



INSTITUTO FEDERAL DE ALAGOAS

CAMPUS PIRANHAS

CURSO SUPERIOR DE LICENCIATURA EM FÍSICA

NATÂNAYLI DA SILVA ARAÚJO

**UMA PROPOSTA DE ENSINO DA SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA
FUNDAMENTADA NA TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA**

PIRANHAS, AL

2023

NATÂNAYLI DA SILVA ARAÚJO

UMA PROPOSTA DE ENSINO DA SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA
FUNDAMENTADA NA TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de graduação em Licenciatura em Física do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Alagoas, *Campus* Piranhas, como requisito parcial para obtenção de grau de Licenciada em Física.

Orientador: Profº Me. Felipe Alexandre Medeiros de Freitas.

PIRANHAS, AL

2023

FICHA CATALOGRÁFICA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal de Alagoas
Campus Piranhas
Biblioteca Tabela Cacilda Damasceno Freitas

A663p Araújo, Natânayli da Silva.

Uma proposta de ensino da segunda lei de termodinâmica fundamentada na teoria da aprendizagem significativa / Natânayli da Silva Araújo. – 2023.

Trabalho de Conclusão de curso (Licenciatura em Física) - Instituto Federal de Alagoas, *Campus Piranhas*, Piranhas, 2023.

Orientação: Prof. Me. Felipe Alexandre Medeiros de Freitas

1. Aprendizagem significativa. 2. Segunda lei de termodinâmica. 3. Ensino de física. I. Título.

CDD:530

Fabio Fernandes Silva
Bibliotecário – CRB- 4/2302

FOLHA DE APROVAÇÃO

NATÂNAYLI DA SILVA ARAÚJO

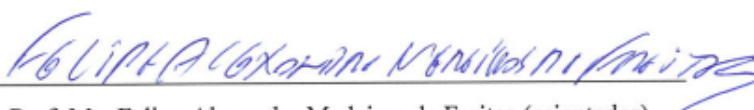
UMA PROPOSTA DE ENSINO DA SEGUNDA LEI DA
TERMODINÂMICA FUNDAMENTADA NA TEORIA DA
APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Licenciatura em Física do
Instituto Federal de Alagoas, *Campus* Piranhas,
como requisito parcial para obtenção de grau de
Licenciada em Física.

Aprovado em: 07/11/23.

Conceito Obtido: 10

BANCA EXAMINADORA



Prof. Me. Felipe Alexandre Medeiros de Freitas (orientador)

Instituto Federal de Alagoas - IFAL



Prof. Dr. Ricardo Batista do Carmo

Instituto Federal de Alagoas - IFAL



Prof. Dr. Robenilson Ferreira dos Santos

Instituto Federal de Alagoas - IFAL

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me permitido concluir este dever.

Aos meus pais, por todo amor, compreensão e auxílio.

Aos meus irmãos, por todo carinho e incentivo.

Aos meus familiares e amigos por todo estímulo e ânimo.

Ao meu orientador, por ter aceitado meu convite e me auxiliado de maneira brilhante.

Aos meus professores do *Campus* Piranhas, que me ajudaram nesta jornada.

RESUMO

A Termodinâmica é uma área de estudo da Física que apresenta grandes contribuições históricas tanto para a ciência, quanto para o desenvolvimento econômico e social em contextos da história humana. Em particular no período da Revolução Industrial, um importante tema da Física ganha destaque, a Segunda Lei da Termodinâmica. Por estar diretamente associado com as mudanças e o aperfeiçoamento das máquinas térmicas da época. Neste trabalho foi desenvolvido uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) para o ensino da Segunda Lei da Termodinâmica. Fundamentada na Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, a proposta traz atividades baseada em questões-problemas, juntamente com a história e filosofia da ciência, essa unidade prevê aulas expositivas, atividades experimentais, além da introdução de alguns tópicos de História e Filosofia da Ciência associados ao desenvolvimento dos enunciados das Leis da Termodinâmica. Também são apresentados alguns trabalhos voltados para o ensino da Termodinâmica baseados na Teoria da Aprendizagem Significativa, embasando a aplicabilidade da teoria. Ao fim do trabalho é esperado que essa abordagem contribua de forma efetiva para o processo de ensino e aprendizagem, além de poder servir como ponto de partida para o desenvolvimento de outras UEPS, tanto para o ensino da termodinâmica quanto para outros temas da Física.

Palavras-chave: Aprendizagem Significativa. Segunda Lei da Termodinâmica. Ensino de Física.

ABSTRACT

Thermodynamics is an area of study in physics that has made major historical contributions to both science and economic and social development throughout human history. Particularly in the period of the Industrial Revolution, an important topic in physics came to the fore: the Second Law of Thermodynamics. This is because it is directly associated with the changes and improvement of the thermal machines of the time. This work developed a Potentially Significant Teaching Unit (PSU) for teaching the Second Law of Thermodynamics. Based on David Ausubel's Theory of Significant Learning, the proposal includes activities based on problem questions, together with the history and philosophy of science. This unit includes lectures, experimental activities, as well as the introduction of some topics from the History and Philosophy of Science associated with the development of the statements of the Laws of Thermodynamics. Some works on the teaching of thermodynamics based on the Theory of Significant Learning are also presented, supporting the applicability of the theory. At the end of the paper, it is hoped that this approach will make an effective contribution to the teaching and learning process, as well as serving as a starting point for the development of other UEPS, both for the teaching of thermodynamics and other physics subjects.

Keywords: Meaningful Learning. Second law of Thermodynamics. Physics teaching.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Esquema do princípio da assimilação.....	17
Figura 2- Diagrama de energia.....	27
Figura 3- Ciclo de funcionamento de um motor miraculoso acoplado a um motor térmico ...	28
Figura 4- Ciclo de funcionamento de um motor miraculoso acoplado a um refrigerador.....	29

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1 Aprendizagem Significativa.....	13
2.2 Ensino da Termodinâmica e a Aprendizagem Significativa.....	19
2.3 Segunda Lei da Termodinâmica.....	24
2.4 Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS).....	29
2.5 Ensino por Problematização.....	31
3 METODOLOGIA.....	33
3.1 Proposta da Pesquisa.....	33
3.2 Uma UEPS no Ensino da Segunda Lei da Termodinâmica.....	34
4 PERSPECTIVAS.....	37
REFERÊNCIAS.....	38
APÊNDICE A- QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO PRÉVIA.....	42
APÊNDICE B - PLANO DE QUESTIONÁRIO.....	43
APÊNDICE C – SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	44
APÊNDICE D – PLANOS DE AULA.....	52

1 INTRODUÇÃO

A dimensão dos conhecimentos ensinados na disciplina de Física não se limita à exibição de fórmulas, leis, gráficos e conceitos definidos, esses elementos devem ser suporte para a construção de um aprendizado significativo que capacite o estudante com competências e habilidades, permitindo a investigação, formulação de hipóteses e resolução de problemas, como também a aplicação em situações cotidianas, seja em tarefas mais simples ou mais complexas, como previsto nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN's), “portanto, o conhecimento da Física “em si mesmo” não basta como objetivo, mas deve ser entendido sobretudo como um meio, um instrumento para a compreensão do mundo, podendo ser prático, mas permitindo ultrapassar o interesse imediato.” (BRASIL, 2000, p. 23).

Diante deste fato, surge um olhar para um dos mais variados conteúdos ensinados na disciplina de Física que podem ser atravessados diretamente com situações e aplicações cotidianas, os conceitos de Termodinâmica. Descrita por Hülsendeger (2007) como “[...] ramo da Física que estuda as relações entre duas formas de energia: calor e trabalho. Procura responder perguntas como: quanto calor é necessário fornecer a um corpo para aumentar sua temperatura? Como se pode realizar trabalho, produzir energia, a partir do calor?” De acordo com Landri (2018), grande parte dos conceitos de termodinâmica foram desenvolvidos a partir de estudos sobre máquinas térmicas, fortemente estudado por físicos como: Robert Hooke (1635-1703), Denis Pappin (1647-1714), Thomas Savery (1650-1715), Thomas Newcomen (1663-1729), Nicolas S. Carnot (1796- 1832), Èmile Clapeyron (1799-1864), Rudolf J. E. Clausius (1822-1888) e William Thompson (1824-1907).

Habitualmente, nos livros didáticos do ensino médio os conteúdos iniciados na Termologia são os conceitos relacionados à termometria que apresentam, por exemplo, os conceitos de temperatura e calor, em sequência, são dispostos os conteúdos de Termodinâmica, com foco nas Leis da Termodinâmica. Porém, os conceitos que baseiam o estudo da Termodinâmica, como a definição de calor, temperatura e entropia ao serem abordados, passam por um difícil processo de compreensão, muitos estudantes não conseguem diferenciar calor de temperatura, assim como relacionar as teorias conceituais da termodinâmica com o funcionamento e desenvolvimento de máquinas térmicas (BOSS *et al.*

2009); (HÜLSENDEGER, 2007).

A Segunda Lei da Termodinâmica e os estudos das máquinas térmicas, apresentam grandes contribuições históricas tanto para a ciência, quanto para o desenvolvimento econômico e social em contextos da história humana. Cientistas como Thomas Savery, Thomas Newcomen e James Watt, foram grandes precursores deste desenvolvimento, tais estudos impactaram diretamente a ciência, tecnologia e o cenário socioeconômico da Inglaterra e mais a frente, de outros países. Enquanto ocorria a expansão das máquinas térmicas, as teorias científicas também eram revisadas e novos estudos surgiam (SANTOS, 2012).

Silva (2009), investigando barreiras conceituais que dificultam a compreensão da Segunda Lei da Termodinâmica identificou que os conceitos de sistema, processo, temperatura, transformação e natureza do calor também são tópicos de difícil compreensão para os estudantes, além de falhas conceituais apresentadas nos próprios livros didáticos. Utilizando 3 questões problemas, foram analisadas as concepções espontâneas dos alunos sobre elementos fundamentais para a compreensão da Termodinâmica, com ênfase na compreensão dos processos irreversíveis. Em sua pesquisa o autor afirma que, “a falta de uma noção mais ampla de fonte, de sistema isolado, de diferenciação entre calor e temperatura, impede a visão do sentido privilegiado das transformações e a constatação da irreversibilidade dos processos espontâneos,” [...] (SILVA, p. 116, 2009).

No caráter das dificuldades de ensino da 2ª Lei da Termodinâmica, além dos conceitos citados anteriormente, outros fatores como a metodologia de ensino, a escassez de abordagens experimentais e a síntese matemática nos conceitos físicos se tornam obstáculos no processo de ensino e aprendizagem. E ainda, em muitos livros básicos de Física, os enunciados da Segunda Lei são apresentados como equivalentes, mas pouco se contesta e demonstra essa equivalência. Fontana e Santos (2016) discutem este ponto, apresentando como é realizada a demonstração da equivalência, e a conexão dos mesmos com as máquinas térmicas e com a entropia. Os autores abordam um caminho para a demonstração da equivalência, fazendo relação dos enunciados de Clausius e o princípio de máxima entropia.

Uma das alternativas para tornar a compreensão da 2ª Lei da Termodinâmica uma

atividade mais tangível é o ensino norteado pela Teoria da Aprendizagem Significativa, por meio da aplicação de um produto educacional. A aprendizagem significativa toma como base as concepções espontâneas dos alunos, fazendo com que esses conhecimentos sejam significativos e introduzidos junto aos novos conceitos apresentados, definida por Moreira (2012) como “é aquela em que ideias expressas simbolicamente interagem de maneira substantiva e não-arbitrária com aquilo que o aprendiz já sabe.”

Como mostrado por Nogueira (2021), que desenvolveu um produto educacional com foco na Segunda Lei da Termodinâmica e o conceito de entropia, unindo história da ciência e uso de experimentos, com o objetivo de levar para os professores do ensino médio um produto educacional com uma linguagem sintetizada que auxiliasse no ensino da termodinâmica. A metodologia aplicada foi em conformidade com a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, o resultado foi uma participação mais eficaz dos estudantes nas aulas a partir da assimilação dos fatos históricos e a formulação da Segunda Lei da Termodinâmica, podendo fazer confrontações e verificações de forma experimental. Nos trabalhos realizados por Vieira (2020) e Linhares (2018), que também desenvolveram produtos educacionais para o ensino da termodinâmica baseados na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, mostraram que para construir um conhecimento significativo para os estudantes é necessário apresentar e estruturar o conhecimento científico em coerência com saberes que o aprendiz já traz, e que o ensino de Física pode ser apresentado com problematizações e investigações sobre o papel na ciência em questões econômicas e o desenvolvimento tecnológico.

