu conhecimento prévio. Na primeira situação sem a existência de conhecimentos prévios nenhum conhecimento novo será potencialmente significativo. Exemplificando, se um aluno no processo de aprendizagem querer dar significado ao novo conhecimento, mas não tem conhecimentos prévios apropriados, esse novo conhecimento não terá significado lógico, e nessa situação a primeira condição inevitavelmente se impõe: material deve ser

potencialmente significativo, o que impõe uma lógica intrínseca do material e disponibilidade da obtenção de conhecimentos apropriados e relevantes [11].

Já na segunda situação quando mais o aprendiz apresenta um domínio de conhecimentos em áreas afins ou em certo campo, mas ele está disposto a obter novas aprendizagens. De fato, há uma grande diferença entre a aprendizagem significativa e aprendizagem mecânica ou automática, na qual quanto mais o aprendiz consegue memorizar informações de conteúdos de forma automática, mas ele se dispõe a esses conteúdos ou aprendizagens de novos. A vantagem da aprendizagem significativa em relação à mecânica está na capacidade de transferência ou transposição de conhecimentos aprendidos em novas situações, que provoca compreensão, atribuição de significados, e de maior obtenção de novos conhecimentos e reaprendizagem, já na aprendizagem mecânica o aprendiz é capaz de lidar apenas com situações já familiarizadas de forma automática e de menos tempo [9].

2.2 Teoria da aprendizagem de Bruner

Jerome Bruner (1915-2016), professor de Psicologia em Havard, teve um papel importante no ensino de Ciências em especial da Física, com importante participação no famoso PSSC (Physical Science Study Committee) proposta na década de 60, criando a proposta de ensino em nível internacional. O PSSC foi um marco no desenvolvimento do que hoje, chamamos de área de ensino de física que, com passar do tempo têm sofrido mudanças, na área da pesquisa, ensino e aplicabilidade. Bruner também ficou conhecido não somente pelas suas contribuições no campo da física, mas por defender que é possível ensinar qualquer assunto de maneira honesta, em qualquer estágio de desenvolvimento humano. Bruner ainda frisa que o conteúdo ensinado, precisa ser levando em consideração as diversas etapas do desenvolvimento cognitivo do aluno, ou seja, não se devem pular as etapas [18].

Com relação ao desenvolvimento cognitivo, Bruner faz referência a uma questão básica como a representação, onde o indivíduo deve adquirir meios que representam elementos que ocorre em seu contexto ou ambiente como sendo uma das formas promissoras para o desenvolvimento do indivíduo.

De maneira semelhante Moreira [18], classifica em três períodos o desenvolvimento cognitivo: fase pré-operacional, concreto e operacional formal, defendido por Piaget. Bruner (1973) classifica esses períodos distinguindo-os em três modos para representar o mundo pelos quais fazem parte o contexto do indivíduo:

Na representação ativa, o trabalho mental da criança consiste essencialmente em estabelecer relações entre a ação e experiências, seu objetivo consiste em manipular o mundo real por meio da ação.

A representação icônica considera um modo operacional de forma concreta, do ponto de vista contrária a representação ativa (fase pré-operacional), essa operacionalização faz sentido na manipulação sem desvios de objeto; ou interna quando os signos representam objetos ou coisas que podem ser manipulados mentalmente. Nesta fase as operações mentais são diferenciadas uma das outras porque são interiorizadas e ao mesmo tempo irreversíveis.

A representação simbólica corresponde ao período das operações formais conforme Piaget. Assim denomina-se uma representação relacionada à atividade intelectual do indivíduo por basear-se na capacidade de operar com proposições hipotéticas, do que se restringir ao que já provou ou do que por vir adiante. Percebe-se que ensinar de maneira honesta, implica em obedecer à forma de representação do aluno, cabendo ao professor adequar o conteúdo a ser trabalhado com estratégias de ensino, materiais didáticos à disposição da representação predominante dele.

Da mesma forma Bruner, defende que é possível ensinar qualquer assunto em qualquer idade, destacando-se como um dos teóricos de aprendizagem e desenvolvimento que aponta características essenciais para o ensino, quando faz referência que uma teoria de ensino deve dar importância a teorias de aprendizagem e simultaneamente ser prescritiva. Deve-se priorizar a otimização da aprendizagem, em facilitar a aquisição em apropriação significativa de conhecimentos e métodos. Para [18] há quatro características principais dessa teoria de ensino como:

Predisposição para aprendizagem: desenvolve-se na busca de implementações e experiências mais efetivas para despertar no aprendiz a predisposição para a aprendizagem, no entanto deve ser normativa.

Estrutura do conjunto do conhecimento a ser ensinado: dar ênfase na premissa, que deve entender os fundamentos da matéria de ensino para que seja mais compreensível. Essa compreensão significa estar baseada nos princípios e fundamentos do conhecimento como principal caminho a ser percorrido para retenção e transferência adequada a novas situações de aprendizagem.

Sequência mais eficiente: Para uma teoria de ensino ser eficaz, precisar dar importância a uma melhor sequência para apresentar os conhecimentos a serem trabalhados com foco na aprendizagem dos alunos. Algumas ações poderão nortear essa ação: Fazendo

uma explanação sobre a visão geral de todo o conteúdo? Despertando no aluno a curiosidade com a problematização? Começando com a experimentação? Quando iniciar essa formalização?

Natureza e aplicação de prêmios e punição: é uma característica comportamentalista, ocupa-se no sentido da aprendizagem como dependente do conhecimento de resultados no momento e local adequado para o uso de correções. Os conhecimentos terão importância ou será útil ou não conforme o aluno recebe no horário e local apropriado à informação corretiva. Com essa ação minimiza-se o efeito por recompensas e punições ao aluno, é necessário ter o propósito de se autorreforçar com sua própria aprendizagem. Com relação à característica “Estrutura do conjunto do conhecimento a ser ensinada” a predisposição para aprendizagem, refere-se à exploração de alternativas onde está implícito três fatores nos processos, que são: manutenção, direção e ativação. Segundo [19]:

A condição básica para ativar a exploração de alternativas, em uma tarefa, é ter um nível ótimo de incerteza... Rotinas esclerosadas provocam pouca ou nenhuma exploração, rotinas por demais incertas despertam confusão, angústia, reduzindo a tendência de explorar. Uma vez iniciada a exploração, sua manutenção exige que os benefícios das alternativas exploradas excedam os riscos envolvidos... Ou seja, as consequências dos erros, ao explorar falsas alternativas, devem ser abrandadas em um processo de instrução e os resultados a obter, nas alternativas corretas, correspondentes aumentadas... Para dar direção a exploração o objeto da tarefa precisa ser conhecido, com alguma aproximação, e a verificação das alternativas deverá sempre informar a posição com referência ao objeto [19].

Portanto, a proposta de Bruner é “aprendizagem por descoberta dirigida”, dessa forma a exploração de alternativas, deve despertar e manter a predisposição para aprendizagem, não ocasionando no aluno confusão e angústia. Além da aprendizagem por descoberta, Bruner menciona a aprendizagem em espiral, ou seja, a aprendizagem em um processo instrucional que deve prover revisões periódicas de conceitos e atividades já aprendidas, aplicando em complexas situações quanto em novas. Assim os tópicos de um conteúdo curricular não devem ser aprendidos em uma única vez, mas de maneira linear, dentro de uma aprendizagem progressiva oportunizando ao aluno rever tópicos em crescentes níveis de compreensão e complexibilidade. Para isso é preciso que o professor tenha habilidade em planejar sua metodologia didática com conhecimento, paciência e honestidade.

Na visão clássica de Bruner sobre aprendizagem e ensino, algumas consequências no ensino de Ciências são visíveis, tais como no ensino de um conteúdo científico, que é preciso ao professor previamente fazer uma análise conceitual, para identificar os pontos mais relevantes, quais conceitos e leis estruturantes, como também ter uma atenção especial aos aspectos do conteúdo como: roteiros com uso de laboratório que não podem ser receitas

únicas e prontas e nem completamente abertas. É fundamental propor a exploração de alternativas referente ao conhecimento do objeto. A aprendizagem dessa forma considera-se progressiva e os conhecimentos procedimentais devem ser revisados ou retomados em novas ou complexas situações. É importante ressaltar que tudo deve começar com a predisposição do aluno à aprendizagem, que deve ser despertada mediante o método de ensino, e o papel do professor é fundamental nesse processo.

CAPÍTULO 3

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No capítulo 3 discutiremos sobre a segunda lei da termodinâmica, seguido dos conceitos de calor, energia e temperatura que são fundamentais para o entendimento da segunda lei e suas aplicações.

3.1 Termodinâmica

A termodinâmica é o ramo da Física que estuda as relações de troca de energia em um sistema com a sua vizinhança, por meio da transferência de calor ou pela transferência de trabalho. Os principais objetivos da termodinâmica são: entender como um sistema, corpo ou máquinas, faz a transformação de calor em energia mecânica ou vice-versa. Os estudos, bem como a compreensão dos processos termodinâmicos são essenciais para o entendimento de conceitos físicos, a exemplo disto, é possível apontar o princípio da irreversibilidade incutido nesses processos e nas aplicações tecnológicas deles advindas. Além de que, a termodinâmica pela sua complementaridade à mecânica, tem grande relevância na compreensão do mundo tecnológico, cujas bases estão as transformações que envolvem calor [20], [21].

Entre os conceitos-chaves tratados na termodinâmica é possível destacar: calor, temperatura e energia interna, por integrarem um dos campos conceituais da Física, por isso não devem ser tratados de modo isolado [22].

3.2 Calor

As definições de calor são várias, uma delas é a de que não sendo uma forma de energia, mas correspondendo a energia que é recebida ou cedida, devido uma diferença de temperatura em um sistema, e que ocorre de forma espontânea da região de maior temperatura para a de menor temperatura. Outra definição trata-se como uma energia em trânsito que acontece de forma espontânea nas mesmas regiões, sendo positiva quando a energia é transferida do ambiente para a energia térmica do sistema, ou seja, o calor é absorvido pelo sistema; e negativa quando acontece o inverso, ou seja, o calor é cedido ou perdido pelo sistema. Segundo David Halliday, no livro Fundamentos da Física, volume 2, calor é “energia

trocada entre um sistema e o ambiente devido a uma diferença de temperatura” [23]. Ambas as definições corroboram para transferências de energias por diferenças de temperatura de três maneiras distintas: condução, convecção e radiação.

3.3 Energia

É a capacidade de realizar trabalho, mas por ter essa simples definição fica evidente que não é suficiente para sua compreensão, visto que existem outras transformações energéticas que não envolvem a realização de trabalho. Neste sentido percebe-se que a melhor definição de energia, mesmo que abstrata, é o que se fornece ou que se perde para que um sistema sofra transformação em um determinado intervalo de tempo [24].

3.4 Temperatura

A temperatura é uma grandeza física que mede a energia cinética média das partículas de um sistema em equilíbrio térmico. A temperatura pode ser medida com o auxílio de um termômetro, no entanto essa definição não contribui para o entendimento e compreensão dos conceitos reais de temperatura, ao ponto que dependemos de uma referência de mais ou menos do que seja esse termômetro e qual escala estamos nos referindo. [25].

3.5 Processos irreversíveis

Na natureza todos os processos são considerados irreversíveis, sejam eles de natureza externa, interna ou química. São processos que ocorrem em um único sentido, não ocorrendo em sentido contrário. Exemplos como um gás perfeito em expansão precipitando contra um vácuo, o gás vazando através de um botijão, o estalido de um arame tenso depois de cortado, colocar bolas de gude pretas na parte superior de uma garrafa pet e bolas azuis no fundo, as bolas das duas cores misturam-se. Nenhum número de sacudidas conseguirá separá-las novamente como no início.

Entretanto todas as ocorrências acima citadas têm algo em comum, o sistema e seu ambiente vão para um estado menos ordenado, e a energia mecânica ou cinética são convertidas em calor por meio de atrito, não há evidências de acontecimentos desses fenômenos no sentido inverso. Na realidade, uma explicação razoável de um processo

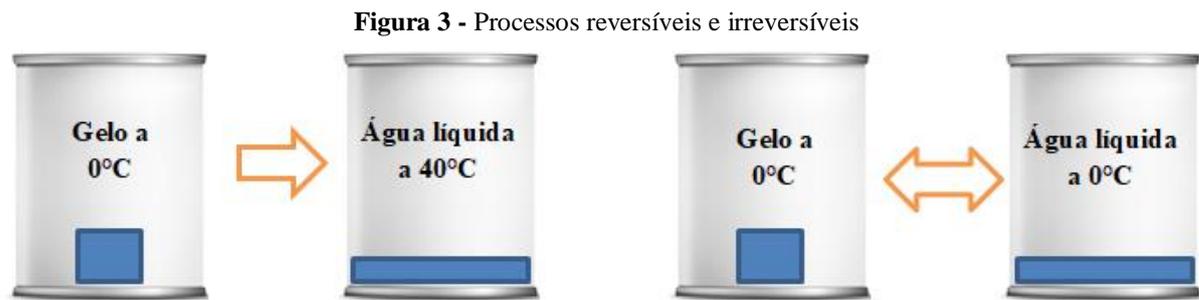
irreversível, é aquele em que ao contrário demonstra um processo de ocorrência fisicamente impossível [26].

Embora esse sentido prioritário presente em todo processo natural, podemos idealizar o acontecimento dele no sentido inverso. Entretanto as leis físicas mais fundamentais da termodinâmica descrevem as interações entre partículas e corpos que fundamentam o acontecimento próximo ao equilíbrio termodinâmico no interior do sistema com a sua vizinhança, mas não de forma espontânea, ou seja, necessita-se de um dispositivo ou mecanismo móvel para acontecer à reversão [27].

3.6 Processos reversíveis

Os processos reversíveis são processos em que o sistema e todas as partes que há compõem e sua vizinhança pode ser diretamente restituída a seus respectivos estados iniciais após a ocorrência do processo. Evidentemente, se um sistema está em equilíbrio termodinâmico, não pode haver intervenção externa que altere o estado do sistema. Assim é possível que o sistema ao se afastar do equilíbrio mecânico, na situação hipotética em que o calor ao mover-se do frio para o quente, tanto da parte interna ou externa, mesmo estando a uma temperatura estritamente constante, remotamente torna-se impossível a realização de trabalho do sistema sobre suas vizinhanças. Entretanto, quando se faz o gradiente tanto da temperatura, bem como o da pressão, tendendo para valores muito pequeno, o processo quase que se torna, em valores aproximadamente reversíveis, em decorrência do estado do sistema permanecer próximo da região de equilíbrio [27]

Em contraposição o fluxo de calor com infinitas variações de temperatura como, por exemplo, na expansão livre de gás ideal, neste processo a transformação de trabalho em calor proveniente do atrito são considerados processos irreversíveis, em que nenhuma baixa variação de temperatura seria suficiente para fazer o acontecimento no sentido inverso. Assim processos desse tipo são considerados processos de não equilíbrio, ou seja, não estando em equilíbrio termodinâmico em nenhuma das fases ou etapas, alcançando equilíbrio térmico somente no fim de todo o processo [27], a figura 3 mostra a ocorrência dos processos irreversíveis a partir do gelo a 0°C.



Fonte: Adaptado de Young, 2015, p.312.

Considerando o início do processo (figura 3), em que o primeiro recipiente sendo de metal a 70°C , e o segundo a 40°C , o bloco de gelo derrete irreversivelmente, ou seja, o calor flui do recipiente para o gelo e para água, nunca acontecendo o inverso. Do mesmo modo um bloco de gelo a 0°C pode ser derretido de modo reversível na segunda situação se colocar em um recipiente de metal a 0°C , assim, se elevarmos ou reduzirmos infinitesimalmente a temperatura da caixa, pode-se fazer calor fluir para o gelo a fim de derretere-lo ou retirar calor da água para congelar novamente [27].

Conforme Zemansk [28], em laboratório é possível aproximar-se de condições satisfatórias para a realização de processos reversíveis. Como na situação de um gás quando confinado num cilindro munido com um pistão bastante lubrificado, ao deixar-se expandir lentamente em direção a uma força oposta, provida por um instrumento suspenso seja por uma mola elástica ou uma polia sem a presença de atrito, o gás é submetido a um processo aproximadamente reversível.

Para entender sobre os estados de equilíbrio de sistemas termodinâmicos, é necessário investigar algum processo ao qual o sistema tenha vivenciado esses estados. Pressupor exclusivamente que o processo é quase estático não é o necessário para tal afirmação, pois se acontecem processos dissipativos pode existir variações de energia interna do sistema, ou fluxos de calor dos sistemas de suas vizinhanças, que torna-se uma argumentação limitada. Neste sentido, para certificar que somente os estados de equilíbrio dos sistemas, não considerando as implicações do trabalho dissipado em corpos próximo ou no próprio sistema, é conveniente introduzir o conceito de processo reversível, mesmo que hipoteticamente possa parecer algumas vezes um tanto sistemática [28].

3.7 Entropia

A entropia se diferencia de energia em relação ao sentido, por não obedecer às leis físicas de conservação. Considera-se que a energia de um sistema se conserva quando fechado e permanece constante durante o processo. Nos processos irreversíveis, a entropia do sistema fechado aumenta devido a essa propriedade específica, a variação de entropia é comumente chamada de “Seta do Tempo”. Neste sentido, exemplos como o estouro do milho de pipoca numa panela ou em um micro-ondas considerando o sentido positivo do evento há um aumento de entropia. Já se for considerar o evento ocorrendo no sentido negativo do tempo, seria como um filme exibido ao contrário, ou hipoteticamente com a pipoca voltasse a ser milho. Neste processo resulta-se em uma diminuição da entropia que fisicamente é impossível a acontecer [23].

A entropia é considerada uma função de estado assim como uma propriedade semelhante a energia, temperatura e pressão de um sistema, não dependendo dessa forma de como esse estado é alcançado. Diante dessa não independência a entropia é efetivamente uma função de estado. Demonstra-se exclusivamente por meio da experimentação. No entanto, pode-se comprovar que é um caso especial para uma função de estado, de importante relevância na qual constata a passagem de um gás ideal por um processo reversível [23]. A entropia pode ser descrita pela seguinte equação:

$$\Delta S = \frac{dQ}{T} \quad (1)$$

Onde ΔS é a variação da entropia, dQ é o parâmetro que descreve a quantidade de calor e T é a temperatura. Segundo Zemansk [28], numa variação finita de estado aonde vai de a até b a variação de entropia pode ser escrita como $S_b - S_a$, onde:

$$S_b - S_a = \int_a^b \frac{dQ}{T} \quad (2)$$

A entropia também é considerada como função das coordenadas termodinâmicas, isto é, sua variação pode ser obtida através da integral $\int_a^b \frac{dQ}{T}$, entre os estados terminais, integrando-se durante qualquer trajetória reversível e ligando-se aos dois estados. É importante salientar que somente a variação de entropia é definida, não sendo como absoluta, na situação da função de energia interna, a qual a variação é definida como o trabalho adiabático, mas de valor absoluto indefinido.

Outra relação pode ser obtida em torno dos ciclos quando são tomados como mais estreitos, corresponde às entropias iniciais e finais, e ambas serão iguais. Diante desta finalidade para um ciclo reversível a relação é conhecida através do teorema de Clausius, onde obtemos:

$$R \oint \frac{dQ}{T} = 0 \quad (3)$$

Historicamente, o conceito de entropia surgiu na física teórica por R. J. Clausius em meados do século XIX. Anteriormente há esse século havia muitas distorções a respeito das relações entre as grandezas calor e trabalho e suas implicações no desempenho das máquinas térmicas. Algumas contribuições foram feitas pelos engenheiros Clement, Désormes, Petit e Carnot. Apesar de conhecer pouco sobre a primeira lei da termodinâmica, Carnot destacou-se por acreditar que um motor fornecia trabalho através do resultado da quantidade de calor parado em um reservatório quente, sendo a mesma quantidade de calor adentrando num reservatório frio. As contribuições de Petit e Clement se deram através de equações para calcular a eficiência de uma máquina térmica através do cálculo entre trabalho realizado unicamente no curso de potência, culminando com o pensamento de Carnot que persistia na realização desse processo no ciclo inteiro e não em partes [28].

Ainda Zemansk [28], por sua vez Clausius comprovou a existência de uma função entrópica com o seu teorema baseando-se nas máquinas térmicas de Carnot, aplicando a um ciclo de trajetória reversível entre dois estados de equilíbrio quaisquer segundo a mesma trajetória entre estados a e b, ou seja, estados inicial e final, conforme relação:

$$R \oint \frac{dQ}{T} = 0 = r_a \int_a^b \frac{dQ}{T} + r_b \int_b^a \frac{dQ}{T} = 0 \quad (4)$$

Ou,

$$R_a \int_a^b \frac{dQ}{T} = r_b \int_b^a \frac{dQ}{T} \quad (\text{Independentemente da trajetória}) \quad (5)$$

Logo a variação de entropia é dada por:

$$S_b - S_a = \int_a^b \frac{dQ}{T} \quad (6)$$

Observa-se que em um ciclo totalmente reversível, não é retirado calor do reservatório em temperatura unitária. Dessa forma a entropia necessária para se deslocar de a para b é o mesmo durante o caminho de ambos. Ou seja, independentemente do caminho, considerando apenas os pontos finais do processo. Portanto, percebe-se que existe certa

função considerada entropia da substância que depende somente da condição da temperatura e volume [24].

3.8 Segunda lei da termodinâmica

Segundo Knight Randall [26], o resultado da evolução dos sistemas macroscópicos irreversivelmente para o estado de equilíbrio é um fenômeno da natureza que não está presente em nenhuma das leis físicas, as quais se conhecem até o momento. Entretanto o enunciado formal da segunda lei da termodinâmica é em função da entropia, a entropia de um sistema isolado, como também de um conjunto de sistemas jamais diminui. Ou seja, a entropia aumenta até que o sistema alcance o equilíbrio, ou ainda permanece inalterado se o sistema começa em equilíbrio.

Assim o termo isolado é o mais relevante. Pode-se sequenciar o sistema fazendo interferência a partir do exterior, provavelmente utilizando-se pinças minuciosas para colocar os átomos em uma estrutura. Dessa forma análoga, pode-se transferir calor de um corpo frio para o corpo quente com uso de um refrigerador. Nesta lógica a segunda lei da termodinâmica defende que “em um sistema pode-se ou não realizar trabalho espontaneamente sem a necessidade de uma intervenção exterior”. Nesta perspectiva a segunda lei enuncia que a evolução de um sistema isolado, ocorre da seguinte maneira: a ordem torna-se desordem de forma aleatória, a informação é perdida e ao contrário de ganhar, o sistema “chega ao esgotamento” [26].

Dessa forma, em um sistema isolado, é impossível conceber ordem espontaneamente, constituindo-se desde a aleatoriedade. Isso quer dizer, que não significa que o sistema não conheça sobre ordem e desordem, mas, além disso, existe uma quantidade gigantesca de estados que corresponde a desordem do que a presença de estados que corresponde a ordem. À proporção que as colisões acontecem em nível microscópico, as leis probabilísticas, apontam que o sistema em média, evolua impreterivelmente de modo direto ao estado macroscópico mais provável e, por consequência, mais desordenado.

Ainda Knight Randall [26], afirma que na segunda lei da termodinâmica, comumente expressa-se de diversas formas correspondentes, no entanto mais informais. Um dos enunciados mais relevante para o nosso estudo até o momento é o segundo enunciado informal que nos diz: “quando há interações entre dois sistemas com temperaturas diferentes,

a energia interna é deslocada espontaneamente do sistema de maior temperatura (quente), para o de menor temperatura (frio), e não ocorrendo jamais no sentido inverso”.

Entretanto, na segunda lei da termodinâmica faz-se referência a um enunciado independente sobre a natureza, diferente do enunciado da primeira lei que se refere a conservação de energia. A segunda lei, em contradição, torna-se um enunciado probabilístico fundamentado na estatística dos números muito extensos. Enquanto é aceitável a condição em que o calor possa fluir espontaneamente do corpo frio para o corpo quente, isso em nenhum momento ocorrerá em nenhum sistema macroscópico verdadeiro.

