



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS - DEPARTAMENTO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA - MNPEF
POLO 28

Giovanni Armando Da Costa

**O USO DE UM TERMOFLUXÍMETRO DE BAIXO CUSTO PARA O
ENSINO DE TERMODINÂMICA**

ALFENAS/MG
2024

GIOVANNI ARMANDO DA COSTA

**O USO DE UM TERMOFLUXÍMETRO DE BAIXO CUSTO PARA O
ENSINO DE TERMODINÂMICA**

Dissertação apresentada ao Polo 28 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - MNPEF do Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL - MG como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Soares Pedroso

Coorientador: Prof. Dr. José Antônio Pinto

ALFENAS/MG
2024

FICHA CATALOGRÁFICA

GIOVANNI ARMANDO DA COSTA

**O USO DE UM TERMOFLUXÍMETRO DE BAIXO CUSTO PARA O
ENSINO DE TERMODINÂMICA**

Dissertação apresentada ao Polo 28 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - MNPEF do Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL - MG como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Ensino de Física.

Aprovado em:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Luciano Soares Pedroso - Orientador
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Prof. Dr. Celio Wisniewski – Examinador 1
Universidade Federal de Alfenas

Prof. Dr. Josué Antunes de Macêdo – Examinador 2
Instituto Federal do Norte de Minas Gerais

AGRADECIMENTOS

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

Agradeço primeiramente à Deus e a instituição Universidade Federal de Alfnas (UNIFAL – MG), pela oportunidade e incentivo à Ciência.

Agradeço aos meus orientadores Dr. Luciano Soares Pedroso (orientador) e Dr. José Antônio Pinto (coorientador) por todo apoio, disposição, ideias inovadoras, profissionalismo e por toda imensa contribuição para que essa dissertação fosse possível acontecer, com toda certeza, se não fosse por vocês, a conclusão desse trabalho não seria possível.

Os agradecimentos ao Professor Dr. Artur Justiniano Roberto Junior, coordenador do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - MNPEF - do Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Alfnas - UNIFAL – MG.

Por fim, agradeço à minha mãe Erotilde Armando da Costa, por todo incentivo e força, à minha namorada Charliane, por todo apoio e torcida e a toda a minha família e amigos, que estiveram juntos nessa caminhada e que colaboraram no processo de confecção dessa dissertação, além de todo suporte durante esses anos.

RESUMO

Este trabalho apresenta a elaboração e aplicação de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) utilizando um aparato experimental de baixo custo denominado Termofluxímetro de Baixo Custo (TFBC). O objetivo principal desse trabalho é desenvolver, implementar e avaliar a utilização de um aparato experimental chamado Termofluxímetro de Baixo Custo como ferramenta de ensino para conceituar elementos de Termodinâmica, promovendo a aprendizagem significativa de Ausubel e avaliando o desempenho dos estudantes por meio da criação de mapas conceituais de Novak. A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) destaca a importância das práticas experimentais no ensino de Física; entretanto, desafios como o alto custo e a complexidade dos equipamentos dificultam sua implementação. Para superar essas dificuldades, propomos a construção e utilização do TFBC em aulas do 2º ano do Ensino Médio. O aparato será utilizado para abordar temas cotidianos relacionados ao conceito de calor, seus princípios de propagação e materiais de isolamento térmico. A metodologia adotada, para que os objetivos fossem alcançados, alicerça-se na aprendizagem significativa de Ausubel, levantando-se subsunçores preexistentes na estrutura cognitiva dos estudantes e utilizando-se da análise de conteúdo para tratar os dados coletados durante e após as intervenções pedagógicas. Foram elaboradas sequências de atividades para promover o processo de ensino e aprendizagem, permitindo aos estudantes elaborar e manipular o experimento e responder às questões norteadoras propostas pelo professor-pesquisador. Os resultados encontrados ao longo das intervenções mostraram que o uso do TFBC facilitou a compreensão dos conceitos de fluxo térmico e condução através de materiais variados, evidenciando a efetividade das práticas experimentais de baixo custo neste nível de ensino. Estudos futuros podem explorar a aplicação do TFBC em outras áreas da Física e expandir a abordagem para diferentes níveis de ensino.

Palavras-chave: Ensino de Física, Práticas experimentais, Aparatos experimentais, termodinâmica, Lei de Fourier, Fluxo térmico, Conforto térmico, Termofluxímetro, Termômetro de baixo custo, Experimentos de baixo custo, Unidade de Ensino Potencialmente Significativa.

ABSTRACT

This study presents the development and application of a Potentially Significant Learning Unit (UEPS) using a low-cost experimental apparatus, designated as the Low-Cost Thermosiphon (TFBC). The main objective of this study is to develop, implement, and evaluate the use of an experimental apparatus, the Low-Cost Thermosiphon, as a pedagogical tool to facilitate the conceptualization of thermodynamic principles, in alignment with Ausubel's meaningful learning theory. Additionally, the study aims to assess students' comprehension through the creation of Novak's concept maps. The Brazilian Common National Curriculum (BNCC) underscores the significance of experiential learning in physics education. However, practical limitations, such as the high cost and intricate nature of the required equipment, present a significant challenge to the implementation of such approaches. To address these challenges, we propose the construction and utilization of the TFBC in 11th grade classrooms. The apparatus will be used to address a range of everyday topics related to the concept of heat, its propagation principles, and thermal insulation materials. The methodology employed to attain the desired outcomes is founded upon Ausubel's meaningful learning theory. This entails the elevation of pre-existing subsumers within the students' cognitive structure and the utilisation of content analysis to process the data gathered during and following the pedagogical interventions. Activity sequences were developed to facilitate the teaching and learning process, enabling students to design and manipulate the experiment and respond to the guiding questions proposed by the teacher-researcher. The findings of the study indicated that the use of the TFBC facilitated the comprehension of the concepts of heat flow and conduction through different materials. This evidence supports the efficacy of low-cost experimental practices at this educational level. Further research could investigate the applicability of the TFBC in other fields of physics and extend the methodology to encompass diverse educational levels.

Keywords: Physics Education, Experimental practices, Experimental apparatus, thermodynamics, Fourier's Law, Thermal flow, Thermal comfort, Thermoflowmeter, Low-cost thermometer, Low-cost experiments, Potentially Significant Teaching Unit.

Sumário

1.	INTRODUÇÃO.....	11
2.	ESTUDO DA TERMODINÂMICA	15
2.1	TEMPERATURA	15
2.1.1	Teoria Cinética Molecular	16
2.1.2	Distribuição de Maxwell-Boltzmann.....	16
2.1.3	Equilíbrio Térmico e Lei Zero da Termodinâmica.....	16
2.1.4	Escala Kelvin e Zero Absoluto	17
2.1.5	Compressão Molecular	17
2.2	CALOR.....	18
2.2.1	Transferência de Energia Térmica.....	19
2.2.2	Natureza Microscópica do Calor	20
2.2.3	Calor como Energia em Trânsito	21
2.2.4	Processos Quânticos e Trocas de Energia.....	21
2.2.5	Entropia e Calor.....	22
2.2.6	Calor Específico e Capacidade Térmica.....	23
2.3	EQUILÍBRIO TÉRMICO.....	23
2.3.1	Interações Microscópicas.....	24
2.3.2	Distribuição de Energia	24
2.3.3	Lei Zero da Termodinâmica	24
2.3.4	Flutuações e Teorema de Flutuação-Dissipação.....	25
2.3.5	Entropia e Equilíbrio térmico	25
2.3.6	Processos Irreversíveis e Equilíbrio.....	25
2.3.7	Equilíbrio Termodinâmico e Teorias Estatísticas.....	25
2.4	CONDUTIVIDADE TÉRMICA	26
2.4.1	Transferência de Calor e Mecanismos de Condução.....	27
2.4.2	Teoria do Movimento Browniano.....	27

2.4.3	Modelos Microscópicos.....	27
2.4.4	Conceitos de Teoria dos Sólidos.....	28
2.4.5	Dependência com a Temperatura e Composição.....	28
2.4.6	Aplicações Tecnológicas e Otimização	28
2.4.7	Equações de Transporte e Modelagem	28
2.5	DISTRIBUIÇÃO DE MAXWELL.....	29
2.5.1	Assimetria	30
2.5.2	Velocidade Média	30
2.5.3	Velocidade Mais Provável	30
2.5.4	Velocidade RMS (<i>Root-Mean-Square</i>)	32
2.6	A LEI DE FOURIER E A CONDUÇÃO DE CALOR	33
2.6.1	Transferência de Calor e a Lei de Fourier	33
2.6.2	A Lei de Fourier para transferência de calor	33
3.	REVISÃO DE LITERATURA E REFERENCIAL TEÓRICO.....	38
3.1	LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO.....	38
3.1.1	Práticas experimentais	38
3.1.2	Uso de UEPS	39
3.1.3	Implementação de trabalho em grupo.....	40
3.2	A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA NA APLICAÇÃO DE UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA	41
3.2.1	David Paul Ausubel	41
3.2.2	Do Ensino Tradicional ao Cognitivismo	42
3.2.3	A Aprendizagem Significativa de David Ausubel.....	43
3.2.4	Subsunçores	50
3.2.5	Mapas Conceituais.....	52
4.	METODOLOGIA.....	55
4.1	OBJETIVOS E IMPLEMENTAÇÃO DA UEPS.....	55

4.2	CONSTRUÇÃO DOS APARATOS EXPERIMENTAIS.....	67
4.2.1	Termômetro Digital de Baixo Custo.....	68
4.2.2	Termofluxímetro de Baixo Custo	69
5.	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	71
5.1	Aplicação da UEPS.....	71
5.2	Intervenção.....	72
5.3	Análise das respostas ao questionário.....	72
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	106
	REFERÊNCIAS.....	109
	APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL.....	113

1. INTRODUÇÃO

A Física é uma das Ciências mais importantes e fundamentais do mundo moderno, e o seu ensino é primordial para o desenvolvimento da educação científica dos estudantes, principalmente na educação Básica. No entanto, o ensino de Física nas escolas públicas brasileiras é um desafio que envolve diversas questões como a formação de professores, a disponibilidade de recursos didáticos e a adequação do currículo escolar. A falta de formação adequada dos professores de Física é uma das principais dificuldades encontradas no ensino dessa Unidade Curricular, alinhada à escassez de experimentação e atividades práticas. Tais complicações podem resultar num baixo desempenho escolar, falta de interesse e até mesmo na evasão escolar. Diante desse cenário, é fundamental buscar soluções para superar essas dificuldades e melhorar a qualidade do ensino de Física nas escolas públicas.

A escassez de professores qualificados e bem preparados pode impactar negativamente a qualidade da educação em Física e dificulta a construção de uma base sólida de conhecimento científico nos estudantes.

Segundo Nesi (2021, p. 10),

[...] Por outro lado, a gestão governamental na esfera Estadual e Federal apontam políticas públicas que oportunizam a continuidade de estudos por parte dos profissionais da Educação, porém não havendo retorno financeiro para eles, exigindo parte do seu tempo, além da carga horária de trabalho para qualificar-se. Não há um incentivo quanto a utilizar parte da carga horária de trabalho para essa formação, processo esse que poderia ser repensado afinal a formação para ação constitui novos direcionamentos para a aprendizagem.

O ensino de Física no ensino médio é uma área importante da educação científica que desempenha um papel decisivo no desenvolvimento intelectual e na formação acadêmica dos estudantes. Entretanto, esse campo de ensino vem sofrendo inúmeros desafios, tanto para os docentes como para os estudantes.

Segundo Moreira (2021, p. 7), “a Física é importante na cidadania, está na base das tecnologias, é uma ciência exemplar. Não tem sentido ensinar Física sem despertar o interesse dos alunos.”

Esse distanciamento entre a teoria e a aplicação desses conceitos de forma práticas pode levar a desmotivação por parte dos educandos em relação à unidade de ensino, resultando num baixo desempenho e menor preferência em seguir carreiras ligadas à área científica.

Para confrontar esses desafios, é necessário reconsiderar as abordagens pedagógicas e métodos de ensino aplicados. A inclusão de atividades práticas, demonstrações experimentais e tecnologias digitais educacionais pode proporcionar aos estudantes uma percepção mais aprofundada dos conceitos científicos e uma conexão mais aproximada com a aplicabilidade do conhecimento no seu cotidiano.

Além disso, é indispensável que sejam implementadas políticas públicas e programas de capacitação para os professores, bem como investimentos em recursos materiais e tecnológicos para as escolas públicas. Para além, é importante que os professores utilizem metodologias de ensino mais interativas e participativas, com a realização de atividades práticas e experimentais, que despertem o interesse e a motivação dos estudantes para os conceitos científicos.

O ensino de Física nas escolas públicas pode enfrentar desafios significativos, mas é essencial para o desenvolvimento da educação científica dos estudantes. É necessário investir em recursos e capacitação adequados, além de implementar metodologias de ensino mais interativas, para garantir uma educação de qualidade em Física nas escolas públicas.

A adequação do currículo escolar às necessidades e interesses dos estudantes é um assunto de crescente relevância crescente na área da educação. A compreensão de que cada educando é único, com características individuais, trajetórias e interesses distintos, tem compelido a busca por abordagens pedagógicas mais flexíveis e personalizadas. Nesse contexto, a adaptação do currículo torna-se um desafio imprescindível para a difusão de uma educação significativa e efetiva.

Segundo Freire (1987, p. 6 e 7),

No círculo de cultura, a rigor, não se ensina, aprende-se em 'reciprocidade de consciências'; não há professor, há um coordenador, que tem por função dar as informações solicitadas pelos respectivos participantes e propiciar condições favoráveis à dinâmica do grupo, reduzindo ao mínimo sua intervenção direta no curso do diálogo.

Essa perspectiva pedagógica enfatiza a importância de considerar o contexto e as vivências dos estudantes no processo de ensino e aprendizagem. A aplicação de um currículo mais rígido e inflexível, muito engessado, pode comprometer o comprometimento dos estudantes e definir suas oportunidades de desenvolvimento integral.

Outro aspecto importante é a adequação do currículo escolar às necessidades e interesse dos estudantes, tornando o ensino de Física mais contextualizado e significativo. De acordo com Ricardo (2010), cabe ao educador administrar as diversidades dos educandos em sala de

aula, ministrando conteúdos mais contextualizados, visando aumentar o interesse do estudante pelo assunto abordado.

A adequação do currículo às necessidades e interesses dos estudantes resulta em melhor desempenho acadêmico, maior motivação e envolvimento com os conteúdos abordados. A individualização do ensino, considerando as características individuais dos educandos, deve proporcionar uma aprendizagem mais significativa e permanente, além de estimular a autonomia e o senso crítico.

A tarefa de adaptar o currículo para responder às demandas individuais não é simples, requer uma abordagem pedagógica flexível e recursos adequados para que os docentes possam identificar e compreender as necessidades específicas de cada educando, garantindo assim um ambiente inclusivo e acolhedor.

A expectativa para a aplicação deste trabalho é a de que ele possa contribuir significativamente para a formação de uma geração de estudantes mais apaixonados pela ciência, críticos em relação ao conhecimento e comprometidos em buscar resultados para os desafios presentes na sociedade. Ao evidenciar a importância da educação transformadora, este trabalho pretende abrir caminhos para uma abordagem pedagógica que valorize não somente o aprendizado dos conceitos físicos, mas também o desenvolvimento integral por parte dos educandos como seres humanos pensantes e ativos em seu processo de formação.

O objetivo principal desse trabalho é desenvolver, implementar e avaliar a utilização de um aparato experimental chamado Termofluxímetro de Baixo Custo como ferramenta de ensino para conceituar elementos de Termodinâmica, promovendo a aprendizagem significativa de Ausubel e avaliando o desempenho dos estudantes por meio da criação de mapas conceituais de Novak. O TFBC tem como finalidade mostrar, de maneira qualitativa, as variações de temperatura quando alteramos o tipo de material onde se dará o fluxo de calor, a espessura e a área de placas diversas, mostrando a aplicabilidade da lei de Fourier. Pretende-se, com o uso do TFBC e com a aplicação da UEPS caracterizar as variáveis envolvidas no processo de fluxo térmico e a confortabilidade térmica, assim como os princípios de propagação de calor e os materiais adequados para um bom isolamento térmico em residências.

O que motivou o uso de aparatos experimentais de baixo custo nesta pesquisa?