Como forma de minimizar as barreiras no ensino e aprendizagem da Segunda Lei da Termodinâmica mediante a elaboração de um produto educacional, este trabalho tem como objetivo geral: Propor uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) para o ensino da Segunda Lei da Termodinâmica e como objetivos específicos: Demonstrar a equivalência entre os enunciados da Segunda Lei da Termodinâmica; Promover a construção das ideias que levaram aos enunciados da Segunda Lei da Termodinâmica no contexto histórico da Revolução Industrial.

A metodologia tem uma abordagem qualitativa e se baseia na Teoria da Aprendizagem Significativa. As aulas são expositivas, onde é possível introduzir tópicos de história e filosofia da ciência sobre a Segunda Lei da Termodinâmica, sua construção e relação com o

desenvolvimento das máquinas térmicas. Também é apresentado o uso de simulador que ilustra o funcionamento de uma máquina a vapor, e uma demonstração dos enunciados da Segunda Lei da Termodinâmica baseado no livro “Curso de Física Básica: fluidos, oscilações e ondas, calor”, do autor Herch Moysés Nussenzveig. Dessa forma, espera-se que baseada na Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, os estudantes sejam instigados e busquem investigar eventos que contribuíram e implicaram na construção da Segunda Lei da Termodinâmica, compreendendo dessa maneira, os principais conceitos que fundamentam essa lei.

A Segunda Lei da Termodinâmica pode ser apresentada a partir de duas formulações, a primeira de acordo com Rudolf Clausius (1822-1888): “Calor pode fluir espontaneamente de um corpo quente para um corpo frio, mas o calor não flui espontaneamente de um corpo frio a um corpo quente.” e a segunda formulação de acordo com Kelvin-Planck (1824-1907): “Não é possível um processo cíclico no qual calor é retirado de uma fonte quente e convertido inteiramente em trabalho” (BORGES, 2013, p. 242).

E, para demonstrar a equivalência entre os enunciados, é tomado como base a demonstração apresentada no livro didático “Curso de Física Básica: fluidos, oscilações e ondas, calor”, do autor Herch Moysés Nussenzveig, uma obra que demonstra a equivalência entre os enunciados da segunda lei por *reductio ad absurdum*, onde as formulações se relacionam com o funcionamento de máquinas térmicas.

Estes pontos, foram motivadores para que o estudo e desenvolvimento de um produto educacional fosse realizado. Enxergando que a ciência, e principalmente a Física, não engloba somente o estudo de equações e conceitos já formulados, mas sim, que essa área do conhecimento é cotidianamente aplicada nas atividades humanas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Dentre os diversos desafios enfrentados no ensino de Física, de acordo com Moreira (2021) um deles é a aprendizagem mecânica, um ensino de memorização com finalidades pouco significativas para os estudantes, conceitos e fórmulas que não expressam sentido ou relação um com outro, e que após as avaliações o que foi decorado passa a ser esquecido. “Ensinar e aprender Física envolve conceitos e conceitualização, modelos e modelagem, atividades experimentais, competências científicas, situações que façam sentido, aprendizagem significativa, dialogicidade e criticidade [...]”, tratando da aprendizagem significativa, esta é uma teoria em destaque para o ensino de Física, pois preza por uma aprendizagem em que o estudante amplia o conhecimento preexistente, ou seja, os conceitos já formulados e armazenados na estrutura cognitiva do aluno ganham novos significados. (MOREIRA, 2021).

A aprendizagem significativa é uma teoria cognitivista apresentada por David Ausubel (1918-2008), e segundo MOREIRA e MASINI (p. 7, 1982) “para Ausubel, aprendizagem significativa é um processo pelo qual uma nova informação se relaciona com um aspecto relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo”, para integralizar os novos conhecimentos, a aprendizagem significativa, apresenta a importância da identificação de conhecimentos prévios para ancorar os novos conhecimentos que serão apresentados ao aprendiz.

2.1 Aprendizagem Significativa

A Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel é uma teoria cognitivista na qual a aprendizagem é baseada nos conhecimentos que os estudantes já têm, se relacionando com o novo conhecimento de forma não-literal e não-arbitrária, acentuando uma mudança na estrutura cognitiva do aprendiz. Nesse processo, é a partir dos conhecimentos prévios dos estudantes que o professor inicia um ensino direcionado para a aprendizagem significativa, tal processo envolve um fator determinante chamado de *subsunção*, onde as informações já existentes, fator crucial da teoria, são ancoradas com os novos conceitos, em busca de uma construção significativa do conhecimento na estrutura cognitiva do aprendiz. O subsunção pode ser também uma concepção, um construto, uma proposição, uma

representação, um modelo, enfim um conhecimento prévio especificamente relevante para a aprendizagem significativa de determinados novos conhecimentos (MOREIRA, 2012).

O "subsunçor" é um conceito, uma idéia, uma proposição já existente na estrutura cognitiva, capaz de servir de "ancoradouro" a uma nova informação de modo que ela adquira, assim, significado para o indivíduo: a aprendizagem significativa ocorre quando a nova informação "ancora-se" em conceitos relevantes preexistentes na estrutura cognitiva (OSTERMANN; CAVALCANTI, 2010).

Como exemplo, pode ser citado a seguinte situação: para um estudante que conhece a Lei da Conservação da Energia aplicada à energia mecânica, interpretar a transformação da energia potencial em energia cinética e vice-versa, confirma o conceito de conservação da energia que o estudante já tem. Mas, se a ele for apresentado a Primeira Lei da Termodinâmica como a Lei da Conservação da Energia aplicada a fenômenos térmicos, o estudante dará significado a essa nova lei na medida em que relacionar o subsunçor Conservação da Energia ao campo da Termodinâmica, assim o subsunçor ganha novos significados (MOREIRA, 2012).

Progressivamente o subsunçor vai ficando mais estável, mais diferenciado, mais rico em significados, podendo cada vez mais facilitar novas aprendizagens. No caso das conservações de grandezas físicas, o aprendiz pode chegar a um "novo subsunçor" – Leis de Conservação – que passa a subordinar todas as conservações anteriores. Ou seja, que se aplica a várias grandezas físicas e a outras não (MOREIRA, 2012).

“Para Ausubel, a aprendizagem significa organização e integração do material na estrutura cognitiva” (MOREIRA; MASINI, 1982). Entender como o conhecimento se organiza na estrutura cognitiva e como ele é modificado ou não a depender do tipo de ensino, também é um fator relevante para a teoria.

A estrutura cognitiva de cada indivíduo é extremamente organizada e hierarquizada, no sentido que as várias ideias se encadeiam de acordo com a relação que se estabelece entre elas. Além disso, é nesta estrutura que se ancoram e se reordenam novos conceitos e ideias que o indivíduo vai progressivamente internalizando, aprendendo (PRÄSS, 2012).

A aprendizagem significativa se preocupa na forma como a informação será apresentada ao aprendiz, em como será organizada na estrutura cognitiva, como as informações serão modificadas, produzindo um novo conhecimento e como o estudante vai explicar para outras pessoas o conhecimento adquirido.

Em contínuo com a aprendizagem significativa, está a aprendizagem mecânica, onde as informações ficam soltas e não interagem com o conhecimento prévio para formar

uma informação a ser ampliada, o armazenamento de informações é arbitrário e literal. Ambas as aprendizagens não são consideradas por Ausubel como opostas, no entanto uma pouco contribui para a aprendizagem, pois a estratégia é decorar o que está sendo ensinado, enquanto a outra aprendizagem tem como objetivo a interação entre conhecimentos em que tais informações possam ser armazenadas de maneira lógica, podendo ser utilizada no futuro e servir de ponte para a obtenção de outros conhecimentos.

Aprendizagem mecânica e a aprendizagem significativa são extremos de um contínuo. Entre elas há uma “zona cinza” na qual, em sala de aulas, por exemplo, pode estar ocorrendo aprendizagem significativa em razão do ensino recebido, dos materiais instrucionais e das atividades desenvolvidas. A aprendizagem significativa não é abrupta, é progressiva, os conhecimentos vão sendo adquiridos, progressivamente, com significados aceitos no contexto da matéria de ensino (MOREIRA, 2021).

Para que ocorra a aprendizagem significativa, duas condições devem ser consideradas: “1) o material de aprendizagem deve ser potencialmente significativo e 2) o aprendiz deve apresentar uma predisposição para aprender”, no primeiro ponto o material didático a ser empregado deve apresentar significado consistente e se relacionar com os conhecimentos prévios dos estudantes. No segundo ponto, o próprio estudante deve ter uma aptidão em querer aprender (MOREIRA, 2012).

O material com potencial para aprendizagem significativa requer segundo Ausubel:

[...] (1) que o próprio material de aprendizagem possa estar relacionado de forma não arbitrária (plausível, sensível e não aleatória) e não literal com qualquer estrutura cognitiva apropriada e relevante (i.e., que possui significado ‘lógico’) e (2) que a estrutura cognitiva particular do aprendiz contenha ideias ancoradas relevantes, com as quais se possa relacionar o novo material (Ausubel, 2003).

A aprendizagem pode ocorrer de duas formas, por recepção ou descoberta.

Piaget enfatizava a aprendizagem por descoberta como a ideal. Ausubel não só propõe o inverso para o contexto da sala de aula, como alerta para o fato de que ambas podem ser mecânicas. Isso aconteceria, por exemplo, caso as relações entre as ideias pré-existentes na estrutura cognitiva e esta nova que se está tentando aprender não possuísse relações lógicas e claras para o aluno (PRÄSS, 2012).

Na aprendizagem por recepção é apresentado ao aprendiz o conhecimento final, formulado e moldado, e na aprendizagem por descoberta o conteúdo é descoberto pelo aprendiz. As duas maneiras de aprendizagem podem levar tanto a aprendizagem significativa quanto para a aprendizagem mecânica. A aprendizagem por recepção, se bem utilizada, com os instrumentos claros tem grande proveito na aprendizagem significativa, pois mesmo que a

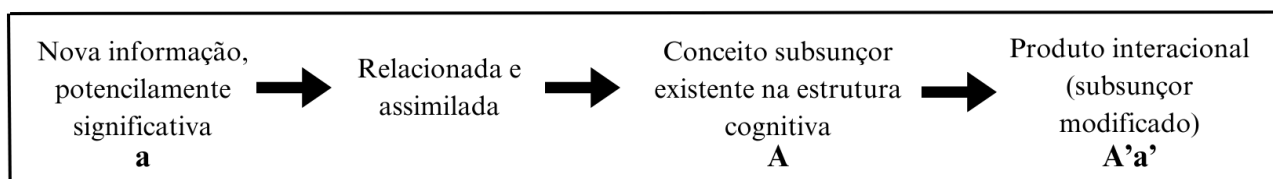
informação esteja “pronta”, ela é apresentada de modo que interaja diretamente com os conhecimentos prévios (MOREIRA; MASINI, 1982).

Outro parâmetro para o processo de aprendizagem significativa são os organizadores prévios, são materiais que devem ser introduzidos antes do conteúdo em si, para que nessas introduções sejam resgatados e ativados os subsunçores necessários para a aprendizagem do conteúdo específico. Fazendo assim, uma ligação entre o conhecimento prévio e o que ele deve saber, assim o material pode ser aprendido de forma significativa. “Para serem úteis, porém, precisam ser formulados em termos familiares ao aluno, para que possam ser aprendidos, e devem contar com boa organização do material de aprendizagem para terem valor de ordem pedagógica.” (MOREIRA; MASINI, 1982, p 13).

De acordo com Ausubel (2003), podem ocorrer três tipos de aprendizagem significativa: a representacional, de conceitos e proposicional. A aprendizagem representacional é a mais simplificada, mas é base para os demais tipos, começa a ocorrer nos primeiros anos de vida, em que os símbolos (palavras ou nomes) ganham um significado igual ao seu referente. Por exemplo, para uma criança que ouve a palavra “bola” e aos poucos percebe que esta palavra representa ou é igual ao objeto bola que ela conhece, é caracterizada a aprendizagem representacional. No entanto, esse conhecimento não fica limitado à associação que foi elaborada, mas será uma base para os conhecimentos subsequentes. A aprendizagem de conceitos utiliza objetos, acontecimentos e situações que são relacionadas com os símbolos de forma mais abstrata. Utilizando o exemplo anterior, o símbolo “bola”, na aprendizagem de conceito, será relacionado com um conceito cultural de bola, a equivalência poderá se estabelecer entre o símbolo e diferentes tipos de bola. A aprendizagem proposicional é entendida como uma aprendizagem que é expressa verbalmente a partir de uma proposição, vai além do significado das palavras que formam a proposição (MOREIRA, 2006).

Quando as ideias estão armazenadas na estrutura cognitiva do aprendiz e para ele é apresentado novos conhecimentos, o resultado da interação entre o que o estudante já sabe e o novo material a ser aprendido é chamado de princípio da assimilação. A seguir é apresentado um esquema do processo de assimilação explicado por Moreira e Masini (1982).