A transformação irreversível de um estado macroscópico menos provável para o mais provável é o que propicia um sentido microscópico no decorrer do tempo. Ao usar uma colher para misturar café com leite em pó, por exemplo, torna-se impossível separar esta mistura.

O aumento de energia térmica se dá pelo atrito entre as propriedades por proporcionar o estabelecimento do objeto, os movimentos atômicos aleatórios equivalentes provocam um movimento macroscópico de todo o objeto, essa fundamentação mostra a presença dos processos irreversíveis, ou seja, existe um sentido para o acontecimento no decorrer do tempo distinguindo-se passado e futuro.

O segundo enunciado informal, refere-se ao sentido de ocorrência do tempo em que a entropia de um sistema isolado macroscopicamente tende a aumentar no decorrer do tempo. A presença da seta do tempo é uma das inferências mais indagadas da segunda lei da termodinâmica. São inferências pertinentes para questionamentos sobre a sociedade e o futuro do universo [26].

3.9 Máquinas Térmicas

Para Nussenzveig [29], uma máquina térmica, gera trabalho desde que o calor esteja operando ciclicamente. Conforme o enunciado de Kelvin torna-se impossível esse processo em um único recipiente térmico, precisando de no mínimo dois recipientes com temperaturas diferentes com $T_1 > T_2$, denomina-se de fonte quente o recipiente em (T_1), como o de maior temperatura, e a fonte fria (T_2) de menor temperatura.

Supõem-se, que a quantidade de calor (Q_1) cedido ao sistema pela fonte quente, e a quantidade de calor (Q_2) cedido pela fonte fria em cada ciclo o trabalho realizado pelo motor,

fazendo-se a conversão do sinal de (Q_2) para positivo, conforme admite-se na primeira lei temos:

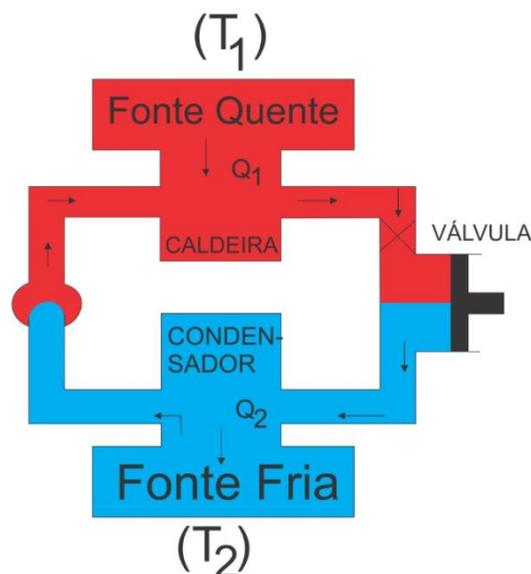
$$Q_2 \rightarrow -Q$$

$$W = Q_1 + Q_2 \quad (7)$$

Não se admite $Q_2 = 0$, em virtude da necessidade de termos a fonte fria, (Q_1) nesse caso converte-se totalmente em trabalho (W), assim violaria o enunciado de Kelvin. Também não se admite $Q_2 < 0$, bastaria conceber contato térmico entre as duas quantidades de calor por condução pra que ocorra a transferência de certa quantidade de calor ($-Q_2 > 0$) da fonte quente para a fonte fria, assim para levar a fonte fria ao seu estado inicial percebe-se que por definição de recipiente térmico, durante o processo não haverá variação de temperatura.

Deste modo, violando novamente o enunciado de Kelvin, o líquido será a produção de trabalho, retirando calor apenas de uma fonte no caso a quente. Por consequência (Q_2) tem que ser maior que zero, assim $W < Q_1$. Conforme, a figura 4 abaixo, o diagrama esquemático de uma máquina a vapor, em que através do calor presente na caldeira convertido pela água e absorvendo calor da fonte (Q_1) da fornalha.

Figura 4 - Funcionamento de uma máquina a vapor.



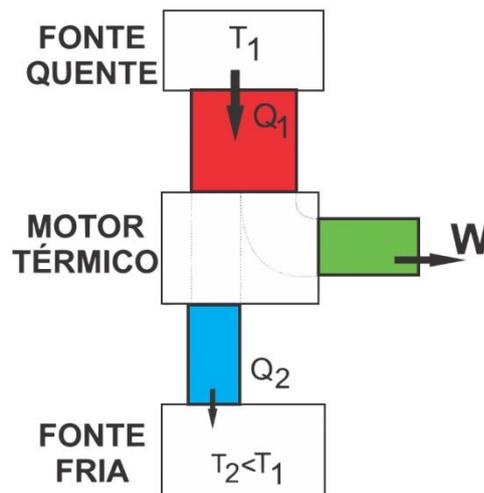
Fonte: Adaptado de Moyses, 2014, p. 208.

O superaquecimento do vapor passa para o cilindro, onde expande-se mais ou menos adiabaticamente produzindo ao mesmo tempo trabalho com o deslocamento do pistão. No mesmo processo o vapor é resfriado pela expansão adiabática, que pela passagem do condensador onde condensa através do contato com a fonte fria devido ao resfriamento

provocado pela água corrente. A quantidade de calor (Q_2) cedida pela fonte fria, é referente ao calor latente de condensação obtida pela condensação do vapor quando convertida em água. Por último, a água é introduzida por meio de uma bomba e levada de volta a caldeira fechando-se assim todo o ciclo do processo [29].

Já no motor térmico figura 5, no diagrama de fluxo temos $Q_1 = W + Q_2$ o que representa uma bifurcação da coluna relativa à (Q_1) em dois condutos de dimensões proporcionais ao trabalho (W) e a quantidade de calor (Q_2).

Figura 5 - Funcionamento de um Motor Térmico.



Fonte: Retirado de Moyses, 2014, p. 209.

Aplicação em energia térmica provida por Q_1 (gasto de carvão para aquecer a caldeira), o trabalho útil indispensável fornecido é W . A quantidade de calor Q_2 é o subproduto, não útil na máquina a vapor, dissipa-se pela atmosfera ou pela água de resfriamento do condensador. Assim a eficiência ou rendimento térmico é definido pela relação,

$$\eta = \frac{W(\text{Trabalho fornecido})}{Q_1(\text{Calor consumido})}$$

Aplicando-se a equação temos:

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \quad (8)$$

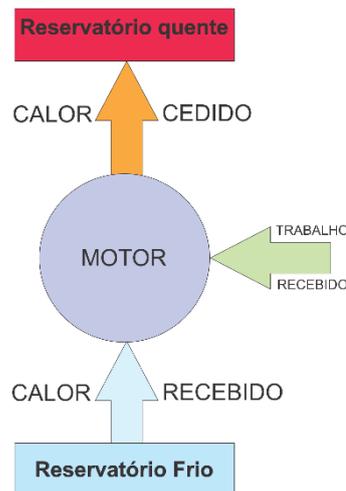
Deduz-se a partir desta equação que $Q_2 > 0$, e $\eta < 1$, ou seja, o rendimento ou eficiência térmica é inferior a 100%.

3.10 Refrigeradores

Como descrito por Tiple [30], um refrigerador é uma máquina térmica que funciona no sentido contrário com relação ao calor fluir do corpo quente para o corpo frio. Neste sentido, o calor em um refrigerador é retirado de seu interior por um reservatório frio, e cedendo-se para o ambiente através do reservatório quente. Dessa maneira, o trabalho realizado é proveniente da passagem do calor sobre o refrigerador, fundamentado pelo enunciado de Clausius dentro da segunda lei da termodinâmica onde “é impossível para um refrigerador, operando em um ciclo, produzir como único efeito o de retirar calor do corpo frio e liberar a mesma quantidade de calor para um corpo quente”.

Entretanto se a descrição anterior não existisse, pode-se resfriar nossas residências na estação climática verão, com a utilização de refrigeradores que liberam calor para a parte externa sem uso da eletricidade ou quaisquer espécies de energia além da elétrica, a figura 6 mostra o caminho percorrido pelo calor em funcionamento de um refrigerador.

Figura 6 - Princípio de funcionamento de um refrigerador.



Fonte: Questões vestibulares 2ª Lei da Termodinâmica, (jun. 2020.)¹

A medida da eficiência de um refrigerador por sua vez, é calculada através da razão entre a quantidade de calor Q_f e o trabalho realizado sobre o refrigerador (W), sendo este trabalho igual à energia consumida no funcionamento, conforme equação a seguir.

$$CD = \frac{Q_f}{w} \quad (9)$$

¹ Disponível em: <http://www.questoesdosvestibulares.com.br/2020/06/2-lei-da-termodinamica.html>. [Citado em: 22 de 07 de 2020.]

A razão $\frac{Q_f}{w}$ também é conhecida como coeficiente de desempenho (CD). Os enunciados de Clausius e Kelvin para as máquinas térmicas, especificamente para os refrigeradores na segunda lei da termodinâmica, aparentam bem desiguais. Mas na realidade, são semelhantes. O enunciado de Clausius que “É impossível para a uma máquina térmica, operando em ciclo, produzir como único efeito o de retirar calor, de um único reservatório e realizar uma quantidade equivalente de trabalho”, já para os refrigeradores, o mesmo enunciado torna-se semelhante, evidenciando as fontes, “é impossível para um refrigerador, operando em ciclo, produzir como único efeito o de retirar calor de um corpo frio e liberar a mesma quantidade de calor para um corpo quente”. Pode-se provar a veracidade do primeiro enunciado, implicando-se a do segundo e vice-versa, tanto para máquinas térmicas, quanto para os refrigeradores, comumente usa-se exemplos numéricos para demonstrar que a contradição de um enunciado se implica na violação do segundo e vice-versa [30].

3.11 Ciclo de Carnot

Na visão de Knight Randall [26], considerando que não há nenhuma máquina perfeita irreversivelmente, entende-se que, uma máquina de Carnot consiste em uma idealização. Todavia, fazendo-se uma análise da máquina de Carnot nos possibilita ter um máximo rendimento térmico, no entanto é provável que nenhuma outra máquina térmica possa superar.

Uma máquina térmica de Carnot, em definição, não faz referência a substâncias de trabalho, seja ela gasosa ou líquida, ou melhor, não se faz distinção. Pressupõe-se que uma máquina perfeita reversível é uma máquina com maior eficiência possível, não dependendo de características com relação à sua construção e substâncias que utiliza, e sim da sua capacidade de reversibilidade.

Logo qualquer máquina de Carnot operando em temperaturas T_1 e T_2 , deve-se precisamente ter o mesmo rendimento de quaisquer máquinas ou outro tipo de máquinas de Carnot, operando no meio de dois reservatórios de energia que resultaria no mesmo rendimento. Comumente, usa-se a referência de máquina de Carnot que utiliza um gás ideal como substância de trabalho, devido às substâncias líquidas apresentar propriedades diversas que se torna incompatível sua análise.

Do ponto de vista de Young [27], considerando-se na primeira parte do ciclo onde o motor funciona entre os dois reservatórios, observa-se certa quantidade de calor do reservatório de maior temperatura (quente), e outra parte do ciclo transfere-se certa quantidade de calor menor ao reservatório de menor temperatura, ou seja, mais frio. Tendo em vista como fato empírico, onde sempre se cede certa quantidade de calor ao reservatório mais frio, o rendimento de um motor real não se aproxima de 100%.

Algumas perguntas sobre o ciclo de Carnot serão necessárias como: Quais características de uma máquina de Carnot? Qual a eficiência máxima dessa máquina operando entre dois reservatórios?

Nicolas Leonard Sadi Carnot, em 1824 reconheceu a importância dessas questões antes dos estudos das leis da termodinâmica estivesse estabelecida formalmente. Se um motor opera unicamente entre dois reservatórios, e funciona segundo um ciclo reversível, é considerado motor de Carnot. Já um ciclo Otto funciona entre dois reservatórios, porém as transferências de calor ocorrem nos dois processos isocóricos, supondo-se que haveria variações finais de temperaturas e, portanto, não seria reversível. Para o acontecimento em ciclo em um processo irreversível, seria necessários mais de dois reservatórios e não simplesmente dois. Conseqüentemente, a expressão “motor de Carnot” ou “máquina de Carnot”, refere-se a um motor reversível que opera unicamente entre dois reservatórios. Assim um motor de Carnot que absorve calor (Q_1) da fonte quente (T_1) e rejeita a quantidade (Q_2) de calor para um reservatório de menor temperatura (T_2) tem-se a eficiência conforme relação [28]:

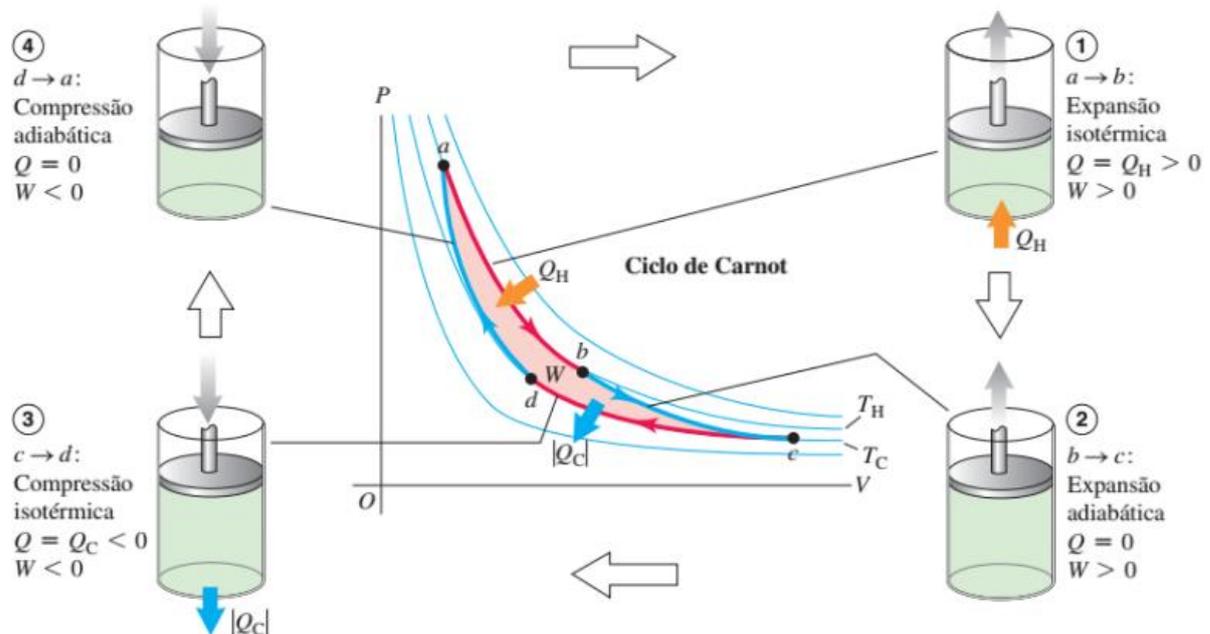
$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1} \quad (10)$$

$$\eta(\text{Carnot}) = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (11)$$

Logo, para uma máquina de Carnot ter um rendimento igual a 100%, a temperatura do reservatório frio, deverá ser zero. No entanto na natureza não se admite a existência de um reservatório com temperatura zero absoluto, por isso o rendimento 100% em uma máquina de Carnot na prática é impossível relação [28].

Conforme Young [31], o ciclo de Carnot é composto por dois processos isotérmicos reversíveis e dois processos adiabáticos. A figura 7 mostra o ciclo de Carnot de acordo com as transformações existentes.

Figura 7 - Ciclo de Carnot para um gás ideal.



Fonte: Retirado de Young, 2008, p.324.

Observa-se que no diagrama PV , as linhas finas azuis são isothermas (curvas com temperatura constante) e as linhas grossas azuis são curvas adiabáticas (curvas com transferência de calor igual a zero, obedecendo-se as seguintes etapas: a primeira o gás se expande quase estaticamente isotermicamente, na temperatura T_H , absorve calor de Q_H (de a até b) do reservatório quente. Na segunda O gás se expande quase estaticamente adiabaticamente até que sua temperatura seja menor em T_C (de b até c). Na terceira o gás é comprimido quase estaticamente isotermicamente na temperatura T_C , rejeitando calor para a menor temperatura Q_C (de c até d). Na quarta e última etapa o gás é comprimido quase estaticamente adiabaticamente, retornando ao seu estado inicial na temperatura T_H (de d até a).

Desta forma, para cálculos a sua eficiência térmica, usa-se a relação abaixo descrita, como caso especial da máquina de Carnot, em que a substância utilizada é um gás ideal nas quatro etapas:

$$e = \frac{W}{H} = 1 + \frac{Q_c}{Q_h} = 1 - \left| \frac{Q_c}{Q_h} \right| \quad (12)$$

Onde: “ e ” é a eficiência térmica de uma máquina, “ W ” é o trabalho realizado pela máquina, “ Q_H ” é o calor absorvido pela máquina, “ Q_C ” é o calor rejeitado pela máquina.

Levando em consideração que o calor (Q_H) é absorvido no processo, no caso da expansão isotérmica percorrendo do estado A até B , está de acordo com a primeira lei da

termodinâmica e a variação de energia interna é dada por $\Delta V_{\text{int}} = Q_{\text{para}} + W_{\text{sobre}}$. Já para expansão isotérmica de um gás ideal a variação de energia interna é igual a zero ($\Delta V_{\text{int}} = 0$). Aplicando a primeira lei sobre a expansão isotérmica de estado A para B, temos $Q_H = Q$ para, logo o trabalho realizado pelo gás ideal dar-se pelo calor absorvido (Q_H) (Tiple, 2009, p. 644).

Obtêm-se o rendimento de Carnot, independentemente da substância de trabalho de qualquer máquina específica, dependendo somente das temperaturas dos dois reservatórios durante todo o processo [30].

3.12 Variação de entropia em processos reversível e irreversível

Em um processo isotérmico reversível a temperatura é constante, então $T_2 = T_1$. A variação de entropia de um sistema em um processo reversível é, portanto,

$$\Delta S = \int \frac{dQ_{\text{rev}}}{T} = 0 + nR \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (13)$$

Desse modo, a variação de entropia V_2 é maior que V_1 , sendo positiva e durante o processo a quantidade de calor é cedida pelo reservatório e cedida pelo gás. O trabalho realizado pelo gás é igual ao calor (dQ_{rev}) e a variação de entropia será:

$$Q_{\text{rev}} = W_{\text{sobre gás}} = \int_{V_1}^{V_2} p dV = nRT \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = nR \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (14)$$

Neste sentido, a variação de entropia de um gás em um reservatório é igual em magnitude e oposta em sinal a do sistema, contudo a variação da entropia do gás é $(+ Q_{\text{rev}}/T)$, e a variação da entropia no reservatório é $(- Q_{\text{rev}}/T)$. Todavia a entropia do gás mais a do reservatório é nula, e considerando o universo como vizinhança conclui-se que “durante o processo reversível, a variação da entropia do universo é zero” [30].

A variação de entropia de um sistema é definida quando se faz necessário imaginar um processo reversível. Entretanto, como a entropia de um sistema depende somente do estado inicial e final para qualquer natureza no processo pelo qual pode ser levado de um estado para o outro, tanto o processo reversível como irreversível não é válido para a vizinhança do sistema [29].

CAPÍTULO 4

4 METODOLOGIA

4.1 Materiais e métodos

No capítulo 4 serão apresentados os procedimentos adotados que nortearam as etapas da aplicação e obtenção de dados, a partir do produto educacional, sendo o alicerce para a elaboração da análise sobre os resultados desta proposta. Tais métodos descrevem os caminhos percorridos na busca do alcance dos objetivos desta dissertação. O caráter da pesquisa é descritivo, dentro dos parâmetros observados sobre a metodologia de trabalhos científicos, que decorre da sua natureza, do problema observado, dos objetivos e procedimentos metodológicos conforme [32]. Em seguida serão apresentadas as informações a respeito das informações do ambiente de sala de aula e os envolvidos na aplicação do produto.

4.2 Plano da Pesquisa

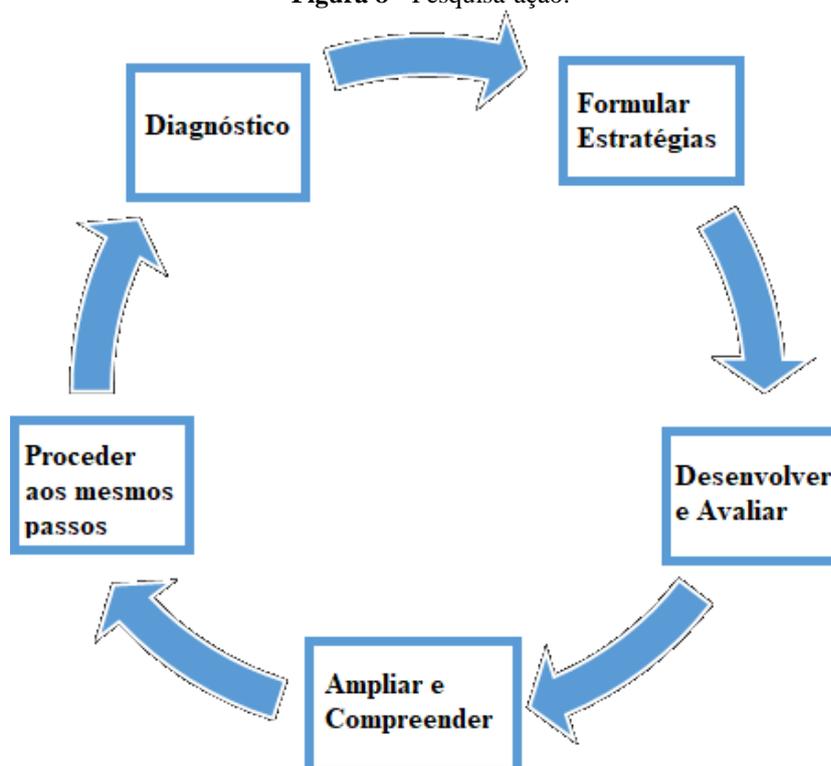
A presente pesquisa se classifica como qualitativa, para [33], considera-se uma pesquisa qualitativa, por ter dados coletados no ambiente natural dos estudantes como, por exemplo, a sala de aula, ocupando-se com o foco da pesquisa com elementos de múltiplas fontes de coleta, onde o professor pesquisador enxerga, ouve e entende e posteriormente analisa. Para isso investiga-se a aprendizagem dos estudantes do Ensino Médio, com a estratégia metodológica rotação por estações, aliado ao uso das tecnologias digitais embasado na teoria da aprendizagem de Ausubel e Bruner, como também as teorias sobre a segunda lei da termodinâmica presente no livro didático do aluno. Para tanto, a análise dos dados deu-se pela riqueza das informações e individualidades dos sujeitos em aprendizagem.

O tipo de pesquisa envolve a quantitativa e qualitativa, sendo assim a pesquisa-ação, classificando-se em cinco etapas: formulação do problema, coleta, avaliação, análise de dados e apresentação de resultados. No entanto, esse tipo de pesquisa apresenta características específicas para cada uma das etapas, que difere de outro tipo de pesquisa existente como qualitativa, que se caracteriza pela coleta de dados e seus instrumentos ao serem mais interativos, ou seja, o pesquisador é envolvido em todo o processo [34]. Desse modo, diante

do que se pretende obter como resultado sobre o objeto de investigação e problema de pesquisa, a pesquisa-ação considera-se mais adequada, por envolver a relevância científica e por resolver ao mesmo tempo possíveis problemas sociais, ou seja, a partir da prática decorrente dos estudantes em relação as dificuldades de entendimento da segunda lei da termodinâmica durante o processo de aprendizagem [35]

Barbier [34] aponta que na pesquisa-ação, os dados podem ser sujeitos a influências externas e não terem uma única interpretação. Desse modo, a avaliação e análise nesta proposta estão fundamentadas nos autores referenciados ao longo do texto, não sendo considerado como uma interpretação única e incontestável, mesmo sendo oriundo da coleta de dados com base em diversas variáveis existentes na clientela pesquisada. Para isso os dados devem ser dialogados para que se tenha estabelecido com o foco na solução do problema apontado. Diante disso apresentou-se ao professor de Física, o Produto Educacional fruto da pesquisa com as devidas orientações para que possa ser utilizado e/ou adequar à realidade em sala de aula, a figura 8 apresenta as etapas presentes na pesquisa ação.