Conforme afirmam Séré, Coelho e Nunes (2004), o uso da experimentação no Ensino de Física visa o aprimoramento do aprendizado pois através da realização de experimentos, os estudantes podem desenvolver uma compreensão mais profunda dos conceitos físicos, relacionando a teoria com a prática e visualizando os fenômenos em ação, além de tornar o

aprendizado mais prático, pois permite que os estudantes tenham uma experiência direta com os fenômenos físicos estudados. Essa abordagem evita que o ensino se torne excessivamente teórico e abstrato, proporcionando aos estudantes uma conexão mais significativa com o conteúdo. Quando a experimentação oportuniza a interatividade com o aparato, os estudantes têm a oportunidade de interagir com o material, seus componentes e procedimentos, o que promove um envolvimento mais ativo no processo de ensino e aprendizagem.

A interatividade, segundo Moura, Tavares e Santos (2019), ao se manipular um aparato experimental pode estimular a curiosidade, o questionamento e a participação dos estudantes na construção do conhecimento, tornar o aprendizado mais envolvente e emocionalmente significativo para os estudantes. Ao presenciarem os resultados dos experimentos, os estudantes podem se sentir mais conectados aos conceitos físicos, aumentando o interesse e a motivação para aprender.

É inegável que ao observar fenômenos físicos reais, experienciando as teorias e validando conceitos aprendidos em sala de aula o estudante possa compreender como as teorias se aplicam na prática e como os resultados experimentais corroboram ou refutam as ideias teóricas.

Observa-se, segundo Fontelles (2009), que a realização de experimentos em um ambiente controlado proporciona aos estudantes a oportunidade de manipular variáveis, isolar fatores específicos e observar resultados consistentes, ajudando a entender as relações causa-efeito e a fortalecendo a compreensão dos fenômenos estudados.

Ainda, segundo Oliveira (2010), a experimentação auxilia na internalização dos conceitos estudados, uma vez que a aprendizagem ocorre por meio da experiência direta e da observação dos resultados, modificando de forma significativa a estrutura cognitiva do estudante transpondo-o a aplicações dos conceitos em contextos diferentes.

Nos últimos tópicos desta dissertação, será realizada uma análise detalhada e discussão sobre a implementação de uma UEPS utilizando o TFBC em sala de aula, bem como a avaliação de sua viabilidade com base nos resultados e dados coletados. Revisaremos a teoria subjacente e descreveremos os principais conceitos físicos relacionados ao uso do TFBC dentro da UEPS.

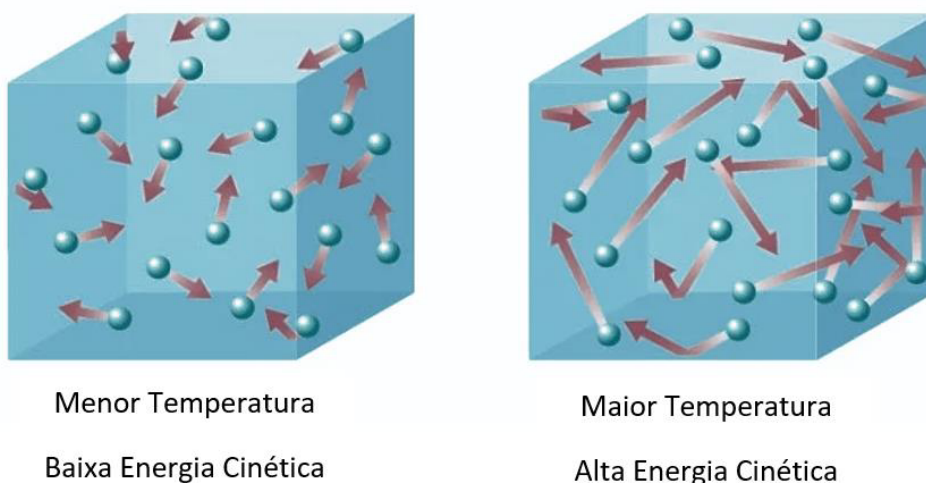
A seguir, exploraremos como esses conceitos foram aplicados na prática, destacando a eficácia pedagógica e os benefícios observados no processo de ensino e aprendizagem.

2. ESTUDO DA TERMODINÂMICA

2.1 TEMPERATURA

Quando se observa as moléculas em seu nível microscópico, pode-se verificar que elas estão em movimento relativamente intenso, variando de acordo com o estado de agregação que se encontra a matéria (sólido, líquido ou gasoso) e de suas condições Físicas. Como essas partículas estão em movimento, possuem energia cinética. O somatório das energias cinéticas das partículas pode ser caracterizado como energia térmica (Figura 1).

Figura 1 – Esquema demonstrativo da energia cinética de um gás conforme sua temperatura



Fonte: <https://encurtador.com.br/aeKm2> Acesso em: 07/09/22 (Adaptado)

Com isso, dentre os três estados físicos mais conhecidos da matéria, o gasoso possui maior energia térmica por ter maior mobilidade das moléculas. Em contrapartida, no estado sólido, a temperatura se comporta de maneira que as partículas vibram em torno de posições fixas em uma estrutura rígida e bem ordenada. À medida que a temperatura aumenta, a energia cinética das partículas também aumenta, intensificando suas vibrações. No entanto, a estrutura sólida permanece intacta até que a temperatura atinja o ponto de fusão, momento em que a energia térmica é suficiente para romper as forças de coesão entre as partículas, permitindo a transição para o estado líquido.

Esse movimento das partículas que fazem parte de um conjunto físico é extremamente caótico, sendo denominado grau de agitação das moléculas ou movimento browniano. Ao ser analisada macroscopicamente, as propriedades atreladas a esse sistema, em decorrência desses

movimentos caóticos microscópicos, estão associadas a grandeza física denominada temperatura.

A temperatura está relacionada à energia cinética média das partículas que compõem um sistema, como átomos ou moléculas. Com isso, podemos evidenciar o conceito de temperatura de algumas maneiras.

2.1.1 Teoria Cinética Molecular

A temperatura é vista como uma medida da energia cinética média das partículas em um sistema. De acordo com a teoria cinética molecular, as partículas em um sólido, líquido ou gás estão em constante movimento. Quanto mais alta a temperatura, maior é a energia cinética média das partículas, o que resulta em movimentos mais rápidos e agitação térmica intensificada.

A teoria cinético molecular da matéria se norteia em três conjecturas fundamentais:

- a) todas as substâncias são constituídas de moléculas que representam o menor fragmento da matéria capaz de manter as mesmas propriedades químicas fundamentais;
- b) as moléculas estão em contínuo movimento desordenado e caótico, denominado movimento browniano;
- c) quando em pequenas distâncias, há uma interação entre as moléculas.

2.1.2 Distribuição de Maxwell-Boltzmann

Segundo Damiano e Rodrigues (2021), a distribuição de Maxwell-Boltzmann é uma função estatística que descreve como as velocidades das partículas se distribuem em uma determinada temperatura. Ela mostra como as partículas de um sistema têm uma faixa de velocidades, com a maior parte concentrada em uma velocidade média. À medida que a temperatura aumenta, a curva da distribuição se alarga, indicando uma gama maior de velocidades possíveis.

2.1.3 Equilíbrio Térmico e Lei Zero da Termodinâmica

A noção de temperatura está relacionada com o equilíbrio térmico entre sistemas. A Lei Zero da Termodinâmica, conforme Correia (2017), estabelece que, quando dois sistemas estão

em equilíbrio térmico com um terceiro sistema, eles também estão em equilíbrio térmico entre si. Isso implica que a temperatura é uma propriedade que permite comparar o estado térmico de diferentes sistemas.

2.1.4 Escala Kelvin e Zero Absoluto

A escala Kelvin é uma escala de temperatura absoluta que tem como referência o zero absoluto, que é a temperatura teórica mais baixa possível na qual as partículas estariam em repouso absoluto (Halliday *et al*, 2016). Em outras palavras, na escala Kelvin a temperatura está diretamente relacionada com a energia térmica do sistema.

O zero absoluto é a temperatura mais baixa possível em toda a escala de temperaturas. Nesse ponto, as partículas moleculares e atômicas têm a menor energia térmica que pode existir. A temperatura em Kelvin (K) é uma medida da energia cinética média das partículas em um sistema. No zero absoluto, essa energia é mínima, e as partículas param de se mover.

A Escala Kelvin é uma escala de temperatura que começa a partir do zero absoluto e é baseada na escala Celsius. A escala Celsius foi proposta pelo astrônomo sueco Anders Celsius em 1742. Inicialmente, ele definiu o ponto de ebulição da água como 0 °C e o ponto de congelamento como 100 °C. Essa escolha visava facilitar a leitura de medições em estudos astronômicos. Após a morte de Celsius em 1744, a escala foi revertida para a forma que conhecemos hoje por Carolus Linnaeus, estabelecendo 0 °C como o ponto de congelamento e 100 °C como o ponto de ebulição da água, ambos à pressão atmosférica padrão.

A relação entre as escalas Kelvin (K) e Celsius (°C) é simples: 0°C corresponde a 273,15K. Portanto, para converter de Celsius para Kelvin, você adiciona 273,15 à temperatura em Celsius.

2.1.5 Compressão Molecular

A relação entre compressão molecular e temperatura é uma questão intrincada que encontra sua fundação na teoria cinética dos gases e nos princípios da termodinâmica. Ela é essencial para compreender os fenômenos físicos que ocorrem em ambientes de alta pressão, como o interior de planetas, reatores nucleares e até mesmo em aplicações industriais, como a fabricação de materiais. Esta dissertação visa explorar a relação entre compressão molecular e

temperatura, fornecendo uma base teórica sólida e ilustrando sua aplicação em diversas áreas da Física e engenharia.

A teoria cinética dos gases descreve o comportamento de moléculas em um gás ideal. Ela estabelece que a pressão de um gás é diretamente proporcional à energia cinética média das moléculas e à frequência com que elas colidem com as paredes do recipiente. Matematicamente, isso é expresso na equação do gás ideal (equação 1):

$$PV = nRT \quad (1)$$

Em que:

- P é a pressão do gás,
- V é o volume ocupado pelo gás,
- n é a quantidade de substância (em moles),
- R é a constante dos gases,
- T é a temperatura absoluta (em Kelvin).

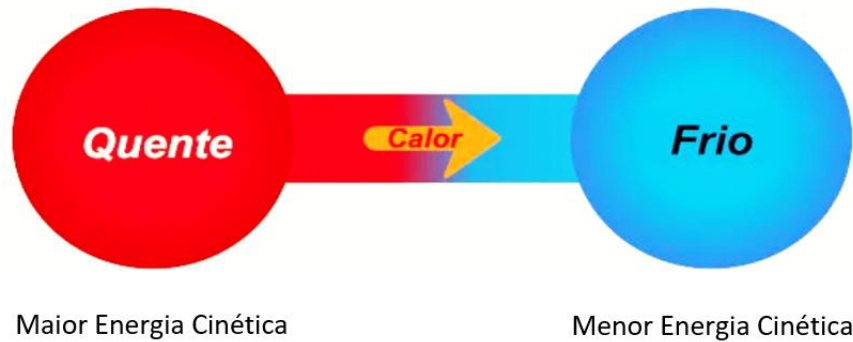
Quando um gás é submetido a uma compressão, sua pressão aumenta. Essa compressão pode ocorrer devido à diminuição do volume (V) ou ao aumento da quantidade de substância (n).

2.2 CALOR

O conceito de calor é popularmente confundido com temperatura, sendo que são grandezas Físicas distintas. Na Física, calor é a energia que transita entre dois meios materiais ou sistemas que estão em diferentes temperaturas, fluindo naturalmente do meio de maior temperatura para o meio de menor temperatura.

Para diferenciar calor de temperatura, podemos falar de maneira resumida que temperatura é a energia interna de um corpo e calor seria a transmissão dessa energia de um corpo para o outro (Figura 2).

Figura 2 – Demonstração do conceito de Calor



Fonte: <https://encurtador.com.br/uvEL9> Acesso em: 07/09/22 (Adaptado)

Uma concepção mais aprofundada do conceito de calor pode melhor explorada utilizando-se as proposições a seguir.

2.2.1 Transferência de Energia Térmica

Calor é a forma de transferência de energia térmica entre dois sistemas, devido à diferença de temperatura entre eles. Essa transferência ocorre até que os sistemas alcancem o equilíbrio térmico, ou seja, até que suas temperaturas se igualem.

A transferência de calor é fundamental para o funcionamento de muitos sistemas naturais e tecnológicos, desde o funcionamento de motores de automóveis até os processos físicos dentro de estrelas.

A transferência de energia térmica, também conhecida como transferência de calor, é um processo fundamental na natureza que envolve a troca de energia cinética entre partículas em diferentes temperaturas. Isso ocorre até que os sistemas atinjam o equilíbrio térmico, nos quais suas temperaturas se igualam. Existem três principais mecanismos de transferência de energia térmica: condução, convecção e irradiação.

2.2.1.1 Condução

Conforme Halliday *et al* (2016), a condução é o processo de transferência de calor através de um meio sólido, como um objeto metálico ou uma barra de metal. A energia térmica flui de partícula para partícula à medida que estas colidem entre si. Partículas mais quentes transferem energia para as mais frias, fazendo com que estas últimas aumentem sua energia cinética e, portanto, sua temperatura.

2.2.1.2 Convecção

Ainda, conforme Halliday *et al* (2016), a convecção ocorre em líquidos e gases e envolve o movimento das próprias substâncias. A transferência de calor ocorre à medida que as partes mais quentes do fluido se tornam menos densas, sobem e são substituídas por partes mais frias que descem. Isso cria um movimento contínuo de convecção.

2.2.1.3 Irradiação

Em concordância com Halliday *et al* (2016), a irradiação é a transferência de calor por meio de ondas eletromagnéticas, como a luz visível e a radiação infravermelha. Diferentemente da condução e da convecção, a irradiação não requer um meio material para se propagar.

2.2.2 Natureza Microscópica do Calor

A mecânica estatística e a teoria cinética molecular descrevem a natureza microscópica do calor. Em Sears, Young e Zemansky (2013, p.190), ele é entendido como a transferência de energia associada às vibrações, rotações e translações das partículas (átomos e moléculas) dentro de um sistema. Essas partículas possuem diferentes níveis de energia, e o calor é a forma como a energia flui entre as partículas de alta energia para as de baixa energia.

A natureza microscópica do calor é a descrição do calor em termos de átomos e moléculas. Do ponto de vista macroscópico, o calor é a energia que flui de um corpo para outro de temperatura mais baixa, até que ambos atinjam o equilíbrio térmico. No entanto, do ponto de vista microscópico, o calor é a energia cinética (energia de movimento) das moléculas de um corpo.

As moléculas de um corpo estão sempre em movimento, mesmo quando ele está em repouso. O movimento das moléculas é mais rápido em corpos quentes e mais lento em corpos frios. Quando dois corpos estão em contato, as moléculas de ambos os corpos se chocam. As moléculas do corpo quente transferem parte de sua energia cinética para as moléculas do corpo frio, fazendo com que as moléculas do corpo frio se movam mais rápido.

2.2.3 Calor como Energia em Trânsito

No contexto da termodinâmica, o calor é tratado como uma forma de energia em trânsito. Halliday *et al* (2016) menciona que o calor não é uma propriedade intrínseca de um sistema, mas sim a energia que flui entre sistemas em diferentes estados térmicos.

O estudo da termodinâmica começou na Grécia Antiga, com filósofos como Aristóteles questionando a natureza do calor. Na Idade Média, a ideia de calórico como substância fluida dominava. Mas, com o tempo, Galileu, Black, Rumford e outros cientistas desafiaram essas ideias.

No século XIX, Carnot, Joule e Clausius revolucionaram nossa compreensão do calor. Descobriram que o calor era equivalente a outras formas de energia, como o trabalho, e introduziram o conceito de entropia, que explica a desordem e a irreversibilidade dos processos termodinâmicos.

No século XX, a teoria cinética dos gases e a mecânica quântica refinaram ainda mais a nossa visão do calor, mostrando que ele está relacionado ao movimento e às interações das moléculas.

2.2.4 Processos Quânticos e Trocas de Energia

Conforme Santos (2019), o calor também está relacionado a processos quânticos, como a emissão e absorção de fótons por átomos e moléculas. A troca de energia entre sistemas não é apenas através de colisões de partículas, mas também envolve interações eletromagnéticas, especialmente em altas temperaturas.

Os processos quânticos são aqueles que envolvem o comportamento da matéria e da energia em escalas muito pequenas, como átomos e moléculas. A Física quântica é um ramo da Física que estuda esses processos.