Figura 1– Esquema do princípio da assimilação



Fonte: adaptado de MOREIRA; MASINI (1982)

A assimilação ocorre quando o conceito **a**, potencialmente significativo, é assimilado com um subsunçor, **A**, já existente na estrutura cognitiva do aprendiz, e ambos são modificados pela interação, **A'a'**, essa interação também pode resultar em outras interações e o novo subsunçor irá interagir como novas informações. Tal processo, faz parte de uma relação de subordinação que acontece entre o novo material e a estrutura cognitiva, chamado de subsunção, o mesmo pode ser observado na aprendizagem proposicional e aprendizagem de conceitos. Este pode ser articulado de três formas diferentes, por subordinação, superordenação e aprendizagem combinatória.

A aprendizagem subordinada ocorre quando um conceito ou proposição **a** é assimilado e subordinado a uma ideia mais inclusiva **A**, ou seja, a nova informação é submetida ao subsunçor. Podendo ser evidenciada de duas formas, por derivação e correlação. A aprendizagem subordinada derivativa sucede quando o material aprendido é identificado como um exemplo do que já se sabe, então não sofre grande mudança na estrutura cognitiva. A aprendizagem correlativa decorre de uma mudança mais abrangente do conhecimento preexistente influenciada pela nova informação (MOREIRA, 2006).

A aprendizagem superordenada se dá quando ao longo da aprendizagem significativa novos subsunçores surgem, e ocorre a interação entre eles e eles se tornam mais amplos.

Por exemplo, à medida que uma criança adquire os conceitos de cão, gato, leão, etc., ela pode, mais tarde, aprender que todos esses são subordinados ao conceito de mamífero. À medida que o conceito de mamífero é adquirido, os conceitos, previamente apreendidos, assume a condição de subordinados, e o conceito de mamífero representa uma aprendizagem superordenada (MOREIRA, 2006).

A aprendizagem combinatória, é caracterizada pela aprendizagem por proposições, entretanto, a nova proposição não é assimilada com proposições que o aprendiz já sabe.

No processo de aprendizagem por subordinação, onde há mudança no subsunçor, o resultado deste processo leva a uma diferenciação progressiva do mesmo, que aplicado no

processo de ensino, durante a seleção de conteúdos, é recomendado que inicialmente sejam apresentados as ideias mais amplas e gerais, para que depois sejam diferenciadas a partir de um aprofundamento e uma ligação com outros conceitos.

Ausubel baseia-se em duas hipóteses: a) é mais fácil chegar para o ser humano captar aspectos diferenciados de um todo mais inclusivo previamente aprendido do que chegar ao topo a partir de suas partes diferenciadas; b) a organização do conteúdo de uma certa disciplina na mente de um indivíduo, é uma estrutura hierárquica na qual as ideias mais inclusivas estão no topo da estrutura e, progressivamente, incorporam proposições, conceitos e fatos menos inclusivos e mais diferenciados (MOREIRA; MASINI, 1982, p 21).

No processo de aprendizagem superordenada ou na combinatória, pode ocorrer uma recombinação dos conhecimentos já existentes a depender da maneira como as novas informações vão se combinar e se armazenar na estrutura cognitiva, esta recombinação é chamada de reconciliação integrativa.

Para identificar o conhecimento retido pelo estudante, é indicado que seja proposto problemas que demandem soluções diferentes das quais os estudantes já estavam acostumados a resolver, de forma que, fique claro que a aprendizagem não foi simulada. Como afirma Moreira (2006) “Testes de compreensão devem, no mínimo, ser escritos de maneira diferente e apresentados em um contexto, de certa forma, diferente daquele originalmente encontrado no material instrucional”. A solução de problemas é apontada como um dos melhores recursos para averiguar a aprendizagem, no entanto não se deve ficar preso a este método, “outra possibilidade é solicitar aos estudantes que diferenciem ideias relacionadas, mas não idênticas, ou que identifiquem os elementos de um conceito ou proposição de uma lista contendo também elementos de outros conceitos e proposições similares” (MOREIRA, 2006).

Todos os processos e tipos de aprendizagem chegam a uma finalidade, que é ensinar utilizando recursos e princípios que facilitem a assimilação da estrutura da matéria de ensino por parte do aluno e organização de sua própria estrutura cognitiva nessa área de conhecimentos, através da aquisição de significados claros, estáveis e transferíveis (OSTERMANN; CAVALCANTI, 2010).

2.2 Ensino da Termodinâmica e a Aprendizagem Significativa

A Teoria Aprendizagem Significativa já foi utilizada como base para a criação de produtos educacionais sobre Termodinâmica. A seguir, são descritos alguns desses trabalhos que se baseiam nesta teoria, os objetivos das pesquisas e as metodologias aplicadas.

Vicente de Paula Lopes Neto (2023), em sua dissertação de mestrado titulado “Uma Proposta para o Ensino da 2ª Lei da Termodinâmica e Entropia por meio das UEPS”, construiu um produto educacional envolvendo uma sequência didática nos moldes de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS). A aplicação da sequência didática ocorreu em uma turma do 2º ano do ensino médio, no colégio Estadual Olavo Bilac, cidade de Resende- RJ. Baseado na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel e na Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica de Moreira, foram utilizados alguns experimentos de baixo custo e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDICs) para o ensino da Termodinâmica, com foco especial no ensino da Segunda Lei da Termodinâmica e a entropia. Os resultados apresentados foram satisfatórios para a pesquisa, os experimentos, as aulas e as simulações foram instrumentos ricos na problematização e formulação de hipóteses, com participação ativa dos estudantes. Ao fazer uma análise qualitativa dos resultados do questionário prévio, juntamente com a realização de práticas experimentais, as atividades respondidas após os experimentos e as aulas, o autor relata que foi atingido pelos estudantes a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa. As respostas obtidas no questionário prévio foram satisfatórias, grande parte das questões tiveram altos índices de acertos, o que permitiu ao autor delinear o caminho para o desenvolvimento do trabalho. Como exemplo em relação a diferenciação progressiva, é destacado a atividade experimental “motor a vapor de latinha de refrigerante”, onde os alunos respondiam e comentavam de maneira correta a função de cada elemento do experimento, sem que fosse necessário a intervenção do professor.

Larissa Oliveira dos Santos (2018), em seu trabalho de monografia, “Proposta Metodológica de Abordagem Prática da Segunda Lei da Termodinâmica para o Segundo ano do Ensino Médio”, fundamentada na Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, teve como objetivo elaborar uma proposta prática sobre o estudo da Segunda Lei da Termodinâmica para turmas do 2º ano do ensino médio por meio de uma metodologia experimental. Na metodologia da proposta é sugerido a utilização do experimento “motor a

vapor caseiro”, para a promoção de um ensino contextualizado com os conceitos de calor, trabalho, entropia e energia através da prática experimental. Como resultado final do seu estudo, elaborou um modelo experimental e um guia para fabricação de motor à vapor para contextualização do conteúdo para serem aplicados e utilizados por docentes no ensino de Física.

Mathias Viana Vicari (2018), em sua dissertação, “O Ensino da 1ª e 2ª Leis da Termodinâmica em uma Abordagem Investigativa Desenvolvida em Torno do Motor de Stirling”, teve como objetivo desenvolver e aplicar uma sequência didática, com abordagem investigativa e problematizadora e analisar o seu impacto no processo de ensino aprendizagem dos discentes através de instrumentos que indiquem a alfabetização científica, facilitando a compreensão da natureza, da ciência e suas dimensões tanto sociais quanto históricas para despertar nos jovens o interesse pela Física. A sequência didática foi executada em turmas de 2º e 3º ano do ensino médio, em uma instituição particular, no interior de Minas Gerais. Sua base teórica foi a teoria da mediação de Vygotsky (2011), Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel (1980), bem como na metodologia de Delizoicov e Angotti (1994), como instrumento avaliativo os estudantes elaboraram 3 mapas conceituais e responderam dois testes tradicionais. Como resultado da pesquisa, o autor destaca a interatividade que ocorreu entre os alunos, e a relevância do uso dos mapas conceituais tanto para a avaliação dos conhecimentos prévios, quanto para a avaliação do desenvolvimento da aprendizagem.

Tiago Martins Moura (2017), em sua dissertação de mestrado “A Segunda Lei Da Termodinâmica e o Conceito de Entropia: Uma Proposta de Sequência Didática Potencialmente Significativa”. Aplicou uma sequência didática para uma turma do Centro de Educação de Jovens e Adultos (CEJA) Professor Alfredo Simonetti, em Mossoró/RN. Com base teórica na Aprendizagem significativa de David Ausubel, complementado por Paulo Freire, Joseph Novak e Marco Antônio Moreira. Os resultados mostraram que a sequência didática proporcionou uma dedicação maior dos estudantes e uma participação ativa com discussões, sugestões e argumentos. Na sua conclusão, após fazer uma análise da aplicação do produto educacional, o autor menciona que o objetivo do trabalho foi alcançado. De modo que, foi perceptível e verificado nos estudantes a motivação e interesse em participar das aulas com base nas atividades por eles resolvidas, nas falas em sala de aula e na avaliação pós-teste. Em destaque, o autor traz o seguinte depoimento de um estudante feito no questionário de

avaliação sobre a aplicação do produto educacional "nunca tinha aprendido assim, para falar a verdade acho que nunca tinha aprendido Física. Mas agora consigo ver ela na minha vida". Os mapas conceituais elaborados pelos estudantes comprovaram a evolução dos conhecimentos com a sistematização e hierarquização de informações de acordo com as habilidades estabelecidas para a criação dele.

Renan da Silva Amor (2022), em sua dissertação de mestrado “Sequência Didática para o Ensino Teórico-Prático sobre Máquinas Térmicas Usando Materiais Potencialmente Significativos”. A metodologia foi baseada na Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, na sequência didática foram propostas aulas com leituras, interpretação de textos, aulas experimentais, visualização e discussão de vídeos e utilização de simuladores. Todos esses instrumentos desencadearam nos estudantes argumentações e soluções de problemas, e maior interação entre aluno e professor. A aplicação da sequência didática se deu em uma turma do 2º ano do ensino médio, em uma escola estadual no estado de São Paulo. Através da análise dos instrumentos avaliativos e das observações em sala de aula, ficou constatado melhor desempenho e assiduidade da turma em relação à turma na qual a sequência didática não foi aplicada. Caracterizando a sequência didática como uma ferramenta eficiente para ser aplicada nas aulas de Física, enfatizando a importância e relevância do material didático no ensino de Física.

Joslaine de Lima, em seu produto de mestrado, “Sequência Didática para o Ensino da Termodinâmica”, teve como objetivo desenvolver, aplicar e verificar o potencial pedagógico de uma sequência didática para o ensino da termodinâmica com a utilização de TIC. A base teórica foi apoiada principalmente na orientação de Marco Antônio Moreira (2012) sobre Unidades de Ensino Potencialmente Significativa. A aplicação ocorreu em uma turma do 2º ano, na rede pública de ensino, na cidade de Campo Mourão- Paraná. Os recursos para o uso das Tecnologias da Informação e Comunicação, foram apresentações de vídeos em sala de aula e utilização de simulações, o que desencadeou atratividade por parte dos alunos. Foi observado nos estudantes maior interesse nas aulas durante a aplicação da sequência didática, um dos princípios necessários para aprendizagem significativa, a disposição dos alunos para aprender. Também foi verificado o aumento das notas e médias finais dos estudantes. Com a identificação dos conhecimentos prévios, foi possível examinar a evolução do conhecimento após a aplicação da UEPS, na análise da produção de vídeos feita pelos estudantes, foi notado a interiorização dos conceitos relacionados à termodinâmica. No início

das aulas foi constatado a dificuldade em relação ao entendimento sobre o funcionamento das máquinas térmicas, mas na produção do vídeo sobre termodinâmica, a maioria dos estudantes escolheram abordar explicações sobre as máquinas térmicas, e mostraram que a dificuldade no conteúdo foi minimizada. Concluindo assim, que a sequência didática tem um potencial pedagógico de grande valor para o ensino da termodinâmica.

Mauro Rodrigues Alves Nogueira (2021), em sua dissertação de mestrado intitulada “Sequência didática para abordagem da Segunda Lei da Termodinâmica no ensino Médio”, desenvolveu um produto educacional com linguagem simplificada para auxiliar o professor de Física do ensino médio. Com foco na Segunda Lei da Termodinâmica, baseado na Teoria da Aprendizagem Significativa, a metodologia aplicada foi a sala de aula invertida (*Flipped Classroom*), que permite aos estudantes uma maior autonomia na construção do conhecimento. A sequência didática proposta apresenta dois experimentos que fazem parte da evolução histórica dos conceitos relacionados à Segunda Lei da Termodinâmica e ao desenvolvimento de máquinas térmicas. A aplicação se deu em duas escolas particulares do interior de São Paulo em duas turmas de 2º ano, ao final foi observado em ambas as turmas um envolvimento e curiosidade com as atividades desenvolvidas, o autor ressalva que “os alunos desenvolveram todas as atividades de maneira bastante engajada e com grande motivação.”, pelo fato de que realizavam atividades nas pré-aulas, e durante as aulas seguintes eram discutidas as explicações dos fenômenos e funcionamento dos experimentos por eles construídos. Assim, a sequência didática mostrou grande potencial de aplicação para as redes de ensino, em que podem ser necessárias adaptações, porém mantendo os princípios metodológicos da sala de aula invertida.