Figura 8 - Pesquisa-ação.



Fonte: Adaptado de Elliot, 1997, p.17.

Thiollent [35] define que a pesquisa-ação é considerada como a capacidade de aprendizagem associada ao processo de investigação por ter a capacidade de extrair novos

conhecimentos e interligar conhecimento e ação. Para isso, considera-se como o mais adequado para essa investigação, visto que o objetivo central está na análise de saberes referente à segunda lei da termodinâmica, que foram obtidos com a aplicação da metodologia de rotação por estações.

4.3 Ambiente de pesquisa

A pesquisa foi desenvolvida em uma escola de ensino médio em uma cidade do interior do estado do Maranhão, Instituição de Ensino pertencente à rede pública estadual, criada em 2002, ofertando atualmente o Ensino Médio Regular e na modalidade de Educação de Jovens e Adultos, totalizando 250 alunos matriculados em 2020. A aplicação envolveu 50 alunos das 2ª séries turmas 200 e 201. A escolha desta instituição foi devido o pesquisador também ser professor regente, o que facilitou a aplicação e o cumprimento de todas as etapas que compõe a pesquisa, bem como o planejamento e execução.

4.3.1 Etapas de aplicação da pesquisa

A pesquisa desenvolvida nesta dissertação foi aplicada de forma presencial e remota, ou seja, presencial a aplicação da metodologia, especificamente no desenvolvimento das atividades experimental nas estações, e remota a aplicação dos questionários, aula via meet como revisor prévio e em outros no ambiente online. Foram três etapas, utilizou-se para aferição e análise do conhecimento, questionários disponíveis no aplicativo Google Classroom via formulários, com o tempo específico durante a aplicação presencial e remota. O processo de aplicação, desenvolvimento e conclusão foi previamente estabelecido, de acordo com o planejamento. Por fim, foi aplicado um questionário avaliativo sobre as aprendizagens adquiridas.

4.3.2 Primeira etapa

Nesta etapa descreveu-se os conhecimentos prévios dos alunos acerca dos conceitos de calor, temperatura, energia interna, pressão e volume. As perguntas deste questionário foram do tipo objetivas com cinco alternativas A, B, C, D e E, totalizando 10 questões, elaboradas no aplicativo Google Classroom via formulários e disponibilizado o link de acesso aos alunos.

Após a realização, e posse das respostas, fez-se uma revisão sobre a primeira lei da termodinâmica como conhecimento prévio, para aplicação do produto educacional, como também nesta mesma ocasião os alunos foram informados sobre a aula seguinte a esta etapa, cujo desenvolvimento foi com o uso da metodologia ativa rotação por estações, objetivando motivar os alunos à aprendizagem.

4.3.3 Segunda etapa

Esta etapa foi desenvolvida de forma remota após a aplicação do produto educacional, sendo o momento de avaliação da metodologia aplicada. Utilizou-se como ferramenta de análise, um questionário com 10 questões do tipo objetiva e alternativas A, B, C, D e E, disponibilizada no aplicativo Google Classroom via formulários e disponibilizado o link de acesso para os alunos previamente. O objetivo desta etapa foi conhecer a visão dos estudantes sobre as contribuições da metodologia, e quais caminhos possíveis para o professor com relação as ações de melhoramento.

4.3.4 Terceira etapa

Considerando que a aplicação do produto educacional se deu em 5h/aulas na forma presencial, essa etapa foi desenvolvida de forma remota, referindo-se à avaliação de conhecimento sobre as aprendizagens obtidas, por meio de um questionário com 15 perguntas objetivas e alternativas A, B, C, D e E, respondido, através do link disponibilizado aos alunos no aplicativo Google classroom, envolvendo todos os temas abordados nas estações com problemas relacionados a aplicabilidade, e o entendimento do aluno com relação à literatura em questão. O objetivo foi testar os níveis de conhecimentos obtidos com aplicação do produto educacional, como também mediante esse critério avaliativo, constatou-se sobre a aprendizagem significativa ou não, bem como sobre os conceitos e as relações existentes sobre a segunda lei da termodinâmica em diferentes contextos.

Os resultados obtidos em todas as etapas são discutidos com ênfase nas teorias de aprendizagem presente no referencial teórico desta dissertação. Essas descrições estão contidas nos resultados e discussões deste trabalho.

CAPÍTULO 5

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo, estão presentes as discussões sobre os resultados obtidos nas etapas da pesquisa, realizadas antes e durante a aplicação do produto educacional conforme descrição a seguir. Inicialmente trata-se como foi a aplicação da metodologia proposta neste trabalho, em seguida uma análise sobre os questionários prévios ou pré-teste que teve como objetivo levantar os conhecimentos prévios dos estudantes para facilitar a introdução de novas informações segundo a teoria de Ausubel da aprendizagem significativa. E para finalizar o questionário pós-teste que permitiu verificar se a aprendizagem ocorreu conforme planejado, e de forma significativa.

5.1 Análise da aplicação da proposta através da metodologia rotação por estações

Neste tópico descreve-se o que ocorreu durante a aplicação da proposta de aprendizagem da segunda lei da termodinâmica via rotação por estações, a partir das informações extraídas das imagens gravadas durante o processo de aplicação do produto educacional, das observações do pesquisador e das avaliações realizadas pelos estudantes que participaram.

5.1.1 Estações de aprendizagem

No desenvolvimento das estações os alunos foram divididos em equipes, em virtude da pandemia da Covid-19, a aplicação se deu em três momentos em dias distintos, pois a escola propôs o cumprimento dos protocolos sanitários da rede estadual de ensino, onde a aglomeração seria um fator a ser evitado, mesmo seguindo todos os procedimentos de higienização na entrada dos alunos no ambiente escolar. No primeiro e segundo momento em sala de aula teve a participação de três equipes com cinco alunos. Para o terceiro momento, foi proposta o desenvolvimento das ações no pátio da escola, pois eram quatro equipes de cinco alunos por ser um ambiente bastante arejado.

A partir desse momento, apresenta-se as observações das dez equipes sobre o desenvolvimento de cada atividade, de forma individualizada em cada estação de aprendizagem.

5.1.2 Estação A – Reversibilidade

O Objetivo da estação “A” era identificar as fases da água considerando suas características e manifestações na natureza como processo reversível. Para esta estação foi disponibilizado vídeo no aplicativo classroom das turmas para melhor compreensão, e por se tratar dos estados físicos da água, as equipes não tiveram dificuldade em sua compreensão de desenvolvimento da atividade proposta, porém, a mediação do professor nesta estação tornou-se um elemento diferenciador, por se tratar da utilização do fogão, onde os riscos eram eminentes.

Observou-se também que dentre os materiais necessários presentes nos procedimentos do produto educacional, que são aferidos nos apêndices, não houve a utilização do papel filme, pois de maneira prática foi substituído por um prato que contribuiu de forma satisfatória para o deslocamento das conchas para a formação da água ano estado sólido. Enfim, as equipes cumpriram todos os passos da atividade como previsto.

5.1.3 Estação B – Transformação irreversível

Nesta estação tiveram três atividades sugestivas que tinham como objetivo, diferenciar transformações reversíveis e irreversíveis causadas pelo aquecimento, a primeira sugestão foi uma leitura sobre a receita tendo o ovo como ingrediente, de forma simulada sem a quebra dele, observou-se que os alunos compreenderam o processo envolvido quando se fez os questionamentos presentes na atividade.

Já a segunda sugestão com uso da queima do papel, observou-se que ao se questionar se o papel poderia voltar ao estado inicial ficou evidente uma melhor compreensão sobre a temática, mesmo sendo uma atividade de risco pela presença do fogo, todos os cuidados foram criteriosamente seguidos. Já a terceira sugestão foi o uso das bolinhas de gude que chamou mais atenção dos alunos, apesar de não ter o caráter probabilístico cobrado no seu desenvolvimento, observou-se que eles manuseavam com muita intensidade não com foco em brincar, mas de verificar se haveria a possibilidade das bolinhas retornar da mangueira para a garrafa pet de forma ordenada.

5.1.4 Estação C – Máquinas térmicas

O propósito dessa estação foi perceber a presença da transformação da energia térmica em energia mecânica através do calor, foi disponibilizado um vídeo no aplicativo *classroom* para melhor compreensão, e por se tratar de alunos do turno noturno, a confecção do barquinho pop pop foi feita em suas casas, pois, seria impossível a sua construção no ambiente de aplicação. Assim ficou apenas a aplicação no desenvolvimento das atividades.

Foi uma atividade marcante, a que mais gostaram como será observado na avaliação das estações no capítulo posterior. Acredita-se que devido o aluno fazer parte de todo o processo ou por curiosidades com relação ao seu funcionamento, todas as equipes estavam empenhadas em entender e aprender sobre o processo de transformação que ocasiona o funcionamento do barquinho e ao mesmo tempo aprender sobre o funcionamento das máquinas térmicas, já que na mediação foi abordado sobre o ciclo de Carnot com foco nas transformações que ocorrem.

Outro ponto a destacar é que nesta estação teve duas sugestões (Barquinho pop pop, Máquina a vapor), e por considerar ambas com risco que poderia proporcionar queimaduras nos alunos, optou-se por desenvolver apenas primeira sugestão de risco menor.

5.1.5 Estação D – Resolução de questões objetivas

Esta estação teve como objetivo determinar o conhecimento adquirido pelos estudantes ao final do desenvolvimento da estação, com o foco sobre o cálculo do rendimento das máquinas térmicas. Foi também disponibilizado um vídeo no aplicativo *classroom* das turmas para melhor compreensão dessas resoluções, porém, observou-se que os alunos tiveram algumas dificuldades, mas uma boa aceitação. Essa foi a estação considerada de maior desafio para as equipes e ao mesmo tempo menos envolvente, que traz uma reflexão sobre o ensino de Física, com o uso da metodologia tradicional, ou seja, baseada somente em resolução de questões e não com a mesclagem de fenômenos e aplicação.

Como a metodologia rotação por estação é considerada uma metodologia ativa aliada a metodologia tradicional, possibilita a reflexão sobre a quebra de paradigmas na prática docente. Pois mesmo algumas equipes apresentando dificuldade, os resultados foram satisfatórios, apesar de ser uma estação de caráter não experimental, as dificuldades apresentadas não estavam no entendimento sobre o rendimento, e sim na linguagem matemática necessária para resolução das questões propostas.

Quando perguntadas às equipes sobre a questão “As fontes quente e fria de uma máquina de Carnot operam em temperaturas de 500 K e 300 K, respectivamente. Sabendo disso, determine o rendimento dessa máquina, em porcentagem e assinale a alternativa correta”. A opção “b”, que era a correta, foi respondida por 92,3% das equipes, como na estação estava presente todas as fórmulas necessárias, e na mediação, o professor focava na identificação das fontes para compreensão do processo, e ao mesmo tempo, saber qual a fórmula da resolução. Consideramos que houve uma aprendizagem relevante nesta questão, mas poderia ter resultados negativos, se a mediação fosse apenas calcular o rendimento.

Outra questão proposta “Uma máquina térmica opera, recebendo 600 J de calor a cada ciclo, realizando, assim, 400 J de trabalho. Calcule o valor aproximado do rendimento dessa máquina térmica, em porcentagem, e assinale a alternativa correta”. Nesta questão, não houve a mediação como na anterior, para que os alunos percebessem que mecanismos usariam para resolvê-la, dessa forma, para a opção correta “c” teve de 61,5% de acerto. Assim, foi possível perceber que houve uma compreensão inferior em relação à questão anterior, que é considerada mais desafiadora, porém teve uma porcentagem de acerto significativo.

Na questão “O que acontecerá com o rendimento de uma máquina térmica se a temperatura da fonte para qual o calor é transferido espontaneamente for reduzida?”. Obtivemos um resultado de 46,2% respondendo a opção “b” que diz “aumenta o rendimento”. Observa-se que se tratando de uma questão que requer uma análise mais acentuada sobre o funcionamento das máquinas térmicas, as equipes assistiram os vídeos propostos mais de uma vez para chegarem à conclusão, e na mediação o professor ficou inferindo principalmente sobre os enunciados da segunda lei da termodinâmica para melhor entendimento. Assim, considera-se que a aprendizagem foi satisfatória.

Observou-se na questão “Uma máquina térmica opera entre duas temperaturas T_1 e T_2 , afirma-se que seu rendimento:” Tivemos um aproveitamento de 84,6% das equipes responderam a opção “a”. Esses dados revelam que de fato houve uma aprendizagem significativa sobre o rendimento de uma máquina térmica de acordo com o conhecimento obtido sobre o ciclo de Carnot. A mediação se deu apenas em frisar que o rendimento de uma máquina térmica operando em ciclo será inferior a 100%, com efeito, acredita-se que contribuiu para o entendimento de todas as equipes.

Em relação à questão que trata da segunda lei sobre a energia tendo como opções o rendimento de Carnot, e os enunciados de Claus e Kelvin “A segunda lei da termodinâmica,

pode ser encarada, como um princípio da degradação de energia por que”. O número de acerto foi de 38,5% das equipes, os erros nas outras opções que totalizam 61,5%, e deu-se por estar presente outros elementos como a teórica molecular, e sobre o calor nos refrigeradores que podem ter gerado dúvidas, provocando assim uma menor compreensão da questão.

Finalizando as questões da estação pode-se se destacar que quando perguntou “Uma máquina térmica tem rendimento de 40% e realiza um trabalho de 2000 Joules. Assinale a alternativa que indica a quantidade de calor rejeitada para a fonte fria, em Joules, pela referida máquina.” Houve uma aprendizagem relevante, pois como já estava expressa a porcentagem na questão o desafio estava na quantidade de calor da fonte quente, e dispondo das fórmulas necessárias, 61,5% acertaram a questão. Isso pode significar um melhor entendimento sobre a linguagem matemática necessária ou sobre o rendimento de uma máquina térmica que era o principal propósito da estação.

5.1.6 Estação E – Desordem das moléculas

Foram propostas duas atividades experimentais nesta estação, uma desordem das moléculas com uso de água, bisnaga de tinta e copos; e outra com o título de desordem dos feijões, ambas com o objetivo de observar o comportamento das moléculas em todo o sistema, para a compreensão do grau de desordem delas e avaliar o comportamento de um sistema em relação à sua entropia. Como o foco era conhecer e entender a entropia de um sistema, para contribuir no entendimento foi disponibilizado um vídeo no aplicativo classroom das turmas. No entanto, foi uma estação que buscava através da mediação o entendimento de entropia, mesmo assim foi considerada uma estação difícil de compreensão inicial, mas com o passar do tempo, principalmente através da segunda sugestão ser mais visível e ter questionamentos apropriados, a aquisição dos conhecimentos foi satisfatória. Observou-se outra dificuldade, por estar relacionada na observação da problematização inicial, quando se perguntou o que é entropia, os alunos não souberam responder. É possível deduzir que a falta desse assunto está relacionada com o fato de não ser difundido cotidianamente.

5.1.7 Socialização

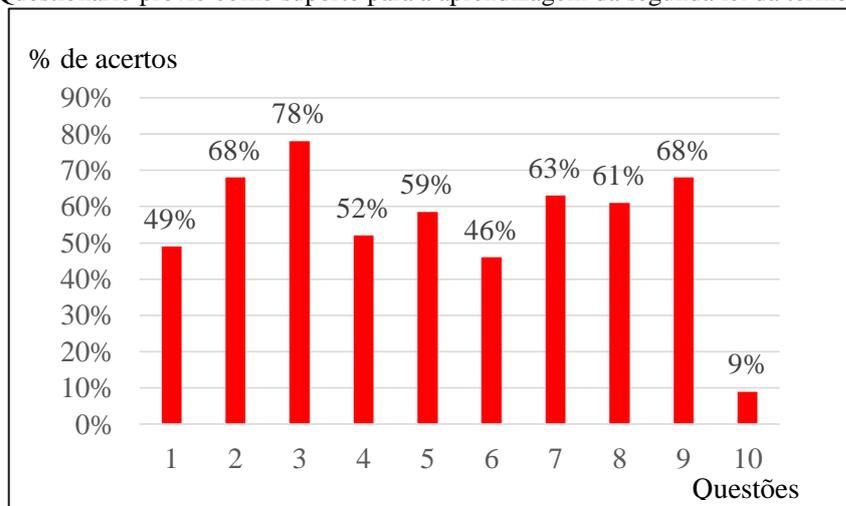
Na socialização das atividades, foram apresentados os conteúdos abordados das estações em que cada equipe iniciou as atividades de aplicação. Foi um momento em que

todos puderam ouvir sobre os relatos da aprendizagem obtida no desenvolvimento das atividades propostas. Observou-se que foi uma oportunidade também de fazer interferências para ampliação de conhecimentos que, posteriormente, serviria para obtenção de resultados satisfatórios no questionário pós-teste. As equipes demonstraram segurança nas apresentações, que de certa forma contribuíram para sanar as dúvidas existentes e fortalecer o domínio do currículo trabalhado.

5.2 Primeira etapa da pesquisa

Esta etapa refere-se ao questionário prévio, disponível no aplicativo *classroom* das turmas, desenvolvida de forma remota com a participação de apenas quarenta e um alunos dos cinquenta alunos das duas turmas, a não participação dos demais se deu pelas dificuldades de acesso às aulas remotas, problema comumente encontrado no contexto escolar em tempos de pandemia. Como se trata de conhecimentos prévios, as análises foram compiladas sobre os conhecimentos da totalidade dos participantes como pré-requisitos para a aprendizagem da segunda lei da termodinâmica, que seguirá a ordem numérica das questões mesmo sendo programadas para embaralhamento no aplicativo, a figura 9 mostra os percentuais de acertos em cada questão e o questionário elaborado está disponível no Apêndice B desta dissertação.

Figura 9 - Questionário prévio como suporte para a aprendizagem da segunda lei da termodinâmica.



Fonte: Dados da pesquisa

Com base na figura 9, percebe-se que 49% dos alunos acertaram a questão relacionada ao conceito de calor, que é um indicativo necessário para a aquisição do conhecimento sobre a segunda lei da termodinâmica e suas aplicações, no entanto dentre os 51% que marcaram a resposta errada, vale destacar que 24% dos alunos assinalaram a opção

“e”. Acreditamos que esse erro está relacionado a uma confusão com relação a opção correta, por possui a palavra energia.

Na segunda pergunta considerada importante como conhecimento prévio, pois está relacionada à transferência de calor entre os corpos, 68% dos participantes responderam a opção ‘b’, essa resposta é importante para o entendimento posterior sobre os enunciados clássicos da segunda lei. Entre as respostas incorretas, tivemos que 19% dos alunos assinalaram a opção “a”, acreditamos que foi devido ao não entendimento do conceito de calor, como mencionado na questão anterior.

Pela análise da figura 9, terceira questão, observa-se tratar de uma questão que na maioria das vezes há uma confusão entre o entendimento do conceito de calor e temperatura, no entanto para 78% dos alunos ao escolher a opção “a”, entende-se que há um conhecimento considerável, tal resultado acredita-se que é em virtude de ter sido explorado desde o início dos estudos sobre termologia.

Partindo do princípio de que a primeira lei da termodinâmica, é estudada anteriormente a temática do presente produto educacional, ficou claro com base nas respostas sobre a quarta questão, 52% dos alunos marcaram a opção “d” que é a correta, para as demais tivemos um percentual de 36% que responderam a opção “a”. Consideramos que esse percentual de erros deve estar associado ao contexto do estudo de termologia que é visto anteriormente.

A quinta questão, revelou, que 59% têm conhecimento sobre pressão e temperatura, considerando que essa questão teve como objetivo introduzir as ideias sobre os gases e suas relações presentes na primeira lei da termodinâmica. Esse resultado demonstra uma base teórica importante para os estudos posteriores.

Observando os resultados sobre a sexta questão, para 46% dos alunos, há entendimento da expansão adiabática, elemento fundamental para compreender o funcionamento da máquina térmica a partir da existência das transformações que envolvem durante os ciclos. Entre as demais alternativas a com maior percentual de erro foi a opção “a” com 22%, julgamos que essa margem de erro se deu porque não houve compreensão real das funções de cada transformação em um processo termodinâmico.

Com relação a sétima questão foi possível observar que a maioria dos alunos conhecem as grandezas fundamentais sobre a primeira lei da termodinâmica em relação à energia. Esse resultado demonstrou quando a maioria dos respondentes marcaram a opção “c” como correta totalizando 63%. Tornou-se então, um dos tópicos explorado na aula via meet

como organizador prévio (I etapa da pesquisa), com o propósito de contribuir não somente para o fortalecimento do conhecimento e atividades do produto educacional, mas para posteriores inferências, por se tratar de temas que permeiam todo o estudo de Física.

Analisando a figura 9 na oitava questão, contribuímos para o entendimento das atividades no produto educacional, tendo 61% de acerto apesar de não ser trabalhado os enunciados da segunda lei sobre a transferência de calor, há um entendimento sobre o calor fluir de um corpo de maior temperatura para o de menor temperatura.

A figura 9 revela que na nova questão que trata dos processos reversíveis, variação de energia interna, trabalho, pressão, sendo elementos fundamentais para o entendimento da segunda lei da termodinâmica, o que chamou atenção é que 68% dos alunos têm uma visão clara sobre ceder ou receber calor entre os corpos e quais relações com o meio ao assinalarem a opção “d”. O resultado revelou também que eles conhecem as relações entre energia interna, quantidade de calor e trabalho, ao compreender que o gás ao ser comprimido a variação do volume torna-se negativo implicando assim em um trabalho negativo.

Conforme dados obtidos na décima questão, é possível perceber que ao escolher as opções “a” 22%, e a opção “c” 62%, e 16% as demais opções, sendo apenas 9% a opção correta, fica evidente que os alunos não têm conhecimento sobre o cálculo do trabalho através do cálculo de área do gráfico $p \times v$, como também uma mera confusão em não considerar que durante os processos a temperatura é a mesma e conseqüentemente a sua energia interna é igual em ambos.

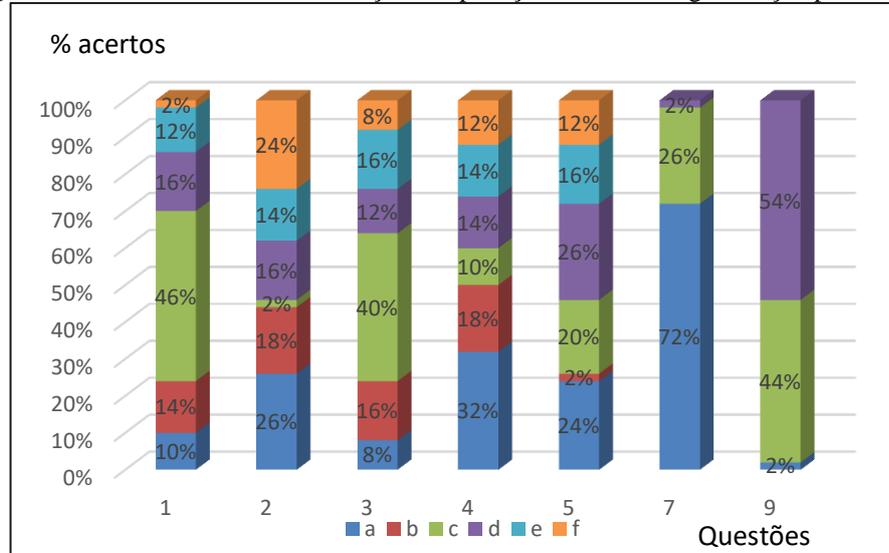
É importante destacar que apesar de nossas discussões nortear as perguntas que viriam a ser respondidas no pré-teste, em momento algum foi revelado que eles fariam um pós-teste com questões somente da segunda lei, não havendo assim a perda do foco no desenvolvimento das atividades com a questão das notas. A intenção era que em cada atividade desenvolvida, o estudante reformulasse suas hipóteses baseado em cada experimento proposto.