As trocas de energia térmica são processos que envolvem o transporte de energia térmica de um corpo para outro. A energia térmica é a energia de movimento das moléculas de um corpo, afetando as trocas de energia térmica de várias maneiras. Por exemplo, a Mecânica Quântica prevê que as moléculas podem trocar energia por meio de fótons, que são partículas de luz. Isso significa que a radiação pode ser usada para transferir energia térmica, mesmo em vácuo.

Além disso, a mecânica quântica prevê que as moléculas podem se comportar de maneira diferente quando estão próximas umas das outras. Isso significa que as propriedades térmicas de um material podem ser afetadas pelo tamanho e estrutura das moléculas que o compõem.

Aqui estão alguns exemplos de como os processos quânticos podem afetar as trocas de energia térmica:

Radiação térmica: A radiação térmica é a energia térmica que é emitida por um corpo quente. A mecânica quântica prevê que a radiação térmica pode ser emitida por fótons, que são partículas de luz. Isso significa que a radiação térmica pode ser usada para transferir energia térmica, mesmo em vácuo.

Efeitos de superfície: Os efeitos de superfície são fenômenos que ocorrem na superfície de um material. A mecânica quântica prevê que as propriedades térmicas de um material podem ser afetadas pelo tamanho e estrutura das moléculas que o compõem. Isso significa que a condutividade térmica de um material pode ser afetada pela sua rugosidade ou por sua espessura.

Efeitos de fase: Os efeitos de fase são fenômenos que ocorrem quando um material muda de estado físico. A mecânica quântica prevê que as propriedades térmicas de um material podem ser afetadas pelo estado físico do material. Por exemplo, a condutividade térmica de um material é geralmente maior no estado líquido do que no estado sólido.

Os processos quânticos ainda são um campo de pesquisa ativo. À medida que nossa compreensão da Física quântica se aprofunda, estamos aprendendo mais sobre como ela pode afetar as trocas de energia térmica.

2.2.5 Entropia e Calor

O conceito de entropia, segundo Gonçalves e Gaspar (2012), está diretamente ligado ao calor. Com base nos estudos de Clausius e Kelvin-Planck, a segunda lei da termodinâmica estabelece que a entropia de um sistema isolado tende a aumentar com o tempo. Essa lei fundamental explica como o calor flui espontaneamente de regiões de alta temperatura para áreas de baixa temperatura, resultando em um aumento da desordem e da aleatoriedade no sistema, o que, por sua vez, está diretamente relacionado ao aumento da entropia.

2.2.6 Calor Específico e Capacidade Térmica

O calor específico e a capacidade térmica são conceitos importantes e fundamentais quando se estuda o calor e as propriedades dos materiais. Em Sears *et al* (2013, p.192), encontra-se uma definição elegante sobre o calor específico ao afirmar que é a quantidade de calor necessária para elevar a temperatura de uma unidade de massa de uma substância em uma unidade de temperatura. Já a capacidade térmica, segundo o mesmo autor, é a quantidade total de calor necessária para elevar a temperatura de um sistema. Esses conceitos são fundamentais para compreender como diferentes materiais respondem às transferências de calor.

O Termo calor específico não é muito apropriado, porque pode sugerir a ideia errada de que um corpo contém certa quantidade de calor. Lembre-se de que calor é energia em trânsito entre corpos, não a energia contida em um corpo - Sears *et al* (2013, p.192)

Dito isso, o conceito de calor é entendido em termos da mecânica estatística, teoria cinética molecular, trocas de energia quântica e processos termodinâmicos, incluindo sua relação com a entropia e as propriedades térmicas dos materiais.

2.3 EQUILÍBRIO TÉRMICO

Como foi visto anteriormente, temperatura é o grau de agitação das moléculas e calor é a energia térmica em trânsito. Dito isto, pode-se dizer que o equilíbrio térmico ocorre quando dois corpos, inicialmente com temperaturas diferentes, quando entram em contato, as suas energias internas tenderão a ficar equalizadas ao longo do tempo.

Isso ocorre porque as partículas com maior energia cinética, devido à sua alta temperatura, transferem parte dessa energia para as partículas com menor energia cinética, que estão a uma temperatura mais baixa. Esse processo leva ao estabelecimento do equilíbrio térmico, conforme ilustrado nas Figuras 3a e 3b.

Figura 3 – Equilíbrio Térmico – (a) Fluidos em temperaturas distintas (b) Equilíbrio térmico após homogeneizar os fluidos



(a)

(b)

Fonte: Acervo do autor

2.3.1 Interações Microscópicas

No âmbito da mecânica estatística e da teoria cinética molecular, o equilíbrio térmico é definido como um estado macroscópico em que não há mais fluxo líquido de energia térmica entre sistemas em contato térmico. Essa condição implica que as distribuições de energia cinética das moléculas dos sistemas em contato se tornam idênticas, com as partículas de cada sistema apresentando variações aleatórias em torno de um valor médio comum.

2.3.2 Distribuição de Energia

No equilíbrio térmico, a distribuição de energias entre as partículas em contato atinge uma estabilidade estatística. A Distribuição de Maxwell-Boltzmann, segundo Damiano e Rodrigues (2021), descreve como as energias se distribuem entre as partículas em diferentes estados. No equilíbrio, essa distribuição alcança uma forma específica e estável, caracterizada pela temperatura do sistema.

2.3.3 Lei Zero da Termodinâmica

Em Halliday *et al* (2016), observa-se que a Lei Zero da Termodinâmica estabelece que se dois sistemas estão em equilíbrio térmico com um terceiro sistema, eles estão em equilíbrio

térmico entre si. Isso é fundamental para a definição operacional de temperatura e para a construção de escalas de temperatura confiáveis, como a escala Kelvin.

2.3.4 Flutuações e Teorema de Flutuação-Dissipação

O equilíbrio térmico é entendido em relação às flutuações das propriedades microscópicas. Em Hase *et al* (2006), o Teorema de Flutuação-Dissipação estabelece uma relação entre as flutuações em sistemas termodinamicamente equilibrados e a dissipação de energia. Ele conecta as flutuações nas propriedades observáveis (como temperatura) com os processos dissipativos (como a transferência de calor).

2.3.5 Entropia e Equilíbrio térmico

A entropia está intimamente relacionada ao equilíbrio térmico. O aumento da entropia é uma manifestação do comportamento natural dos sistemas para evoluir em direção ao equilíbrio termodinâmico. No equilíbrio, a entropia é máxima, e os sistemas alcançam uma distribuição de energias e probabilidades que maximiza a desordem.

2.3.6 Processos Irreversíveis e Equilíbrio

O entendimento de que os processos naturais tendem a ser irreversíveis está conectado ao conceito de equilíbrio térmico. Os processos irreversíveis levam a um aumento líquido da entropia, enquanto os processos reversíveis ocorrem quando os sistemas estão próximos ao equilíbrio térmico. O equilíbrio é um estado que não envolve mudanças líquidas ao longo do tempo.

2.3.7 Equilíbrio Termodinâmico e Teorias Estatísticas

Em um nível mais avançado, segundo afirma Ferrari *et al* (2018), o equilíbrio térmico é entendido em relação às teorias estatísticas e mecânicas quânticas, que descrevem como as partículas individuais interagem e trocam energia em nível microscópico. O equilíbrio termodinâmico emerge como um estado estatisticamente mais provável em sistemas complexos.

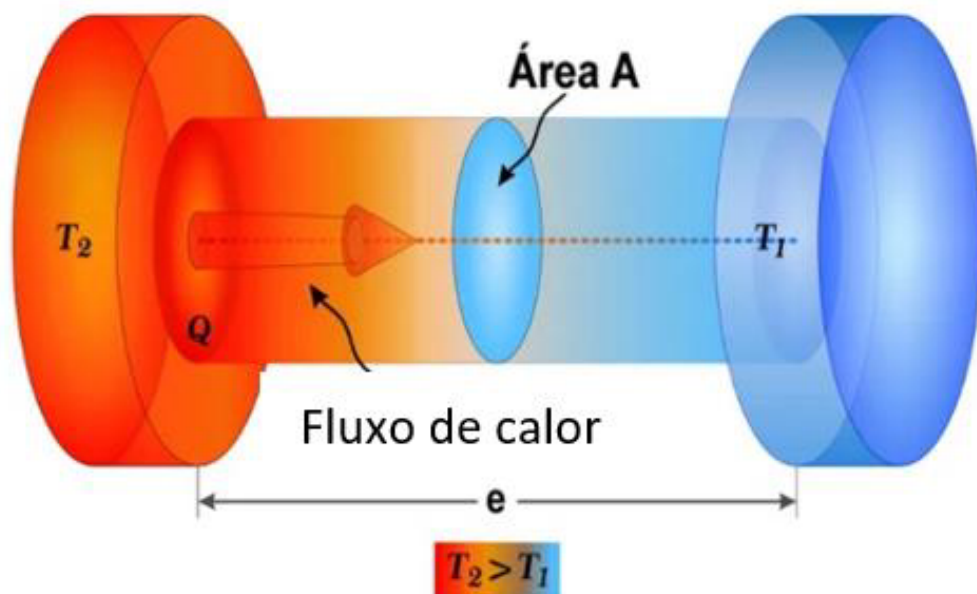
O equilíbrio térmico é compreendido em termos de interações microscópicas, distribuições estatísticas de energia, leis fundamentais da termodinâmica, flutuações, entropia e processos irreversíveis. Ele é um estado em que não há transferência líquida de energia térmica entre sistemas e representa uma distribuição estatística de energia altamente provável.

2.4 CONDUTIVIDADE TÉRMICA

Se fizermos um experimento simples em sala de aula, pedindo aos estudantes que coloquem uma das mãos na parte metálica e outra na parte de madeira, questionando-os qual tem maior temperatura, a resposta tenderá a ser que a madeira tem temperatura maior do que a parte metálica. Essa percepção ocorre, pois, sendo o metal um bom condutor térmico em relação à madeira, há um fluxo de calor maior do corpo para o objeto.

Esse fenômeno é descrito como condutividade térmica, que nada mais é do que a habilidade de um material em transmitir energia térmica sem que haja transferência de matéria. Quanto maior for a condutibilidade térmica, maior será sua capacidade em conduzir energia térmica, sendo assim classificado como um bom condutor térmico. Em contrapartida, um material com pouca condutividade térmica, é classificado como um bom isolante térmico (Figura 4).

Figura 4 – Energia térmica sendo transferida (Imagem será alterada posteriormente)



Fonte: <https://encurtador.com.br/BDLOS> Acesso em 07/09/22 (Adaptado)

A condutividade térmica é uma característica intrínseca e inerente da matéria e não do objeto, podendo variar de acordo com o estado físico, temperatura e pureza da matéria.

2.4.1 Transferência de Calor e Mecanismos de Condução

A condutividade térmica é uma propriedade intrínseca de um material que descreve sua capacidade de conduzir o calor. Em um nível mais avançado, é entendido que a transferência de calor ocorre através de processos microscópicos de colisões entre partículas, como átomos e moléculas. A difusão de energia cinética de partículas de alta energia para as de baixa energia resulta na transferência líquida de calor.

2.4.2 Teoria do Movimento Browniano

A teoria do movimento browniano, proposta por Robert Brown em 1827, descreve o movimento irregular e caótico de partículas microscópicas em suspensão em um fluido, como água ou ar. Esse movimento aleatório, impulsionado por colisões com as moléculas do fluido, é resultado da ação dos bombardeios térmicos do meio, ou seja, do movimento constante das moléculas do fluido em diferentes temperaturas.

A relevância da teoria do movimento browniano se estende para além da mera observação do movimento das partículas. Ela fornece uma base fundamental para a compreensão da condutividade térmica em nível microscópico. Em um material sólido, as partículas (átomos ou moléculas) também estão em constante movimento, mas com menor liberdade do que as partículas em um fluido. Esse movimento browniano interno das partículas em um material contribui significativamente para a transferência de calor entre diferentes regiões do material.

2.4.3 Modelos Microscópicos

Em níveis mais avançados, modelos microscópicos são usados para entender como as partículas individuais interagem e transferem energia térmica. Modelos baseados em simulações computacionais e teorias quânticas são empregados para estudar a propagação de vibrações (fônons) em sólidos cristalinos, que desempenham um papel importante na condutividade térmica.

2.4.4 Conceitos de Teoria dos Sólidos

A condutividade térmica em sólidos está intimamente ligada à estrutura cristalina do material e às propriedades dos fônons, que são quanta de vibração na rede cristalina. A teoria de Debye, uma das teorias mais importantes na Física do estado sólido, descreve o comportamento dos fônons e como eles influenciam a condutividade térmica em diferentes temperaturas.

2.4.5 Dependência com a Temperatura e Composição

A condutividade térmica pode variar significativamente com a temperatura e a composição dos materiais. Em nível superior, é importante entender as relações entre a condutividade térmica, a dispersão de fônons e as características eletrônicas dos materiais.

2.4.6 Aplicações Tecnológicas e Otimização

O conhecimento aprofundado da condutividade térmica é fundamental para o desenvolvimento e a otimização de diversos dispositivos tecnológicos, desde materiais isolantes e condutores térmicos até sistemas de refrigeração e isolamento térmico em edifícios. Essa compreensão abrangente permite a seleção adequada de materiais e o aprimoramento de projetos, contribuindo para a eficiência energética, o conforto térmico e a sustentabilidade.

2.4.7 Equações de Transporte e Modelagem

Em níveis avançados, as equações de transporte, como a equação de Fourier para a condução térmica, são usadas para modelar a propagação de calor em diferentes materiais. Isso permite prever como a temperatura muda no espaço e no tempo, levando em consideração a condutividade térmica.

A condutividade térmica é abordada em relação a mecanismos de transferência de calor, teorias estatísticas, modelos microscópicos, teoria dos sólidos, propriedades anisotrópicas,

aplicações tecnológicas e equações de transporte. Ela é uma propriedade complexa que envolve processos microscópicos e desempenha um papel importante em uma variedade de aplicações práticas.

2.5 DISTRIBUIÇÃO DE MAXWELL

Nesta seção, será aprofundada a compreensão da Distribuição de Maxwell-Boltzmann, uma distribuição de probabilidade crucial para a Física estatística e termodinâmica. Esta distribuição, conforme Damiano e Rodrigues (2021) desempenha um papel fundamental na descrição das velocidades das partículas em sistemas físicos, proporcionando percepções valiosas sobre o comportamento das partículas em um gás ideal em equilíbrio térmico.

A temperatura de um sistema físico é um conceito fundamental e está intrinsecamente ligada ao movimento das moléculas e átomos que constituem o sistema. Essas partículas, mesmo em um estado aparentemente estável, possuem diferentes velocidades e estão em constante movimento. A Distribuição de Maxwell-Boltzmann fornece uma descrição probabilística das velocidades dessas partículas em um sistema à temperatura dada. É expressa por uma função de distribuição de probabilidade que leva em consideração a massa das partículas (m), a constante de Boltzmann (k) e a temperatura absoluta (T).

A equação da Distribuição de Maxwell-Boltzmann é dada por:

$$f(v) = 4\pi \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} v^2 e^{-\frac{mv^2}{2kT}} \quad (2)$$

Em que:

$f(v)$ é a função de distribuição de probabilidade da velocidade das partículas.

m é a massa das partículas.

k é a constante de Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K).

T é a temperatura em kelvin.

v é a velocidade das partículas.

π é a constante matemática Pi (3,14159...).

Esta equação é crucial para compreender a distribuição das velocidades das partículas em um sistema termodinâmico e oferece uma visão detalhada da energia cinética das partículas em relação à temperatura.

A Distribuição de Maxwell-Boltzmann possui várias características importantes, dentre elas destaca-se:

2.5.1 Assimetria

Esta distribuição é assimétrica e exibe uma cauda que se estende para velocidades mais elevadas, o que implica que algumas partículas podem ter velocidades significativamente maiores do que a velocidade média da distribuição.

2.5.2 Velocidade Média

A velocidade média das partículas em um sistema em equilíbrio termodinâmico pode ser calculada usando a Distribuição de Maxwell-Boltzmann, uma ferramenta fundamental para compreender o comportamento microscópico dos gases e outros sistemas em nível atômico e molecular.

A distribuição de Maxwell-Boltzmann tem diversas aplicações importantes, como o cálculo da velocidade média das partículas: A velocidade média pode ser calculada integrando a função de distribuição de probabilidade sobre todas as velocidades (Equação 3).

$$v = \int_0^{\infty} v f(v) dv \quad (3)$$

A energia cinética média das partículas pode ser calculada integrando o produto da velocidade cinética ($mv^2/2$) pela função de distribuição de probabilidade (Equação 4).

$$E_k = \int_0^{\infty} \left(\frac{mv^2}{2} \right) f(v) dv \quad (4)$$

2.5.3 Velocidade Mais Provável

A velocidade mais provável (V_{mp}) de um sistema em equilíbrio termodinâmico, também conhecida como velocidade modal, é a velocidade na qual a função de distribuição de Maxwell-Boltzmann atinge seu valor máximo. Essa velocidade fornece uma informação crucial sobre o

comportamento das partículas no sistema, indicando a velocidade mais comum entre elas em uma temperatura específica.