A dissertação de Wagner Costa Vieira (2020), “O ensino da termodinâmica sob as perspectivas ciência, tecnologia e sociedade (CTS) e suas interdisciplinaridades”, teve como objetivo desenvolver um produto educacional para facilitar o processo de ensino-aprendizagem de Física conforme as perspectivas Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS). O produto educacional elaborado foi uma programação digitalizada no formato pdf, durante sua aplicação em sala foram utilizados recursos como simulações virtuais de aprendizagem, vídeos, textos e experimentações englobados em aulas expositivas onde o professor tinha o papel de mediar as aulas e não puramente de explicar tópicos e conceitos. Baseado na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, foram analisados os conhecimentos prévios dos estudantes por meio de situações-problema do cotidiano

relacionados ao conteúdo da termodinâmica. As situações problemas foram base para todas as etapas de aplicação do produto educacional, e ao final foram retomadas e foi verificado o que os alunos conseguiram aprender através da interpretação e resolução dessas problematizações. Como resultado foi observado que a utilização de simuladores e demais recursos tecnológicos despertou nos estudantes uma predisposição para acompanhar os conteúdos, o que de acordo com o autor “mostra que o material de ensino estava se tornando potencialmente significativo para eles.”

Marco Antônio Linhares (2018), em sua dissertação: “Conceitos de termodinâmica através de experimentação: simulando uma máquina térmica em sala de aula”, apresenta um produto educacional embasado na teoria de aprendizagem de David Ausubel, complementada pelas teorias de educação de Novak, e a teoria de aprendizagem significativa de Marco Antônio Moreira. A metodologia aplicada se baseou na demonstração de experimentos e vídeos como instrumento auxiliar de ensino, aplicação e análise de questionários para verificar a evolução da aprendizagem antes e depois das atividades didáticas. No questionário pré-teste os resultados apontaram que os alunos não tinham domínio sobre máquinas térmicas, relação entre calor e trabalho. Na pós aula experimental, ao responderem o questionário, os alunos responderam que gostariam de mais aulas experimentais, ao responderem a questão referente ao experimento realizado em sala pelo professor, pouco mais de 50% dos alunos souberam descrever o que tinha ocorrido. Na pós aula com uso de vídeo, uma das questões do questionário foi sobre como explicariam o funcionamento das máquinas térmicas, aplicações das máquinas térmicas. O resultado foi proveitoso, com mais de 60% e 70% de respostas satisfatórias. Os resultados obtidos concluíram que a metodologia aplicada aproximou os alunos das aplicações da Física no cotidiano, proporcionando maior interesse e interação dos estudantes, outro aspecto foi a constatação de “uma melhor identificação dos conhecimentos prévios dos alunos e seus efeitos nas suas aprendizagens.”

Robineide Borges Souza (2019), em sua dissertação de mestrado, apresenta um estudo sobre uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), com o título “Sequência Didática para o Ensino das Leis da Termodinâmica e Máquinas Térmicas”, a sequência didática criada é fundamentada na Teoria Aprendizagem de David Ausubel segundo Marco Antônio Moreira. Para trabalhar com o potencial significativo, a sequência didática foi elaborada associando o movimento de História e Filosofia da Ciência com

Tecnologia, Ciência e Sociedade. Como recursos metodológicos potencialmente significativos foram utilizados textos, vídeos, animações, plataforma de aprendizagem virtual (Kahoot.it), experimento e jogo pedagógico. A análise do potencial da sequência didática mostrou que “por meio de uma abordagem qualitativa, que há indícios de aprendizagem e que o material elaborado é potencialmente significativo, visto o envolvimento e motivação da turma durante as atividades.”

Assim, tomando como base as pesquisas citadas anteriormente, em que todas contribuíram para o ensino e aprendizagem da Segunda Lei da Termodinâmica, este trabalho propõe desenvolver uma sequência didática como Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) norteada pela Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, visando demonstrar a equivalência entre os enunciados da 2ª lei da Termodinâmica, construindo um conhecimento sólido que seja significativo para os estudantes, abordando a construção histórica da segunda lei, seus impactos na ciência, suas contribuições para a história humana e na atualidade.

2.3 Segunda Lei da Termodinâmica

Ao falar sobre a 2ª lei da termodinâmica, é imprescindível que seja citado o cenário histórico associado a esta lei. A Segunda Lei da Termodinâmica e os estudos das máquinas térmicas, apresentam grandes contribuições históricas tanto para a ciência, quanto para o desenvolvimento econômico e social no contexto da história humana. Nos livros didáticos é comum haver uma sequência na apresentação das leis da termodinâmica, porém observando a ordem cronológica, historicamente o surgimento se deu inicialmente com a segunda lei, em seguida, a primeira lei e adiante, a lei zero (PINTO; SILVA, 2018). Este é um dos fatos da Segunda Lei da Termodinâmica, que merece ser destacado durante as aulas, sendo um dos episódios que pode levar o estudante a uma maior curiosidade e entendimento do assunto.

Com as mudanças que ocorreram no setor de produção da Inglaterra durante os séculos XVI e XVII, as manufaturas que produziam ferro, armas e vidro, mediante ao seu crescimento na produção, consumiu rapidamente a matéria fonte de energia para essas produções, a madeira. Além de ser utilizada nas indústrias, a madeira também tinha aproveitamento na construção civil e aquecimento de residências. Frente a uma escassez da

madeira, iniciou-se a exploração do carvão mineral como fonte de energia. Mas, com o aumento da exploração das minas de carvão, começaram a surgir problemas de inundações, em virtude do aumento da profundidade das minas (REZENDE, 2021).

Concomitante aos acontecimentos no âmbito social e econômico, os estudos científicos da termodinâmica daquele período também estavam em desenvolvimento, entre eles a evolução das máquinas térmicas. Um fato em destaque que surgiu durante o aprimoramento das máquinas térmicas no século XVII, foi o trabalho do cientista Thomas Savery (1650-1716) que construiu uma máquina a vapor para solucionar os problemas de alagamentos nas minas de extração de carvão mineral na Inglaterra (SANTOS, 2012 apud LEILA, 2012). Em busca de melhorar o rendimento e a eficiência dessas máquinas térmicas, Thomas Newcomen (1663-1729) e James Watt (1736-1819) também foram promotores dessas criações e incrementaram resultados significativos no período da Revolução Industrial, seus trabalhos impulsionaram a produção nas indústrias têxteis e indústrias de aço, e foram base para o desenvolvimento da locomotiva a vapor e do barco movido a vapor. Enquanto ocorria a expansão das máquinas térmicas, as teorias científicas também eram revisadas e novos estudos surgiam (SANTOS, 2012).

O século XIX e o século XX testemunharam o desenvolvimento da turbina a vapor, do motor a gasolina, do motor a jato e de outros dispositivos que transformam o calor da queima de combustíveis em trabalho útil. Esses são os dispositivos que movem nossa sociedade moderna (KNIGHT, p. 566, 2009).

Foram estes e muitos outros cientistas que contribuíram de maneira expressiva para o desenvolvimento da termodinâmica e, conseqüentemente, de suas leis. E, graças ao melhoramento das máquinas térmicas, atualmente temos presente no cotidiano aparelhos refrigeradores, aparelhos de ar-condicionado, usinas termelétricas e carros movidos por motores à combustão, que foram fabricados a partir dos conhecimentos científicos.

Para entender a Segunda Lei da Termodinâmica, observe o seguinte exemplo:

Suponha que você coloque um tijolo quente sobre um tijolo frio, no interior de uma região termicamente isolada. Você sabe que o tijolo quente esfriará e cederá calor ao tijolo frio, o qual se aquecerá. Eles acabarão atingindo uma temperatura comum: o equilíbrio térmico. Nenhuma energia se perderá, de acordo com a primeira lei da termodinâmica. Mas imagine que o tijolo quente extraísse calor do tijolo frio, tornando-se mais quente ainda. Isso violaria a primeira lei da termodinâmica? Não, se o tijolo frio tornar-se correspondentemente mais frio, de maneira que a energia combinada de ambos permaneça constante. Se isso acontecesse, não haveria violação da primeira lei da termodinâmica (HEWITT, p. 344, 2015).

Examinando este exemplo, observamos que não há um impedimento para que o fenômeno exemplificado ocorra, de acordo com a Primeira Lei da Termodinâmica. No entanto, é impossível que, de maneira espontânea, esse fenômeno aconteça. E, é a Segunda Lei da Termodinâmica, que explica por que não há sua ocorrência.

A declaração profunda da segunda lei da Termodinâmica é que nos processos irreversíveis – que são os que ocorrem, de fato, na natureza – o Universo jamais voltará a ser o que era antes do processo realizado. Apesar da grandeza energia se conservar também nos processos irreversíveis, a entropia aumenta (TELLES; NETTO, p. 298, 2018).

Processos reversíveis são processos em que, após seu término, o sistema pode retornar às suas condições iniciais pelo mesmo caminho. Tais processos, não ocorrem na natureza, mas é por meio da idealização desses processos que pode se ter eficiência da Segunda Lei da Termodinâmica. “Quanto mais próximos estivermos de um processo reversível, maior será o trabalho obtido por um dispositivo produtor de trabalho ou menor será o trabalho necessário a um dispositivo consumidor de trabalho.” (ÇENGEL; BOLES, p. 295, 2013).

Ao contrário dos processos reversíveis, o que temos presente na natureza são os processos irreversíveis, que caracterizam todos os processos reais em que o sistema não retorna ao seu estado inicial de forma espontânea.

Para enunciar a Segunda Lei da Termodinâmica, duas formulações são apresentadas como equivalentes, a primeira de acordo com Rudolf Clausius (1822-1888): “Calor pode fluir espontaneamente de um corpo quente para um corpo frio, mas o calor não flui espontaneamente de um corpo frio a um corpo quente.” (BORGES, 2013, p. 242) e a segunda formulação de acordo com Kelvin (1824-1907): “Não é possível um processo cíclico no qual calor é retirado de uma fonte quente e convertido inteiramente em trabalho” (BORGES, 2013, p. 242).

Os enunciados da Segunda Lei da Termodinâmica se relacionam de maneira prática ao estudo e funcionamento das máquinas térmicas, que são dispositivos que, por meio de um processo cíclico, transformam energia térmica em trabalho (KNIGHT, p. 566, 2009).

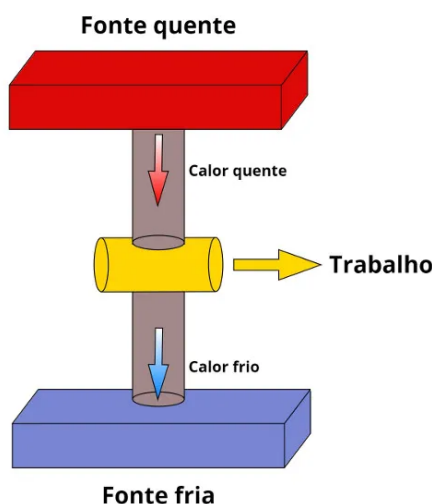
Durante o ciclo, é possível avaliar o trabalho útil produzido por uma máquina térmica, utilizando uma expressão estudada pelo engenheiro francês Nicolas Léonard Sadi Carnot. Ele mostrou que o trabalho útil máximo que pode ser produzido por uma máquina

térmica, depende da diferença de temperatura entre a fonte quente e a fonte fria, o trabalho produzido não tem um rendimento de 100%. Sua equação é:

$$Rendimento = \frac{T_{quente} - T_{frio}}{T_{quente}}$$

Nessa transformação, o calor flui espontaneamente de uma fonte com temperatura mais alta para uma fonte de temperatura mais baixa, e apenas uma parte dessa energia é transformada em trabalho, outra parte é dissipada. (HEWITT, p. 344, 2015). Na figura 2, é apresentado o diagrama de energia que ilustra o ciclo da conversão de energia térmica em trabalho, na qual, pode ser utilizado exatamente para explicar os enunciados da segunda lei e demonstrar a equivalência entre eles. A partir da figura 2, é obtido a seguinte equação $W = Q_q - Q_f$, ou seja, o trabalho realizado é igual a diferença entre o calor recebido e calor cedido pela máquina térmica.