5.3 Segunda etapa da pesquisa

Nesta etapa estão presentes as análises sobre como foi aceitação das atividades propostas em cada estação, e quais no ponto de vista dos alunos, contribuíram ou não para a sua aprendizagem. Além disso, algumas questões de respostas pessoais serão percorridas em texto e não com a visão gráfica, no entanto a figura 10 mostra os percentuais de aceitação com

relação a metodologia aplicada e o questionário elaborado está disponível no Apêndice C desta dissertação.

Figura 10 - Resultados sobre a avaliação da aplicação da metodologia rotação por estações.



Fonte: Dados da pesquisa

Como observado, nos resultados da questão 1, a estação que os alunos mais gostaram foi a estação C, 46%. Resultado que culmina com um fato observado durante a realização das atividades propostas, pela demonstração de maior empolgação para a realização, pois o uso da atividade experimental desde o momento de produção realizada pelos alunos em sua casa, pode ter sido o fator motivador na busca de fortalecimento do conhecimento. Essa preferência por determinadas estações pode ser explicada pelo conceito de personalização do ensino, que norteou a escolha das atividades propostas para cada estação.

Sobre a questão 2, foi questionado a estação que menos gostaram, na sequência tivemos a estação A, B, D, E e C, com 26%, 18%, 16%, 14% e 2%, respectivamente. Esse resultado é bastante interessante, tendo em vista que era esperando a estação D como escolhida, já que trata das questões teóricas, mas ficou apenas em terceiro lugar. Isso mostra que os alunos não veem problema em resolver problemas teóricos. Já as duas estações mais votadas, acredita-se que tenha sido por ser experimentos simples, tendo em vista que o experimento do barquinho pop pop teve uma ótima aceitação, mesmo sendo uma atividade mais trabalhosa. Outro valor relevante e que não pode ser descartado, é que 24% gostaram de todas as estações, isso significa que a proposta teve uma boa aceitação.

Já a questão 3, um percentual significativo de 40% foi atribuído à estação C. Isso reflete o que foi observado nas análises das questões 1 e 2, a estação preferida e com menos rejeição, também é considerada a mais útil na absorção do aprendizado.

É possível verificar na questão 4, que a estação A foi a que teve o menor índice de compreensão, com 32%. Já a estação B, 18% dos estudantes acharam a aprendizagem menos proveitosa. O ponto positivo nesta questão é que a estação D com 14%, não foi a menos proveitosa, por ser considerada a estação com maior dificuldade apresentada.

Na quinta questão, observamos que 50% dos estudantes preferem refazer as estações A e D, 24% e 26%, respectivamente. É interessante perceber que as duas estações foram as que os alunos menos gostaram e que houve, segundo eles, os menores aproveitamentos de aprendizagem. Podemos tirar desse resultado que, mesmo sentindo dificuldades, os alunos perceberam a importância dessas estações, e acreditam que refazendo-as, poderiam adquirir o conhecimento desejado

A questão 6 perguntou sobre o porquê preferia refazer a questão anterior, destacamos algumas respostas, de acordo com a quantidade de alunos que a escreveram. Tivemos como respostas: (4) “Porque senti muita dificuldade em entender”, (2) – “Devido o tempo a noite ser muito pouco”, (4) “Porque envolve muitos processos”, (6) “Porque não sou bom de matemática”, (1) “Porque a estação A é demorada”, (6) “Porque tenho muita dificuldade em entender algumas coisas da física”, (1) “Porque não entendi muito sobre desordem”, (2) “Porque entropia é difícil de entender”, (6) “Porque a estação C é muito interessante”, (8) “Todas as estações foram boas”.

Essas respostas deixam claro que, mesmo tendo dificuldades no entendimento ou na matemática ou mesmo considerando uma estação mais demorada, os alunos gostariam de ter a oportunidade de refazê-las.

As questões 7 e 8 se referem aos roteiros das atividades em cada estação, observamos pela questão 7 que, 98% dos alunos consideraram os roteiros claros e de fácil entendimento em todas as estações ou na maioria delas, sendo 72% e 26%, respectivamente. Na questão 8, sobre alguma dificuldade de entender os roteiros das atividades na estação, a maioria respondeu que não teve dificuldades, outros disseram que tiveram dificuldades na estação D devido as questões que envolviam cálculo, outros ainda tiveram dificuldade na estação E por causa da dificuldade em entender o conceito de entropia.

Analisando os percentuais das respostas sobre a questão 9, tivemos aceitação de 98% dos alunos, com 44% considerando satisfeito e 54% como muito satisfeito. Dessa forma, é possível observar que a interatividade remete à importância do papel do professor no processo ensino e aprendizagem ativa, no qual todas as estações deram ênfase ao papel protagonista do estudante ao seu desenvolvimento participativo e reflexivo em todas as etapas do processo.

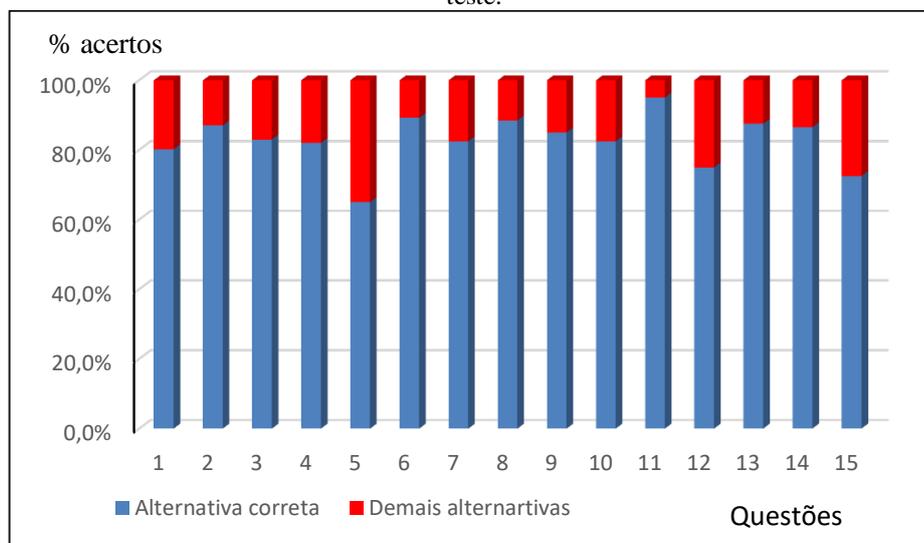
Por isso, essas atividades diferenciadas no contexto escolar precisam ser contínuas e ao mesmo tempo planejadas com objetivos claros.

As satisfações demonstradas na questão 9, contribuíram para a análise da décima questão por revelar que a proposta metodológica rotação por estações ajudou na compreensão e na aquisição dos conteúdos da segunda lei da termodinâmica, que ora era vista como um conteúdo de difícil de compreensão, levando a inúmeras reflexões sobre o fazer pedagógico em sala de aula, principalmente em tempos de pandemia.

5.4 Terceira etapa da pesquisa

Nesta etapa, estão presentes as análises sobre a compreensão dos estudantes, da aplicação da avaliação da aprendizagem pós-teste, tendo como referência os alunos presentes nas atividades. Outro ponto a observar é que o presente questionário tem quinze questões, sendo descritas que serviram como caráter avaliativo dos estudantes no bimestre em que ocorreu a aplicação. A figura 11 mostra os percentuais de acertos e de erros sobre as aprendizagens adquiridas durante o processo. O questionário por completo pode ser visto no Apêndice D desta dissertação.

Figura 11 - Resultados em porcentagem dos resultados obtidos sobre as aprendizagens no questionário pós-teste.



Fonte: Dados da pesquisa.

A análise de cada questão pode ser observada na figura 11, onde as alternativas respondidas de forma correta estão em azul e as incorretas estão em vermelho. Visualmente, é possível perceber que a porcentagem de acertos é maior que as de erros, demonstrando,

através de uma análise mais qualitativa, que a metodologia rotação por estações teve uma resposta positiva, correspondendo com o que se esperava.

Fazendo uma análise individual de cada questão trabalhada, tivemos que a primeira e a segunda questão, que envolvem dois passos para a sua resolução, o primeiro o cálculo do trabalho e o segundo do rendimento, obtiveram uma porcentagem de acertos de 80,2% e 87%, respectivamente. Isso demonstra que a maioria dos estudantes compreenderam como se calcula o trabalho e o rendimento de uma máquina térmica, conforme trabalhado na estação D.

Na terceira questão, foi observado que o percentual de acertos chegou a 83%, o que mostra que a aquisição de conhecimento se deu pelas demonstrações das atividades da estação C, onde foi dado o enfoque teórico e prático do uso de uma bomba de ar pelo professor na mediação, simulando as etapas das transformações presentes.

Observando os resultados da quarta questão, nota-se uma evolução substancial no percentual de acertos quando 82% assinalaram a opção “d” como correta, esse fator pode ser atribuído à mediação pedagógica em todas as estações que tinham como um dos focos principais a explanação consistente das leis de Clausius e Kelvin e Plank.

É possível verificar na questão cinco, que corresponde o sentido dos processos espontâneos, que 65% dos estudantes compreenderam bem sobre o sentido dos processos quando marcaram a opção “c” como correta, mas uma boa parcela ainda não se apropriou desse conhecimento quando assinalaram as opções “a”, “b” e “d”, com 11%, 10% e 14% respectivamente. No entanto, a maioria conseguiu demonstrar que superaram significativamente suas concepções ligadas ao senso comum, quando se trata da entropia e sobre o sentido a qual os eventos acontecem.

Investigando a sexta questão, acreditamos que o percentual de acerto de quase 90% dos estudantes, ocorre devido aos conceitos terem sido discutidos e explanados constantemente no desenvolvimento das atividades nas estações e nas questões que antecedem a esse item, por isso é um saldo positivo, já que demonstra a internalização do conhecimento da temática, provando que os alunos em linhas gerais já distinguem o que cada lei aborda.

A questão 7, envolve o conceito de entropia, onde supomos que os alunos conseguiram ter uma boa assimilação como mostra 82,5% dos acertos, apesar de nunca terem visto a sua.

A questão 7, envolve o conceito de entropia, onde supomos que os alunos conseguiram ter uma boa assimilação como mostra 82,5% dos acertos, apesar de nunca terem

visto a sua abordagem microscopicamente. Já na oitava questão, que trata sobre os processos reversíveis visto na estação A, mesmo tendo proposto itens carregados de senso comum, tivemos uma porcentagem de 88,5% dos alunos marcando a opção correta, letra “d”, mesmo tendo conhecimento de que a estação A foi a que os estudantes menos gostaram, tornando evidente que o conhecimento sobre os processos reversíveis foi adquirido de forma satisfatória.

Na nona questão, com 85% de acerto, conseguimos observar que a maioria dos alunos assimilaram como funciona as máquinas térmicas e quais grandezas físicas estão envolvidas nos processos. Isso mostra a importância da aplicação dessa metodologia, tendo em vista que esses assuntos específicos foram trabalhados nas estações C e D.

Observamos na décima questão, que fala sobre os enunciados da segunda lei da termodinâmica, a opção correta “a” foi assinalada por 82,5% dos alunos. A questão teve como objetivo abordar os conhecimentos obtidos na maioria das estações, e o resultado nos mostrou que o entendimento foi acentuado, permitindo afirmar que os estudantes conseguiram agregar esse conhecimento.

Na décima primeira questão, notamos que aproximadamente 95% dos alunos conhecem a fórmula que calcula a variação de entropia de um sistema. Esses dados revelam uma melhoria sobre o conhecimento das relações que envolve a entropia, como a quantidade de calor pela temperatura, não o cálculo associado diretamente ao senso comum, como “bagunça”, mas como desordem, tal qual mencionando e proposto nas atividades referente a estação E.

A décima segunda, por se tratar de uma questão que completar a frase, percebemos que houve uma compreensão significativa da grandeza entropia, como também a variação da energia interna, e o que significa ser uma função de estado, como mostra uma porcentagem de acerto de 75%.

Notadamente a décima terceira questão apresenta um comando sobre a entropia, observamos que há um percentual de 87,5% de acertos, demonstrando que as dificuldades iniciais observadas na estação E foram sanadas para a maioria dos estudantes.

É possível verificar que na questão 14, os dados percentuais nos apontam um entendimento ao assinalarem a opção “a” como correta para 86,5% dos alunos. Essa questão propôs que os alunos tivessem uma atenção maior sobre leitura e interpretação do texto, sendo um fator determinante para a aquisição do conhecimento sobre os enunciados presentes na segunda lei da termodinâmica.

Na décima quinta questão, observamos que 72,5% dos alunos marcaram a opção correta “c”, porém essa questão apresenta um grau de dificuldade por conter opções muito parecidas, distinguindo-as apenas por uma única palavra. Essa realmente foi a ideia, por perceber que na aplicação, muitos alunos tiveram a percepção de uma temática muito próxima do cotidiano e muito simples, como foi observado quando 18% dos estudantes disseram a estação B, que tratava das transformações irreversíveis, foi a menos proveitosa para a sua aprendizagem.

Considerando a utilização da pesquisa-ação, caracterizada com uma relação estreita entre o pesquisador e os participantes trabalhando em ações de compreensão e resolução do problema, por meio da comunicação, feedback, análise dos obstáculos de aprendizagem na construção do conhecimento sobre a segunda lei da termodinâmica dentro do contexto da sala de aula e fora dela. Observou-se, como mostra os percentuais de acertos no primeiro questionário, com foco no levantamento dos conhecimentos prévios sobre os elementos calor, energia interna e temperatura, que houve uma concretização das premissas presentes na Teoria de Aprendizagem Significativa de David Ausubel, visto que de forma substancial serviram como pontes cognitivas para a aprendizagem, como demonstrado nos índices de acertos nas questões referentes ao terceiro questionário.

A escolha dos instrumentos introdutórios, conforme a teoria de Bruner, com a sequência mais eficiente a ser utilizada, o uso da problematização, experimentação, socialização e aprendizagem por descoberta, mesmo com delineamento da pesquisa centrado no aluno, foi possível observar através do segundo questionário, que a metodologia teve boa aceitação, como mostra os percentuais. Assim, é possível ensinar de forma honesta, como menciona Bruner, mesmo em tempos de pandemia. A pesquisa evidenciou a conquista do conhecimento, haja vista os resultados do terceiro questionário.

CAPÍTULO 6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho descreveu a segunda lei da termodinâmica a partir da metodologia de rotação por estações. Essa metodologia pode ser utilizada como uma ferramenta auxiliar no processo ensino e aprendizagem. Outra importante observação é a respeito da necessidade de mudança metodológica no processo ensino e aprendizagem, por ser uma ferramenta onde foi proposto construir, vivenciar e analisar as contribuições no ensino e na aplicação com uso da metodologia ativa rotação por estações, mediante o uso de tecnologias digitais e impressas. Buscamos prover um ambiente potencializador de conhecimento e aprendizagem, a partir da interação, motivação e dinamicidade entre a proposta e o desenvolvimento das atividades com os alunos.

O Presente prover um ambiente potencializador de conhecimento e aprendizagem, a partir da interação, motivação e dinamicidade entre a proposta e o desenvolvimento das atividades com os alunos. Durante a intervenção didática, estabeleceu-se um diálogo teórico e metodológico sobre as orientações da temática, a partir do livro didático dos alunos. Utilizamos também pesquisas que embasaram e nortearam os passos metodológicos, a fim de minimizar as ideias e raízes sobre não se entender o componente curricular Física, visto que é uma realidade presente entre alunos do Ensino Médio, verificável especialmente no público-alvo da pesquisa.

Tem-se como proposta além de uma dinamicidade aos olhos dos alunos sobre o ensino de Física, também uma inovação metodológica e didática ao desenvolver a temática com fins a uma aprendizagem ativa por via do ensino híbrido.

O ensino híbrido não é uma metodologia educacional contemporânea, haja visto que tem suas matizes na Educação à Distância cujo desenvolvimento iniciou em meados do século XX, no entanto no ano de 2020 com o advento da pandemia do covid-19, muito se trabalhou e tentou uma qualidade no ensino na Educação Básica, por meio do ensino híbrido.

A realidade permitiu enfrentar desafios, medos e percorrer novos caminhos, tendo a tecnologia como aliado. Baseado em competências educacionais, tais como registra a BNCC, o ensino híbrido apresenta múltiplas faces para as metodologias e didáticas, sendo importante ressaltar que apenas o fato de disponibilizar tecnologias aos alunos, não contempla o ensino

híbrido, mas possibilitar caminhar e potencializar o conhecimento com ferramentas que permitem ao professor ensinar e ao aluno aprender.

No desenvolvimento da referida proposta, observou-se a participação e interação ativa dos alunos em todas as atividades nas estações. No entanto algumas equipes apresentaram mais facilidades principalmente nas que culminaram com suas respostas no questionário de avaliação da metodologia aplicada. Assim analisando as falas dos alunos no momento da socialização das atividades propostas em cada estação, pode-se afirmar que eles tornaram-se mais ativos durante a aplicação no que diz respeito experimentação, realização das atividades propostas e discussões coletivas, tornando-se mais interessados e motivados ao conhecimento do conteúdo.

Em relação ao produto educacional, fruto desta dissertação, entende-se que, mesmo sua aplicação ocorrendo de forma híbrida, os desafios foram elementos básicos que contribuíram diretamente com a minha formação, principalmente no tocante às reflexões pedagógicas, metodológicas que considero como aprendizagem simultaneamente significativa para ambos envolvidos no processo. Pois além de demonstrar uma grande aceitação de acordo com as análises do questionário III, servirão como pontes subsunçoras para compreensão das questões que virem posteriormente como critério avaliativo. Em suma o presente produto educacional como proposta de intervenção pedagógica, constitui-se como um recurso didático possível que pode desenvolver os conhecimentos, como também a aceitação maior pelo componente curricular Física em todas as séries do Ensino Médio.

A presente proposta também procurou verificar a ocorrência de uma aprendizagem significativa sobre o ensino da segunda lei da termodinâmica, a partir das estratégias de ensino construtivista utilizando uma linguagem que permitiu ao estudante relacionar o conteúdo aprendido com as situações cotidianas, desde a introdução do conceito de calor e temperatura e outros elementos presentes na primeira lei da termodinâmica, garantindo conhecimento mais eficaz. Assim configura-se uma alternativa possível ao professor de Física do Ensino Médio como ponto de partida para outras experiências ou pesquisas futuras.

Neste sentido, diante de todos os elementos disponíveis para análise sobre a intervenção pedagógica, os dados apresentados sobre as aprendizagens dos estudantes, enfatizou-se a necessidade de reflexão sobre as mudanças no processo ensino e aprendizagem de Física, sobretudo no que diz respeito às metodologias da prática docente. Neste contexto às inevitáveis mudanças em torno das metodologias tradicionais, o professor deve atuar durante a mediação não como detentor do conhecimento e sim com um agente dinâmico da

aprendizagem, proporcionando, sobretudo, autonomia para que os estudantes exerçam seu papel de protagonista na busca da proficiência em conhecimento.

Com essa finalidade a investigação sobre aprendizagem através da rotação por estações se caracteriza como uma eficaz proposta metodológica para o ensino da Física, bem como das demais áreas do conhecimento, permitindo uma adequação dos conteúdos de acordo com a realidade escolar de cada aluno, como também garantir a apropriação de conhecimentos mediante às suas singularidades.

REFERÊNCIAS

- [1] BACICH, L.; TANZI NETO, A; TREVISANI, F. DE M. **Ensino Híbrido: personalização e tecnologia na educação**. Porto Alegre: Penso, 2015.
- [2] BRASIL. Base Nacional Comum Curricular (BNCC): Ensino Médio. Brasília: MEC/Secretaria de Educação Básica, 2018.
- [3] COSTA, E. R.; BORUCHOVITCH, E. Fatores que influenciam o uso de Estratégias de Aprendizagem. **Psico-USF**, v. 5, n. 1, p. 11-24, 2000.
- [4] MOREIRA, M.A. **Aprendizagem significativa crítica. Atas do III Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa**, Lisboa (Peniche), (2000).
- [5] HORN, M. B.; STAKER, H. **Blended: usando a inovação disruptiva para aprimorar a educação**. [Tradução: Maria Cristina Gularte; Revisão técnica: Adolfo Tanzi Neto, Lilian Bacich. Porto Alegre: Penso, 2015.
- [6] MORAN, J. (Orgs.). **Metodologias ativas para uma educação inovadora: uma abordagem teórico-prática**. Porto Alegre: Penso, 2018.
- [7] MORAN, J. Educação Híbrida: um conceito-chave para a educação hoje. *In*: BACICH, L.; TANZI NETO, A.; TREVISANI, F. de M. (Org.). **Ensino Híbrido: personalização e tecnologia na educação**. Porto Alegre: Penso, 2015.
- [8] MORAN, J. M.; MASETTO, M. T.; BEHRENS, M. A. **Novas tecnologias e mediação pedagógica**. 21. ed. Campinas: Papirus, 2013.
- [9] MOREIRA, Marco Antônio. **Aprendizagem significativa: 2. ed**, São Paulo, E.P.U, 1999.
- [10] Moreira, M. A. **Linguagem e aprendizagem significativa**. (2003). Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/~moreira/linguagem.pdf>. Acesso em: jun. 2020.
- [11] Moreira, M.A. **A teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala**. Brasília: Editora da UNB, 2006^a.
- [12] Campo. Bruno de Oliveira. **Utilização de simulações computacionais no ensino de física, na área da termologia**. 84f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Alfenas-MG, Alfenas, 2017.
- [13] CRUZ, C.C.A **Teoria Cognitivista de Ausubel**. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação (online), Unicamp, 2011. Disponível em: <http://www.cielo.br/rbeped/v97n247/2176-6681-rbeped-97-247-00534.9df>. Acesso em: 13 jul. 2020.
- [14] ARAGÃO, Rosália Maria Ribeiro de. **A teoria de aprendizagem significativa de David P. Ausubel: Sistematização dos aspectos teóricos fundamentais**. Tese (Doutorado em Ciências) – Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1976.

- [15] MOREIRA, M. A.; MASSINI, E. F. S. **Aprendizagem significativa**: a teoria de David Ausubel. São Paulo: Centauro, 2006.
- [16] AUSUBEL, D.P.; NOVAK, J.D. e HANESIAN, H. **Psicologia Educacional**. Rio de Janeiro: Editora Interamericana, 1980.
- [17] PAZ. Jailson Cuimar Paz. **Aprendizagem de calorimetria com auxílio de um aplicativo educacional instalado em smartphones**: uma experiência com alunos do terceiro ano do ensino médio. 127f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Instituto de Ciências Exatas - ICE, Mestrado Nacional em Ensino de Física - MNPEF, Marabá, 2019.
- [18] MOREIRA, M.A. **Aprendizagem significativa**: a teoria e texto complementares. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.
- [19] BRUNER, J. **Uma nova teoria de aprendizagem**. Rio de Janeiro: Bloch, 1976. ISBN: 978-85-7648-973-3.
- [20] TIPLER, PAUL A. **Física 1**. Rio de Janeiro. LTC. 1976.
- [21] YOUNG, HUGH D.; FREEDMAN, Roger A. **Física II: Termodinâmica e ondas**. São Paulo: Addison Wesley, 2004.
- [22] NUSSENZVEIG, HERSH MOYSÉS. **Curso de física básica, volume 2**: Fluidos; Oscilações e ondas; Calor. São Paulo. Edgard Blücher. 1996.
- [23] HALLIDAY, David. **Fundamentos de física, volume 2**: gravitação, ondas e termodinâmica. 10. ed. Tradução e revisão técnica: Ronaldo Sérgio de Biasi. Rio de Janeiro: LTC, 2018. 2 v.
- [24] FEYNMAN, Richard P.; LEIGHTON, Robert B.; MATTHEW, Sands. **Lições de física de Feynman** [recurso eletrônico]: edição definitiva. Porto Alegre: Bookman, 2008.
- [25] MICHAEL J. Moran et al. **Princípios de termodinâmica para engenharia**. Rio de Janeiro; LTC, 2013.
- [26] KNIGHT, Randall. **Física 2: Uma abordagem**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.
- [27] YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Reger A. **Física II, Sears e Zemansky: termodinâmica e ondas**. 14. ed. São Paulo: Pearson, 2015.
- [28] ZEMANSKY, Mark. W. **Calor e termodinâmica**. Rio de Janeiro: Guanabara dois S.A, 1978.
- [29] NUSSENZVEIG, M. **Curso de Física básica 2**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2014.
- [30] TIPLER, Paul Allan; MOSCA, Gene. **Física para cientistas e engenheiros**, volume 1: Mecânica, Oscilações e Ondas, Termodinâmica. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009. 2 v.