A velocidade mais provável pode ser calculada derivando a função de distribuição de Maxwell-Boltzmann em relação à velocidade e igualando a derivada a zero (Equação 5).

$$\frac{d[f(v)]}{dv} = 0 \quad (5)$$

Após a resolução da equação, obtemos a seguinte expressão para a velocidade mais provável:

$$V_{mp} = \sqrt{\frac{2kT}{m}} \quad (6)$$

Em que:

V_{mp} : Velocidade mais provável (em metros por segundo, m/s)

k : Constante de Boltzmann ($1,380649 \times 10^{-23}$ J/K)

T : Temperatura absoluta do sistema (em Kelvin)

m : Massa da partícula (em quilogramas, kg)

A velocidade mais provável apresenta diversas propriedades importantes:

- Relação com a temperatura: A V_{mp} aumenta com o aumento da temperatura, pois as partículas possuem mais energia cinética em temperaturas mais altas.
- Relação com a massa: A V_{mp} diminui com o aumento da massa das partículas, pois partículas mais pesadas são menos afetadas pela energia térmica.
- Interpretação: A V_{mp} representa a velocidade na qual a maior concentração de partículas se encontra, fornecendo uma referência para o comportamento geral das partículas no sistema.

Aplicações da velocidade mais provável:

- Análise de processos de difusão: A V_{mp} pode ser utilizada para estimar a taxa de difusão de partículas em um meio, pois as partículas com velocidades próximas à V_{mp} são as mais propensas a se deslocar.

- Avaliação de reações químicas: A V_{mp} pode ser usada para determinar a probabilidade de colisões entre partículas com energias cinéticas suficientes para iniciar reações químicas.

2.5.4 Velocidade RMS (*Root-Mean-Square*)

A velocidade média quadrática (V_{RMS}), também conhecida como velocidade RMS, é uma medida estatística que representa a raiz quadrada da média dos quadrados das velocidades de um conjunto de partículas em um sistema em equilíbrio termodinâmico. Essa medida é fundamental em diversos campos da Física e da engenharia, principalmente na termodinâmica e na cinética, fornecendo informações importantes sobre o comportamento microscópico das partículas.

A velocidade RMS pode ser calculada pela seguinte equação:

$$V_{RMS} = \sqrt{v^2} \quad (7)$$

Em que:

V_{RMS} : Velocidade média quadrática (em metros por segundo, m/s)

v^2 : Média dos quadrados das velocidades das partículas (em metros quadrados por segundo ao quadrado, m^2/s^2)

A média dos quadrados das velocidades, presente na equação acima, pode ser calculada da seguinte forma:

$$v^2 = \int_0^{\infty} v^2 f(v) dv \quad (8)$$

Em que:

$f(v)$: Função de distribuição de Maxwell-Boltzmann (definida na equação 2)

A velocidade RMS apresenta diversas propriedades importantes:

- Relação com a velocidade média: A V_{RMS} é sempre maior ou igual à velocidade média (v), com igualdade apenas para sistemas com distribuição de velocidades uniformes.

- Relação com a energia cinética média: A V_{RMS} está relacionada à energia cinética média das partículas através da seguinte equação:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mv_{RMS}^2 \quad (9)$$

V_{RMS} fornece uma medida da amplitude das velocidades das partículas em torno da velocidade média, indicando a dispersão das velocidades no sistema.

2.6 A LEI DE FOURIER E A CONDUÇÃO DE CALOR

A Lei de Fourier, também conhecida como a Lei da Condução de Calor de Fourier, é um dos princípios fundamentais da termodinâmica e desempenha um papel crucial na compreensão da transferência de calor em sistemas físicos. Ela foi formulada pelo físico francês Jean-Baptiste Joseph Fourier no início do século XIX e fornece uma relação matemática entre o fluxo de calor, a condutividade térmica e os gradientes de temperatura em um material.

2.6.1 Transferência de Calor e a Lei de Fourier

Antes de se chegar à derivada da Lei de Fourier, é importante entender o contexto da transferência de calor. Quando há uma diferença de temperatura em um sistema, ocorre uma transferência de calor do ponto mais quente para o ponto mais frio. A quantidade de calor transferida por unidade de tempo é chamada de fluxo de calor e é denotada por ϕ .

2.6.2 A Lei de Fourier para transferência de calor

A Lei de Fourier (equação 10) estabelece que o fluxo de calor (ϕ) através de um material é diretamente proporcional à área de superfície (A) perpendicular ao fluxo, ao gradiente de temperatura (dT/dx) e inversamente proporcional à condutividade térmica (k) do material. Matematicamente, a Lei de Fourier pode ser expressa como:

$$\phi = -k \frac{dT}{dx} A \quad (10)$$

A seguir, será apresentada um detalhamento na obtenção da equação 10, abordando os passos essenciais e os princípios que a fundamentam.

2.6.2.1 Superfície (A)

A superfície (A) refere-se à área perpendicular à direção do fluxo de calor. A transferência de calor ocorre através dessa área, e a quantidade de calor transferida depende da extensão dessa superfície.

2.6.2.2 Gradiente de Temperatura (∇T)

O gradiente de temperatura (∇T), também conhecido como vetor gradiente da temperatura, é uma medida fundamental na análise da transferência de calor por condução. Ele representa a taxa de variação espacial da temperatura (T) em um meio, indicando a direção e a magnitude da maior mudança de temperatura em um determinado ponto.

Expresso matematicamente na equação 11, o gradiente de temperatura fornece informações cruciais sobre a distribuição da temperatura no espaço.

$$\nabla T = \left(\frac{\partial T}{\partial x}, \frac{\partial T}{\partial y}, \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad (11)$$

Basicamente, o gradiente de temperatura indica o quão rápido e em qual direção a temperatura muda em um determinado ponto. Ele aponta na direção da maior mudança de temperatura e sua magnitude representa a taxa de variação da temperatura nessa direção.

A relação entre o gradiente de temperatura e o fluxo de calor por condução é descrita pela Lei de Fourier, que estabelece que o fluxo de calor (Φ) em um ponto é diretamente proporcional ao gradiente de temperatura nesse ponto (equação 12)

$$\Phi = -k \nabla T \quad (12)$$

Em que:

- Φ : Fluxo de calor (em Watts, W)
- k : Condutividade térmica do material (em $W/(m \cdot K)$)
- ∇T : Gradiente de temperatura (em Kelvin por metro, K/m)

2.6.2.3 Condutividade Térmica (k)

A condutividade térmica (k) é uma propriedade intrínseca do material que determina sua capacidade de conduzir calor. Materiais com alta condutividade térmica conduzem o calor mais eficazmente do que materiais com baixa condutividade térmica.

2.6.2.4 Sinal Negativo (-)

O sinal negativo na equação (3) indica que o calor flui do ponto mais quente para o ponto mais frio. Em outras palavras, o calor flui na direção do gradiente de temperatura decrescente.

2.6.2.5 Vetorização da Lei de Fourier

Na análise da condução de calor, um dos principais objetivos é determinar a distribuição espacial da temperatura em um meio, considerando as condições impostas em suas fronteiras. Essa distribuição, que representa a variação da temperatura com a posição no meio, é crucial para diversas aplicações.

Com a distribuição de temperaturas conhecida, é possível calcular o fluxo de calor por condução (fluxo térmico condutivo) em qualquer ponto do meio ou em sua superfície, utilizando a Lei de Fourier. Além disso, outras grandezas de interesse podem ser obtidas, como tensões, expansões e deflexões térmicas, especialmente em sólidos.

O conhecimento da distribuição de temperaturas em um sólido é fundamental para avaliar sua integridade estrutural, otimizar a espessura de materiais isolantes e determinar a compatibilidade de revestimentos especiais ou adesivos com o material em questão (Bergman, *et al.*, 2011).

Para determinar a temperatura em um ponto específico de um meio, é fundamental definir sua localização com precisão. Isso pode ser feito utilizando um sistema de coordenadas adequado (retangular, cilíndrico ou esférico), de acordo com a geometria do meio em questão. A escolha do sistema de coordenadas correto depende da distribuição espacial da temperatura e do nível de precisão desejado na medição.

A propagação do calor em um meio pode ser unidimensional, bidimensional ou tridimensional, dependendo da geometria do meio e das propriedades do material. A

classificação da transferência de calor como unidimensional, bidimensional ou tridimensional é crucial para a seleção das equações de condução de calor adequadas para a análise do problema.

As formas gerais das equações da condução de calor nos sistemas de coordenadas retangulares, cilíndricas e esféricas são representadas pelas equações (13), (14) e (15), respectivamente. A escolha da equação apropriada depende da geometria do meio e da distribuição espacial da temperatura.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + q = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} \quad (13)$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(kr \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(k \frac{\partial T}{\partial \varphi} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + q = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} \quad (14)$$

$$\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(kr^2 \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \text{sen}^2 \theta} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(k \frac{\partial T}{\partial \varphi} \right) + \frac{1}{r^2 \text{sen} \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(k \text{sen} \theta \frac{\partial T}{\partial \theta} \right) + q = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} \quad (15)$$

A Lei de Fourier, que estabelece a relação entre o fluxo de calor por condução e o gradiente de temperatura em um material, pode ser derivada a partir da Equação do Calor (equação 16), também conhecida como equação diferencial parcial da condução de calor.

$$k \nabla^2 T + \frac{\partial \phi}{\partial t} = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t}, \quad k = \text{cte} \quad (16)$$

A Equação do Calor descreve a distribuição espacial e temporal da temperatura em um meio sólido, considerando os efeitos da condutividade térmica (k) e da densidade volumétrica (ρ) do material, além da capacidade calorífica específica (c) à pressão constante.

A forma geral da Equação do Calor é:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -\alpha \nabla^2 T \quad (17)$$

Em que:

- T é a temperatura, medida em Kelvin
- t é o tempo, medido em segundos

- α é a difusividade térmica do material, medida em metros quadrados por segundo
- ∇^2 é o operador Laplaciano

Considerando $dT/dt=0$ e depois integrando a equação 17, obtém-se a lei de Fourier (equação 18)

$$\Phi = \frac{k.A.\Delta T}{L} \quad (18)$$

Em que:

Φ – Fluxo de calor por condução em [J/s] ou [W]

K – Condutividade térmica do material em [J/(s. m. °C)]

ΔT – Variação de temperatura entre as extremidades $T_2 - T_1$ [°C]

A – Área transversal ao fluxo de calor [m²]

L – Comprimento longitudinal do corpo [m]

3. REVISÃO DE LITERATURA E REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo abordar-se-á o levantamento bibliográfico e apontaremos o referencial teórico.

3.1 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Os trabalhos elencados abaixo apoiaram tanto a preparação da UEPS como o referencial teórico utilizado nessa dissertação.

3.1.1 Práticas experimentais

O trabalho desenvolvido por Mauro Sérgio Teixeira de Araújo e Maria Lúcia Vital dos Santos Abib (Araújo & Abib, 2003) mostra que as atividades experimentais, aliadas ao uso de novas tecnologias e aparatos experimentais de baixo custo, relacionados com o cotidiano do estudante, estimulam o envolvimento dos estudantes, construindo um ambiente mais instigador, oportunizando o enfrentamento de novas experiências e desafios, aumentando assim o desenvolvimento de atitudes, habilidades e competências no meio científico.

No artigo publicado por Ivanilda Higa e Odisséa Boaventura de Oliveira (Higa & Oliveira, 2012), elas separam as atividades experimentais em três concepções diferentes, são elas:

Modelo de aprendizagem por transmissão-recepção: Nesse modelo o estudante é descrito como modo passivo no aprendizado, sendo o livro didático e os professores os detentores da verdade.

Experimentação por estratégia por descoberta: Através da interação com o meio, a autora destaca que o estudante é capaz de reconstruir o saber científico tornando-o um indivíduo autônomo.

Introdução ao processo científico: segundo a autora, o enfoque dado a esta concepção tem como principal objetivo mostrar ao estudante os preceitos básicos de se fazer Ciência.

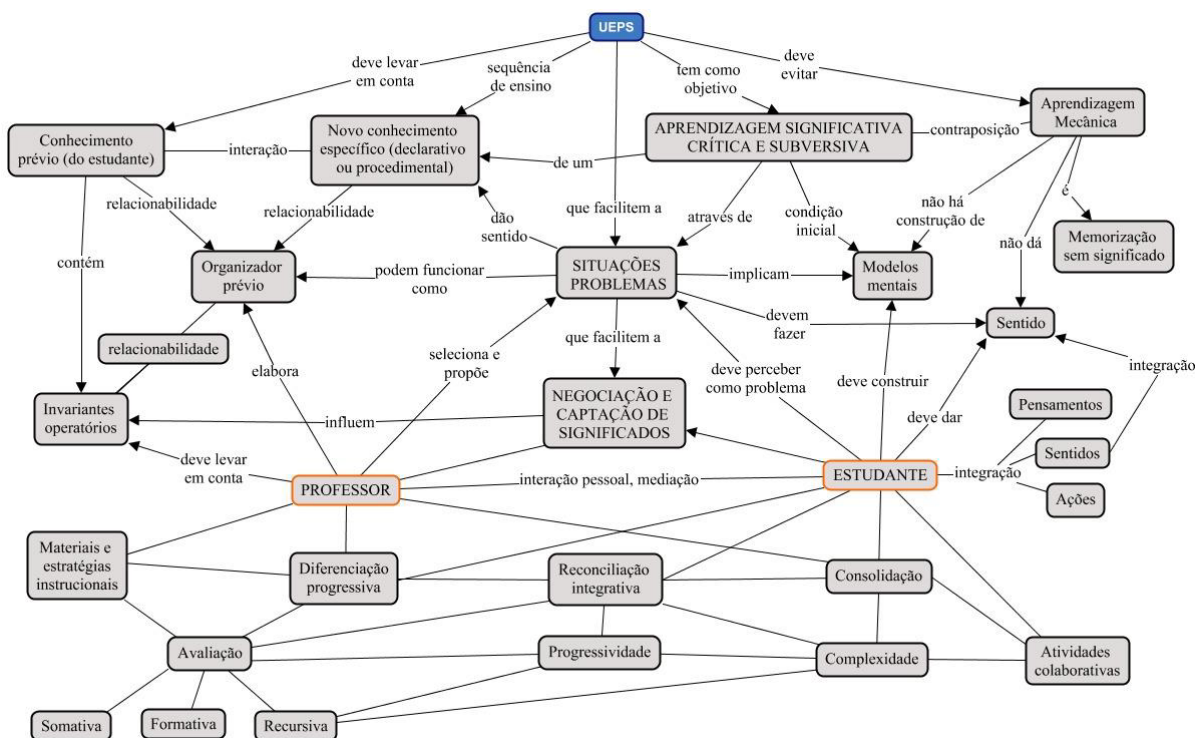
No artigo de Senilde Solange Catelan e Carlos Rinaldi (Catelan & Rinaldi, 2018), publicado na revista Experiências em Ensino de Ciências, em seu volume 13, uma pesquisa onde os protagonistas foram os professores de Ciências Naturais de Educação Básica e Ensino Superior, que explanaram as principais dificuldades na aplicação de práticas experimentais no

ensino de Ciências. As autoras verificaram que ainda há certa resistência à aplicação de experimentos em sala de aula, com a justificativa de que existe uma carência de materiais e/ou estrutura. A pesquisa mostra que os professores pesquisados reconhecem a importância das atividades experimentais na consolidação do conhecimento, entretanto são resistentes à sua aplicação.

3.1.2 Uso de UEPS

Uma UEPS refere-se a uma abordagem educacional que se concentra em criar atividades ou unidades de ensino que sejam intrinsecamente motivadoras e relevantes para os estudantes, tornando o aprendizado mais envolvente e significativo. Essa abordagem visa criar experiências de aprendizado que tenham um impacto duradouro na compreensão e no desenvolvimento. Isso ajuda a promover a retenção do conhecimento e a fazer com que os conhecimentos adquiridos sejam aplicados em situações da vida real. Essa abordagem é muitas vezes associada à teoria da aprendizagem construtivista, que enfatiza a construção ativa do conhecimento pelos estudantes (Figura 5).