Figura 2- Diagrama de energia



Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/maquina-termicaaplicacao-segunda-lei-termodinamica.htm>

"Como qualquer outra lei da física, a Segunda Lei da Termodinâmica está baseada em observações experimentais. Até hoje, nenhum experimento realizado contrariou a segunda lei, e isso deve ser considerado como prova suficiente de sua validade" (ÇENGEL; BOLES, p. 291, 2013). Para demonstrar a equivalência entre os enunciados, é tomado como base a comprovação apresentada no livro didático de ensino superior, H. M. Nussenzveig (2014), embora os enunciados sejam diferentes, a obra demonstra a equivalência entre eles pelo método de *reductio ad absurdum*, onde as formulações se relacionam com o funcionamento de máquinas térmicas. Para demonstrar a equivalência, cada enunciado é violado,

comprovando que a violação de um dos enunciados implica na violação do outro, concluindo assim, que ambos são equivalentes.

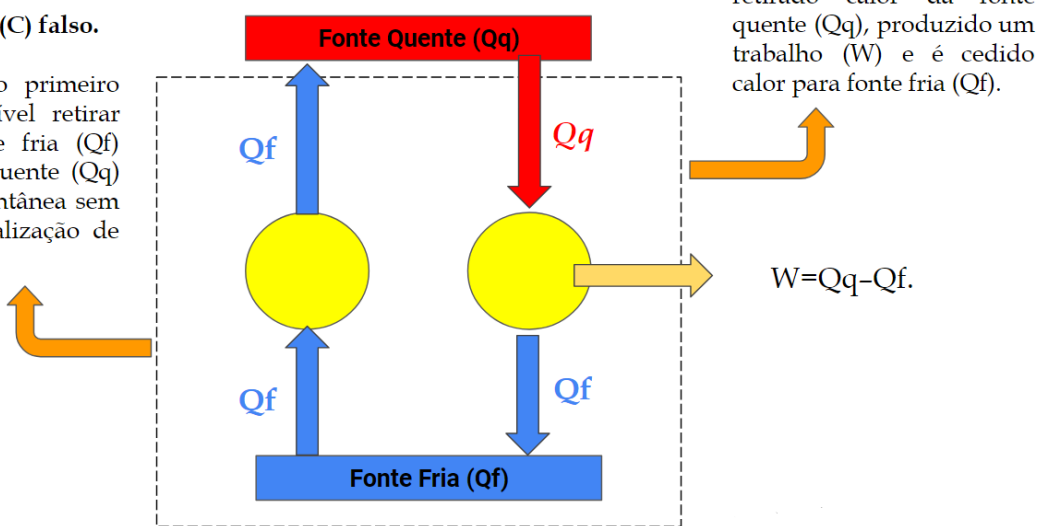
Se o enunciado de Clausius (C) for violado é possível considerar a existência de um refrigerador miraculoso, no qual, haveria a transferência integral de calor Q_f da fonte fria a fonte quente, sem qualquer outro efeito. Esse refrigerador miraculoso é acoplado a um motor térmico que funciona de acordo com o enunciado de Kelvin–Planck (K), como exposto na figura 3.

Figura 3- Ciclo de funcionamento de um motor miraculoso acoplado a um motor térmico.

Equivalência entre (C) e (K)

Considerando (C) falso.

Temos que no primeiro motor é possível retirar calor da fonte fria (Q_f) para a fonte quente (Q_q) de forma espontânea sem que haja a realização de trabalho.



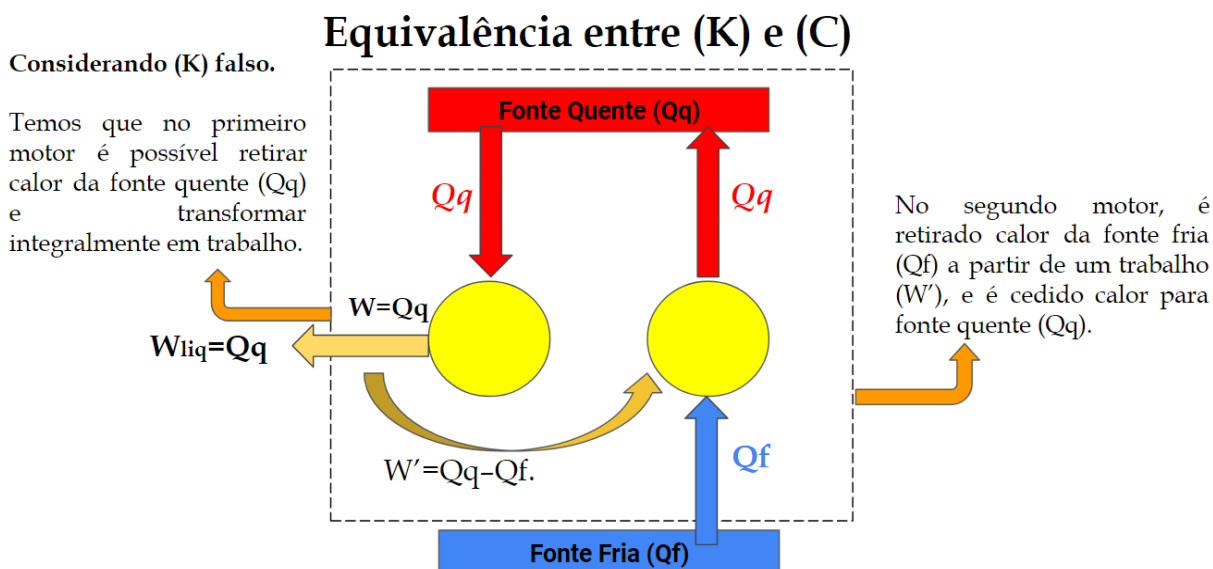
Fonte: adaptado de NUSSENZVEIG, 2014.

Analisando o funcionamento do ciclo completo como apresentado na figura 3, (C) implica que é possível retirar calor da fonte fria para a fonte quente sem que haja a realização de trabalho. O motor térmico absorve calor Q_q , realiza trabalho e transfere Q_f para a fonte fria, o trabalho realizado será $W = Q_q - Q_f$. Mas no mesmo ciclo Q_f é transferido para Q_q , sem gerar nenhum outro efeito, então $W = Q_q - Q_f + Q_f$, o que resulta em $W = Q_q$, violando assim o enunciado (K), pois Q_q não pode ser convertido integralmente em trabalho.

Se o enunciado de Kelvin-Planck (K) for violado é possível considerar a existência de um motor miraculoso, no qual, transformaria o calor da fonte quente integralmente em

trabalho W . Esse motor miraculoso é acoplado a um refrigerador que funciona de acordo com o enunciado de Clausius (C), representado na figura 4.

Figura 4- Ciclo de funcionamento de um motor miraculoso acoplado a um refrigerador.



Assumindo que (C) é verdadeiro e (K) é falso. Um motor miraculoso poderia ser acoplado a um refrigerador. Agora, (K) implica que é possível retirar calor da fonte quente e transformar integralmente em trabalho $W = Q_q$. E para alimentar o refrigerador, o trabalho seria $W' = Q_q - Q_f$ funcionando de acordo com (C) , porém o resultado líquido de $W_{líq}$ ao final do ciclo do sistema seria:

$$\begin{aligned} W_{liq} &= W - W' \\ W_{liq} &= Q_q - (Q_q - Q_f) \\ W_{liq} &= Q_q - Q_q + Q_f \\ W_{liq} &= Q_f \end{aligned}$$

O que resultaria na transferência integral de Q_f para Q_q , violando assim o enunciado de (C).

2.4 Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS)

Observando um dos obstáculos para o ensino, Moreira e Masini (1982) fundamentados por Ausubel, apontam que: “O problema, pois, da aprendizagem em sala de

aula está na utilização de recursos que facilitem a passagem da estrutura conceitual da disciplina para a estrutura cognitiva do aluno, tornando o material significativo”. Os materiais didáticos que facilitam a aprendizagem estão sob tutela do professor, e, como uma ferramenta com potencial de ensino significativo tem-se a UEPS, uma unidade em que o conteúdo pode ser organizado de maneira clara e apresentada para o estudante tal que, possa se articular na estrutura cognitiva dele todo o conteúdo de modo significativo.

Baseada na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, uma das ferramentas utilizada como um material com grande potencial de ensino é uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), que é definida como “sequências de ensino fundamentadas teoricamente, voltadas para a aprendizagem significativa, não mecânica, que podem estimular a pesquisa aplicada em ensino, aquela voltada diretamente à sala de aula.” (MOREIRA, 2011). Para a sequência da UEPS, são seguidos os seguintes passos:

- Definição do tema a ser abordado;
- Elaboração de uma situação que verifique os conhecimentos prévios significativos, como por exemplo, um questionário;
- Utilização do conhecimento prévio para introduzir novas situações-problemas de forma a fazer relação com os conteúdos que serão trabalhados;
- Exposição oral do conteúdo partindo da forma geral para tópicos específicos, podendo envolver atividades colaborativas e de discussões;
- Continuação do conteúdo de forma mais complexa e aprofundada, propondo mais uma atividade de participação dos estudantes, que pode ser por exemplo, uma atividade experimental;
- Ao ser concluída a unidade de ensino, deve ser lembrados os principais tópicos e trabalhados de forma complementar, pode ser abordado de forma oral expositiva, leitura de texto, recurso computacional, audiovisual, entre outros;
- A avaliação da aprendizagem através da UEPS é contínua, a avaliação formativa e somativa fazem parte desse processo;
- Para verificar a validade da aprendizagem através da UEPS devem ser considerados aspectos evidentes da aprendizagem significativa, como por exemplo, compreensão, capacidade de explicar e de aplicar o conhecimento em situações- problema.

2.5 Ensino por Problematização

Conforme Ricardo (2018) “a problematização consiste na construção de situações-problemas que irão estruturar as situações de aprendizagem, dando-lhes um significado percebido pelos alunos.” Estes problemas devem possibilitar aos estudantes perceber que ao levantar hipóteses e argumentos, o conhecimento que eles têm não é suficiente para explicar a problemática, e que, demanda a busca por um novo conhecimento. Como explicado por Elio Carlos Ricardo *et al* (2018):

No interior de uma situação de aprendizagem, o professor não poderá deixar tudo explícito ao aluno já que isso levaria a uma lógica de exposição linear de acúmulo de informações e supostos pré-requisitos, cujos propósitos estão longe da compreensão do educando. Uma situação de aprendizagem problematizadora deverá colocar o valor não apenas diante da falta de conhecimento, mas face à necessidade de um conhecimento (RICARDO, E. C. *et al.*, p. 42, 2018).

Sendo um dos primeiros passos de uma UEPS, as situações-problemas podem ser utilizadas de duas maneiras, tanto para expor os conhecimentos prévios dos estudantes, como também, para que os conhecimentos prévios, através das problematizações, sejam despertados e utilizados na resolução de problemas. Tais situações, podem ser propostas “através de simulações computacionais, demonstrações, vídeos, problemas do cotidiano, representações veiculadas pela mídia, problemas clássicos da matéria de ensino, etc.,” [...] (MOREIRA, 2011).

As situações problemas, portanto, não se constituem por si mesmas, não se trata de ilustrar os assuntos a serem ensinados e diluídos em generalidades. Trata-se de construir um cenário de aprendizagem, com pontos de partida de chegada bem definidos (RICARDO, E. C. *et al.*, p. 43, 2018).

A problematização está ligada a modelização e a contextualização, de maneira que, partindo da realidade, seja exposta uma situação-problema exigindo dos estudantes a criticidade, hipóteses, discussões, e não somente afirmativas ou negativas sem argumentação. Na etapa de modelização os estudantes vão perceber e buscar compreender quais conhecimentos são necessários para solucionar e responder às problemáticas, neste momento o professor expõe os novos conhecimentos que se relacionam com os conhecimentos prévios dos aprendizes. Em seguida, o estudante pode retornar a sua realidade, se voltar para a

situação-problema e agora, diante dos novos conceitos, levantar sobre ela novas hipóteses, explicações e argumentos (RICARDO, E. C. *et al.*, p. 44, 2018).

Na UEPS desenvolvida neste trabalho, as situações-problemas são apresentadas nas aulas iniciais após a aplicação do questionário prévio. Com as seguintes perguntas: Se um copo de vidro cair no chão e se quebrar, ele pode voltar a ser um copo novamente de maneira espontânea? Uma pedra de gelo colocada num copo com água sempre recebe calor da água e derrete. O gelo jamais cede calor espontaneamente para a água- é impossível a água ficar ainda mais quente tornando gelo ainda mais frio. Poderíamos imaginar ainda que uma peça de ferro enferrujada, como o passar do tempo, voltasse a ser uma peça nova. Ou, ainda, que certa quantidade de gás confinada escapasse quando aberto o recipiente. Por que todo o gás não volta para o recipiente? Como podemos explicar a partir dos princípios termodinâmicos a espontaneidade na ocorrência dos fenômenos naturais ? Estas perguntas têm como intuito, explorar o sentido de ocorrência dos fenômenos naturais. Se tomarmos como base a primeira lei da termodinâmica não há impedimento para a ocorrência destes fatos, desde que haja a conservação da energia. Porém, o caminho de volta destas transformações não ocorre de maneira espontânea. Assim, é dado início aos conceitos de processos reversíveis e irreversíveis.