[31] YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Reger A. **Física 11, Sears e Zemansky: termodinâmica e ondas.** 14. ed. São Paulo: Pearson, 2008.

[32] PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico.** 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

[33] CRESWELL, J. W. W. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto.** 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

[34] BARBIER, René. **A pesquisa-ação.** Brasília: Plano, 2002. Série Pesquisa em Educação, v.3.

[35] THIOLENT, M. **Metodologia da pesquisa-ação.** 14. ed. São Paulo: Cortez, 2005.

APÊNDICE A - PLANO DE AULA

		
PLANO DE AULA		
1 – IDENTIFICAÇÃO		
Tema: O Ensino da segunda lei da termodinâmica via rotação por estações		
Professor: Claudio Alves da Silva		
2 – HABILIDADES		
<ul style="list-style-type: none"> • Habilidade 20 - Compreender - Aplicar o princípio de conservação da energia nas trocas de calor com mudanças de estado físico, nas máquinas mecânicas e a vapor. • Habilidade 21 - Observar - Reconhecer representações adequadas dos ciclos de funcionamento de diferentes máquinas térmicas. • Habilidade 22 - Realizar - Avaliar e comparar a potência e o rendimento de máquinas térmicas a partir de dados reais. • Habilidade 23 - Compreender - Compreender os princípios fundamentais de termodinâmica que norteiam a construção e o funcionamento das máquinas térmicas. 		
3 – POSSIBILIDADES DE PERSONIFICAÇÃO		
<ul style="list-style-type: none"> • As atividades nas estações exploram diversas habilidades, tais como leitura, uso da tecnologia, bem como promover a relação e interação interpessoais. • O aluno pode desenvolver diversas atividades no seu tempo e no ritmo de aprendizagem, mesmo estando em grupo/equipe. 		

4 – METODOLOGIA E ESTRATÉGIA DE ENSINO/AVALIAÇÃO

Consigna Anterior: Problematização para levantamento de conhecimentos prévios através de questionário/ Organizador prévio – Primeira Lei da Termodinâmica.

Consigna inicial: Orientar sobre a realização das atividades em cada estação 15 minutos

Atividades (Estações) - 30 minutos

Estação A - Reversibilidade

Estação B – Transformação Irreversível

Estação C – Máquinas térmicas

Estação D – Resolução de questões objetivas

Estação E – Desordem das moléculas

Papel do professor: Orientar no desenvolvimento da atividade como mediador, acompanhando e registrando as informações relevantes sobre aprendizagens dos alunos. Disponibilizar todos os materiais necessário para realização da atividade proposta na estação.

Papel do aluno: Alunos, resolver a atividade proposta realizando os experimentos, acessar os links disponíveis, usar os recursos disponíveis e fazer as suas anotações, interagir com os colegas dentre outras. Assistir vídeo de apoio a realização da atividade.

Socialização: 1 h/aula - Apresentar para toda a turma sobre as suas aprendizagens, dúvidas e sugestões, da estação a qual iniciou a atividade.

Avaliação: Será durante o desenvolvimento das atividades de forma presencial e através de questionários de forma remota.

5 – RECURSOS DIDÁTICOS

- Papel A4, boas de gude, garrafa pet, lata de refrigerante, freezer, tesoura, bisnagas, caixa de fosforo, livro didático, régua, lápis de cor, smarphone, notebook, pinceis, cola etc.

6 - BIBLIOGRAFIA

- RAMALHO, Junior, Francisco, Os Fundamentos da Física / Francisco Ramalho, Junior, Nicolau Gilberto Ferraro, Paulo Antônio de Toledo Soares. 10. ed. São Paulo: Moderna, 2009.
- SAMPAIO, Jose Luiz. Universo da Física, volume 2: Hidrostática, termologia, Óptica. 2 ed. São Paul: Atual 2005.

APÊNDICE B - QUESTIONARIO I - PRÉVIO SOBRE A PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

O presente questionário, faz parte de uma pesquisa sobre o Ensino de Física do Mestrado Profissional em Ensino de Física - Polo Unifesspa – Marabá – Pará. Seu preenchimento é de suma importância para reflexões sobre os seus conhecimentos prévios do conteúdo a primeira lei da termodinâmica.

1ª (PUCCAMP-SP) Sobre o conceito de calor pode - se afirmar que se trata de uma:

- a) A medida da temperatura do sistema
- b) Forma de energia em trânsito
- c) Substância fluida
- d) Quantidade relacionada com o atrito
- e) Energia que os corpos possuem

GABARITO: B

2ª (OSEC-SP) O fato de o calor passar de um corpo para outro deve-se a:

- a) Quantidade de calor existente em cada um.
- b) Diferença de temperatura entre eles.
- c) Energia cinética total de suas moléculas.
- d) O número de calorías existentes em cada um.
- e) Nada do que se afirmou acima é verdadeiro.

GABARITO: B

3ª A temperatura é uma grandeza física que mede:

- a) O grau de agitação das moléculas;
- b) Calor;
- c) Pressão;
- d) Volume;
- e) Densidade.

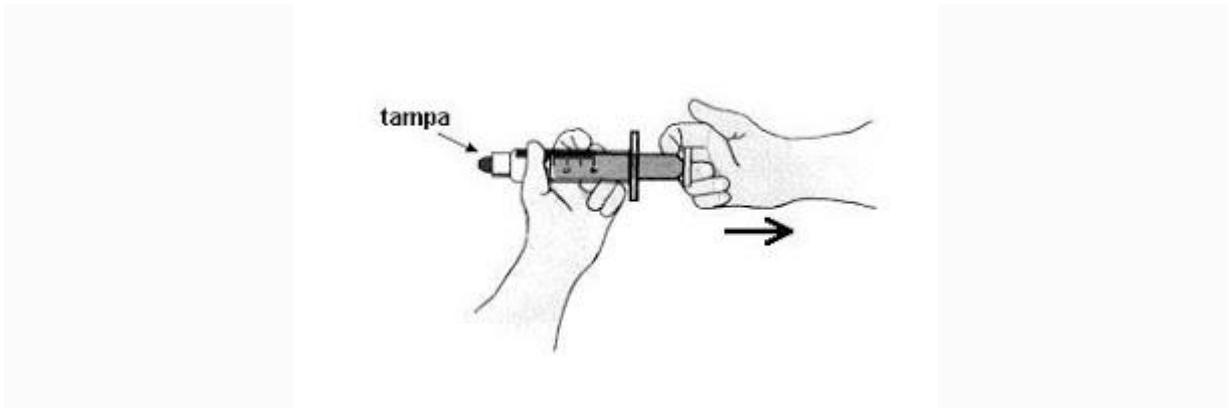
GABARITO: A

4ª (VUNESP) - A Primeira Lei da Termodinâmica diz respeito à

- a) Dilatação térmica.
- b) Conservação da massa.
- c) Conservação da quantidade de movimento.
- d) Conservação da energia.
- e) Irreversibilidade do tempo

GABARITO: D

5ª (UFMG) - Uma seringa, com a extremidade fechada, contém uma certa quantidade de ar em seu interior. Sampaio puxa, rapidamente, o êmbolo dessa seringa, como mostrado nesta figura:



Considere o ar como um gás ideal. Sabe-se que, para um gás ideal, a energia interna é proporcional à sua temperatura. Com base nessas informações, é CORRETO afirmar que, no interior da seringa:

- a) A pressão do ar aumenta e sua temperatura diminui.
- b) A pressão do ar diminui e sua temperatura aumenta.
- c) A pressão e a temperatura do ar aumentam.
- d) A pressão e a temperatura do ar diminuem.
- e) N.D.A

GABARITO: D

6ª Identifique a afirmativa INCORRETA:

- a) Em uma transformação isotérmica o calor absorvido pelo gás é igual ao trabalho que o gás realiza sobre o ambiente;
- b) Em uma transformação isovolumétrica não há realização de trabalho;
- c) Em uma expansão adiabática o gás absorve calor do ambiente;
- d) Em uma compressão adiabática a temperatura do gás aumenta;
- e) Em uma expansão adiabática a energia interna diminui.

GABARITO: C

7ª (UECE) Do ponto de vista da primeira lei da termodinâmica, o balanço de energia de um dado sistema é dado em termos de três grandezas:

- a) Pressão, volume e temperatura.
- b) Calor, energia interna e volume.
- c) Trabalho, calor e energia interna.
- d) Trabalho, calor e densidade.
- e) Calor, balanço energético e energia interna

GABARITO: C

8ª (UFV-MG) Quando dois corpos de materiais diferentes estão em equilíbrio térmico, isolados do meio ambiente, pode-se afirmar que:

- a) O mais quente é o que possui menor massa.
- b) Apesar do contato, suas temperaturas não variam.
- c) O mais quente fornece calor ao mais frio.

- d) O mais frio fornece calor ao mais quente.
 e) Suas temperaturas dependem de suas densidades.

GABARITO: B

9ª (UFLA-MG) - Numa transformação gasosa reversível, a variação da energia interna é de +300 J. Houve compressão e o trabalho realizado pela força de pressão do gás é, em módulo, 200 J. Então, é verdade que o sistema:

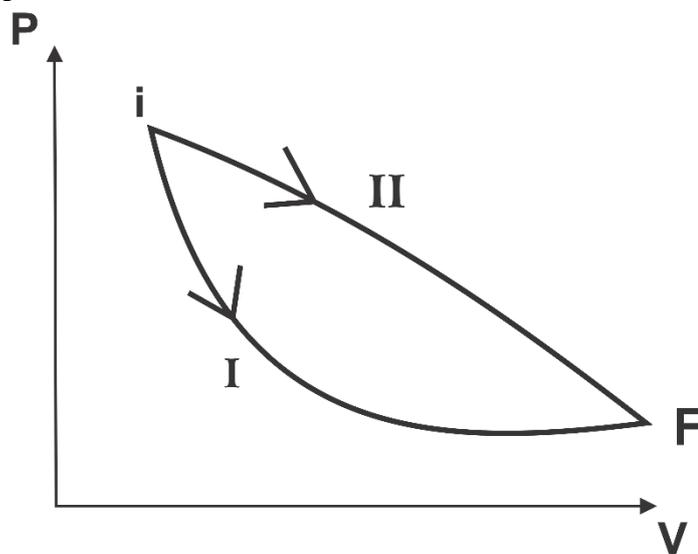
- a) Cedeu 500 J de calor ao meio
 b) Cedeu 100 J de calor ao meio
 c) Recebeu 500 J de calor do meio
 d) Recebeu 100 J de calor do meio
 e) Sofreu uma transformação adiabática

GABARITO: D

10ª (UFRGS 2017) - Observe a figura abaixo.

A figura mostra dois processos, I e II, em um diagrama pressão (P) x volume (V) ao longo dos quais um gás ideal pode ser levado do estado inicial i para o estado final f. Assinale a alternativa que preenche corretamente as lacunas do enunciado abaixo, na ordem em que aparecem. De acordo com a 1ª Lei da Termodinâmica, a variação da energia interna é nos dois processos. O trabalho W_I realizado no processo I é que o trabalho W_{II} realizado no processo II.

- a) Igual – maior
 b) Igual – menor
 c) Igual – igual
 d) Diferente – maior
 e) Diferente – menor



GABARITO: B

**APÊNDICE C - QUESTIONARIO III - AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DA
METODOLOGIA ROTAÇÃO POR ESTAÇÃO – ALUNO**

O presente questionário tem como objetivo, avaliar a utilização da metodologia ativa de aprendizagem rotação por estação, no ensino da segunda lei da termodinâmica.

1ª Qual das estações desenvolvidas você mais gostou?

- a) Estação A – Reversibilidade;
- b) Estação B – Transformação Irreversível;
- c) Estação C – Máquinas Térmicas;
- d) Estação D – Questões Objetivas;
- e) Estação E - Desordem das Moléculas;
- f) Não gostei das estações propostas.

2ª Qual das estações desenvolvidas você menos gostou?

- a) Estação A – Reversibilidade;
- b) Estação B – Transformação Irreversível;
- c) Estação C – Máquinas Térmicas;
- d) Estação D – Questões Objetivas;
- e) Estação E - Desordem das Moléculas;
- f) Gostei de todas as estações.

3ª Qual das estações abaixo você considera que foi mais útil para a sua aprendizagem?

- a) Estação A – Reversibilidade;
- b) Estação B – Transformação Irreversível;
- c) Estação C – Máquinas Térmicas;
- d) Estação D – Questões Objetivas;
- e) Estação E - Desordem das Moléculas;
- f) Nenhuma das estações.

4ª Qual das estações abaixo foi menos proveitosa para a sua aprendizagem?

- a) Estação A – Reversibilidade;
- b) Estação B – Transformação Irreversível;
- c) Estação C – Máquinas Térmicas;
- d) Estação D – Questões Objetivas;
- e) Estação E - Desordem das Moléculas;
- f) Nenhuma das estações.

5ª Se você tivesse que escolher uma estação para refazer para melhoria da aquisição do conhecimento. Qual você escolheria?

- a) Estação A – Reversibilidade;

- b) Estação B – Transformação Irreversível;
- c) Estação C – Máquinas Térmicas;
- d) Estação D – Questões Objetivas;
- e) Estação E - Desordem das Moléculas;
- f) Nenhuma das estações.

6ª Com relação a questão anterior. Por quê?

7ª Os roteiros das atividades em cada estação proposta estavam claros e de fácil entendimento?

- a) Sim
- b) Não
- c) Na maioria das estações
- d) Em nenhuma das estações.

8ª Você teve dificuldade de entender algum roteiro proposto nas estações? Se sim qual?

9ª Com relação a aula utilizando a rotação nas estações. Sobre a sua aprendizagem você considera?

- a) Muito insatisfeito;
- b) Insatisfeito;
- c) Satisfeito;
- d) Muito satisfeito.

10ª Qual a sua opinião sobre a proposta rotação por estação? Você considera que essa metodologia contribuiu para aprendizagem da segunda lei da termodinâmica?

APÊNDECE D - QUESTIONARIO IV - AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM – PÓS – TESTE

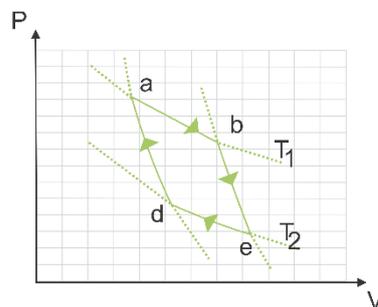
1ª Uma máquina térmica, em cada ciclo, rejeita para a fonte fria 240 joules dos 300 joules que retirou da fonte quente. Determine o trabalho obtido por ciclo nessa máquina e o seu rendimento.

- a) 48%
- b) 10%
- c) 15%
- d) 30%
- e) 20%

2ª Um técnico de manutenção de máquinas pôs para funcionar um motor térmico que executa 20 ciclos por segundo. Considerando-se que, em cada ciclo, o motor retira uma quantidade de calor de 1 200 J de uma fonte quente e cede 800 J a uma fonte fria, é correto afirmar que o rendimento de cada ciclo é:

- a) 13,3%
- b) 23,3%
- c) 33,3%
- d) 43,3%
- e) 53,3%

3ª O ciclo de Carnot, de importância fundamental na termodinâmica, é constituído por um conjunto de transformações definidas. Num diagrama ($p \times V$), você esboçaria esse ciclo usando:



- a) uma isotérmica, uma isobárica, uma adiabática e uma isocórica.
- b) duas isotérmicas e duas adiabáticas.
- c) duas isobáricas e duas isocóricas.
- d) duas isobáricas e duas isotérmicas.
- e) uma isocórica, uma isotérmica e uma isobárica.

4ª Com base nas leis da termodinâmica, analise as afirmativas, a seguir.

I. Existem algumas máquinas térmicas que, operando em ciclos, retiram energia na forma de calor de uma fonte, transformando-a integralmente em trabalho.

II. Não existe transferência de calor de forma espontânea de um corpo de temperatura menor para outro de temperatura maior.

III. Refrigeradores são dispositivos, que transferem energia na forma de calor de um sistema de menor temperatura para outro de maior temperatura.

Está(ão) correta(s):

- a) Apenas I.
- b) Apenas II.
- c) Apenas I e III.
- d) Apenas II e III.
- e) I, II e III.

5ª Imagine um sistema termicamente isolado, composto por cilindros conectados por uma válvula, inicialmente fechada. Um dos cilindros contém um gás perfeito, mantido à pressão de 1 atm, e no outro, tem-se vácuo. Abrindo-se a válvula

- a) o gás se expande e, assim, sua temperatura diminui.
- b) a entropia do sistema se mantém constante, pois não há troca de calor.
- c) a entropia do sistema aumenta, porque o processo é irreversível.
- d) a energia interna do gás diminui, porque sua pressão diminui.
- e) a entropia do sistema aumenta, porque o processo é reversível.

6ª Diferentemente da dinâmica newtoniana, que não distingue passado e futuro, a direção temporal tem papel marcante no nosso dia. Assim, por exemplo, ao aquecer uma parte de um corpo macroscópico e o isolarmos termicamente, a temperatura deste se torna gradualmente uniforme, jamais se observando o contrário, o que indica a direcionalidade do tempo. Diz-se então que os processos macroscópicos são irreversíveis, evoluem do passado para o futuro e exibem o que o famoso cosmólogo Sir Arthur Eddington denominou de seta do tempo. A lei física que melhor traduz o tema do texto é:

- a) a segunda lei de Newton.
- b) a segunda lei da termodinâmica.
- c) a lei de conservação da energia.
- d) a lei zero da termodinâmica.

e) a lei de conservação da quantidade de movimento.

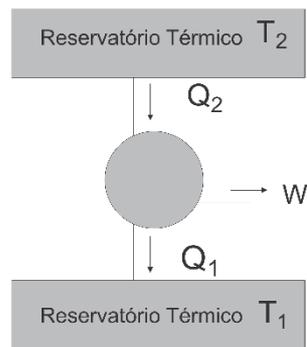
7ª Todos os anos, diversos pedidos de patentes de novas máquinas são rejeitados por violarem as Leis da Termodinâmica. Em particular, o conceito de entropia é frequentemente o ponto central da falha dos projetos dessas máquinas, o que demonstra a importância da entropia. Considerando o conceito de entropia, identifique a afirmativa incorreta:

- a) A reversibilidade de um processo termodinâmico é uma consequência do aumento da entropia.
- b) Alguns processos termodinâmicos, mesmo quando há conservação da energia, não são possíveis, pois fazem a entropia do universo diminuir.
- c) A entropia é uma medida da desordem do sistema.
- d) Quanto maior o número de estados acessíveis a um sistema, maior será a entropia desse sistema.
- e) De acordo com a segunda Lei da Termodinâmica, a entropia de um sistema fechado nunca decresce.

8ª Quais dos fenômenos descritos abaixo existem algum que seja reversível através de uma ação humana?

- a) A queima de um pedaço de lenha seca.
- b) Quebra de um copo de vidro;
- c) A mistura de água com tinta;
- d) Pessoa andando em uma esteira de ginástica;
- e) Derretimento de um cubo de gelo;

9ª Na primeira fase da [revolução industrial](#), o processo de exploração do carvão, na Inglaterra, foi melhorado com a utilização de máquinas a vapor, para retirar a [água](#) acumulada nas minas. Considere uma máquina a vapor representada pelo esquema seguinte:



Q_2 é a energia retirada do reservatório de maior temperatura (T_2) a cada ciclo. Q_1 é a energia cedida ao reservatório de menor temperatura (T_1). W é a energia associada ao trabalho da máquina sobre a vizinhança. Então, analise as afirmativas:

- I. Pela primeira lei da Termodinâmica, em valores absolutos, $Q_1 + Q_2 = W$.
 - II. Se o esquema representa uma máquina reversível, o ciclo termodinâmico realizado pela substância de trabalho é formado por duas isotermas e duas adiabáticas.
 - III. Como o reservatório de temperatura mais alta perde energia e o reservatório de temperatura mais baixa ganha energia, T_2 diminui e T_1 aumenta; por isso o rendimento diminui com o tempo. Está (ão) correta(s)
- a) Apenas I.
 - b) Apenas II.
 - c) Apenas III.
 - d) Apenas I e II.
 - e) Apenas II e III.

10ª A Segunda Lei da Termodinâmica, estabelecida por Clausius, pode ser enunciada da seguinte forma: “O calor não passa espontaneamente de um corpo para outro de temperatura mais alta”. Poderíamos, assim como fizeram Kelvin e Planck, enunciar corretamente essa lei da seguinte maneira:

- a) “É impossível construir uma máquina térmica operando em ciclos cujo único efeito seja retirar calor de uma fonte e convertê-lo integralmente em trabalho.”
- b) “A entropia decresce nas transformações reversíveis”.
- c) “Para que uma máquina térmica consiga converter calor em trabalho, deve operar em ciclos entre fontes à mesma temperatura”.

d) “Somente quando há duas fontes de calor, um quente e uma fria, o calor pode ser completamente convertido em trabalho”.

e) “É possível construir uma máquina de motor perpétuo, desde que se reduzam as perdas, igualando à entropia a zero.”

11ª Qual das relações abaixo define-se a variação de entropia de um sistema?

a) $\Delta V/\Delta T$

b) $\Delta Q/T$

c) $\Delta S/W$

d) $\Delta V/W$

e) $\Delta S/\Delta Q$

12. Complete a frase:

A _____, do mesmo modo que a variação de energia interna ΔU , é uma função de _____, dependendo apenas dos estados inicial e final do sistema, e não das particulares transformações que levam o sistema de um estado ao outro.

a) Variação de entropia/ estado

b) Variação de entropia/momento

c) Energia interna/ estado

d) Energia interna/momento

e) Variação de entropia/estado inicial

13. Com relação a desordem das moléculas, quais das frases abaixo melhor define esse fenômeno?

a) Em todo os fenômenos naturais, a tendência é uma evolução para um estado de menor desordem;

b) Em todo os fenômenos naturais, a tendência é uma evolução para um estado de igual desordem;

c) Em todo os fenômenos naturais, a tendência é uma evolução para um estado de constante desordem;

d) Em todo os fenômenos naturais, a tendência é uma evolução para um estado de não desordem;

e) Em todo os fenômenos naturais, a tendência é uma evolução para um estado de maior desordem.

14ª A **Segunda Lei da Termodinâmica**, teve vários enunciados, que os físicos mostraram ser equivalentes. O primeiro enunciado foi feito pelo alemão Rudolf Emanuel Clausius (1822-1888), em 1850. Qual das opções abaixo melhor define o presente enunciado:

- a) O calor flui espontaneamente de um corpo quente para um corpo frio. O inverso só ocorre com a realização de trabalho sem variação de temperatura.
- b) O calor flui espontaneamente de um corpo frio para um corpo quente. O inverso não acontece com a realização de trabalho.
- c) O calor flui espontaneamente de um corpo quente para um corpo frio. O inverso só ocorre com a conversão integralmente em trabalho.
- d) O calor flui espontaneamente de um corpo quente para um corpo frio. O inverso só ocorre com a realização de trabalho.
- e) O calor flui espontaneamente de um corpo quente para um corpo frio. O inverso só ocorre com a realização de trabalho em estado de equilíbrio.