Figura 5 – Mapa mental da UEPS



Fonte: adaptado de: MOREIRA, M. A. Unidades de Ensino Potencialmente Significativas-UEPS. Aprendizagem Significativa em Revista. Porto Alegre, v.1, n.2, 2011a. p.43-63

No que se refere ao ensino de Termodinâmica com o uso de UEPS, a dissertação de mestrado de Rodrigo Rossi Barbosa (Barbosa, 2016), aborda conceitos de temperatura, calor, sensação térmica e energia térmica. A intervenção foi realizada pelo autor em uma escola estadual de Vitória-ES no ano de 2016, aplicando a UEPS em duas turmas de segundo ano do Ensino Médio, com um aumento gradativo da dificuldade de aplicação, fazendo uso de mapas conceituais como forma de avaliar a reorganização conceitual na estrutura cognitiva do estudante, uso de experimentos de baixo custo, vídeos de terceiros disponíveis na plataforma do *YouTube* e uma simulação computacional sobre efeito estufa e a radiação solar advindas do repositório PhET-Colorado¹. Conforme o autor, o protagonismo dos estudantes foi estimulado a todo momento, gerando uma boa interação entre todos.

Mikaelly Rafaela Mariniak (Mariniak, 2021), em seu artigo intitulado Proposta de UEPS sobre energia e sua lei de conservação, publicado na revista *Insignare Scientia*, em seu volume número 4, apresenta o uso de UEPS como forma de relacionar os processos de Diferenciação Progressiva e a Reconciliação Integradora. Mariniak organizou sequências didáticas (SD) partindo das teorias de aprendizagem significativas de David Ausubel, formando assim uma UEPS para o ensino do Princípio da Conservação de Energia. Aos estudantes foi realizada uma formação básica no intuito de construir mapas mentais a fim de externar e identificar os possíveis subsunçores. Esse estudo tende a mostrar que o uso de UEPS rompe o ensino tradicional incentivando o protagonismo do estudante.

3.1.3 Implementação de trabalho em grupo

Maria Luiza Ramos Riess, em seu trabalho de conclusão de curso para habilitação em Pedagogia na UFRGS denominado Trabalho em Grupo: Instrumento mediador de socialização e aprendizagem (Riess, 2010), mostra que a implementação do trabalho em grupo contribui de forma significativa para o desenvolvimento social e intelectual do estudante. Segundo a autora, essa prática favorece ao estudante o desenvolvimento de suas habilidades, além da comunicação, diálogo e interação com os outros saberes. O trabalho teve como objetivo familiarizar os estudantes com essa forma de atividade, favorecendo assim o processo de ensino e aprendizagem.

No artigo publicado por Alison Burke, no *The Journal of Effective Teaching* em 2011 (BURKE, 2011), elenca algumas vantagens no trabalho em grupo:

¹ <https://phet.colorado.edu/sims/html/greenhouse-effect/latest/greenhouse-effect_pt_BR.html>

- Quanto maior a variedade de experiências e antecedentes maior será os recursos disponíveis;
- O trabalho em grupo incentiva a criatividade;
- As discussões em grupo promovem uma melhor memorização, retendo a informação por um tempo maior do que um estudo solo e proporciona melhor aprendizagem e compreensão.
- Estudantes que estão envolvidos na resolução de problemas em grupo se comprometem mais com a busca do resultado, tendo maior satisfação com a conclusão.
- A atividade em grupo faz com que o estudante conheça mais sobre si e como os outros o veem, proporcionando uma melhor compreensão do seu comportamento interpessoal.
- Na vida profissional, o trabalho em grupo é extremamente apreciado pelos empregadores. Ambientar o estudante com essa prática o prepara melhor para o mundo do trabalho.

3.2 A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA NA APLICAÇÃO DE UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA

3.2.1 David Paul Ausubel

Nascido nos Estados Unidos da América em 1918, David Paul Ausubel foi um psicólogo da educação e atuou em diversas universidades, algumas inclusive no Brasil como a Universidade de Campinas em 1976, Universidades do Rio de Janeiro e Universidade de São Paulo em 1979. Ausubel se especializou em Psiquiatria forense, toxicodependência, o desenvolvimento do ego, psicologia do desenvolvimento e da educação, publicando durante toda sua trajetória acadêmica 22 livros e mais de 150 artigos em revistas especializadas.

Se aposentou da vida acadêmica em 1973, se dedicando exclusivamente à prática da psiquiatria. Em 1976, pelas diversas contribuições psicológicas para a educação, recebe o *Prêmio Thorndike* da *American Psychological Association*. Em 1984, se retira por completo da vida profissional publicando ainda 4 livros (Ausubel, Novak e Hanesian, 1980).

3.2.2 Do Ensino Tradicional ao Cognitivismo

Conforme Leão (1999), o modelo de escola tradicional atravessou décadas, sofrendo diversas modificações ao longo do tempo. Segundo o autor, nesse modelo o professor é o detentor do saber e cabe ao estudante assimilar o novo conhecimento, não propiciando uma discussão profunda sobre o tema da aula. Neste modelo de ensino, o estudante se torna um ser passivo no processo de aprendizagem, em um ambiente formal e disciplinado, nos quais são transmitidas informações e demonstrações já consagradas pela comunidade científica, vetando qualquer interação pessoal por parte do estudante.

Segundo Distler (2015), a infância de David Ausubel foi marcada por diversos atos de preconceitos religiosos em decorrência de sua origem judia e da corrente imigração de judeus para os Estados Unidos da América à época. No trecho do romance "Judeu sem Dinheiro", de Michael Gold, retrata os acontecimentos da época, podendo ser contemplado como era ofertado o ensino para os judeus de baixa renda.

A escola era cárcere de meninos. O crime de todos é a pouca idade e por isso os carcereiros lhe dão castigos (...). Escandalizou-se com um palavrão que eu, patife de seis anos, empreguei certo dia. Com sabão de lixívia lavou-me a boca. Submeti-me. Fiquei em pé num canto o dia inteiro, para servir de escarmento a uma classe de cinquenta meninos assustados. (...) Comer sabão é desagradável. Mas meus pais protestaram porque o sabão era feito de sebo cristão e não de Kosher. Eu fora também obrigado a comer carne de porco: isso é crime contra lei mosaica (GOLD, 1944).

De acordo com Mayer e Moreno (2003), o cognitivismo defende que a aprendizagem é um processo ativo, onde o estudante constrói seu próprio conhecimento, a partir da experiência e da reflexão sobre essa experiência. Conforme os autores, o ensino deve ser orientado por uma abordagem construtivista, em que o educando é visto como um agente ativo na construção do conhecimento.

Dessa maneira, o papel do educador é o de facilitar a aprendizagem, fornecendo ao estudante as ferramentas necessárias para que ele possa construir seu próprio conhecimento. De acordo com Ausubel (2000), a aprendizagem significativa ocorre quando o educando é capaz de relacionar o novo conhecimento com que ele já sabe, estabelecendo conexões entre os diferentes conceitos.

Essa abordagem construtivista tem implicações importantes para a prática educativa. Segundo Mayer e Moreno (2003), é importante que o ensino seja orientado por atividades que permitam ao estudante interagir com o conhecimento de forma ativa, como a resolução de

problemas e a realização de experimentos. Além disso, é fundamental que o professor seja capaz de adaptar sua metodologia de ensino às necessidades individuais de cada educando, levando em consideração seu nível de conhecimento e suas habilidades.

3.2.3 A Aprendizagem Significativa de David Ausubel

3.2.3.1 Teoria de Aprendizagem Significativa de David Paul Ausubel

Para o desenvolvimento desta pesquisa, utilizou-se como aporte teórico a Teoria de Aprendizagem Significativa proposta pelo psicólogo norte americano David Paul Ausubel, amplamente empregada em muitos trabalhos (Santos, 2008; Dorneles, 2005 e 2010) dentre outros, sobretudo naqueles relacionados ao Ensino de Física.

Essa teoria é compreendida por vários autores como pertencente ao conjunto de teorias construtivistas cognitivistas. Moreira (1999), por exemplo, considera que Ausubel é:

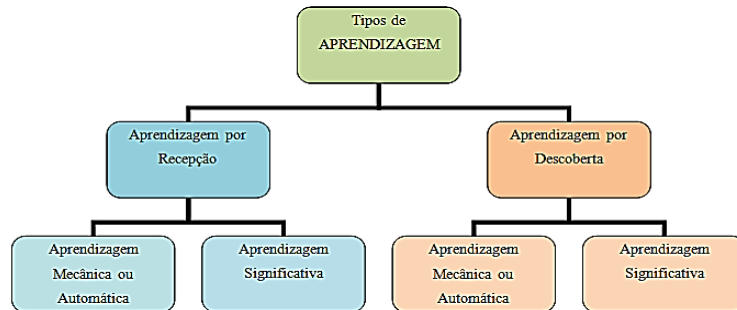
[...] um representante do cognitivismo e, como tal, propõe uma explicação teórica do processo de aprendizagem, segundo o ponto de vista cognitivo, embora reconheça a importância da experiência afetiva. Para ele, aprendizagem significa organização e integração do material na estrutura cognitiva. Como outros teóricos do cognitivismo, ele se baseia na premissa de que existe uma estrutura na qual essa organização e integração se processam. (Moreira, 1999, p. 152).

Nesta linha cognitivista, Ausubel (1980) estabelece uma fundamentação teórica que explica o processo de aprendizagem tendo em vista a estrutura e o funcionamento do eixo cognitivo daquele que aprende. Segundo Moreira (1999), assim como para outros teóricos do cognitivismo, Ausubel se baseia na premissa de que existe uma estrutura na qual essa organização e integração se processam.

Esta estrutura, por sua vez, pode ser entendida como o conteúdo total de ideias de certo indivíduo e sua organização, incluindo-se os processos por meio dos quais se adquire e utiliza o conhecimento.

Ausubel, Novak e Hanesian (1980) distinguem duas grandes categorias de aprendizagem, a da aprendizagem por descoberta e da aprendizagem por recepção ou receptiva (Figura 6).

Figura 6 - Tipos de Aprendizagem, de acordo com a proposta de Ausubel, Novak e Hanesian, (1980)



Fonte: AUSUBEL, NOVAK E HANESIAN, 1980, p. 102. (adaptado)

Segundo estes autores, a principal característica na aprendizagem por descoberta é o fato de que o conteúdo principal a ser aprendido não é dado, mas deve ser descoberto pelo estudante, antes que possa ser significativamente incorporado à sua estrutura cognitiva. Já na aprendizagem por recepção, o conteúdo que vai ser aprendido é apresentado ao estudante sob a forma final.

Nesse sentido, exige-se somente que o estudante internalize o material, que é apresentado de forma a tornar-se acessível ou reproduzível em alguma ocasião futura. As aprendizagens por recepção e por descoberta, por sua vez, se subdividem em aprendizagem automática (ou mecânica) e aprendizagem significativa (Figura 6).

3.2.3.2 Aprendizagem Significativa X Aprendizagem Mecânica

A aprendizagem mecânica ocorre quando há apropriação de novas informações, desencadeando pouca ou nenhuma interação do aprendiz com conceitos relevantes existentes em sua estrutura cognitiva, conceitos estes que Ausubel, Novak e Hanesian (1980) definem como subsunçores. O subsunçor é uma estrutura específica por meio da qual uma nova informação pode se integrar ao cérebro humano, que é altamente organizado e detentor de uma hierarquia conceitual que armazena experiências prévias do aprendiz (Santos, 2008).

Para Ausubel, no modelo de aprendizagem mecânica ocorrem associações puramente arbitrárias, sem qualquer vínculo claro com subsunçores, tais como aquelas “associações de pares, quebra-cabeça, labirinto, ou aprendizagem de séries [...] ou como uma série arbitrária de palavras” (Ausubel; Novak; Hanesian, 1980, p. 23). Santos (2008) acrescenta que, com a

aprendizagem mecânica a “pessoa decora fórmulas, leis, mas esquece após a avaliação ou não sabe o que fazer com elas.” (Santos 2008, p. 53).

Entretanto, Ausubel, Novak e Hanesian (1980) ponderam sobre a necessidade de valorização da aprendizagem mecânica, considerando que ela é inevitável no caso de conceitos inteiramente novos para o aprendiz – aqueles conhecimentos que não têm como se “ancorar” em conhecimentos prévios, que, por ausência de subsunçores, são aprendidos mecanicamente.

Quando o estudante, de forma autônoma, descobre algo novo, mas esta nova informação não faz sentido para ele, ou seja, não se associa à sua estrutura cognitiva, ocorre aprendizagem mecânica por descoberta.

A teoria da aprendizagem significativa se enquadra como um tipo de aprendizagem por recepção ou por descoberta. Neste contexto, a “tarefa ou conteúdo potencialmente significativo é compreendido ou tornada significativa durante o processo de internalização.” (Ausubel, Novak; Hanesian, 1980, p. 20).

Uma questão importante relacionada às condições necessárias à aprendizagem significativa é à disposição do estudante para a aprendizagem.

A aprendizagem significativa pressupõe que o aluno manifeste uma disposição para a aprendizagem significativa – ou seja, uma disposição para relacionar de forma não arbitrária e substantiva, o novo material à sua estrutura cognitiva – e que o material aprendido seja potencialmente significativo – principalmente incorporável à sua estrutura de conhecimento através de uma relação não arbitrária e não literal. (Ausubel; Novak; Hanesian, 1980, p. 34).

A ideia central da teoria da aprendizagem significativa é a da valorização dos conhecimentos prévios (subsunçores) do estudante. Sobre esta ideia, Ausubel, Novak e Hanesian (1980) afirmam que:

A aprendizagem significativa ocorre quando a tarefa de aprendizagem implica relacionar, de forma não arbitrária e substantiva (não literal), uma nova informação em outras com as quais o aluno já esteja familiarizado, e quando o aluno adota uma estratégia correspondente para assim proceder (Ausubel; Novak; Hanesian, 1980, p. 23).

Esta relação não arbitrária e substantiva diz respeito a uma interatividade entre os novos conhecimentos e novos conceitos com algum aspecto relevante pré-existente na estrutura cognitiva do estudante.

De acordo com Ausubel, Novak e Hanesian (1980), estes aspectos relevantes da estrutura cognitiva do estudante podem ser, por exemplo, uma imagem, um símbolo, um conceito ou uma proposição.

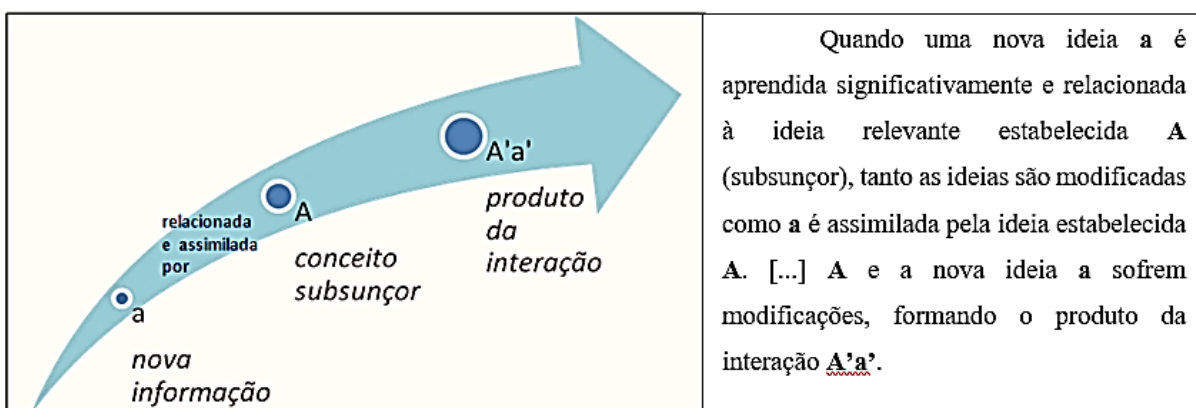
Moreira (1999) relata que na aprendizagem significativa de David Ausubel, “a nova informação interage com uma estrutura de conhecimento específica, definida como conceito subsunçor, ou simplesmente, subsunçor existentes na estrutura cognitiva do indivíduo.” (Moreira, 1999, p. 17).

3.2.3.2.1 Assimilação de conceitos

A assimilação de conceitos é o princípio utilizado por Ausubel, Novak e Hanesian (1980) para tornar mais claro o processo de aquisição, fixação e de organização dos significados na estrutura cognitiva do indivíduo, sendo também chamada de teoria da assimilação.

Estes autores sugerem que na aprendizagem significativa o resultado da interação que ocorre entre o novo material a ser aprendido e a estrutura cognitiva existente é uma assimilação de antigos e novos significados que contribui para a modificação dessa estrutura.