Outras situações-problemas também serão apresentadas: Como ocorre o funcionamento de um motor de carro? Quais conceitos já estudados na termodinâmica podemos associar ao funcionamento dos motores? Por que a energia recebida por uma máquina térmica não é totalmente convertida em trabalho? Estas perguntas podem ser usadas para introduzir a história das máquinas térmicas, tópicos da Revolução Industrial, evolução dos motores de combustão levando aos enunciados da Segunda Lei a Termodinâmica.

3 METODOLOGIA

3.1 Proposta da Pesquisa

Este trabalho aborda o ensino da Segunda Lei da Termodinâmica, em acordo com a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, mediante a construção e aplicação de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa. Aqui está descrito os passos metodológicos a serem seguidos.

Esta pesquisa tem uma abordagem de caráter qualitativo, que preza por uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, baseada em traduzir fenômenos e dar significado ao que está sendo investigado, focando em analisar o processo. Ela não utiliza métodos numéricos, os dados são analisados pelos pesquisadores, normalmente, de forma indutiva. Com um método descritivo, ou seja, envolvendo técnicas de coleta de dados, como aplicação de questionários e observação sistemática. Do ponto de vista procedimental, é proposto a execução de um estudo de caso, que analisa de maneira aprofundada um ou poucos objetos, permitindo obter fatos amplos e detalhados sobre a pesquisa. Os dados podem ser disponibilizados e compilados no formato de proposições, esquemas e argumentações (KAUARK; MANHÃES; MEDEIROS, 2010).

A pesquisa pode ser executada em instituições de ensino médio, tanto colégios com grade curricular comum, quanto em instituições com oferta de ensino médio integrado a cursos técnicos. Em ambas as instituições de ensino é possível aplicar a UEPS de modo que, seja possível fazer uma contextualização da Segunda Lei da Termodinâmica por meio da construção e importância histórica da lei, e, sendo o caso em uma aplicação direta em relação a um curso técnico.

A coleta de dados pode ser feita por meio da aplicação de questionário de avaliação prévia, observação sistemática e de uma atividade de avaliação posterior. O questionário é caracterizado como “um instrumento de coleta de dados, constituído por uma série ordenada de perguntas, que devem ser respondidas por escrito e sem a presença do entrevistador.” O questionário é aplicado no primeiro encontro com a turma, com o objetivo de identificar os conhecimentos prévios apresentados pelos estudantes.

Para a observação sistemática é necessário um planejamento, e precisa ser realizada em condições controladas para responder aos objetivos predeterminados. “Na observação sistemática, o observador sabe o que procura e o que carece de importância em determinada situação; deve ser objetivo, reconhecer possíveis erros e eliminar sua influência sobre o que vê ou recolhe” (MARCONI; LAKATOS, 2003). Na observação sistemática é possível utilizar o diário de bordo para anotações após cada aula. O questionário de avaliação prévia pode ser um dos instrumentos da observação sistemática, e como se trata de uma observação planejada, a Unidade de Ensino Potencialmente Significativa também é um dos instrumentos utilizados para sistematização da pesquisa. A avaliação posterior também é realizada de forma que, será um instrumento de coleta de dados, como também de observação sistemática.

A atividade de avaliação posterior, a exemplo, pode ser uma apresentação em grupo com o objetivo de construir uma máquina térmica, explicar seu funcionamento e relacionar com os enunciados da Segunda Lei da Termodinâmica. É sugerido a gravação das apresentações com um instrumento de gravação de áudio, para que as falas e discussões apresentadas sejam analisadas e investigadas. A avaliação da apresentação é fundamental para que seja possível analisar a evolução dos saberes prévios com os conceitos apresentados durante as aulas. Sendo possível, avaliar ao final como os conhecimentos prévios identificados no questionário de avaliação prévia foram desenvolvidos em cada aula, e como os novos conceitos apresentados são expostos na atividade de avaliação posterior. Os passos anteriores podem ser adaptados por cada professor, desde que permaneçam em acordo com a TAS.

3.2 Uma UEPS no Ensino da Segunda Lei da Termodinâmica

Objetivo: Enunciar a Segunda Lei da Termodinâmica, enfatizando a equivalência entre seus enunciados.

Sequência:

1. Situação inicial: A atividade inicial será a aplicação de questionário de avaliação prévia, em busca de identificar os conhecimentos prévios, os subsunçores, que são conhecimentos específicos que serão utilizados para a ancoragem dos novos

conhecimentos apresentados. O questionário (APÊNDICE A) é composto por 3 questões abertas, que devem ser respondidas de forma individual. Os objetivos e subsunçores a serem identificados no questionário estão apresentados no plano de questionário (APÊNDICE B).

2. Situações-problema: Para início da aula haverá uma explanação e discussão sobre processos reversíveis e irreversíveis para que em seguida seja introduzido o funcionamento de uma máquina térmica.
3. Como ocorre o funcionamento de um motor de carro? Quais conceitos já estudados na termodinâmica podemos associar ao funcionamento dos motores? Porque a energia recebida por uma máquina térmica não é totalmente convertida em trabalho?

Finalização do momento com a exposição e discussão dos diagramas de transferência energia. Também será disponibilizado um vídeo para que os estudantes assistam em casa e tragam dúvidas para as discussões das aulas seguintes. Vídeo: Legendas da Ciência-Episódio "Queimar". O vídeo deverá ser assistido em casa. Link: <https://www.youtube.com/watch?v=0-VIYTgXE9Y>.

4. Aprofundamento: Iniciar a aula retomando o tópico sobre máquinas térmicas de forma mais aprofundada na contextualização histórica e no desenvolvimento das máquinas térmicas no período da Revolução Industrial. Em seguida, apresentar o experimento virtual no simulador Vascak: https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mf_parnistroj&l=pt.
5. Finalizar a aula com os enunciados de Clausius e Kelvin-Planck e discutir a equivalência entre os enunciados.
6. Avaliação e discussão integradora final: A avaliação se dará pela participação em sala de aula junto a avaliação posterior que será uma apresentação de seminário com experimento sobre máquinas térmicas explicando seu funcionamento e relação com os enunciados da 2ª Lei da Termodinâmica. Durante a avaliação posterior, serão recordados alguns conceitos já estudados, a cada apresentação pode ser recordado fatos históricos e apresentados fatos e situações recentes em relação ao tema.

i) Pontos a serem avaliados na apresentação:

- Execução do experimento, e explicação do funcionamento da máquina térmica;
 - Associação entre o funcionamento do experimento e a Segunda Lei da Termodinâmica;
 - Organização das ideias em tópicos, seguindo uma sequência lógica;
 - Domínio de tempo;
 - Postura acadêmica;
 - Domínio do conteúdo.
7. Avaliação da aprendizagem na UEPS: Será baseada no aprimoramento dos conhecimentos apresentados pelos estudantes na avaliação posterior e relação aos conhecimentos apresentados inicialmente no questionário de avaliação prévia. Também será considerado para a avaliação a participação dos estudantes durante as aulas e as observações apresentadas no diário de bordo.
8. Avaliação da própria UEPS: A avaliação da UEPS será feita a partir dos resultados obtidos após sua aplicação.

Total de horas-aula: 7

Assim, considerando os pontos acima foi elaborada uma sequência didática para a aplicação da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (APÊNDICE C), bem como planos de aulas (APÊNDICE D).

4 PERSPECTIVAS

Este trabalho foi elaborado com o intuito de apresentar um material didático que leva ao ensino de Física, além das aulas expositivas, práticas experimentais e introdução de tópicos de História e Filosofia da ciência, ferramentas importantes no ensino de ciências para que o estudante possa investigar e identificar a Física como uma ciência significativa para o desenvolvimento social, econômico e científico.

O uso da atividade investigativa atrelada ao ensino significativo proporciona ao aluno uma nova visão e sentido na prática experimental, para que a partir de situações com erros, acertos, hipóteses e resoluções de problemas, possa ser consolidado uma interpretação dos conceitos estudados, “um outro objetivo, na resolução de problemas a partir de experimentos, é proporcionar a participação do aluno de modo que ele comece a produzir seu conhecimento por meio da interação entre pensar, sentir e fazer.” (CARVALHO et al, p. 45,1999).

Diante do que foi apresentado neste trabalho, a partir das questões e estudos citados espera-se que esta Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) possa servir como ferramenta facilitadora no processo de ensino e aprendizagem da Segunda Lei da Termodinâmica, mediante aos problemas que são enfrentados no ensino de Física como a falta de uma contextualização da temática com a revolução industrial, e com a experimentação. Logo, como proposto inicialmente, é esperado que a aplicação da UEPS possa desenvolver nos estudantes por meio da investigação, formulação de hipóteses e resolução de problemas, as habilidades necessárias para compreender a construção do enunciado da Segunda Lei da Termodinâmica no contexto da revolução industrial. Além de identificar fenômenos cotidianos associados a esse conceito.

Como fruto deste trabalho, foi publicado no Congresso Internacional Movimentos Docentes (CMD), o trabalho intitulado “Uma Proposta para o Ensino da 2ª Lei da Termodinâmica Mediada pela Teoria da Aprendizagem Significativa”. Assim, é esperado que esta pesquisa seja base e exemplo para produção de outros materiais didáticos significativos para o ensino de Física e que a partir dele também seja alcançada a aprendizagem significativa.

REFERÊNCIAS

AMOR, Renan da Silva. **Sequência Didática para o Ensino Teórico-Prático Sobre Máquinas Térmicas Usando Materiais Potencialmente Significativos**. 2022. 158 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física)- Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Campus de Presidente Prudente, Presidente Prudente, 2022.

AUSUBEL, David Paul. **The acquisition and retention of knowledge: A cognitive view**. Tradução: Lígia Teopisto. Lisboa: Paralelo Editora, 2003.

BORGES, Andrea. Entropia e a segunda lei da termodinâmica. In: _____. **Ciências da Natureza e suas Tecnologias: Biologia, Física, Química**. Rio de Janeiro. Fundação CECIERJ, 2013. p. 239-258.

BOSS, Sérgio L. B. *et al.* **Ensino por investigação: relato de uma experiência pedagógica em termodinâmica**. In: XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física – SNEF 2009 – Vitória, ES.

BRASIL. Ministério da Educação. **Parâmetros curriculares nacionais : ensino médio (Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias)**. Brasília: MEC, 2000.

CASTRO, Reginaldo; FERRACIOLI, Laércio. **Segunda Lei da Termodinâmica: Um Estudo de seu Entendimento por Professores do Ensino Médio**. 2013.

CARVALHO, Ana M. P. de *et al.* **Termodinâmica um ensino por investigação**. São Paulo: FEUSP, 1999.

ÇENGEL, Yunus A.; BOLES, Michael A. **Termodinâmica**. Porto Alegre: AMGH, 2013. E-book. ISBN 9788580552010. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580552010/>. Acesso em: 23 set. 2023.

FILHO, Aurelio Gonçalves; TOSCANO, Carlos. **Física: interação e tecnologia**. 2 ed. São Paulo: Leya, 2016.

FONTANA, R. D. B.; SANTOS, I. A. **Os enunciados da segunda lei da termodinâmica: Uma possível abordagem**. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 38, nº 1, (2016).

GASPAR, Alberto. **Compreendendo a física: ondas, óptica, termodinâmica**. 3 ed. São Paulo : Ática, 2016.

HEWITT, Paul. **Física conceitual**. Porto Alegre: Bookman,, 2015. E-book. ISBN 9788582603413. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788582603413/>. Acesso em: 23 set. 2023.

HÜLSENDEGER, Margarete J. V. C. **A história da ciência no ensino da termodinâmica: um outro olhar sobre o ensino de física**. 2007.

KAURAK, F. S.; MANHÃES, F. C.; MEDEIROS, C. H. **Metodologia de Pesquisa: Um guia prático**. Itabuna: Via Letterarum, 2010.

KNIGHT, Randall D. **Física uma abordagem estratégica: termodinâmica óptica**. Vol 2. Porto Alegre: Bookman, 2009. E-book. ISBN 9788577805389. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788577805389/>. Acesso em: 23 set. 2023.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. – São Paulo : Atlas, 2003.

LIMA, Joslaine de. **Sequência Didática para o Ensino da Termodinâmica**. 2016. 44 f. Dissertação (Mestrado Profissional de Ensino de Física)- Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2016.