15. Qual das opções abaixo melhor define um processo irreversível?

- a) É aquele em que um sistema, uma vez atingido o estado final de equilíbrio, retorna ao estado inicial ou a quaisquer estados intermediários sem a ação de agentes externos.
- b) É aquele em que um sistema, uma vez atingido o estado final de equilíbrio, não retorna ao estado inicial ou a quaisquer estados intermediários com a ação de agentes externos.
- c) É aquele em que um sistema, uma vez atingido o estado final de equilíbrio, não retorna ao estado inicial ou a quaisquer estados intermediários sem a ação de agentes externos.
- d) É aquele em que um sistema, uma vez não atingidos o estado final de equilíbrio, retorna ao estado inicial ou a quaisquer estados intermediários sem a ação de agentes externos.
- e) N.d.a

Gabarito

01 – E	08 - D	15 - C
02 – C	09 – B	
03 - B	10 - A	
04 – D	11- B	
05 – C	12 - A	
06 – B	13 - E	
07 – C	14 - A	



UNIFESSPA

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE
FÍSICA**

CLAUDIO ALVES DA SILVA

**ESTUDO DA SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA VIA ROTAÇÃO POR
ESTAÇÕES**

**MARABÁ (PA)
2020**

PRODUTO EDUCACIONAL
ESTUDO DA SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA VIA ROTAÇÃO POR ESTAÇÕES

CLÁUDIO ALVES DA SILVA

Este Produto Educacional compõe o trabalho de Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Jeânderson de Melo Dantas

MARABÁ (PA)
2020

ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Calor passa espontaneamente do corpo quente para o corpo frio.....	8
Figura 2 - Transformação isotérmica reversível.....	11
Figura 3 - Na expansão livre de um gás perfeito, há aumento de entropia.	12
Figura 4 - Máquinas térmicas	15
Figura 5 - Motor de explosão de quatro tempos.....	16
Figura 6 - Gráfico $p \times v$ representado reversível ciclo de Carnot formado por duas transformações isotérmicas e duas adiabáticas.....	17
Figura 7 - Representação das transformações durante o ciclo de Carnot.....	18
Figura 8 - Diagrama esquemático de um fluxo de energia de um refrigerador.....	20
Figura 9 - Diagrama do princípio de funcionamento o ciclo de um refrigerador.....	21
Figura 10 - Estados físicos da água.	24
Figura 11 - Material de montagem de experimento com garrafa pet, mangueira e bolinhas de gude.	26
Figura 12 - Máquina a vapor.	28
Figura 13 - Misturas de tintas com água a partir de estado de baixa entropia.	32
Figura 14 – Compartimentos coletados e abertos na divisória central.	32

SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO	5
2 INTRODUÇÃO	6
3 SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA.....	8
3.1 Transformações reversíveis	9
3.2 Transformações irreversíveis.....	11
3.3 Entropia	12
3.4 Máquinas térmicas.....	14
3.5 Ciclo de Carnot.....	17
4 DESCRIÇÃO METODOLÓGICA.....	21
4.1 Metodologia rotação por estações	23
REFERÊNCIAS	34

1 APRESENTAÇÃO

O presente Produto Educacional foi idealizado para oferecer possibilidades pedagógicas ao professor de física da educação básica em especial aos que atuam na segunda série do Ensino Médio, e ao mesmo tempo incentivá-lo a construir metodologias possíveis que explorem o ensino de termodinâmica em todos os turnos a partir do ensino híbrido e personalização.

Porém, caso você prefira ensinar os conceitos introdutórios ou aprofundados dos temas abordados de forma dinâmica e criativa este é o produto ideal para você.

Portanto, se sua intenção é a aquisição de material didático na área de física sobre a segunda lei da termodinâmica, você vai encontrar textos, experimentos, lista de atividades com desafios de forma dinâmica que agregam conhecimentos que proporciona ao mesmo tempo a possibilidade de pesquisas futuras no campo da investigação de qualidade.

Caso você busque uma estratégia metodológica que facilite a preparação de suas aulas, apresentamos uma metodologia inovadora, considerada uma metodologia ativa de aprendizagem na perspectiva do ensino híbrido e aprendizagem significativa de David Ausubel (1968), Jerome Bruner (1976).

Em linhas gerais, a metodologia que propomos aqui é a Rotação por Estações, que é uma excelente alternativa pedagógica com o uso ou não das tecnologias, que pode se adequar a qualquer área do conhecimento onde os alunos são estimulados a fazerem parte de todo o processo, desenvolvendo sua autonomia através da interação e produção de conhecimentos. Entretanto este produto educacional foi aplicado em uma escola da rede estadual de ensino em uma cidade do interior do estado do Maranhão, que despertou o interesse pela temática, e ao mesmo tempo proporcionou novos momentos de aprendizagem além das aulas tradicionais, onde a participação, interação no desenvolvimento de cada estação evidenciou a qualificação de pensamento e aprendizagem significativa.

Desejamos a todos, que este Produto Educacional seja útil para a inovação em sua prática docente em sala de aula!

2 INTRODUÇÃO

A procura de uma prática pedagógica, direcionada para a uma aprendizagem significativa, fundamenta-se pela crescente necessidade ou insatisfação dos paradigmas utilizados no ensino em sala de aula, que se restringe na maioria das vezes no repasse de conteúdos de forma mecânica priorizando apenas a memorização, e ao mesmo tempo, tornando o aluno um sujeito passivo, que não participa da construção do seu conhecimento, ao invés de dar lugar a uma aprendizagem que estimule essa construção, onde o aluno participe ativamente do processo ensino aprendizagem, interagindo com o objeto de conhecimento para apropriação de saberes. Neste sentido se faz necessário as considerações prévias dos alunos durante o processo que possa representar um foco e significado no que se deseja aprender [1].

Entretanto as abordagens, com uso de metodologias tradicionais no ensino da física térmica, em particular da primeira e segunda lei da termodinâmica, têm sido basicamente macroscópicas, o que tem contribuído para maiores dificuldades de compreensão, principalmente na segunda lei da termodinâmica, por considerar que depende de elementos grandes para o seu entendimento. Vale ressaltar que no ensino médio há inúmeras propostas ou sequências didáticas que abordem a real presença da segunda lei da termodinâmica e aplicabilidade de máquinas térmicas. Diante desse paradigma, a apresentação de metodologias ativas de aprendizagem são elementos de pesquisa em ensino que visam promover uma melhor aquisição do conhecimento de forma simples e dinâmica que contribuirá para algumas soluções relacionadas aos problemas supracitados no ensino de física, sobretudo no contexto das novas tecnologias.

A proposta apresentada a seguir, utiliza uma abordagem da termodinâmica, por meio da metodologia ativa denominada *rotações por estações*, com foco no ensino da segunda lei da termodinâmica, em rotações que propõe compreensão através de experimentos, socialização e questionário final com o propósito de mensurar as aprendizagens adquiridas. Diante dessa metodologia, acredita-se que além de melhorar o entendimento e a compreensão dessa temática, minimiza-se as principais dificuldades encontradas pelos estudantes. Nesta ótica, os conceitos relacionados à reversibilidade, irreversibilidade, seta do tempo, ciclo de Carnot e máquinas térmicas, serão explorados no desenvolvimento da proposta que metodologicamente sincronizará cada atividade realizada.

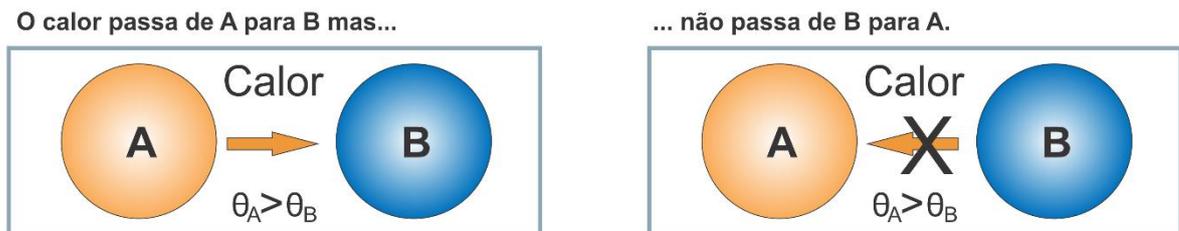
Acredita-se que essa abordagem permite explicar os fenômenos térmicos, a partir de experimentos de baixo custo com materiais ligados ao cotidiano dos alunos. Vale ressaltar que todas as atividades das estações requerem os conhecimentos prévios dos alunos, de modo que

toda a proposta está fundamentada na Teoria da Aprendizagem de Bruner, mesmo que a fundamentação teórica da metodologia rotação por estações não exija do conhecimento prévio de uma estação para outra. Na verdade, o que se espera é uma abordagem ampla de todo o conteúdo, de maneira prática e possível em sala de aula. Além de criar a possibilidade de pesquisas futuras.

3 SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA

De acordo com o estudo da primeira lei da termodinâmica, em todas as transformações naturais, não há restrições à cerca do sentido que as transformações podem ocorrer, uma vez que a energia total permanece constante, fundamentada pelo princípio da conservação da energia em todo o processo. Assim, muitos fenômenos que são possíveis de acordo com a primeira lei, tornam-se impossíveis ocorrer de acordo com a segunda lei, pois ela impõe certas limitações, e existe a necessidade de outros mecanismos que contribui para a efetiva ocorrência. Neste sentido, a segunda lei se apresenta, tendendo para um estado de equilíbrio térmico de acordo com um sentido preferencial, em que a temperatura de um corpo de maior temperatura flui espontaneamente para o de menor temperatura, e o processo inverso não acontece, isso levou Clausius ao anúncio da segunda lei, onde o calor não passa espontaneamente de um corpo para o outro de temperatura mais alta [2], conforme visto na figura a seguir.

Figura 1 - Calor passa espontaneamente do corpo quente para o corpo frio



Fonte: Retirado de Ramalho, Nicolau, Toledo, 2009, p.197.

Conforme enunciado por Clausius “O calor flui espontaneamente de um corpo quente para um corpo frio. O inverso só ocorre com a realização de trabalho”, o calor sendo uma forma de energia inferior (energia degradada), sua convenção em outra forma de energia não é um processo simples, embora estabelecida essa possibilidade na primeira lei. Assim Lord Kelvin e Max Plank (1848-1947), enunciaram logo depois a segunda lei como “É possível construir uma máquina, operando em ciclos, cujo único efeito seja retirar calor de uma fonte e convertê-lo integralmente em trabalho”. Como se pode observar no estudo das máquinas térmicas, chamando a atenção dos físicos em relação a uma série de transformações que nunca irão ocorrer, embora esta não viole as Leis da Conservação de energia [2].

Conforme Sampaio e Calçada [3], entre as transformações que foram consideradas “proibidas “do ponto de vista físico, está a passagem espontânea de calor de um corpo frio

para um corpo quente, sendo que tal fenômeno sempre ocorrer de modo inverso. Entre os exemplos é possível citar: as máquinas frigoríficas, na qual a passagem de calor da região fria (congelador) em direção a região quente (ar externo). Portanto se sabe que essa passagem não foi espontânea, nesse caso houve a realização de trabalho.

No processo de construção de máquinas térmicas, percebeu-se a necessidade de haver duas fontes a temperaturas distintas, de modo que uma parte do calor retirado da fonte quente é rejeitada para a fonte fria. Entende-se que não se consegue transformar em trabalho todo o calor retirado da fonte quente, porém o processo inverso a este é possível, ou seja, a transformação integral do trabalho em calor, semelhante ao que acontece nas câmaras frigoríficas [3].

Essas “proibições” assim chamadas foram transformadas em lei, ocasionando assim a formulação da Segunda Lei da Termodinâmica, embora que ao longo dos séculos ocorreram muitas reformulações dentro dela, na qual os estudiosos mostraram ser equivalentes.

A segunda Lei da Termodinâmica é a que tem maior aplicabilidade, pois na Revolução Industrial, uma das consequências diretas, possível de apontar, foi a construção de máquinas e a sua utilização na indústria, trazendo grandes impactos socioeconômico e ambiental [4]. A partir dos estudos de Sadi Carnot (1796-1832), esta Lei alcançou validade científica, os estudos desenvolvidos por este físico francês se estabeleciam na possibilidade de aumentar a eficiência das máquinas. Ao longo dos anos, tanto físicos, como outros cientistas, foram percebendo que havia uma relação entre a segunda Lei da termodinâmica e os conceitos de reversibilidade e desordem [3].

3.1 Transformações reversíveis

Existem transformações que podem acontecer em ambos os sentidos, às vezes nem se pensa em sua ocorrência no sentido inverso. Nesta ótica, destacam-se como transformações reversíveis aquelas que podemos inverter o processo, voltando a seu estado inicial. Alguns exemplos como: o ar comprimido dentro de uma seringa, ao comprimir bem devagar e depois soltarmos, o gás se expande e volta ao estado inicial, a descida de um cubo em um plano inclinado na presença de uma mola que ao tocá-la retorna a seu estado de origem do movimento. No entanto, essas transformações são unicamente mecânicas, realizam-se sem considerar os atritos produzidos pelo contato nas superfícies, e considerando os eventos [2].

Considerando a situação de um cubo de massa M , na base do plano inclinado e uma mola considerada ideal na outra extremidade, o cubo ao deslizar sem considerar a resistência

por atrito irá chocar-se com a mola e voltará a sua posição inicial, conclui-se que esse fenômeno é um processo reversível [2].

Um processo reversível pode ser definido como algo que pode ser invertido sem deixar nenhum vestígio no ambiente. Ou seja, tanto o sistema, quanto o ambiente, são devolvidos ao seu estado inicial, no final do processo inverso. Na verdade, esse tipo de processo não ocorre na natureza, eles são apenas idealizações de processos reais, ou que também podem ser aproximados por dispositivos reais, mas eles nunca podem ser realizados [4].

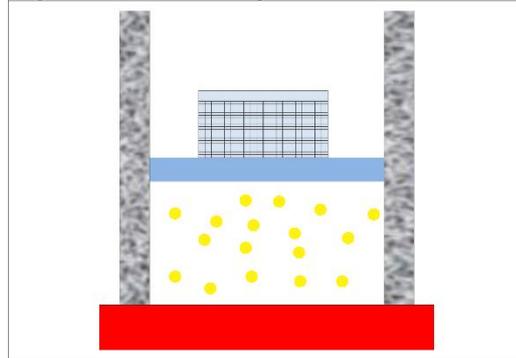
Em sentido específico, os processos reversíveis podem ser aplicados ao que não acarretam aumento de entropia. Nos sistemas termodinâmicos isolados, a reversibilidade está relacionada com a capacidade de um sistema termodinâmico macroscópico ou microscópico sofrer alterações físicas, ou químicas, sem que estas alterações impliquem um aumento da entropia (desordem) do sistema, sendo assim sempre possível voltar-se ao estado anterior à transformação uma vez revertida as condições que implicaram tal transformação [5].

Em sentido geral, a "reversibilidade" aplica-se a sistemas com fronteiras permeáveis – fechados ou mesmo abertos - nos quais os estados A e B diferem de tal forma que, o estado B retém em si todas as condições necessárias para que o estado A mostre-se novamente acessível, uma vez invertido o processo que afrouxou as restrições que impediam a transformação de A para B, geralmente espontânea [5].

Para considerar um processo reversível é preciso observar as seguintes condições segundo Tiple [6]:

- 1º Não deve se haver trabalho realizado pelo atrito, por forças de viscosidade ou por outras forças dissipativas que produzem calor;
- 2º Não deve haver condução de calor devido a diferença de temperaturas;
- 3º O processo deve ser quase estático, de modo que o sistema esteja sempre num estado infinitamente próximo do estado de equilíbrio;

Fazendo uma análise das condições acima, podemos observar que os processos reversíveis são praticamente impossíveis de acontecer de fato, devido a problemas de não termos um processo que atenda todas essas condições. Mesmo com essa dificuldade de acontecimentos, é importante estudarmos os processos reversíveis para acharmos as variações das variáveis termodinâmicas entre o estado final e inicial de cada sistema estudado como, por exemplo, o atrito de um cilindro com relação as suas paredes que é considerada desprezível conforme figura abaixo [7].

Figura 2 - Transformação isotérmica reversível

Fonte: Retirado de Gregio, 2016, p. 32.

Existe uma variedade de exemplos clássicos que remetem na aplicabilidade dos processos reversíveis, entre eles é possível citar o processo de carga e descarga das pilhas recarregáveis (baterias). Quando contrastado ao processo irreversível atrelado às pilhas comuns não recarregáveis, outro exemplo típico de reversibilidade são os materiais elásticos que podem variar seu estado de deformação e tensão sob a ação de certas forças e voltar a seu estado inicial quando as forças deixam de atuar sobre o material.

Diante dos resultados empíricos, a definição de reversibilidade associar-se-ia a rigor à definição em sentido específico ora, apresentada, sendo esta, entretanto irreal, visto que na prática não ocorrem processo completamente reversíveis, que estejam em acordo com a forma exata com a definição estrita, embora que processos muito próximos a estes possam ser verificados. Na prática, verificam-se apenas os processos que concordam com a definição em sentido lato de "reversibilidade". Portanto, se fala em transformações de processos quase estáticos, ou ainda processos quase reversíveis [2].

3.2 Transformações irreversíveis

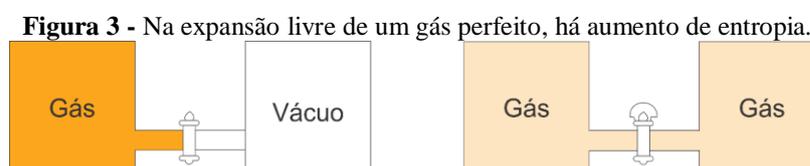
Segundo Dourado, Marchiori [4], a irreversibilidade é entendida como uma manifestação de um processo físico real, a qual entende-se a impossibilidade de ocorrência no sentido inverso ao sentido temporal original. A exemplo é possível citar a impossibilidade de transferência de calor espontaneamente de um corpo frio para um corpo quente. A natureza é repleta de processos irreversíveis e eles são muito mais comuns do que os processos reversíveis. Estes últimos, por sua vez, são raros e dependem de condições muito singulares para ocorrerem, assim define. No entanto, mesmo diante da natureza irreversível da dinâmica

de sistemas reais, toda a teoria da termodinâmica clássica ensinada está baseada na hipótese de equilíbrio e reversibilidade destes processos.

De acordo com o princípio fundamental da natureza com relação à conservação de energia, “energia não se cria, não se perde, ela se transforma”, processos que não violam esse princípio são chamados processos irreversíveis, e por obedecer a tal princípio as suas transformações sofrerão somente em um único sentido. Em outras palavras, nos processos irreversíveis, naturalmente o inverso não ocorre, por exemplo: Quebra de um copo de vidro, a mistura de água com tinta, o derretimento de um cubo de gelo, a queima de um pedaço de lenha seca, a junção das moléculas de um gás após o estouro de um balão etc., tais processos são impossíveis voltarem ao seu estado inicial. Outra situação considera-se que sua inversão só ocorrerá através de agentes externos mais complexos que envolve modificações nos corpos, exemplificando hipoteticamente a situação de quando retiramos uma pedra de gelo de um congelador e expomos a uma temperatura elevada para que se tenha a água através da fusão, fenômeno este que acontece espontaneamente, para que aconteça o processo inverso necessariamente precisamos retirar o calor dessa água colocando novamente no interior do congelador que através dessa ação do agente externo, será possível em condições normais retornar a temperatura de 0°C [2].

3.3 Entropia

De acordo com o Sistema Internacional de Unidades (SI), a unidade de variação de entropia é Joule por Kelvin (Símbolo: J/K). A variação de entropia é da mesma forma que a variação de energia interna ΔU , é uma função de estado, assim como energia, pressão e temperatura, ou seja, não dependendo das particularidades das transformações que deslocam de um estado para o outro, e sim do estado inicial e final durante a transformação, porém, essa denotação só será visível através de experimentos, por exemplo, a passagem de um gás ideal por um processo reversível. Assim, a definição acima é válida para a transformação reversível, pois na transformação irreversível é feito de modo indireto como mostra a figura abaixo [2].



Fonte: Retirado de Ramalho, Nicolau, Toledo, 2009, p.207.

Através da variação da grandeza entropia é possível definir se um processo é reversível ou irreversível. No estudo da termodinâmica, sabemos que é impossível transformar todo o calor trocado em um processo de trabalho. Neste sentido, diante dessa ocorrência nos sistemas termodinâmicos, uma parte da energia sempre no final do processo se transforma em formas menos úteis ou desorganizadas. Assim, em uma transformação natural, várias formas de energia se convertem em calor, ou seja, ao mesmo tempo a energia total do sistema tende a aumentar sua ineficácia e, conseqüentemente, há um aumento de sua entropia [2].

De acordo com Hallyday [8], a entropia se diferencia de energia, pois não obedece a uma lei de conservação, assim, entende-se que a energia em um sistema fechado é conservada, permanecendo constante. Já nos processos irreversíveis, a entropia aumenta em um sistema fechado. Por consequência dessa propriedade, a variação de entropia é conhecida às vezes como “Seta do tempo” e isso é observado em várias ações do cotidiano, como a explosão de um milho de pipoca no sentido positivo do tempo, ou seja, um aumento de entropia, ou um filme passado do final para o início, no sentido negativo, faz-se correspondência ao retorno a sua fase inicial como a pipoca se transformar em milho, ou seja, uma diminuição de entropia. Esse processo jamais ocorreria, no entanto, há possibilidade de se obter trabalho, dependendo da temperatura T (Temperatura durante a transformação isotérmica reversível), em que essa quantidade é trocada, a partir de uma certa quantidade de calor Q (Quantidade de calor que o sistema troca), [8]. Segundo Rodolph Clasius, a entropia permanece constante nos processos reversíveis, mas aumenta nos processos irreversíveis, e sua variação é a razão entre a troca de calor, pela temperatura absoluta inicial, definida pela relação:

$$\Delta S = \frac{Q}{T} \quad (1)$$

Note-se que, a variação total de entropia, não depende do trabalho. Vale apenas ressaltar que, mesmo a ocorrência sendo de forma reversível, a variação do universo será nula. E vale considerar duas situações distintas como a entropia gerada em uma transformação irreversível, e a entropia trocada entre o sistema e vizinhança. O calor recebido pelo sistema é idêntico ao calor retirado da vizinhança, assim teremos que $\Delta Q_T - \Delta Q_V = 0$, e assim vale a relação:

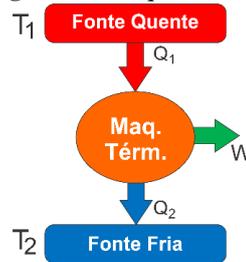
$$\Delta S = \frac{\Delta Q_t}{T} - \frac{\Delta Q_v}{T} = 0 \quad (2)$$

Conforme, Yamamoto, Fuke [9] os fenômenos naturais, são irreversíveis por realizarem-se em sentido mais prováveis, e ao mesmo tempo, tendem a ocorrência de um estado ordenado para um estado desordenado, como também a degradação natural de energia tende a uma evolução para a desordem. Para Clausius, o conceito estático de desordem, fez associação ao conceito matemático de entropia, ou seja, na verdade é uma questão de probabilidade e estatística, que através de análise é possível fazer uma interpretação da irreversibilidade dos processos, estando no maior número de moléculas possíveis presentes nas configurações.

3.4 Máquinas térmicas

Desde o início da humanidade, os povos aprenderam a usar o calor através de fogueiras para cozinhar alimentos e se aquecer. Dessa forma, eles transformavam a energia proveniente do calor em energia térmica. Nos dias atuais, pode-se usar a energia liberada por combustíveis para acelerar veículos, lançar foguetes ou realizar qualquer atividade que exige a presença da força, e ao mesmo tempo, provocar a realização de trabalho através do calor. Mas o primeiro dispositivo que foi capaz de transformar calor em trabalho foi a máquina a vapor, símbolo da Revolução Industrial. Assim, um feito físico observado nessa máquina, foi que, após o seu surgimento, mostrou-se que ao ferver a água para obter vapor a alta pressão, esse vapor foi capaz de empurrar um pistão e realizar trabalho. Durante os séculos XIX e o XX, constata-se o desenvolvimento do motor a gasolina, do motor a jato, a turbina a vapor, e outros dispositivos que com a queima dos combustíveis, transforma-se o calor em trabalho útil, e a evolução desses dispositivos é que move nossa sociedade moderna e contemporânea [10].