Figura 7 – Modelo representativo da Assimilação



Fonte: Ausubel, Novak E Hanesian (1980, p. 104) (adaptado)

Na assimilação, mesmo com o surgimento de novos significados, a relação entre os subsunçores – como meios de ancoragem – e o que é assimilado permanece na estrutura cognitiva do estudante. (Ausubel; Novak; Hanesian, 1980, p. 104).

Para exemplificar o princípio da assimilação, Ausubel, Novak e Hanesian propõem um modelo que representa este processo, no qual a interação entre a nova informação e o conceito de ancoragem gera um produto modificado desta interação, conforme ilustrado na Figura 7.

É importante ressaltar que a assimilação não termina após a aprendizagem significativa, mas continua, conforme propõem os autores, em etapas subsequentes, levando à aprendizagem futura de uma nova ideia, como se percebe na seta da Figura 7.

Para Ausubel, Novak e Hanesian (1980), o envolvimento do estudante no processo de aprendizagem passa pelo seu papel ativo, sua motivação para a investigação, exploração e compartilhamento de suas descobertas, procurando a construção significativa de seu conhecimento. Portanto, aprendizagem significativa é um processo no qual uma nova informação é relacionada a um ponto relevante na estrutura cognitiva do estudante.

A estrutura cognitiva, para Ausubel, Novak e Hanesian (1980), é o conteúdo informacional organizado e armazenado por um estudante. Nesse sentido pode-se supor que um determinado conteúdo previamente armazenado representará uma forte influência no processo de aprendizagem de um estudante, sendo necessárias três condições para objetivação da aprendizagem significativa, apresentadas em seguida:

a) A predisposição do aprendiz para o relacionamento com o conteúdo apresentado. É nesse ponto que cabe ao professor buscar novas alternativas ao seu método de ensino, levando para sala de aula atividades e avaliações que contemplem habilidades e competências interligadas ao mundo real. Na disciplina de Física, os aparatos experimentais objetivaram proporcionar uma visão investigativa, permitindo que a experimentação alcançar um caráter mais aberto, sendo possível enfatizar as concepções espontâneas, o teste de hipóteses, a mudança conceitual, a capacidade de observação e descrição de fenômenos e até mesmo de reelaboração de explicações causais nos estudantes.

b) A ocorrência de um conteúdo mínimo na estrutura cognitiva do estudante. Nesse caso, o professor deve identificar os organizadores prévios faltantes para a compreensão de determinado assunto e disponibilizá-los, para que o estudante consiga fazer todas as relações necessárias ao entendimento do conteúdo. Para se verificar o conteúdo mínimo na estrutura dos estudantes, foi utilizado de um pré-teste contendo questões conceituais sobre eletrodinâmica. As questões visam a identificar conceitos sobre Lei de Ohm, Circuitos elétricos, Resistência, e Potência, dentre outras.

c) O material a ser utilizado deve ser potencialmente significativo. Aqui, cabe ao professor, organizar o material a torná-lo significativo e incluir materiais e informações anteriores que sirvam de organizadores prévios, como trabalhados nesta proposta.

d) A construção dos experimentos e das simulações levou em consideração as concepções prévias dos estudantes acerca de conceitos de Eletrodinâmica, de modo que a utilização do laboratório de Física investigativo articulado às simulações computacionais, ambos embasados no livro didático, formarão um arsenal metodológico capaz de oferecer condições favoráveis para que ocorra a aprendizagem significativa dos conceitos de

Eletrodinâmica abordados.

3.2.3.2.2 Predisposição para Aprendizagem Significativa

A aprendizagem significativa pressupõe a predisposição do estudante para estabelecer uma relação entre novos conceitos e os conceitos relevantes de sua estrutura cognitiva.

A aprendizagem significativa pode ocorrer por descoberta ou por recepção, sendo que na aprendizagem por descoberta o estudante deve buscar sozinho, princípios, leis e relações de um determinado fenômeno resolvendo algum tipo de problema, enquanto que na aprendizagem por recepção, o estudante recebe a informação pronta, devendo atuar ativamente sobre esse material. Ausubel, Novak e Hanesian (1980) ainda consideram três formas de aprendizagem significativa.

3.2.3.2.3 Aprendizagem por Subordinação

Acontece quando a nova ideia é um exemplo de algo que já se sabe. Esse tipo de aprendizagem pode ocorrer de maneira derivativa quando a nova informação a ser assimilada pela estrutura cognitiva representa um exemplo mais específico do elemento relevante dessa estrutura, ou por representar uma aplicação deste ou uma ilustração de um elemento subsunçor mais geral, conceito que será esclarecido adiante.

Como exemplo, pode-se citar o conceito de força e as relações que podem ser feitas a fim de melhor conceituar e classificar esta grandeza Física. Supondo que, inicialmente, o estudante perceba que sua ideia sobre força seja basicamente expressa por situações de contato entre corpos (em geral de esforço físico) e que concorde vincular a grandeza ao termo interação entre corpos.

Pode-se levá-lo a refletir, por exemplo, sobre a causa fenomenológica da queda dos corpos e o significado físico do termo peso dos corpos, comumente utilizado nessas situações.

Dessa maneira, o estudante pode vir a perceber que seu conceito de força (de contato) precisa ser ampliado, pois neste caso (da queda de corpos) justifica-se a definição de interação entre corpos, mas não mais de contato e sim à distância. Um conceito novo (emergente) a ser assimilado seria o de gravitação (ou força da gravidade) como “sinônimo” do termo peso e o reconhecimento desta grandeza (peso) como um tipo de força, mas de característica diferente

daquela que se fazia presente nos exemplos de contato entre corpos (puxão, empurrão, entre outros).

O significado fenomenológico de força como a existência de interação entre corpos não deixa de existir, mas se amplia para a duplicidade de (inter)ação: por contato e à distância.

3.2.3.2.4 Aprendizagem por Superordenação

É aquela em que a ocorrência de uma pequena ideia leva a generalizações. Por exemplo, uma vez que o estudante tenha feito um estudo de magnetismo, tendo como estáveis e relacionados os conceitos de campo magnético e força magnética, facilmente poderá identificar relações com as características do campo magnético e do campo elétrico podendo reuni-las a um novo termo como o de Campo Eletromagnético e que as interações magnéticas implicam também em interações elétricas.

3.2.3.2.5 Aprendizagem Combinatória

Este tipo de aprendizagem acontece quando a nova ideia não está hierarquicamente acima nem abaixo da ideia já existente na estrutura cognitiva à qual se relacionou de forma não-arbitrária e lógica. Ou seja, a nova ideia não é exemplo nem generalização daquilo que se usou como sua âncora na estrutura cognitiva do estudante. Essa âncora, no entanto, é necessária para o estabelecimento de uma aprendizagem significativa.

Um exemplo, deste tipo de aprendizagem, é o caso da metáfora que se faz de um sistema elétrico com um sistema hidráulico. Nesse exemplo, usam-se conceitos dominados pelo estudante com relação aos sistemas de águas para ensinar conceitos novos que guardam alguma relação com os antigos que serviram como âncora, embora os sistemas elétricos não sejam uma generalização nem um exemplo de sistemas hidráulicos, e vice-versa.

No entanto, é muito mais fácil para a maioria dos estudantes começarem a lidar com os novos conceitos da eletricidade a partir de conceitos com os quais já estão acostumados, relativos à hidráulica. É imprescindível que, nessas situações, as semelhanças e diferenças entre um conceito novo e o antigo que lhe serviu como âncora sejam progressivamente explicitadas, a fim de que o estudante não misture, confunda ou reduza os conceitos relativos de uma ideia aos da outra.

3.2.4 Subsunoçores

Para Ausubel, Novak e Hanesian (1980) é necessário que o estudante tenha conhecimento prévio sobre o assunto a ser trabalhado, caracterizando que a aprendizagem significativa ocorre quando a nova informação se ancora em conceitos relevantes, existentes na estrutura cognitiva do estudante, com os subsunoçores organizados nessa estrutura principalmente por duas maneiras.

3.2.4.1 Por Diferenciação Progressiva

A organização dos subsunoçores por diferenciação progressiva estabelece que o conteúdo deve ser programado de maneira que as ideias mais gerais e inclusivas venham em primeiro plano, diferenciando-se principalmente pelos detalhes e suas especificidades. A teoria de Ausubel considera ser mais fácil para o estudante compreender as partes de um todo mais amplo do que aprender a partir de partes sem relações, para chegar a um conceito mais geral.

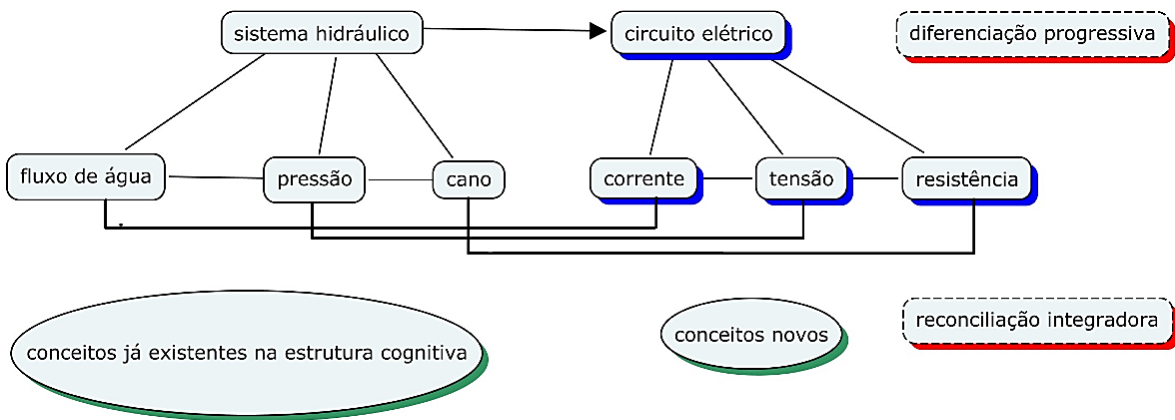
3.2.4.2 Por Reconciliação Integradora

Esta organização caracteriza-se pelo fato de que em função de novas informações adquiridas, os subsunoçores já existentes se reorganizem e apresentem novos significados. O material a ser disponibilizado aos estudantes deve ser estruturado para facilitar esta organização de subsunoçores, mostrando de que maneira as novas ideias são interligadas às antigas.

A Figura 8 mostra a relação entre diferenciação progressiva e reconciliação integradora para o caso do sistema hidráulico e elétrico mostrando que, quando uma nova ideia é assimilada à estrutura cognitiva de um estudante, isto é feito através do estabelecimento de relações entre si e ideias pré-existentes (cano e resistência).

Como esta relação modifica tanto uma quanto outra, e como a estrutura cognitiva é uma verdadeira teia de relações entre conceitos e ideias, a inserção de algo novo pode provocar a modificação destes conceitos e ideias, mesmo não estando diretamente relacionados (circuito elétrico e resistência).

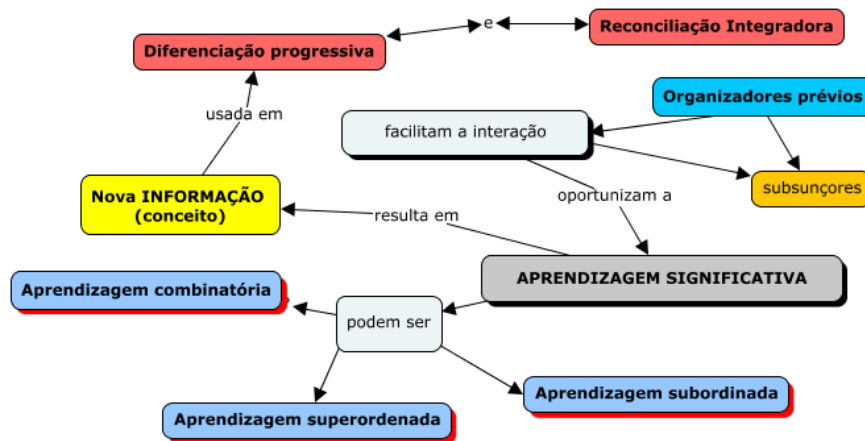
Figura 8 - Relação entre diferenciação progressiva e reconciliação integradora



Fonte: MOREIRA,1999, p. 96. (adaptado)

A Figura 9 retrata um mapa conceitual da Aprendizagem Significativa proposta por Ausubel.

Figura 9 - Mapa conceitual sobre a Aprendizagem Significativa



Fonte: MOREIRA,1999, p. 99. (adaptado)

A estrutura cognitiva é algo dinâmico, em constante modificação em função das diversas experiências e aprendizados de cada estudante. Cabe ressaltar, entretanto, que esse processo não é “automático”, ou seja, não basta uma nova ideia para mudar toda a estrutura cognitiva do estudante. É preciso trabalho ativo do estudante para que esta mudança possa “se processar”.

A diferenciação progressiva e a reconciliação integradora são processos que resultam e ocorrem simultaneamente com a Aprendizagem Significativa, bem caracterizando a dinamicidade da teoria de Ausubel.

3.2.5 Mapas Conceituais

De acordo com Novak e Cañas (2006), os principais pontos para se utilizar os mapas conceituais (MC) para avaliar uma atividade científica na educação Básica passa por:

- ✓ Avaliar a compreensão dos conceitos ao permitir que os estudantes identifiquem e relacionem os conceitos relevantes para um determinado tópico.
- ✓ Avaliar a organização dos conceitos estudados, pois demanda aos estudantes que tais conceitos devem ser organizados de forma hierárquica, com os conceitos mais gerais no topo e os conceitos mais específicos na base.
- ✓ Avaliar a profundidade do conhecimento por parte dos estudantes ao incluir no mapa a ser edificado não apenas os conceitos básicos, mas também os conceitos mais complexos e as relações entre eles.
- ✓ Avaliar a capacidade de síntese ao requisitar que os estudantes sejam capazes de organizar e relacionar um grande número de informações.
- ✓ Avaliar a capacidade de aplicação ao serem usados para qualificar a capacidade dos estudantes de aplicar os conceitos aprendidos em situações novas.
- ✓ Além desses pontos, Novak (1990) também sugere que os mapas conceituais sejam usados para avaliar o processo de aprendizagem dos estudantes. Isso porque os mapas conceituais podem ser usados para identificar as lacunas no conhecimento dos estudantes e para acompanhar o progresso dos estudantes ao longo do tempo.

Segundo Novak,

[...] a aprendizagem significativa fundamenta a integração construtiva de pensar, sentir e agir, levando ao empoderamento para o compromisso e a responsabilidade. (Novak & Cañas, 2006, p. 15)

Nota-se que Novak e Cañas (2006) também apontam que os mapas cognitivos podem favorecer a integração de conceitos e reduzir equívocos. Eles então delinearão algumas recomendações para professores nos quais os MC são usados:

- ✓ um professor pode fornecer uma pergunta central: uma pergunta que especifica claramente o problema ou questão que o MC deve resolver para uma determinada situação;
- ✓ o ponto de partida para a construção do MC pode ser uma lista de conceitos, que todos os estudantes devem incluir no seu mapa;

- ✓ esses conceitos devem ser estabelecidos a partir do conceito mais geral e inclusivo para o conceito mais específico e menos geral;
- ✓ mapas conceituais especializados servem como um guia ou andaime pois auxiliam no aprendizado de forma análoga ao uso de andaimes na construção ou reforma de um edifício;
- ✓ deve-se elaborar um mapa conceitual preliminar que auxilie os estudantes a reconhecer que todos os conceitos estão de alguma forma relacionados uns aos outros;
- ✓ o mapa deve ser revisado e revisitado para que os conceitos sejam reposicionados de forma a facilitar e melhorar a sua compreensão.

Novak e Cañas (2006) revelam que os MC devem ser utilizados por professores para a compreensão dos conhecimentos prévios dos estudantes. Antes de ensinar um novo conteúdo científico, o professor pode pedir aos estudantes para criarem um mapa conceitual sobre o tema. Isso permitirá ao professor identificar o nível de conhecimento prévio dos estudantes sobre o assunto, bem como suas concepções errôneas e lacunas de conhecimento. Essa informação será valiosa para planejar o ensino e abordar as necessidades específicas da turma. Os autores salientam que os MC promovem a verificação de aprendizagem, pois durante o processo de ensino, os estudantes podem ser solicitados a criar mapas conceituais como uma forma de revisar o conteúdo aprendido, fornecendo uma maneira visual de apresentar o conhecimento adquirido, permitindo ao professor avaliar a compreensão dos estudantes e da turma como um todo sobre o tema.