LINHARES, Marco Antônio. **Conceitos de Termodinâmica Através de Experimentação: Simulando uma Máquina Térmica em Sala de Aula**. 2018. 131 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) - Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, 2018.

LUZ, Antônio Máximo Ribeiro da; ÁLVARES, Beatriz Alvarenga. **Física contexto & aplicações : ensino médio**. ed. 1. São Paulo: Scipione, 2013.

MARTINI, Glorinha *et al.* **Conexões com a Física**. 3 ed. — São Paulo : Moderna, 2016.

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

MOREIRA, Marco Antônio. **A teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2006.

MOREIRA, Marco Antônio. **Unidades De Ensino Potencialmente Significativas – Ueps**. Instituto de Física – UFRGS. Porto Alegre/ RS, 2011.

MOREIRA, Marco Antônio. **Desafios no ensino de física**. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 43, 2021.

MOREIRA, Marco A. **O que é afinal aprendizagem significativa?**. Instituto de Física – UFRGS. 2012. Disponível em: <<http://moreira.if.ufrgs.br/oqueeafinal.pdf>> . Acesso em: 29 de jul. 2022.

MOURA, Tiago Martins. **A Segunda Lei da Termodinâmica e o Conceito de Entropia: Uma Proposta de Sequência Didática Potencialmente Significativa**. 2017. 152 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física)- Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró, 2017.

NETO, Vicente de Paula Lopes. **Uma Proposta para o Ensino da 2ª Lei da Termodinâmica e Entropia por Meio das UEPS**. 2023. 190 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física)- Universidade Federal Fluminense, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

NOGUEIRA, Mauro Rodrigues Alves. **Sequência Didática para Abordagem da Segunda Lei da Termodinâmica no Ensino Médio**. 2020. 144 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba, 2021.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de Física Básica: Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor**. Vol 2. 4ª ed. Edgard Blucher, 2014.

OSTERMANN, Fernanda; CAVALCANTI, Cláudio José de Holanda. **Teorias de Aprendizagem**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Instituto De Física, 2010.

PIETROCOLA, M.; *et al.* **Física em contextos**. São Paulo: Editora do Brasil, 2016.

PINTO, Ingrid Laura dos Santos; SILVA, Ana Paula Bispo. **As leis da termodinâmica, Sadi Carnot e as transformações sociais**. Física na Escola, v. 16, n. 1, 2018.

PRÄSS, Alberto Ricardo. **Teorias de Aprendizagem**. Scrinia Libris, 2012.

RESNICK, Robert; HALLIDAY, David; KRANE, Kenneth S. **Física - Vol. 2, 5ª edição**. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2003. *E-book*. ISBN 978-85-216-1946-8. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-1946-8/>. Acesso em: 31 jan. 2023.

REZENDE, Nei Rogerio. **História das Máquinas Térmicas e o Desenvolvimento das Leis da Termodinâmica**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 2021.

RICARDO, Elio Carlos. Problematização e contextualização no ensino de Física. In: CARVALHO, Anna Maria Pessoa de *et al.* **Ensino de Física**. 1. ed. São Paulo: Cengage, 2018. 29-52.

SANTOS, Larissa Oliveira dos. **Proposta Metodológica de Abordagem Prática da Segunda Lei da Termodinâmica para o Segundo Ano do Ensino Médio**. 2018. 33 p. Trabalho de Conclusão de Curso- Licenciatura em Física- Faculdade de Educação e Meio Ambiente - FAEMA, Ariquemes: FAEMA, 2018.

SANTOS, Marcos M. dos. **A História da Termodinâmica e suas Leis**. 2012. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Licenciatura em Física, Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 2012.

SILVA, Djalma N. da. **A termodinâmica no ensino médio: ênfase nos processos irreversíveis**. 2009. 132 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo. Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências, São Paulo, 2009.

SOUZA, Robineide Borges. **Sequência Didática para o Ensino das Leis da Termodinâmica e Máquinas Térmicas**. 2019. 134 f. Dissertação (Mestrado Profissional de Ensino de Física) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2019.

TELLES, Dirceu D.; NETTO, João M. **Física com aplicação tecnológica**. São Paulo: Editora Blucher, 2013. *E-book*. ISBN 9788521207566. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521207566/>. Acesso em: 23 set. 2023.

VIEIRA, Wagner da Costa. **O Ensino da Termodinâmica Sob a Perspectiva Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) e da Interdisciplinaridade dela Decorrente**. 2020. 81 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) - Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Física. Programa de Pós- Graduação em Física. Maceió, 2020.

VICARI, Mathias Viana. **O Ensino da 1ª e 2ª Leis da Termodinâmica em uma Abordagem Investigativa Desenvolvida em Torno do Motor de Stirling**. 2018. 122 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa– MG, 2018.

APÊNDICE A- QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO PRÉVIA

- 1) Um cubo de gelo inicialmente a 0 °C é posto dentro de um copo com água líquida à temperatura ambiente (25 °C), após alguns minutos o que ocorrerá com o cubo gelo? É possível que o cubo de gelo fique mais diminua ainda mais sua temperatura e a água líquida comece a congelar? Explique.
- 2) Na natureza existem processos com sentidos preferenciais de ocorrência. Por exemplo, um papel após ser queimado virará cinzas, mas as cinzas não conseguem voltar a ser papel novamente (esse processo só ocorrerá em um único sentido). Entretanto, há processos em que sua ocorrência poderá ocorrer em dois sentidos. Ou seja, ao se derreter uma pedra de gelo ela virará água no estado líquido, e a água líquida poderá novamente voltar a ser gelo (esse processo ocorrerá em dois sentidos). Baseado nesse contexto, responda às seguintes questões:
 - a) É possível que, de forma espontânea, ou seja, sem a intervenção de um agente externo, o gelo derretido que está no estado líquido seja convertido ao estado sólido novamente? Explique.
 - b) No processo de queima de uma folha de papel, a folha é transformada em cinzas. É possível que as cinzas sejam convertidas em folha de papel novamente? Explique.
- 3) Máquinas térmicas são dispositivos que convertem calor em trabalho mecânico. Como exemplo temos usinas termelétricas e carros movidos por motores à combustão. A Primeira Lei da Termodinâmica relaciona o conceito de Trabalho e Calor por meio de sua expressão que define o conceito de Energia Interna: $\Delta U = Q - W$, onde Q é a quantidade de calor trocada entre os corpos e/ou sistemas e W é a quantidade de trabalho termodinâmico envolvido. Nas máquinas térmicas a quantidade de calor fornecida a um sistema pelo combustível aumenta sua energia interna e realiza trabalho. Um automóvel ao ser abastecido, a energia na forma de calor advinda da combustão do combustível poderá ser utilizada integralmente para promover trabalho (movimento do automóvel)? Justifique sua resposta.

APÊNDICE B - PLANO DE QUESTIONÁRIO

Para identificar os conhecimentos prévios que servirão como âncora para a incorporação de novos conhecimentos (enunciados da Segunda Lei da Termodinâmica) devemos identificar os subsunçores. Ou seja, para que a formação dos novos conceitos a serem apresentados estejam diretamente relacionados com conceitos que os estudantes já sabem, foram propostas três questões que visam discutir sobre a 1ª lei da termodinâmica, processos reversíveis e irreversíveis. Esses conceitos são fundamentais para o entendimento da 2ª Lei da Termodinâmica, são citados os conceitos de Energia, Entropia, Temperatura, Calor e Trabalho (CASTRO; FERRACIOLI, 2013). Na tabela abaixo são apresentados os objetivos de acordo com cada questão proposta.

Questões	Objetivos	Subsunçores a serem identificados
Questão 1.	Identificar como o estudante compreende o processo de troca de calor e transição de fase.	- Propriedades da transição de fase de uma substância pura; - Identificação de processos reversíveis; - Aplicação do Princípio geral das trocas de calor.
Questão 2.	Identificar e diferenciar processos reversíveis e irreversíveis.	- Definição de processos reversíveis e irreversíveis.
Questão 3.	Analisar a compreensão da 1ª lei da termodinâmica, e a relacionar com o funcionamento das máquinas térmicas.	- Compreensão da 1ª lei da termodinâmica; - Características das máquinas térmicas.

APÊNDICE C – SEQUÊNCIA DIDÁTICA

SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Professor:	
Ano/série:	
Número de alunos:	30
Número de aulas da sequência didática:	07
Tema:	Segunda Lei da Termodinâmica
Objetivo Geral:	Compreender os enunciados da Segunda Lei da Termodinâmica e a equivalência entre eles.
Bloco de conteúdo:	- Processos reversíveis e irreversíveis; - Máquinas Térmicas (histórico das máquinas); - Diagramas de transferência de energia; - Surgimento das leis da termodinâmica no contexto da revolução industrial e seus enunciados; - Enunciados da Segunda Lei da Termodinâmica.

Materiais necessários para a sequência didática:	Livro didático, caderno para anotações, lápis, caneta, notebook, projetor multimídia, quadro branco, marcador para quadro branco, apagador.
---	---

AULA 1	TEMPO ESTIMADO DA AULA (50 min)
Objetivo específico	
- Identificar os conhecimentos prévios necessários para o aprendizado da Segunda Lei da Termodinâmica.	
Organização da turma	
Individual em fileiras	
Introdução da aula	
No início da aula será apresentado a proposta de aplicação do questionário, em que se objetiva a análise dos conhecimentos já existentes dos estudantes que serão utilizados como âncora para a abordagem dos novos conceitos apresentados nas aulas seguintes, em relação a Segunda Lei da Termodinâmica.	
Desenvolvimento da aula	
Os alunos responderão individualmente o questionário e sem consulta a qualquer meio de pesquisa.	

Recursos necessários
- questionário de avaliação prévia; - caneta.
Conclusão
A aula será concluída com o recolhimento dos questionários.
Avaliação
O questionário aplicado será utilizado para uma avaliação diagnóstica.

AULA 2	TEMPO ESTIMADO DA AULA (100 min)
Objetivos específicos	
- Conceituar processos reversíveis e irreversíveis; - Apresentar uma breve introdução histórica sobre as máquinas térmicas; - Explicar o rendimento de uma máquina térmica e apresentar os diagramas de energia.	
Conteúdos	
- Introdução histórica às Leis da termodinâmica; - Processos reversíveis e irreversíveis; - Máquinas Térmicas; - Diagramas de transferência de energia.	

Organização da turma
Individual em fileiras.
Introdução da aula
Para início da aula haverá uma explanação das situações-problemas para a discussão sobre processos reversíveis e irreversíveis. Em seguida, discussão sobre os seguintes questionamentos: Como ocorre o funcionamento de um motor de carro? Quais conceitos já estudados na termodinâmica podemos associar ao funcionamento dos motores? Porque a energia recebida por uma máquina térmica não é totalmente convertida em trabalho?
Desenvolvimento da aula
No decorrer da aula será feito uma contextualização histórica sobre máquinas térmicas com a Revolução Industrial. Também será apresentado o diagrama de uma máquina térmica junto a definição de rendimento das máquinas térmicas. Atividades a serem desenvolvidas com os estudantes: discussão coletiva e análise de imagens.
Recursos necessários
Livro didático, caderno para anotações, caneta, notebook, projetor multimídia, quadro branco, marcador para quadro branco, apagador.
Conclusão
Finalização da aula com a discussão sobre os diagramas de energia. Será atribuída uma atividade de apresentação de seminário com a demonstração de uma experimento de uma máquina térmica. Também será apresentado um vídeo sobre máquinas térmicas para que os estudantes assistam em casa e tragam dúvidas para as aulas seguintes.

Avaliação

A participação dos estudantes durante as discussões fará parte da avaliação. Também será registrado no diário de bordo o desenvolvimento e as observações da aula.

AULA 3**TEMPO ESTIMADO DA AULA (100 min)****Objetivos específicos**

- Utilizar simulador para ilustrar o funcionamento de uma máquina térmica;
- Enunciar a Segunda lei da Termodinâmica;
- Demonstrar a equivalência entre os enunciados da Segunda Lei da Termodinâmica.

Conteúdos

- Evolução das ideias da termodinâmica no contexto da revolução industrial;
- Enunciados da Segunda Lei da Termodinâmica.

Organização da turma

Individual em fileiras

Introdução da aula

No início da aula será retomado o contexto histórico da Revolução Industrial de forma mais aprofundada. Citando principais cientistas, influências e contribuições nas relações sócio-econômicas da época.

Desenvolvimento da aula	
No desenvolvimento da aula será apresentado um experimento virtual para demonstrar o funcionamento de uma máquina térmica. Atividades a serem desenvolvidas com os estudantes: discussão coletiva, inferências e dúvidas sobre o experimento, analisando sua relação com os conteúdos que já foram apresentados.	
Recursos necessários	
Livro didático, caderno para anotações, caneta, notebook, projetor multimídia, quadro branco, marcador para quadro branco, apagador.	
Conclusão	
A aula será finalizada com a apresentação dos enunciados da Segunda Lei da Termodinâmica (Enunciados de Clausius e Kelvin-Planck), além da discussão sobre a equivalência entre eles.	
Avaliação	
A participação dos estudantes durante as discussões fará parte da avaliação. Também será registrado no diário de bordo o desenvolvimento e as observações da aula.	