Uma maneira de compreender a importância e a dinâmica das máquinas térmicas, é imaginar que a quantidade de energia, opera entre dois recipientes, sendo um de alta temperatura e outro de baixa temperatura. Assim, considera-se que o recipiente de baixa temperatura “frio” é o local onde parte do calor não realiza trabalho, isso é, uma realidade que vem diante de muitos fatos históricos, como na revolução industrial, com a presença de antiga locomotiva, que convertia calor do vapor d’água (reservatório quente), em trabalho onde o calor não utilizado na combustão é lançado para o ar atmosférico (reservatório frio) [9]. Conforme figura abaixo:

Figura 4 - Máquina Térmica

Fonte: Retirado de Gregio, 2016, p.27.

Assim, uma máquina térmica pode ser entendida como um dispositivo, que extrai do ambiente energia na forma de calor e realiza trabalho útil, ao mesmo tempo, o trabalho passa a ser uma substância indispensável no entendimento de todo o funcionamento de uma máquina que opera em ciclos, chamados tempos termodinâmicos [8].

De modo geral, qualquer máquina térmica como motor de automóveis de combustão interna até seu ciclo de vida, converte calor em trabalho operando em ciclos contínuos, onde cada um dos ciclos retira calor da fonte quente Q_1 , utiliza assim parte para realizar trabalho, e o calor dissipado é enviado para a fonte fria, para isso vale a relação:

$$Q_1 = \tau + Q_2 \quad \text{ou} \quad \tau = Q_1 - Q_2 \quad (3)$$

A diferença entre essas duas quantidades de calor: uma da fonte quente a uma temperatura T_1 , a qual retira calor Q_1 , e uma fonte fria a uma temperatura T_2 , rejeita uma quantidade de calor Q_2 , define-se como a convenção do calor em trabalho de uma máquina térmica [11].

Conforme, Gaspar [12], o fluxo de calor em uma máquina térmica, tornar-se evidente que o trabalho é proveniente somente da parte do calor que é recebido da fonte quente, assim como a sua potência útil. Neste sentido entende-se que outra parte, cede calor ou dissipa para a fonte fria. Logo o rendimento de qualquer máquina térmica é sempre inferior a 100%.

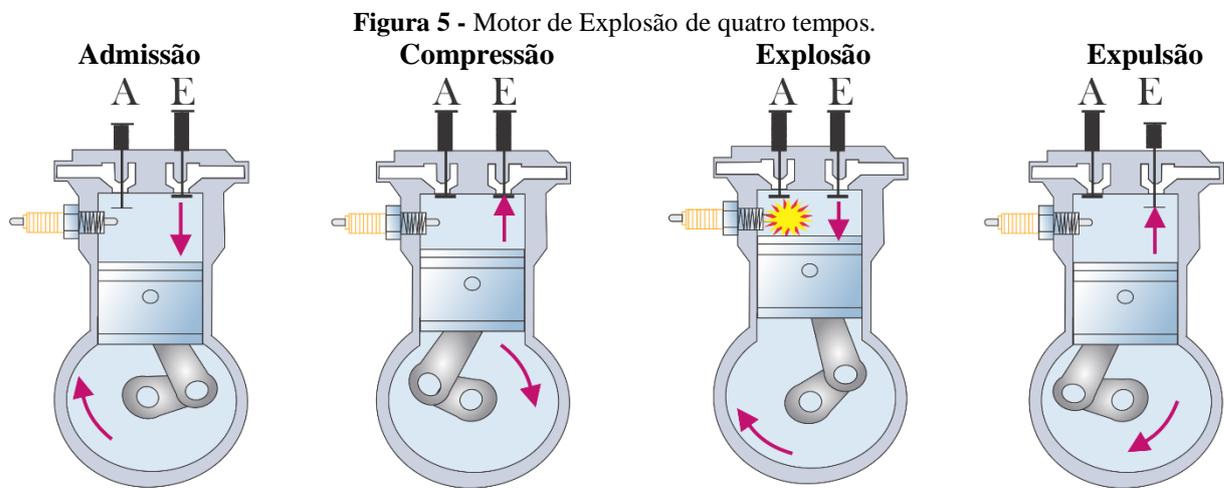
O rendimento de uma máquina térmica é calculado pelo o quociente da quantidade útil de trabalho realizado, pelo pela quantidade total de calor retirada da fonte quente, portanto:

$$\eta = \frac{\tau}{Q_1} \quad (4)$$

Entretanto, a utilização de modulo em Q_2 , se faz necessária em virtude da convenção utilizada nos estudos da primeira lei da termodinâmica, em que atribui a Q_2 o sinal negativo nas relações, porém, o uso do sinal tornará o rendimento maior que 1, que obviamente contraria os princípios físicos sobre a produtividade das máquinas térmicas conforme relação:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \quad \text{ou} \quad \eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \quad (5)$$

Segundo, Ramalho, Nicolau, Toledo [2], outra situação, que observa-se é com relação dos motores de explosão, como os de turbinas a vapor ou a gás, locomotiva, automóvel, reator de avião dentre outros, que produzem trabalho quando é fornecido calor. Nos automóveis o sistema de injeção eletrônica ou carburador, mistura adequadamente uma dosagem de ar e vapor de combustível que ao penetrar no cilindro é inflamada e comprimida. Assim o calor produzido pela combustão explosiva é uma mistura de ar e combustível que após a compressão libera grande quantidade de calor. Desse modo a explosão provoca uma pressão a um valor muito alto, com isso a massa gasosa provocada, exerce sobre o pistão uma intensidade de força que provoca a rotação do eixo motor. O motor de automóvel é um motor de quatro tempos como mostra a figura abaixo:



Fonte: Retirado de Ramalho, Nicolau, Toledo, 2009, p. 247.

No primeiro tempo (**ADMISSÃO**) - A mistura de ar + combustível, que se encontrava no ponto superior do pistão, é fragmentada em partículas muito pequenas na câmara de combustão (C) através da válvula de admissão (A), que se encontra aberta. Nesse momento, a válvula de escape (E) se mantém fechada.

No segundo momento (**COMPRESSÃO**) - As válvulas de admissão (A) e de escape (E) estão fechadas enquanto o pistão está quase chegando ao topo, e prestes a iniciar a compressão a vela é acionada produzindo uma faísca provocado pelo aumento de temperatura.

Terceiro tempo (**EXPLOSÃO**) - Nesse tempo, com a faísca liberada pela vela (V) que inflama os gases comprimidos devido a mistura gasosa, evento extremamente rápido, antes que o pistão tenha tempo de começar a descer. Com o aumento considerável da pressão e a

temperatura devido o calor, move fortemente o pistão para baixo, sendo o único tempo motor ciclo que há realização de trabalho.

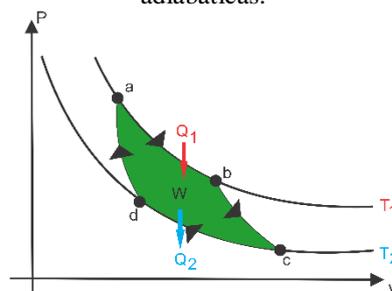
Quarto e último tempo (EXPULSÃO) - Enquanto se abre a válvula de escape (E), os gases são expelidos para a atmosfera pela válvula aberta, por meio do movimento progressivo do pistão, determinado pelo eixo motor em movimento. No término ao subir o pistão, a válvula de escape se fecha (E), e, quando o pistão começa a descer, a válvula de admissão (A) abre, recomeçando o ciclo novamente.

Nos dias atuais, os motores possuem injeção eletrônica, que regulam automaticamente a quantidade da mistura gasosa utilizada, assim obtém melhores rendimentos. Dessa forma um motor de quatro cilindros, deve funcionar da seguinte forma: enquanto o primeiro está no tempo de admissão do gás, o segundo deve estar na compressão, o terceiro na queima e o quarto expelindo o gás, e a energia necessário para produzir o início do movimento deverá ser fornecida através motor de arranque.

3.5 Ciclo de Carnot

O francês Sardi Carnot em um artigo publicado em 1824, descreveu que um rendimento máximo poderia ser atingido em uma máquina. Carnot comprovou teoricamente a existência de uma transformação específica em um ciclo especial, onde uma máquina térmica obtinha o máximo rendimento em atividade operando entre duas fontes térmicas. Refere-se a uma máquina térmica que opera em ciclo, que teria rendimento máximo tanto maior quanto mais elevada à temperatura da fonte quente, caso o combustível da operação se comportasse como um gás ideal [13].

Figura 6 - Processo reversível a partir do ciclo de Carnot, formado por duas transformações isotérmicas e duas adiabáticas.

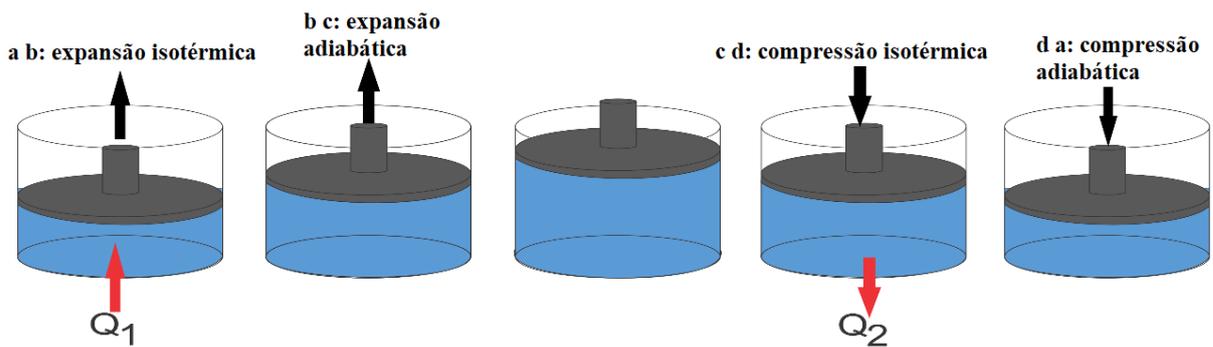


Fonte: Retirado de Gregio, 2016, p.58

A figura 6 mostra que a quantidade de calor Q_1 , absorvida pelo gás a temperatura constante T_1 no primeiro ciclo ou primeiro processo no seguimento AB, logo após o segundo

processo no seguimento BC – expansão adiabática ($Q = 0$), ou seja, sem troca de calor, mas cede quantidade de calor, de temperatura constante T_1 para T_2 , na compressão isotérmica do gás no seguimento CD a máquina descarta uma quantidade de calor Q_2 da fonte quente para a fonte fria de temperatura T_2 e menor temperatura T_1 , a seguir finalizando o ciclo no quarto processo no seguimento DA sem troca de calor, sofre uma compressão adiabática, mas com aumento de temperatura de T_2 para T_1 , remoçando a seguir o mesmo ciclo, como exposição ilustrada na figura a seguir [7]:

Figura 7 - Representação das transformações durante o ciclo de Carnot.



Fonte: Retirado de Gregio, 2016, p. 58.

Conclui-se que a razão entre a quantidade de calor em modulo, é diretamente proporcional a razão entre as temperaturas da fonte quente em relação à temperatura da fonte fria, isso fundamenta-se pela maior quantidade de calor que pode ser absorvida em relação o que foi cedida a fonte fria, e o trabalho é determinado pela área interna em cada ciclo. Vale lembrar que o rendimento da máquina de Carnot não depende do fluido de trabalho, depende somente das temperaturas das fontes quente e fria. Conforme relações abaixo percebe-se que a eficiência da máquina de Carnot depende somente das temperaturas dos dois reservatórios. E sua eficiência será máxima quando houver uma-variação de temperatura grande, e ao mesmo considera-se muito pequena quando as diferenças de temperatura estiverem aproximadamente iguais, não sendo jamais igual a 1 e quando a temperatura for igual a zero ($T_1 = 0$) iguais isotermicamente é impossível.

$$\frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_2}{T_2} \text{ ou } \frac{Q_1}{Q_2} - \frac{T_1}{T_2} \quad (6)$$

Observando a equação acima, faz-se um exercício mental. Considerando uma máquina térmica que opere a 400 K (127°C) na fonte quente e 300 K (27°C) na fonte fria, neste caso ao

aumentarmos a temperatura da fonte quente consegue-se aumentar o rendimento dessa máquina, entretanto tal rendimento não será igual a 1.

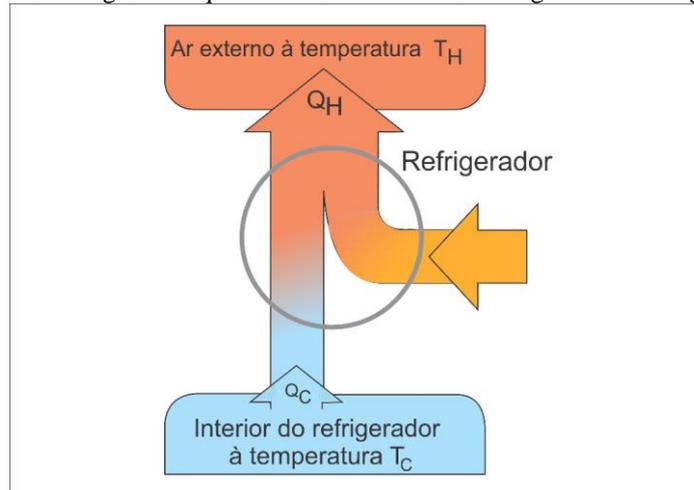
Máquinas frigoríficas, funciona através da transferência de calor de um local de menor temperatura para um de maior temperatura, este sentido contraria a passagem espontânea de calor, contrariando os enunciados de que o calor flui do corpo quente para o frio, porém essa transferência não ocorre espontaneamente, dependendo do trabalho externo, assim como os congeladores o calor retirado é transferido para o meio externo graças ao trabalho realizado pelo compressor. Assim para a máquina frigorífica define-se não o rendimento, mas a sua eficiência térmica, que é dada pela razão entre a quantidade de calor da fonte fria e o trabalho realizado. Vale lembrar que não há unidade de medida definida e seu rendimento pode ser maior que 1, que se torna impossível para uma máquina térmica [11]:

$$E = \frac{Q_2}{\tau} \quad (7)$$

Conforme, Young, Freedman, [14], com relação aos refrigeradores, pode-se dizer que é uma máquina térmica funcionando com um ciclo invertido. Naturalmente uma máquina térmica em funcionamento recebe calor de uma fonte quente e o rejeita para um local mais frio. Um refrigerador faz precisamente o contrário ao receber calor de uma fonte fria, que se refere a parte interna do refrigerador e o transfere para uma fonte quente, que comumente o ar externo no local onde o refrigerador estar localizado. Assim a máquina térmica fornece um trabalho mecânico líquido e ao mesmo tempo o refrigerador precisa receber um trabalho também na forma líquida, sabe-se que esse funcionamento não é espontâneo por isso há necessidade de um trabalho externo. Neste sentido, através de conversões de sinais a quantidade de calor no interior do refrigerador Q_c é positivo para o refrigerador, no entanto o trabalho (W) e a quantidade de calor na parte externa do refrigerados Q_h são negativos, conforme descrito abaixo:

$$|W| = -W \quad \text{e} \quad |Q_H| = -Q_H$$

Logo, em relação ao fluxo de energia, de acordo com a 1º lei em um processo cíclico conforme a figura é:

Figura 8 - Diagrama esquemático de um fluxo de energia de um refrigerador

Fonte: Retirado de Young, Freedman, 2015, p. 325.

$$Q_h + Q_c - W = 0$$

Entretanto, como Q_H e W são negativos,

$$|Q_h| = Q_c + |W| \quad (8)$$

Portanto, conforme o diagrama há uma realização de trabalho (W), onde um motor retira uma quantidade de calor (Q_C) da fonte fria e uma quantidade de calor (Q_H) é transferida á fonte quente,

$$|Q_h| = |Q_c| + |W|$$

(9)

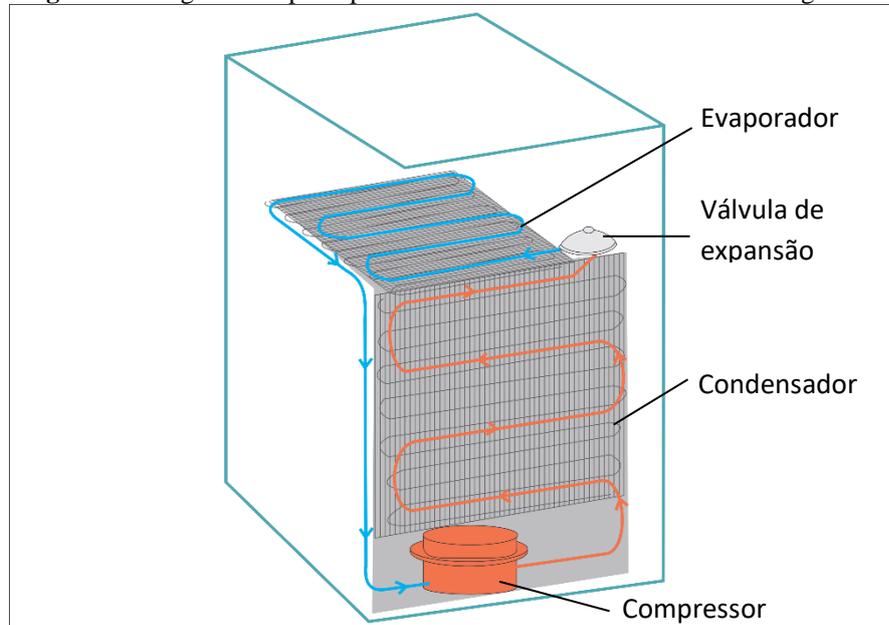
Observa-se que essa relação é válida tanto para máquinas térmicas, quanto para refrigerador, e se tratando de economia o melhor ciclo de refrigeração é o que é capaz de remover a maior quantidade possível de calor $= |Q_C|$ do interior do refrigerador para realizar menor trabalho $|W|$, portanto, a razão $|Q_C| / |W|$ torna-se relevante devido quando maior for essa razão, melhor será o equipamento no caso o refrigerador, por esse motivo essa razão também é conhecida como coeficiente de desempenho, que é medido através da relação a seguir:

$$K = \frac{|Q_c|}{|Q_h| - |Q_c|} = \frac{|Q_c| / |Q_h|}{1 - |Q_c| / |Q_h|} \quad (10)$$

onde: K é coeficiente de desempenho de um refrigerador, (Q_C) entrada de trabalho do refrigerador, (W) calor removido de dentro do refrigerador e (Q_H) calor rejeitado para o meio externo. Nos refrigeradores domésticos no caso das geladeiras, há retirada de calor do

congelador e há rejeição de calor para ao ar atmosférico. Neste sentido essa rejeição é feita por uma serpentina que é um dissipador de calor colocada na parte posterior do equipamento.

Figura 9 - Diagrama do princípio de funcionamento do ciclo de um refrigerador.



Fonte: Retirado de Young, Freedman, 2015, p. 320.

Como mostra a figura acima o processo de funcionamento acontece da seguinte maneira: a substância circula sequencialmente por dois tubos conectados na válvula de expansão, inicialmente o compressor recebe o fluido refrigerante, para compressão adiabática e devolve o fluido a serpentina do condensador, logo após no condensador comprime-se o fluido estando a uma temperatura mais elevada do que do meio externo de modo que produz calor (QH) para o ar, parcialmente o fluido é condensado pra o estado liquido, em seguida o fluido expande-se através da válvula de expansão no processo adiabaticamente, após a expansão adiabática o fluido no evaporador a uma temperatura inferior ao interior do refrigerador, absorve-se calor (QC), resfriando o conteúdo e evaporando-se parcialmente em vapor., assim o liquido formado segue-se para a válvula de expansão, daí o processo se repete.

4 DESCRIÇÃO METODOLÓGICA

Esta proposta originou-se partir de discussões na disciplina *Marcos da Física*, ministrada pelo Dr. Erico Novais no Mestrado Profissional Nacional no Ensino de Física da UNIFESSPA, campus Marabá, onde surgiu uma inquietação diante das discussões dos colegas por se tratar de um tema pouco abordado em sala de aula, bem como o baixo

rendimento em física dos alunos da rede pública estadual da escola, na qual atuo como professor de física. Oriundos da rede pública e por serem alunos de classe baixa a média, não foi preciso muito tempo para perceber a necessidade oferecer aos alunos meios para motivá-los ao estudo, à pesquisa ou simplesmente a compreender a presença da física em seu cotidiano.

Nesse contexto, pensou-se na utilização ou aplicação de metodologias ativas, oriundas do ensino híbrido. Para Bacich e Morán [15], tem como características a flexibilidade do planejamento, a possibilidade de aprender sozinho ou em grupo, através da interação ou espontaneamente, e que ao mesmo tempo venha casar-se com a teoria da aprendizagem de Bruner. Nesse sentido, o aluno aprende fazendo, em um processo em que a aprendizagem surge a partir da interação com seus pares e por meio das ações desenvolvidas em cada estação através de diálogos e reflexões promovidas por essa interação.

A aplicação da metodologia rotações por estações traz também a presença de recursos tecnológicos de fácil alcance dos alunos, apresentando como meios de produção de conhecimento, ferramentas que poderão despertar o interesse pela temática abordada, bem como o estímulo à obtenção de aprendizagem significativa. No desenvolvimento vale destacar que, o professor terá o papel de mediador de aprendizagem em cada estação, o que é de suma importância para o desenvolvimento da metodologia e acompanhamento das aprendizagens.

Portanto, dentre várias metodologias ativas disponíveis, escolhi a Rotação por Estações, que se apresenta em seguida, para aplicação nas turmas 200 e 201 de segundo ano, com o propósito de desenvolver aprendizagem de forma satisfatória da segunda lei da termodinâmica, saindo do patamar de um conteúdo em alguns tópicos, considerado menos importante e pouco abordado por muitos professores. Cabe ressaltar que posteriormente será aplicado um questionário como o propósito de identificar as aprendizagens obtidas com a aplicação da metodologia, de modo que servirá para coleta e análise de dados. Os resultados obtidos servirão de base para uma dissertação ampla sobre a metodologia e fundamentação teórica do tema abordado.

As atividades terão início no segundo semestre do ano letivo, considerando que o conteúdo de entropia geralmente é trabalhado no 3º bimestre. Nessa metodologia os alunos são divididos em equipes com tarefas definidas em cada estação, com início, meio e fim. As equipes rotacionam pelas estações, onde o professor inicialmente determina o tempo. O tempo de cada estação poderá variar de acordo com o desenvolvimento das atividades pelos alunos, não podendo ultrapassar o tempo total previamente estabelecido pelo professor de 20 a 30 minutos, para conclusão de todas as estações. A principal característica da Rotação por

Estações é, que apesar das atividades específicas de cada estação serem entregues no momento da realização em sala de aula, será avaliado não somente o produto, mas sim o processo sobre os progressos obtidos através pesquisas, discussões, interação, autonomia e gerenciamento do tempo [16].

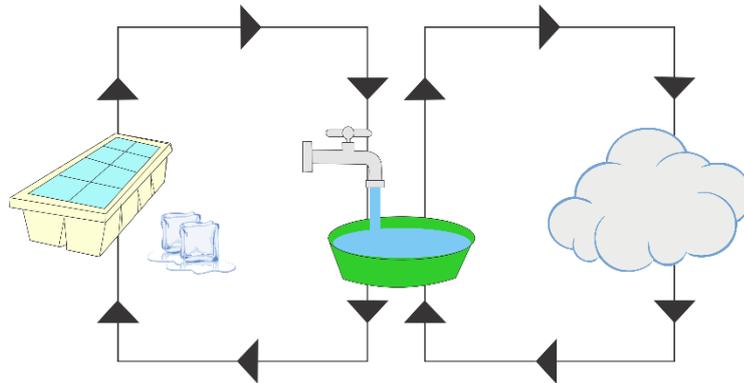
Espera-se obter com o uso dessa metodologia os seguintes resultados: mudança no papel do professor, agora mediador do processo de ensino-aprendizagem, potencialização da aprendizagem respeitando os ritmos de aprendizagem de cada aluno, feedback mais produtivo da aprendizagem do professor aos alunos e desenvolvimento da autonomia dos alunos diante dos temas abordados em cada estação. Ao mesmo tempo, ela proporciona quatro momentos distintos: o primeiro é a interação efetiva aluno-professor ao sanar dúvidas, dar orientações e reflexões, o segundo é o trabalho colaborativo entre aluno-aluno ao propor questões para trabalho em equipe, desenvolvendo um produto que demonstram sua aprendizagem, o terceiro momento é o uso das tecnologias que proporciona a cultura digital que pode ser através do próprio celular do aluno, e por fim o quarto momento que é o da sistematização, onde o professor corrige com a turma os erros que ocorreram em cada estação e dá possíveis encaminhamentos para a próxima etapa que é a avaliação da aprendizagem.