Os MC, segundo os autores, permitem a identificação de conexões e relações ao ajudarem a destacar as conexões e inter-relações entre os conceitos. O professor pode usar essas informações para avaliar o quão bem os estudantes compreendem as conexões entre os conceitos-chave de um tópico científico.

Neste sentido, o professor deve utilizar os MC quando o objetivo da aula é a identificação de conceitos centrais e periféricos em uma determinada área do conhecimento. O professor pode avaliar se os estudantes entenderam os conceitos principais que sustentam o tema científico e se estão cientes dos detalhes periféricos.

Ao se pensar a capacidade de síntese de um determinado conceito de Termodinâmica, por exemplo, segundo os autores, os MC corroboram com o aprendizado quando os estudantes precisam sintetizar as informações e organizar os conceitos de forma hierárquica e significativa. O professor pode avaliar a capacidade dos estudantes de sintetizar informações complexas em uma estrutura clara e coerente.

Ao necessitar de um *feedback* individualizado, o professor poderá se utilizar de um MC pois ao analisar o mapa conceitual de um estudante em especial, ele pode fornecer um parecer individualizado, destacando pontos fortes e áreas que precisam ser reforçadas. Isso ajuda os estudantes a entenderem suas próprias lacunas de conhecimento e como melhorar seu aprendizado.

Quando o professor se utiliza de um MC para dar um parecer individualizado ou mesmo geral, para uma turma, ele identifica e revela os equívocos comuns dos estudantes em relação a um tópico como a Termodinâmica. O professor pode utilizar essa informação para planejar intervenções educacionais específicas e corrigir essas concepções errôneas.

4. METODOLOGIA

4.1 OBJETIVOS E IMPLEMENTAÇÃO DA UEPS

Esta dissertação tem como objetivo geral desenvolver, implementar e avaliar a utilização de um aparato experimental chamado Termofluxímetro de Baixo Custo como ferramenta de ensino para conceituar elementos de Termodinâmica, promovendo a aprendizagem significativa de Ausubel e avaliando o desempenho dos estudantes por meio da criação de mapas conceituais de Novak.

Os objetivos específicos do trabalho passam por:

- ✓ Desenvolver e construir um TFBC, adequado para uso em aulas de Ciências e de Física na educação básica.
- ✓ Elaborar uma UEPS, que integre o TFBC no currículo escolar.
- ✓ Aplicar o aparato experimental em aulas de Termodinâmica na educação básica, envolvendo estudantes em atividades práticas para explorar conceitos relacionados ao calor, temperatura, comportamento dos materiais no fluxo do calor e compreensão da lei de Fourier.
- ✓ Aplicar a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel como base pedagógica para guiar o ensino com o TFBC, incentivando a construção de significado pelos estudantes por meio da relação entre novos conceitos e conhecimentos prévios.
- ✓ Avaliar a aprendizagem dos estudantes por meio da análise dos mapas conceituais que eles criarão ao final das aulas, verificando a capacidade de organizar, conectar e relacionar os conceitos de Termodinâmica de forma significativa e coerente.
- ✓ Contribuir para o aprimoramento do ensino de Ciências e da Física na educação básica, compartilhando os resultados da pesquisa com a comunidade educacional e professores, visando promover práticas inovadoras e acessíveis para o ensino de Termodinâmica.

Para que os objetivos elencados acima sejam alcançados de forma satisfatória, a UEPS será aplicada de forma presencial a estudantes do segundo ano do Ensino Médio no período de Tempo Integral (EMTI) de uma escola pública no município de Passos-MG. A intervenção terá início no final de 2023 e se findará em março de 2024. As intervenções pedagógicas e experimentais ocorrerão durante a unidade curricular intitulada Práticas Experimentais, em que cada aula corresponde a um período de 100 minutos, conforme o Projeto Político Pedagógico (PPP) da escola.

O intuito desse trabalho passa por mostrar, através de um experimento de baixo custo como o TFBC, como o processo de descoberta científica, que é um método sistemático e ordenado pelo qual os cientistas exploram o mundo natural para adquirir novo conhecimento e compreensão. Esse processo se dará através das etapas de observação, formulação de hipóteses, experimentação, coleta e análise de dados, conclusões e comunicação dos resultados.

A aplicação da UEPS ocorrerá da seguinte forma:

1ª Aula – Verificação dos conhecimentos prévios

Na primeira aula deve-se verificar os conhecimentos prévios dos estudantes com o uso de perguntas norteadoras sobre temperatura, calor, conforto térmico, transporte de energia e fluxo de calor. As questões serão redigidas visando a utilizar observações do cotidiano do estudante.

As questões propostas aos estudantes terão um nível crescente de dificuldade, conforme o decorrer dos debates e a aplicação da UEPS. Ainda é pretensão deste trabalho verificar o nível de qualidade das repostas dos estudantes utilizando-se como ferramenta de avaliação os Mapas Conceituais de Novak, no início e no final da intervenção pedagógica.

Conforme o debate prossegue, deve-se aumentar o nível das perguntas de acordo com o retorno e o nível de conhecimento esboçado pelos estudantes.

Os estudantes serão distribuídos em grupos de até 4 integrantes, distinguíveis por cores, facilitando o cômputo dos dados e verificação da aprendizagem, corroborando com o que afirma Riees (2010).

Na sequência, apresenta-se algumas sugestões de questões norteadoras para a identificação dos conhecimentos prévios. Sugere-se aplicar as questões de maneira impressa, conforme descrito logo abaixo ou de forma digital via Google Forms < <https://forms.gle/g5JGiot8RD7TXNXE8> >.

Questões norteadoras – Termofluxímetro

1. O que você entende por Temperatura?
2. Para você, o que significa sentir calor?
3. Quando alguém lhe diz que o café está quente, o que você imagina?

4. Você saberia dizer o valor da temperatura, em °C, nas proximidades do local onde se encontra agora?
5. Qual o significado desse valor para você?
6. Quando alguém lhe diz que o suco está gelado, o que você imagina?
7. Pensando na Física, o que significa “fluxo”?
8. Ao preparar um chá numa tarde fria e chuvosa, verificou-se que este ficou muito quente. Você o deixa sobre a pia da cozinha e vai assistir à um filme e acaba por esquecê-lo. Quando se recorda de pegá-lo, como estará a temperatura deste chá? O que motivou a sua resposta?
9. Você, num dia bem quente, buscando se refrescar, coloca uma caneca de alumínio cheia d’água no freezer. Devido às suas inúmeras tarefas escolares, acaba por esquecê-la. O que acontecerá com a água contida no recipiente? O que motivou a sua resposta?
10. Qual cômodo da sua casa é mais confortável? Esse é o cômodo mais fresco da casa, isto é, o mais confortável termicamente (em condições naturais)?
11. Ao escolher esse cômodo da sua casa, você levou em consideração o tipo de piso (taco, cimento batido, piso frio, dentre outros), o teto (laje, forro de PVC, de gesso ou de madeira, sem forro, dentre outros) e as paredes (de madeira, de gesso, de alvenaria, dentre outros)?
12. Você acredita que o material de que é feito piso, teto e paredes influenciam na sua confortabilidade? Qual foi a motivação para essa sua resposta?
13. Você já teve a curiosidade de aferir a distância entre o piso e o teto de um cômodo da sua casa (também chamado de pé-direito)? Escolha um cômodo e estime a altura do pé-direito. Geralmente o pé-direito de uma casa comum varia de 2,5m a 3,0m, aproximadamente. Foi isso que você verificou?
14. Já esteve em cômodos onde o pé direito é elevado (mais de 4,0m)? Qual foi a sensação térmica nesse local?
15. Você já observou o tipo de telha usado em sua casa? Em caso negativo, procure um espaço adequado e tente observar o tipo de telha. Pergunte aos seus pais ou responsáveis, se eles sabem o nome desta telha e do que ela é fabricada. Descreva neste espaço o nome da telha e seu material de fabricação.
16. Você acredita que o material de fabricação da telha afeta o conforto térmico da casa?
17. Você já observou as cores das paredes externas da sua casa? Em caso negativo, vá até a parte externa e anote as cores das paredes, observando quais paredes recebem Sol pela manhã e Sol à tarde. Preencha a tabela abaixo conforme suas anotações:

Figura 10 – Imagem da tabela disposta no questionário

	Bem clara	Mais clara	Mais escura	Bem escura
Sala	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cozinha	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Quarto 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Quarto 2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Fonte: Acervo do autor

18. Na sua percepção, qual cômodo fica mais quente no período noturno? O que motivou a sua resposta?
19. Numa noite quente, com o que você se cobre? E numa noite fria? Você acha que o material utilizado para se cobrir influencia no seu conforto térmico? E quanto à espessura, há influencia? O que motivou a sua resposta?

2ª Aula – Oficina de Construção de Mapas Conceituais

Mapas conceituais são representações gráficas que organizam e visualizam conceitos e as relações entre eles. Eles são uma ferramenta poderosa para a representação e comunicação de conhecimento, ideias e informações de forma clara e concisa. Eles são frequentemente usados na educação, pesquisa, planejamento e comunicação. Os mapas conceituais podem ser usados para organizar informações, facilitar o aprendizado e a compreensão de novos conceitos. Essa é uma ferramenta versátil que pode ajudar a tornar ideias complexas mais claras e acessíveis, promovendo a compreensão e a colaboração em uma variedade de contextos.

Para criar um mapa conceitual, deve-se seguir as seguintes etapas:

- Definir o tópico ou ideia principal.
- Identificar os conceitos relacionados ao tópico principal. Esses conceitos serão conectados ao conceito principal por ligações.
- Desenhar e redesenhar um mapa conceitual que represente as relações entre os conceitos. Utilizar linhas ou setas para conectar os conceitos.
- Adicionar texto ao seu mapa conceitual para explicar as relações entre os conceitos.

Nesta aula o professor-pesquisador elencará com os estudantes os tópicos ou ideias principais (palavras-chave) relacionadas ao conceito de Termodinâmica conforme respostas obtidas durante a primeira aula.

3ª Aula – Contextualização Teórica

Nessa aula, haverá uma contextualização teórica sobre o conceito de Termodinâmica, com apoio ferramental do livro didático adotado na escola, tornando os espaços de aprendizagem dialogáveis com o espaço de vivência dos estudantes, atraindo-os assim, para uma aprendizagem significativa.

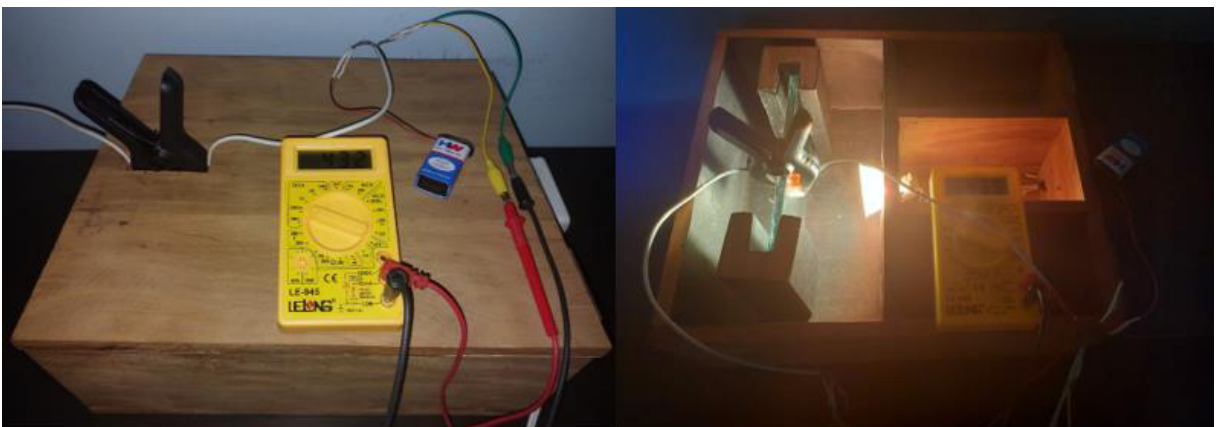
4ª Aula – Utilizando o TFBC (Variando o material)

Você já percebeu a diferença de temperatura em ambientes com diferentes tipos de telha? Por exemplo: telha de amianto, barro, galvanizada, dentre outras.

Apoiado na lei de arrefecimento de Newton, Joseph Fourier publica seu trabalho sobre a propagação térmica, denominado *Théorie analytique de la chaleur*². Nesse trabalho Fourier observou, através de experimentos, que a temperatura que flui em um corpo varia linearmente, em decorrência do material, espessura e a área.

Reproduzir-se-á aqui, com o uso de um Termofluxímetro de Baixo Custo (Figura 11), o experimento de Fourier, visando obter ao final das intervenções, a função matemática que descreve o fluxo de calor por diferentes materiais, espessuras e superfícies.

Figura 11 - Termofluxímetro de Baixo custo (Figura será alterada posteriormente)



Fonte: Acervo do autor

² <https://www3.nd.edu/~powers/ame.20231/fourier1822.pdf>

Material Utilizado

TFBC, placas diversas (madeira, vidro, papelão).

Metodologia

Para este momento da aula o estudante deve conectar o plug macho do TFBC na tomada e acionar o seu interruptor, aguardando por aproximadamente 5 (cinco) minutos mantendo a tampa fechada para que a lâmpada dicróica aqueça todo o interior do aparato. Após o aquecimento, o estudante deve abrir a tampa, colocar a placa de madeira fornecida pelo professor nos suportes, fechar a tampa, e aguardar por 3 (três) minutos aproximadamente e, logo em seguida colocar a pinça termométrica (Figura 12a) na fenda da tampa, fazendo com que a pinça pressione a placa de ambos os lados, conforme (Figura 12b). De uso do display do Termômetro Digital de Baixo Custo (TDBC), com o multímetro na escala milivolts, aferir a temperatura de entrada (lado da lâmpada) e de saída (lado oposto), anotando de forma organizada os resultados obtidos.

Figura 12 – a) Pinça termométrica b) Pinça colocada no TFBC



(a)

(b)

Fonte: Acervo do autor

Repetir o procedimento anterior, substituindo a placa de madeira pelas demais placas, aferindo sempre as temperaturas. Com os dados em mãos, preencha a tabela 01.

Tabela 01 – Variação de temperatura de diferentes materiais

Material	Temperatura de entrada (°C)	Temperatura de saída (°C)	Variação de temperatura (°C)
Madeira			
Vidro			
Papelão			
Acrílico			
Material desconhecido			

Fonte: Acervo do autor

Questões Norteadoras

- 1) Por que a tampa do TFBC deve ficar fechada no procedimento? Explique usando conceitos físicos.
- 2) Dos materiais testados, qual obteve menor variação na temperatura entre os lados da pinça termométrica? E qual obteve maior variação?
- 3) Com base nos dados coletados, é possível dizer que o material da placa influencia no fluxo da temperatura? O que motivou sua resposta?
- 4) De que forma os conhecimentos adquiridos com este experimento podem ser aplicados em situações práticas do cotidiano?

5ª Aula – Utilizando o TFBC (Variando a superfície)

Você sabe dizer por que no inverno os dias claros são, em média, mais frios do que no verão? Para que possamos responder essa questão, reutilizaremos o TFBC, só que desta vez vamos usar placas de mesmo material com diferentes dimensões, atentando na manutenção da sua espessura.

Material Utilizado

TFBC, placas de diversas dimensões, trena.

Metodologia

Ligue o TFBC por aproximadamente 5 (cinco) minutos, mantendo a tampa fechada. Fazendo uso da trena, afira as dimensões da placa e calcule a área. Abra a tampa, coloque a placa fornecida pelo professor nos suportes, feche a tampa, aguarde por 3 (três) minutos. Coloque a pinça termométrica na fenda da tampa, fazendo com que os seus lados pressionem a placa, conforme Figura 13.

Para medir a temperatura, utilize um voltímetro na escala de milivolts (mV). Certifique-se de que o sistema esteja corretamente montado com a garra termométrica posicionada nos pontos de entrada e saída. Coloque a garra na placa e afira a temperatura de entrada e leia o valor no voltímetro, registrando a tensão em mV. Em seguida, registre a tensão correspondente à temperatura de saída. Converta as tensões medidas em milivolts para graus Celsius. Compare as temperaturas de entrada e saída para analisar a variação térmica no sistema, o que fornecerá informações sobre a eficiência térmica e a dissipação de calor.

Figura 13 – Pinça termométrica com a tampa fechada e como deve pinçar o anteparo



Fonte: Acervo do autor

Repita o procedimento anterior, substituindo a placa de madeira pelas demais placas de madeira de outras dimensões, aferindo sempre as temperaturas e suas áreas. Com os dados em mãos, preencha a tabela 2.