AULA 4	TEMPO ESTIMADO DA AULA (100 min)
Objetivos específicos	

- Apresentar experimentos demonstrativos relativos à máquinas térmicas, por parte dos discentes;
- Compreender o funcionamento das máquinas térmicas e a Segunda Lei da Termodinâmica.

Conteúdos

- Máquinas térmicas.
- Segunda lei da Termodinâmica.

Organização da turma

Em grupos, média 4 alunos por grupo.

Introdução da aula

Nesta aula os estudantes farão a apresentação de seminário com os experimentos demonstrativos.

Desenvolvimento da aula

No decorrer da aula os grupos farão apresentações de 10-15 min. A cada apresentação serão levantados questionamentos sobre o que foi apresentado e apontamentos sobre o desenvolvimento da apresentação. Ou seja, nessa etapa ocorrerá a negociação de significados.

Recursos necessários

Caderno para anotações, caneta, notebook, projetor multimídia, quadro branco, marcador para quadro branco, apagador.

Conclusão

A aula será finalizada com os apontamentos gerais sobre todas as apresentações e considerações finais.

Avaliação

A avaliação será a partir da participação em sala de aula, junto com a apresentação final. Será baseada no aprimoramento dos conhecimentos apresentados pelos estudantes no seminário em relação aos conhecimentos apresentados inicialmente no questionário de avaliação prévia.

APÊNDICE D – PLANOS DE AULA

I. Plano de Aula: 01
II. Dados de Identificação: Instituição: Professor/a: Disciplina: Física Turma: Duração da aula: 50 min
III. Objetivo Geral: - Identificar conhecimentos prévios para o ensino da Segunda Lei da Termodinâmica;
IV. Desenvolvimento da Proposta: 1º momento (5 minutos): Iniciar apresentação para a turma se identificando e informando o objetivo da aplicação do questionário que será para um diagnóstico. 2º momento (40 minutos): Informar que os alunos devem responder o questionário de forma individual e sem consulta a qualquer material. Em seguida, disponibilizar o questionário impresso. 3º momento (5 minutos): Nos minutos finais recolher o questionário.
V. Recursos: Questionário de avaliação prévia e caneta.
VI. Avaliação: Nesta aula, a avaliação será uma análise das respostas do questionário. De maneira que, serão identificados os conhecimentos prévios que os estudantes têm sobre o conteúdo abordado.

VII. Referências:

GASPAR, Alberto. **Compreendendo a física: ondas, óptica, termodinâmica**. 3 ed. São Paulo : Ática, 2016.

MARTINI, Glorinha *et al.* **Conexões com a Física**. 3 ed. — São Paulo : Moderna, 2016.

FILHO, Aurelio Gonçalves; TOSCANO, Carlos. **Física: interação e tecnologia**. 2 ed. São Paulo: Leya, 2016.

ÇENGEL, Yunus A.; BOLES, Michael A. **Termodinâmica**. Porto Alegre: AMGH, 2013. *E-book*. ISBN 9788580552010. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580552010/>. Acesso em: 23 set. 2023.

KNIGHT, Randall D. **Física uma abordagem estratégica: termodinâmica óptica**. V.2. Porto Alegre: Grupo A, 2009. *E-book*. ISBN 9788577805389. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788577805389/>. Acesso em: 23 set. 2023.

I. Plano de Aula: 02**II. Dados de Identificação:**

Instituição:

Professor/a:

Disciplina: Física

Turma:

Duração da aula: 100 min

III. Tema:

- Máquinas Térmicas

Conhecimentos prévios:

- 1ª Lei da Termodinâmica;

- Conceito de calor e temperatura;

IV. Objetivos:**1- Objetivo geral:**

Entender os processos termodinâmicos que ocorrem nas máquinas térmicas.

2- Objetivos específicos:

- Diferenciar processos reversíveis e irreversíveis;
- Apresentar uma breve introdução histórica sobre máquinas térmicas;
- Explicar o rendimento de uma máquina térmica e apresentar os diagramas de energia.

V. Conteúdos:

- Introdução à segunda lei;
- Processos reversíveis;
- Processos irreversíveis;
- Máquinas Térmicas (histórico das máquinas);
- Diagramas de transferência de energia;

VI. Desenvolvimento da Proposta:

1º momento (20 minutos): Iniciar explanando as situações-problemas e em seguida, falar sobre processos reversíveis e irreversíveis, exemplificando com as seguintes situações, exemplo 1: “Uma xícara de café quente deixada sobre a sua mesa, esfria gradualmente. Ela jamais se aquecerá sozinha.” Exemplo 2: “Se você pinga tinta em um copo com água, as moléculas da tinta serão, eventualmente, espalhadas uniformemente em todo o volume da água. As moléculas nunca de tinta, por conta própria, podem se agrupar na forma da gota original.” Tais exemplos também devem ser relacionados com as questões vistas no questionário de avaliação prévia.

2º momento (50 minutos): Dando continuidade, será iniciado uma fala sobre o funcionamento de um motor. Questionamentos: Como ocorre o funcionamento de um motor de carro? Quais conceitos já estudados na termodinâmica podemos associar ao funcionamento dos motores? Porque a energia recebida por uma máquina térmica não é totalmente convertida em trabalho? Em seguida, será feita uma ponte com o surgimento das máquinas à vapor no período da Revolução Industrial. Será apresentado o diagrama de uma máquina térmica, definição de rendimento das máquinas térmicas e resolução de exercício sobre rendimento.

3º momento (30 minutos): Finalização da aula com a discussão sobre os diagramas de energia. Neste momento será atribuída uma atividade de apresentação de seminário com a demonstração de um experimento de uma máquina térmica e também será disponibilizado um vídeo sobre a história das máquinas térmicas para ser assistido em casa.

VII. Recursos: Livro didático, caderno para anotações, caneta, notebook, projetor multimídia, quadro branco, marcador para quadro branco, apagador.

VIII. Avaliação: A participação dos estudantes durante as discussões fará parte da avaliação. Também será registrado no diário de bordo o desenvolvimento e as observações da aula.

IX. Referências:

FILHO, Aurelio Gonçalves; TOSCANO, Carlos. **Física: interação e tecnologia**. 2 ed. São Paulo: Leya, 2016.

DA LUZ, Antônio Máximo Ribeiro; ÁLVARES, Beatriz Alvarenga. **Física contexto & aplicações : ensino médio**. ed. 1. São Paulo: Scipione, 2013.

PIETROCOLA, M.; et al. **Física em contextos**. São Paulo: Editora do Brasil, 2016.

GASPAR, Alberto. **Compreendendo a física**. 3. ed. São Paulo : Ática, 2016.

ÇENGEL, Yunus A.; BOLES, Michael A. **Termodinâmica**. Porto Alegre: AMGH, 2013. *E-book*. ISBN 9788580552010. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580552010/>. Acesso em: 23 set. 2023.

DAVID, Halliday; RESNICK, Robert; KRANE, Kenneth S. **Física - Vol. 2**, 5ª edição. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2003. *E-book*. ISBN 978-85-216-1946-8. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-1946-8/>. Acesso em: 31 jan. 2023.

I. Plano de Aula: 03**II. Dados de Identificação:**

Instituição:

Professor/a:

Disciplina: Física

Turma:

Duração da aula: 100 min

III. Tema:

- Enunciados da Segunda Lei da Termodinâmica.

Conhecimentos prévios:

- Processos termodinâmicos;
- Máquinas térmicas.

IV. Objetivos:**1- Objetivo geral:**

- Compreender a equivalência entre os enunciados de Clausius e Kelvin-Plank.

2- Objetivos específicos:

- Utilizar simulador virtual para ilustrar o funcionamento de uma máquina térmica;
- Enunciar a Segunda Lei da Termodinâmica;
- Demonstrar a equivalência entre os enunciados da Segunda Lei da Termodinâmica.

V. Conteúdos:

- Evolução das ideias da termodinâmica no contexto da revolução industrial;
- Processos reversíveis e Irreversíveis;
- Máquinas térmicas;
- Enunciados da Segunda Lei da Termodinâmica.

VI. Desenvolvimento da Proposta:

1º momento (20 minutos): No início da aula será retomado o contexto histórico da Revolução Industrial de forma mais aprofundada. Citando principais cientistas, influências e contribuições nas relações sócio-econômicas da época. Será falado sobre a máquina de Watt e turbina a vapor.

2º momento (50 minutos): No desenvolvimento da aula será apresentado um experimento virtual no simulador Vascak para demonstrar o funcionamento de uma máquina térmica. Serão apresentados os enunciados da Segunda Lei da Termodinâmica (Enunciados de Clausius e Kelvin-Plank).

3º momento (30 minutos): Ao fim da aula será demonstrado a equivalência dos enunciados que será por um método de negativa, ou seja, ao violar um dos enunciados, automaticamente o outro será violado, da mesma forma o inverso na forma inversa.

VII. Recursos: Livro didático, caderno para anotações, caneta, notebook, projetor multimídia, quadro branco, marcador para quadro branco, apagador.

VIII. Avaliação: A participação dos estudantes durante as discussões fará parte da avaliação. Também será registrado no diário de bordo o desenvolvimento e as observações da aula

IX. Referências:

FILHO, Aurelio Gonçalves; TOSCANO, Carlos. **Física: interação e tecnologia**. 2 ed. São Paulo: Leya, 2016.

DA LUZ, Antônio Máximo Ribeiro; ÁLVARES, Beatriz Alvarenga. **Física contexto & aplicações : ensino médio**. ed. 1. São Paulo: Scipione, 2013.

PIETROCOLA, M.; et al. **Física em contextos**. São Paulo: Editora do Brasil, 2016.

NUSSENZVEIG, Herch M. **Curso de física básica**. São Paulo: Editora Blucher, 2014.

DAVID, Halliday; RESNICK, Robert; KRANE, Kenneth S. **Física** - Vol. 2, 5ª edição. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2003. *E-book*. ISBN 978-85-216-1946-8. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-1946-8/>. Acesso em: 31 jan. 2023.

I. Plano de Aula: 04

II. Dados de Identificação:

Instituição:

Professor/a:

Disciplina: Física

Turma:

Duração da aula: 100 min

III. Tema:

- Enunciados da Segunda Lei da Termodinâmica e máquinas térmicas.

Conhecimentos prévios:

- Funcionamento das máquinas térmicas;
- Enunciados da Segunda Lei da Termodinâmica.

IV. Objetivo Geral:

- Apresentar os seminários sobre máquinas térmicas e a relação com a Segunda Lei da Termodinâmica.

V. Objetivos específicos:

- Apresentar experimentos demonstrativos relativos à máquinas térmicas, por parte dos discentes;
- Compreender o funcionamento das máquinas térmicas e a Segunda Lei da Termodinâmica;

V. Conteúdos:

- Máquinas térmicas.
- Segunda lei da Termodinâmica.

VI. Desenvolvimento da Proposta:

1º momento (5 minutos): No início da aula será recordado os critérios para a avaliação dos seminários a serem apresentados.

2º momento (80 minutos): No decorrer da aula os grupos farão apresentações de 10-15 min. A cada apresentação serão levantados questionamentos sobre o que foi apresentado e apontamentos sobre o desenvolvimento da apresentação.

3º momento (5 minutos): A aula será finalizada com os apontamentos gerais sobre todas as apresentações e considerações finais.

VII. Recursos: Caderno para anotações, caneta, notebook, projetor multimídia, quadro branco, marcador para quadro branco, apagador.

VIII. Avaliação: A participação dos estudantes durante as discussões fará parte da avaliação. Também será registrado no diário de bordo o desenvolvimento e as observações da aula.

IX. Referências:

DA LUZ, Antônio Máximo Ribeiro; ÁLVARES, Beatriz Alvarenga. **Física contexto & aplicações : ensino médio**. ed. 1. São Paulo: Scipione, 2013.

PIETROCOLA, M.; et al. **Física em contextos**. São Paulo: Editora do Brasil, 2016.

FILHO, Aurelio Gonçalves; TOSCANO, Carlos. **Física: interação e tecnologia**. 2 ed. São Paulo: Leya, 2016.

NUSSENZVEIG, Herch M. **Curso de física básica**. São Paulo: Editora Blucher, 2014.

DAVID, Halliday; RESNICK, Robert; KRANE, Kenneth S. **Física** - Vol. 2, 5ª edição. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2003. *E-book*. ISBN 978-85-216-1946-8. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-1946-8/>. Acesso em: 31 jan. 2023.