4.1 Metodologia rotação por estações

A seção 4.1 descreve as estações A, B, C, B e E, relacionadas aos fenômenos de reversibilidade - 01, transformações irreversíveis - 02, transformações irreversíveis - 03, resolução de questões objetivas, desordem das moléculas - 01, desordem das moléculas - 02.

ESTAÇÃO A – REVERSIBILIDADE

A estação A, que tem como título “Estados físicos da água”, tem como objetivo identificar as fases do ciclo da água considerando suas características e manifestações na natureza como processo reversível, ilustrado na figura 10 de acordo com os materiais e procedimentos de realização descritos abaixo.

Figura 10 - Estados físicos da água.

Fonte: Retirado de Ensinar hoje, 2019 ².

Materiais necessários: 1 Panela, água, frigorífico, fogão, cubos de gelo, espelho ou papel filme, bacia.

Procedimentos: Colocar os cubos de gelo a uma temperatura, para a passagem da água do estado sólido para o estado líquido (Fusão) dentro da bacia. Com a água no estado líquido, coloca na panela e leva ao fogão, para aquecimento, aquece a água até ferver e observe a formação de pequenas bolhas de gás (evaporação), nas paredes e no fundo da panela as quais se elevam até a superfície.

No ponto de ebulição da água ocorre o rompimento das ligações pontes de hidrogênio entre as moléculas, ocasionando a formação de bolhas de vapor em vários pontos do líquido. Tais bolhas aumentam em volume e quantidade, uma vez que mais moléculas vão ganhando liberdade. Depois colocamos um espelho por cima e observamos que ficou cheio de gotinhas de água (condensação). De posse dessas gotículas leva ao congelador para obter o processo inicial a solidificação.

ESTAÇÃO B - TRANSFORMAÇÃO IRREVERSÍVEIS – 01

Esta estação traz três situações sobre os processos irreversíveis, uma titulada “Experiência do ovo”, que têm como objetivo diferenciar transformações reversíveis e irreversíveis causadas pelo aquecimento, e outra “Queima do papel ³” que tem como objetivo

² Disponível em: **Hoje, Ensinar**. <https://ensinarhoje.com/mudancas-nos-estados-fisicos-da-agua/>. [Online] 31 de 01 de 2019. [Citado em: 22 de 03 de 2020.]

³ Disponível em: **Sei, Editora**. <https://youtu.be/2awHqCR-X8o/>. [Online] 17 de 08 de 2018. [Citado em: 22 de 03 de 2020.]

identificar através da queima do papel como uma transformação irreversível, e a terceira “Irreversibilidade”, que tem como objetivo perceber de forma concreta, a presença da irreversibilidade, através de situações que envolve matérias de baixo custo associado a argumentação estatística.

Leia o Texto:

A mãe de Pedro, aluno do Ensino Médio, estava preparando um jantar, e ao quebrar os ovos para preparar a receita, percebeu algumas características específicas do ovo, como a gema e a clara eram bem molinhas e viscosas. Depois de um certo tempo, no recipiente percebeu que a gema e a clara já não tinham as mesmas características de antes. O que ocasionou essa mudança? Interrogou Pedro. Mas o pior estava por vir, quando dona Maria leu novamente a receita percebeu que o ovo que estava descrito deveria estar cru, e não cozido. E agora o que fazer? Será se o ovo depois de cozido pode voltar a ser cru? O que fez o ovo mudar de aspecto? Qual fator foi determinante nesta mudança? Será que é uma transformação reversível?

Materiais necessários: Dois ovos, uma panela, dois potes, água para o cozimento, fogão ou micro-ondas.

Procedimentos: Cozinhe o ovo e retire o ovo já cozido da panela. Coloque em outro recipiente e aguarde esfriar. A equipe deverá comparar os dois ovos, o cozido e o cru.

ESTAÇÃO B - TRANSFORMAÇÃO IRREVERSÍVEIS – 02

Problematização: O papel quando queimado, passa por uma transformação Reversível ou Irreversível? Vamos testar?

Materiais necessários: Papel A4 para queima, prendedor de roupa para segurar o papel, fósforo, prato de vidro, água para apagar o fogo.

Procedimentos: Coloque o papel em um prato em cima da mesa. Acenda o fósforo e deixe queimar até que se transforme em as cinzas completamente. Questionamentos feitos pelo professor: Qual produto formado? Ele ainda é papel? Depois de sofrer esta transformação o papel poderá voltar a ficar como antes? O papel pode virar cinzas? Mas, as cinzas podem virar papel? De que tipo de transformação está tratando aqui, reversível ou irreversível?

ESTAÇÃO B - TRANSFORMAÇÃO IRREVISÍVEIS – 03.

Figura 11 - Material e montagem de experimento com garrafa PET, mangueira e bolinhas de gude.



Fonte: Retirado de Moura, 2016, p.31.

Materiais necessários: Garrafa Pet, bolinhas de gude (50% de cada cor), mangueira transparente, papel, caneta para notação das observações.

Procedimentos: Coloca-se a as bolinhas de gude na garrafa pet e conecta a mangueira transparente no gargalo da garrafa agita-se o sistema de modo que todas as bolas saiam do sistema. Estima-se quais possibilidades as bolinhas voltarem a se agruparem como na fase inicial.

ESTAÇÃO C – MÁQUINAS TÉRMICAS – 01

A presente estação contempla dois experimentos “Barquinho pop-pop⁴”, que tem como objetivo perceber a presença da transformação da energia térmica em energia mecânica através do calor, o outro experimento titulado como “Máquina a vapor” com o objetivo de construir uma máquina a vapor e demonstrar a conversão da energia térmica em energia mecânica, conforme descritas abaixo.

Materiais necessários: Tesoura, estilete, 1 lata de refrigerante, cola quente, cola epóxi, fósforo ou isqueiro, 1 vela de aniversário, 3 canudos dobráveis, palitos de dente, isopor de bandeja de frios, 1 cartão de crédito ou carteirinha.

Procedimentos:

1º passo: Primeiramente, você deve fazer um furo no topo da lata com o estilete e retirar a "tampa" da lata com a tesoura. Depois que a tampa for retirada, faça um corte perpendicular

⁴ Disponível em: **Thenório, Iberê**. <https://manualdomundo.uol.com.br/experiencias-e-experimentos/como-fazer-um-barco-a-vapor-barquinho-pop-pop/>. Manual do Mundo. [Online] 03 de 04 de 2012. [Citado em: 22 de 03 de 2020.]

ao corte da tampa para baixo e recorte o fundo da lata também até que você obtenha uma folha de alumínio.

2º passo: Agora, dobre a folha de alumínio obtida no passo anterior deixando um pequeno espaço entre as pontas e prenda com fita crepe ou fita adesiva na ponta. Após colada a fita, pegue uma tábua de carne grossa ou um pedaço de madeira em forma de paralelepípedo e bata na ponta da folha de alumínio dobrada sem a fita e bata em cima da tábua até que a ponta da folha fique achatada.

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

4º passo: Após ter feito isso, pegue uma tábua de carne grossa ou um pedaço de madeira com o canto reto e prenda a peça obtida no passo anterior no lateral da tábua. Dobre em cima da linha pontilhada dos dois lados da peça. Em seguida, remova o molde de papel e reforce as dobras com o auxílio do cartão ou carteirinha. Finalmente, ponha a peça obtida embaixo da tábua e basta uma vez para que as dobras fiquem achatadas.

5º passo: Agora, na parte aberta da peça obtida, deve-se colocar 3 canudos dobráveis com a dobra para fora. Em seguida, misture a cola epóxi e espalhe por toda a parte de alumínio fechando os menores espaços até que não haja nenhum buraco, com exceção de onde os canudos entraram. Depois que a cola secar remova os canudos, pegue dois deles e marque 4 centímetros do início da dobra até a parte menor do canudo e recorte o que estiver além desses 4 cm.

6º passo: Depois que a cola epóxi na peça de alumínio secar, prepare mais um pouco e passe na metade dos canudos, entre a dobra e a ponta mais próxima. Faça isso em apenas dois canudos

Insira os canudos dentro da peça de alumínio até onde você passou cola. Agora, usando cola epóxi feche a saída de ar onde o canudo está na parte superior da peça de alumínio. Espere secar. Depois que a cola secar, coloque a peça de alumínio já selada dentro de um copo de água e sopre forte os canudos para garantir que não há nenhum vazamento de ar. Caso haja, feche o vazamento com mais cola.

7º passo: Recorte o molde abaixo e monte-o seguindo as linhas dobrando sempre para dentro. Depois que o molde estiver pronto, pegue a peça de alumínio e dobre-a no molde, de modo que a parte lisa da peça de alumínio fique para dentro da dobra. Feito isso, passe cola quente na dobra do canudo até que esta endureça.

8º passo: Enquanto a cola quente endurece, recorte o molde do barquinho, cole-o sobre o isopor de frios e recorte fazendo o buraco, como indicado no desenho. Assim que a cola do canudinho endurecer, tire a fita crepe, e meça 10 cm do canudo a partir do fim da cobra e corte o que vai além desses 10cm.

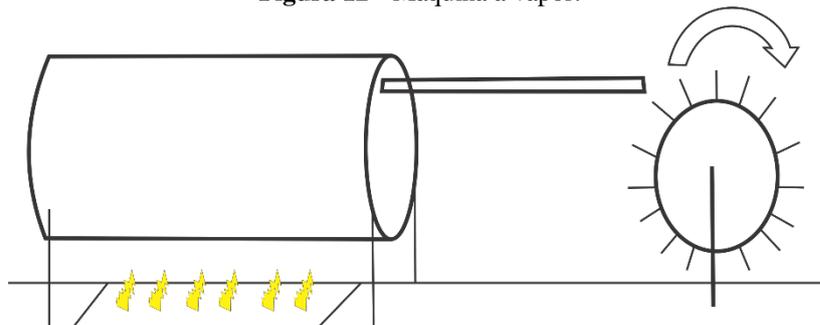
9º passo: Insira o canudinho e a peça de alumínio como indicada na figura abaixo, de forma que os canudinhos fiquem presos ao isopor, utilizando uma fita adesiva. Quando os canudinhos estiverem bem presos encha-os de água, entrando por um só até que o outro transborde.

10º passo: Em seguida, corte a vela até um tamanho que deixe o pavio bem perto da peça de alumínio e prenda-a no isopor com cola quente. Quando a cola secar é só acender a vela com o barquinho já na água.

Obs: No desenvolvimento desta estação se for para o turno noturno, o ideal é que o material já esteja montado previamente, ficando pronto a aplicação.

ESTAÇÃO C - MÁQUINAS TÉRMICAS – 02

Figura 12 - Máquina a vapor.



Fonte: Retirado de Peruso, 2013, p.134.

Materiais necessários: 1 lata de óleo, 1 tubo de cobre, água, giz, álcool, lamparinas, 1 suporte, 1 roda com pás (feita de lata).

Procedimentos: Monte o experimento de acordo com a figura acima, conecte o tubo na lata e despeje água dentro da lata. Com as lamparinas aqueça a água da lata, e observe que o vapor gerado movimenta a roda com pás (turbina). Como substituição às lamparinas pode-se usar um recipiente metálico, nele colocar pedaços de giz e sobre eles derramar álcool. O giz é um material poroso e o álcool derramado sobre ele é sugado pelos seus poros e depois é liberado aos poucos durante a combustão.

Obs.: No desenvolvimento desta estação se for para o turno noturno, o ideal é que o material já esteja montado previamente, ficando somente a aplicação.

ESTAÇÃO D – RESOLUÇÃO DE QUESTÕES OBJETIVAS

Na estação D, com o título “Atividade sobre a segunda lei da termodinâmica”, traz como objetivo conhecer as aprendizagens desenvolvidas em torno do rendimento do ciclo de Carnot. Essa estação será realizada no aplicativo Classroom, com questões embaralhadas para cada equipe, tendo apenas uma opção correta em cada questão. No desenvolvimento, o aplicativo mostrará a porcentagem de desenvolvimento da atividade, no entanto, somente para o professor informará os acertos de cada equipe, evitando assim que o aluno ultrapasse o tempo destinado para realização da estação, tentando passar para a próxima questão somente quando acertar por tentativa.

Obs₁: Nesta estação o professor disponibilizará em forma de cartaz todas as fórmulas necessárias para resolução das questões, faz-se necessário que após o direcionamento de todas as estações, o professor comesse a medir nesta estação orientando o desenvolvimento.

Obs₂: Faz-se necessário nesta estação um vídeo de apoio postado previamente no aplicativo *Classroom*: (<https://youtu.be/rzSKJBKKrS8>).

Questões

1ª As fontes quente e fria de uma máquina de Carnot operam em temperaturas de 500 K e 300 K, respectivamente. Sabendo disso, determine o rendimento dessa máquina, em porcentagem e assinale a alternativa correta:

- a) 80 %
- b) 40 %
- c) 60 %
- d) 75 %
- e) 55 %

2ª Uma máquina térmica opera, recebendo 600 J de calor a cada ciclo, realizando, assim, 400 J de trabalho. Calcule o valor aproximado do rendimento dessa máquina térmica, em porcentagem, e assinale a alternativa correta:

- a) 80 %

- b) 50 %
- c) 66 %
- d) 55 %
- e) 95 %

3ª O que acontecerá com o rendimento de uma máquina térmica se a temperatura da fonte para qual o calor é transferido espontaneamente for reduzida?

- a) Diminui o rendimento;
- b) Aumenta o rendimento;
- c) Permanece Constante;
- d) Aumenta e diminui o rendimento ao mesmo tempo;
- e) Nda

4ª Pode-se afirmar que máquina térmica é toda máquina capaz de transformar calor em trabalho continuamente. Então qual dos dispositivos citados a seguir pode ser considerado uma máquina térmica?

- a) Motor a gasolina;
- b) Bomba atômica;
- c) Chuveiro elétrico;
- d) Torneira elétrica;
- e) Panela de pressão.

5ª (PUC – MINAS) Uma máquina térmica opera entre duas temperaturas T_1 e T_2 , afirma-se que seu rendimento:

- a) Máximo pode ser 100%;
- b) Pode ser Maior que 100%;
- c) Nunca será inferior a 80%;
- d) Será máximo se operar em ciclos;
- e) Será máximo se operar em ciclo de Carnot.

6ª (UFPA) A segunda lei da termodinâmica, pode ser encarada, como um princípio da degradação de energia por quê:

- a) O calor não pode passar espontaneamente de um corpo para outro de temperatura mais baixa que o primeiro;

- b) Para produzir trabalho, continuamente, uma máquina térmica, operando em ciclos deve necessariamente receber calor de uma fonte fria e ceder parte dele a uma fonte quente;
- c) É possível construir uma máquina, operando em ciclos, cujo efeito seja retirar calor de uma fonte e convertê-lo em uma quantidade equivalente de trabalho;
- d) É impossível se converter totalmente calor em outra forma de energia;
- e) A termodinâmica independe de qualquer teoria atômico-molecular.

7ª Sobre as máquinas térmicas, considere as afirmações seguintes:

I - Uma máquina térmica cuja fonte fria é mantida á temperatura ambiente é capaz de converter calor integralmente em trabalho;

II – É possível construir uma máquina térmica que tenha um rendimento superior ao da máquina de Carnot, operando entre as mesmas temperaturas;

III – Uma máquina térmica, operando segundo o ciclo de Carnot, apresenta um rendimento igual a 100%, isto é, todo calor a ela fornecido é transformada em trabalho;

IV – Refrigeradores são dispositivos que transferem energia na forma de calor de um sistema de menor temperatura para o outro de maior temperatura.

A alternativa que contém todas as afirmativas corretas é:

- a) I e II
- b) I e III
- c) II e III
- d) II e IV
- e) III e IV

8ª Uma máquina térmica tem rendimento de 40% e realiza um trabalho de 2000 Joules. Assinale a alternativa que indica a quantidade de calor rejeitada para a fonte fria, em Joules, pela referida máquina.

- a) 6000
- b) 2000
- c) 1000
- d) 4000
- e) 3000

Gabarito: 1 – B, 2 – C, 3 – B, 4 – A, 5 – E, 6 –D, 7– D, 8 - E

ESTAÇÃO E: DESORDEM DAS MOLÉCULAS – 01

A última estação que tem como título “Entropia ⁵ e Desordem dos feijões ⁶”, tem como objetivo consecutivamente observar o comportamento das moléculas em todo o sistema com foco na compreensão do grau de desordem e ao mesmo tempo avaliar o comportamento de um sistema em relação à sua entropia. Os referidos experimentos são apresentados a seguir:

Figura 13 - Misturas de tintas com água a partir de estado de baixa entropia.



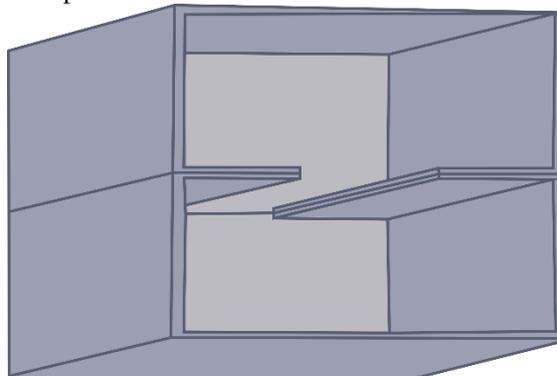
Fonte: Retirado de Young e Freedman, 2015, p.336.

Materiais necessários: Recipiente transparente (Béquer/copo), bisnagas de preferência da cor vermelha, papel, caneta para notação das observações.

Procedimentos: De posse de um recipiente transparente e bisnagas, e uma certa quantidade de água, coloca-se a água no recipiente e adicione as mesmas gotas de tintas das bisnagas, atentos os alunos devem observar todo o processo.

ESTAÇÃO E - DESORDEM DAS MOLÉCULAS – Sugestão 02

Figura 14 - Compartimentos colados e abertos na divisória central.



Fonte: Retirado de Martini, et al., 2016, p.135.

⁵ Disponível em: <https://youtu.be/LbXTXWxRaZg/>. [Online] 18 de 04 de 2017. [Citado em: 22 de 03 de 2020.]

⁶ Disponível em: <https://educador.brasilecola.uol.com.br/estrategias-ensino/entropia-segunda-lei-termodinamica.htm/>. Educador Brasil Escola. [Online] 29 de 07 de 2011. [Citado em: 22 de 03 de 2020.]

Materiais necessários: Duas caixas de fósforos vazias, Cola branca, 20 grãos de feijão de dois tipos diferentes sendo 10 de cada tipo por exemplo 10 de preto e 10 de feijão branco.

Procedimentos:

1º passo: Faça a colagem das duas caixas, sem a tampa, unindo-as por uma das laterais maiores. Faça uma abertura no meio das duas caixas conforme a figura abaixo, de modo permitir a passagens dos feijões.

2º passo: Em cada uma das caixas, coloque 10 grãos de feijão iguais entre si.

3º passo: Depois feche as caixas de fósforos com as tampas previamente desmontadas e unidas com a fita adesiva e agite o conjunto. Ao realizar a atividade, é importante que a caixa esteja sobre uma mesa, para que não se incline e altere a simetria do sistema.

4º passo: Em seguida, abra as caixas de fósforos e anote em seu caderno o número de grãos de feijões de cada tipo em cada lado das caixas.

5º passo: Repita esse procedimento três vezes, sempre com os grãos separados por tipo em cada lado das caixas.

6º passo: Em seguida, coloque mais 20 grãos de cada tipo em cada lado das caixas e repita os procedimentos anteriores.

Questionamentos:

1º O que é possível afirmar sobre o nível de organização dentro das caixas logo após os grãos de feijão terem sido colocados? E sobre o nível de organização depois da agitação? Qual estado é mais organizado? 2º Após a agitação, o número de grãos de um tipo ficou próximo da quantidade dos feijões do outro tipo em cada lado ou houve uma tendência a ficarem separados?

3º Após a nova agitação, provavelmente ficou mais evidente a dificuldade de conseguir que o sistema voltasse à situação inicial. Para retornar ao estado inicial, ou seja, antes da agitação, possivelmente você teria de reorganizar os feijões um a um. Identifique a relação que essa constatação tem com a 2ª Lei da termodinâmica (Se necessário assista o vídeo aula sobre a 2ª Lei da Termodinâmica disponível no Classroom da sala). Quanto mais feijões há na caixa, mais difícil é para o sistema voltar ao seu estado inicial por quê?

REFERÊNCIAS

- [1] COVOLAN, Silvia Cristina Teodoro; SILVA, Dirceu da. Utilização dos preceitos da teoria da atividade: a história da ciência como instrumento na construção de conceitos físicos. **Caos: Revista Eletrônica de Ciências Sociais**, João Pessoa, n. 4, ago. 2002.
- [2] RAMALHO JUNIOR, Francisco; FERRARO, Nicolau Gilberto; SOARES, Paulo Antônio de Toledo. **Os Fundamentos da Física**. 10. ed. São Paulo: Moderna, 2009.
- [3] SAMPAIO, Jose Luiz. **Universo da Física, volume 2**: hidrostática, termologia, óptica. 2. ed: São Paul: Atual 2005.
- [4] DOURADO, Sinara Santos; MARCHIORI, Marcelo Amorim. Processos quase estáticos, reversibilidade e os limites da Termodinâmica. **Rev. Bras. Ens. Fis.**, v. 41, n. 02, e20180067, 2019.
- [5] MORAN, J. Educação Híbrida: um conceito-chave para a educação hoje. In: BACICH, L.; TANZI NETO, A.; TREVISANI, F. de M. (Org.). **Ensino Híbrido**: personalização e tecnologia na educação. Porto Alegre: Penso, 2015.
- [6] TIPLER, Paul Allan; MOSCA, Gene. **Física para cientistas e engenheiros, volume 1**: Mecânica, Oscilações e Ondas, Termodinâmica. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009. 2 v.
- [7] GREGIO, Nivaldo, de Oliveira. **Termodinâmica**: um tutorial para entendimento do conceito de entropia. 97f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos - SP, Mestrado Nacional em Ensino de Física - MNPEF, São Carlos, 2016.
- [8] HALLIDAY, David. **Fundamentos de física, volume 2**: gravitação, ondas e termodinâmica. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018. 2 v.
- [9] FUKU, Luiz Felipe: **Física para o Ensino Médio**: volume 2. São Paulo: Saraiva, 2010.
- [10] KNIGHT, Randall. **Física 2: Uma abordagem**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.
- [11] TORRES, Carlos Magno A.; FERRARO, Nicolau Gilberto, SOARES, Paulo Antônio de Toledo. **Física, Ciência e Tecnologia**: volume 2. 2. ed. São Paulo Moderna, 2010.
- [12] GASPAR, ALBERTO. **Física 2**: Ondas, óptica e termodinâmica. São Paulo. Editora Ática 2010.
- [13] BONJORNO, Jose Roberto et al. **Física**: termologia, óptica, ondulatória, 2º ano. 3. ed. São Paulo: FTD, 2016.
- [14] YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Reger A. **Física 11, Sears e Zemansky**: termodinâmica e ondas. 14. ed. São Paulo: Pearson, 2015.
- [15] MORAN, J. **Educação Híbrida**: um conceito-chave para a educação hoje. In: BACICH, L.; TANZI NETO, A.; TREVISANI, F. de M. (Org.). **Ensino Híbrido**: personalização e tecnologia na educação. Porto Alegre: Penso, 2015.

[16] BERBEL, Neusi, A. N. As metodologias ativas e a promoção da autonomia de estudantes. **Semina: Ciências Sociais e Humanas. Londrina**, v. 32, n.1, 2011.