Tabela 2 – Variando a área das placas de madeira

Área (cm ²)	Temperatura de entrada (°C)	Temperatura de saída (°C)	Varição de temperatura (°C)

Fonte: Acervo do autor

Questões Norteadoras

- 1) Houve diferença entre as variações de temperatura? Se sim, qual placa houve maior variação de temperatura, a de maior ou a de menor área?
- 2) Com base nos dados coletados, é possível dizer que a área da placa influencia no fluxo térmico? O que motivou sua resposta?
- 3) De que forma os conhecimentos adquiridos com este experimento podem ser aplicados em situações práticas do cotidiano?

6ª Aula – Utilizando o TFBC (Variando a espessura)

Caso as paredes de nossa casa fossem mais espessas ou mais finas, isso faria diferença na percepção das variações de calor sentidas por quem está no seu interior? De uso do TFBC iremos verificar qual é a influência da espessura do material no fluxo de calor.

Material Utilizado

TFBC, placas de vidro de diversas espessuras, paquímetro.

Metodologia

Ligue o TFBC por aproximadamente 5 (cinco) minutos, mantendo a tampa fechada. Fazendo uso da trena, afira as dimensões da placa e calcule a área. Abra a tampa, coloque a placa fornecida pelo professor nos suportes, feche a tampa, aguarde por 3 (três) minutos. Coloque a pinça termométrica na fenda da tampa, fazendo com que os seus lados pressionem a

placa, conforme Figura 13. De uso do voltímetro, na escala mV, afira a temperatura de entrada (lado da lâmpada) e de saída (lado oposto).

Repita o procedimento anterior, substituindo a primeira placa pelas demais placas de outras espessuras, aferindo sempre as temperaturas em ambos os lados (entrada e saída) e suas espessuras.

Tabela 3 – Variando a espessura das placas de vidro

Espessura (mm)	Temperatura de entrada (°C)	Temperatura de saída (°C)	Varição de temperatura (°C)

Fonte: Acervo do autor

7ª Aula – Utilizando o Conversor de Grandezas e a Calculadora de Fluxo Térmico para obter resultados do fluxo do calor

Nessa aula, fazendo uso do Conversor de Grandezas (CG) e da Calculadora de Fluxo Térmico (CFT) (Figuras 14 e 15) que está disponível no link³, os estudantes deverão encontrar o fluxo de calor em placas de livre escolha, visando uma melhor compreensão dos conceitos adquiridos até o momento. A utilização do CG e da CFT é necessária uma vez que não é pretensão desta pesquisa reconhecer as habilidades matemáticas dos estudantes no momento de converter uma medida em outra ou mesmo de calcular o valor do fluxo térmico através de uma placa. Como a equação (6) necessita que as grandezas aferidas estejam no Sistema Internacional de Unidades (SI), há uma necessidade de converter os dados coletados que estão no sistema CGS (Centímetro, Grama e Segundo) para o SI.

A Figura abaixo identifica as possibilidades de conversão conforme dados de entrada realizada pelo estudante.

³ https://drive.google.com/file/d/1DqtxcW_ceVJpCNhmO64xZYEeb5UeJRae/view?usp=drive_link

Figura 14: Conversor de Grandezas para uso concomitante com o TFBC.

Conversor de Grandezas - TFBC

MNPEF - campus de Alfenas - Polo 28

Prof. Giovanni Armando da Costa

Orientador: Prof. Dr. Luciano Soares Pedroso

Espessura (mm para m): Converter

Espessura em metros: 0,0012 m

Área (cm² para m²): Converter

Área em metros quadrados: 0,004 m²

Temperatura (°C para K): Converter

Temperatura em Kelvin: 358,15 K

Fonte: Acervo do autor

A Figura logo abaixo tipifica o resultado do cálculo do fluxo de calor conforme os dados inseridos pelos estudantes.

Figura 15: Calculadora de Fluxo de Calor.

Calculadora de fluxo de calor - TFBC

MNPEF - campus de Alfenas - Polo 28

Prof. Giovanni Armando da Costa

Orientador: Prof. Dr. Luciano Soares Pedroso

Fonte: Acervo do autor

O CG e a CFT foram elaboradas utilizando-se da linguagem de programação *JavaScript*. *JavaScript* é uma linguagem de programação amplamente usada para criar páginas *web* dinâmicas e interativas. Ela é frequentemente usada em conjunto com HTML para criar experiências de usuário envolventes na *web*. O protocolo HTML (*Hypertext Markup Language*) é uma linguagem de marcação usada para criar a estrutura e o conteúdo de páginas da *web*, sendo a espinha dorsal de praticamente todas as páginas e é responsável por definir a estrutura do documento, como títulos, parágrafos, imagens, links e outros elementos.

O CG e a CFT utilizam-se do protocolo HTML para que seja renderizada em quaisquer navegadores contidos nos smartphones dos estudantes sem a necessidade de pré-instalação de aplicativos ou simulares.

Tabela 4 – Resultados encontrados com a Calculadora de Fluxo Termométrico (CFT).

Placa de:	Fluxo de calor obtido: (J/s ou W)
Madeira	
Vidro	
Acrílico	

Fonte: Acervo do autor

Questões Norteadoras

- 1) Qual o significado de cada um dos valores do fluxo de calor obtido em cada placa?
- 2) Qual placa seria adotada por você para construir ou revestir as paredes de uma casa no norte do Brasil? O que motivou sua resposta?
- 3) Qual placa seria adotada por você para construir ou revestir as paredes de uma casa no Canadá? O que motivou sua resposta?

8ª Aula – Avaliação – Construção de Mapa Conceitual

Para avaliar os conceitos retidos na estrutura cognitiva dos estudantes, os grupos construirão, com o apoio do professor-pesquisador, o seu respectivo mapa conceitual do TFBC e das respostas às questões norteadoras que ocorrerão durante as intervenções pedagógicas.

Os mapas conceituais podem ser uma ferramenta valiosa no processo de avaliação da aprendizagem de conceitos relacionados ao fluxo de calor. Para que os Mapas Conceituais sejam utilizados de forma eficaz, conforme Novak e Cañas (2006) é importante seguir alguns procedimentos. Primeiramente, ao iniciar a avaliação, é fundamental estabelecer os objetivos específicos que deseja avaliar nos estudantes, como compreensão dos princípios do fluxo de calor, identificação de variáveis envolvidas ou aplicação prática desses conceitos. Em seguida, será fornecida aos estudantes uma tarefa ou questão relacionada ao fluxo de calor que estimule a criação do mapa conceitual do seu grupo. Este momento será realizado na primeira aula, onde o professor-pesquisador coletará, em conjunto com os estudantes, as palavras-chaves sobre os conceitos que este detém sobre a ideia de calor e temperatura. Isso será feito solicitando que

eles organizem as palavras-chave, como condutividade térmica, condução, convecção e radiação, de maneira hierárquica e conectada.

Durante a elaboração dos mapas, nesta 8ª aula, os estudantes serão encorajados a fazer conexões entre os conceitos e a explicar as relações entre eles. Isso não só avaliará a compreensão conceitual, mas também a capacidade de síntese e organização dos conhecimentos. Além disso, será permitido que os estudantes usem recursos visuais, como setas, cores e formas, para representar as relações entre os conceitos de forma mais clara e intuitiva.

Depois que os grupos concluírem seus mapas conceituais, o professor-pesquisador irá avaliá-los de diversas maneiras. Será observado a análise da precisão das conexões e relações estabelecidas em cada um dos mapas, bem como a profundidade da compreensão demonstrada. Também será avaliado a clareza da apresentação visual e a capacidade de comunicação dos grupos por meio de seus mapas. Além disso, será dado um *feedback* aos estudantes sobre suas representações conceituais, identificando possíveis erros ou lacunas em seu entendimento sobre os conceitos de Termodinâmica e em especial sobre o fluxo de calor e a lei de Fourier.

Para avaliar os mapas conceituais elaborados pelos grupos, o professor-pesquisador utilizará de um quadro onde os mapas serão analisados de forma qualitativa, sendo adotados os seguintes critérios: a) Conceito principal (conceitos fornecidos); b) Proposições (acréscimo de pelo menos mais quatro outros conceitos); c) Ligações cruzadas (ligações válidas e inválidas) e exemplos; d) Hierarquia (múltiplos relacionamentos entre os conceitos); e e) Conteúdo.

Dessa forma, para cada um destes critérios serão atribuídas as seguintes avaliações: “satisfatório”, quando o critério estiver completamente adequado; “parcialmente satisfatório”, quando o critério estiver com alguns poucos equívocos; e “insatisfatório”, quando o critério apresentar muitos equívocos conceituais e de ligações.

4.2 CONSTRUÇÃO DOS APARATOS EXPERIMENTAIS

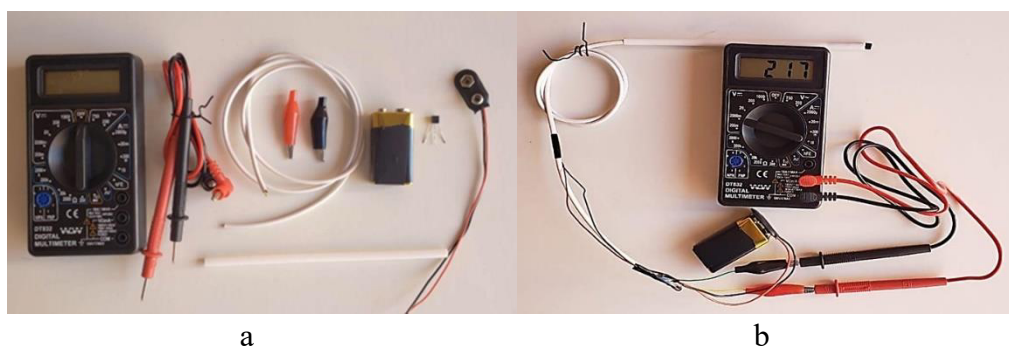
Nesse capítulo, serão apresentadas as construções do sensor termométrico e do aparato experimental Termofluxímetro de Baixo custo.

4.2.1 Termômetro Digital de Baixo Custo

O uso de termômetros em experimentos é essencial por várias razões, principalmente devido ao papel fundamental que a medição da temperatura desempenha em muitos campos da ciência e da tecnologia. Embora os termômetros convencionais sejam amplamente utilizados e confiáveis em muitas situações, eles também têm algumas desvantagens em determinadas aferições.

Como a maioria dos termômetros convencionais requer contato direto com o material cuja temperatura está sendo aferida e o display de leitura está acoplado ao corpo do termômetro, isso dificulta aferir temperaturas de locais distantes do contato do termômetro, tornando inadequado em situações em que o contato direto é de difícil acesso. Devido a essa desvantagem, em algumas aplicações específicas, podem ser preferíveis termômetros especializados. Pensando nisso, Pedroso, Neto e Araújo (2014) idealizaram um termômetro digital de baixo custo (TDBC), com a utilização de um transistor sensor de temperatura, o LM35DZ. Os detalhes de construção do TDBC podem ser encontrados no artigo intitulado “Investigação sobre o funcionamento de um termômetro digital de baixo custo⁴”. Uma representação dos materiais e de um TDBC em funcionamento estão nas Figuras 16a e 16b logo abaixo.

Figura 16 – TDBC: Em (a) os materiais utilizados e em (b) o TDBC em funcionamento.

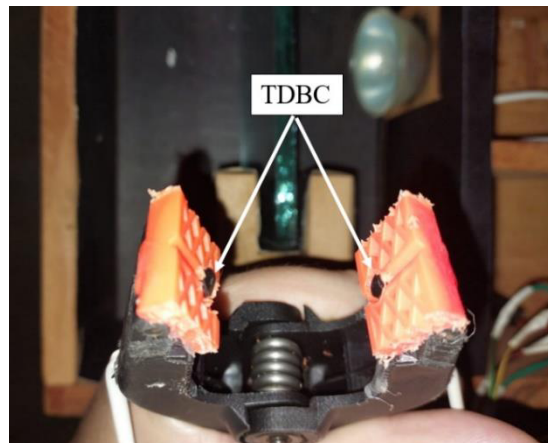


Fonte: Acervo do autor

Utilizando-se dois TDBC, acoplados em cada um dos extremos de uma garra sargento de bancada, foi criada uma pinça termométrica (Figura 17), para facilitar a captação das temperaturas a serem aferidas no TFBC.

⁴ <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbfta/article/view/1879/1813> - acesso em 30 de set. 2023.

Figura 17 – Detalhes da construção da Pinça Termométrica



Fonte: Acervo do autor

4.2.2 Termofluxímetro de Baixo Custo

O termofluxímetro é um dispositivo utilizado para medir o fluxo de calor através de um material ou sistema. Ele é usado para determinar a taxa na qual o calor está sendo transferido ou conduzido através de um objeto.

O funcionamento básico de um termofluxímetro envolve a medição das temperaturas em dois pontos diferentes ao longo do material ou sistema sendo estudado. Com base na diferença de temperatura e nas propriedades térmicas do material, como condutividade térmica, o termofluxímetro retorna a taxa de transferência de calor.

O termofluxímetro é uma ferramenta importante em áreas como a análise de isolamento térmico de edifícios e residências, pesquisa em transferência de calor, estudos de condutividade térmica de materiais e em aplicações industriais em que é crucial entender e controlar o fluxo de calor. Ele fornece informações críticas para projetar sistemas de isolamento, otimizar a eficiência energética e entender como o calor é transferido em uma variedade de contextos.

Para a implantação desse projeto, foi confeccionada uma caixa de madeira (Figura 18) com uma lâmpada halógena dicróica que, por gerar uma grande quantidade de energia térmica, se torna ideal para o funcionamento do aparato que tem por objetivo aferir as diferenças de temperaturas entre as faces de diferentes placas, que variam o material, a área e a espessura. A montagem do circuito da lâmpada é um processo básico que envolve conectar uma lâmpada a um interruptor unipolar através de fios.

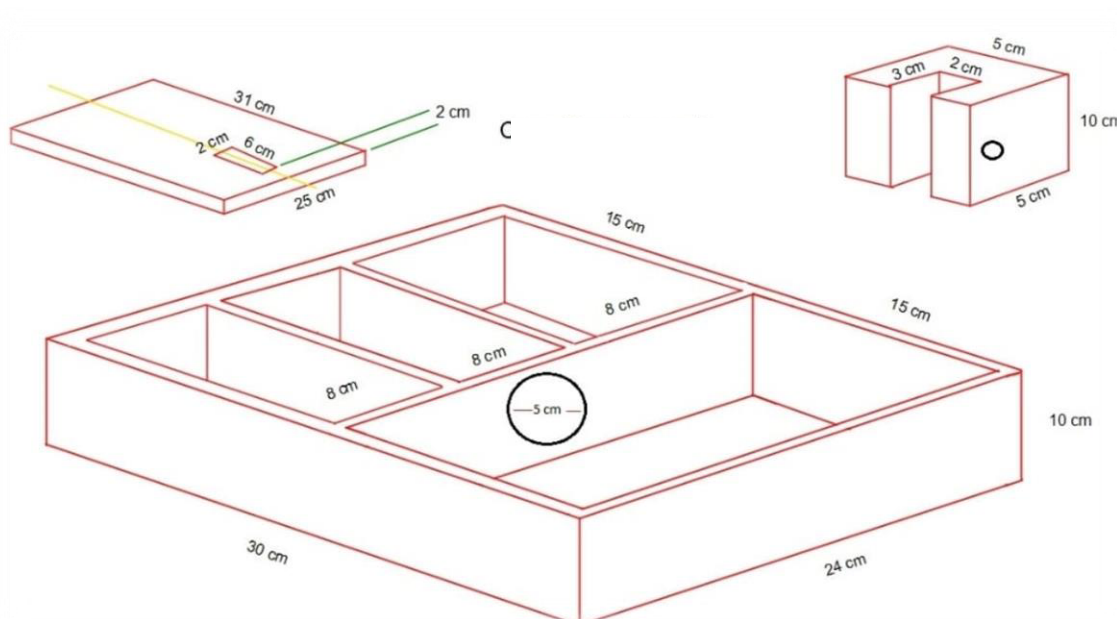
Figura 18 – Termofluxímetro de Baixo Custo



Fonte: Acervo do autor

Na Figura 19, é apresentada uma orientação a confecção da caixa de madeira e dos suportes para as placas, com suas devidas dimensões.

Figura 19 – Diagrama da caixa (fora de escala)



Fonte: Acervo do autor

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O TFBC desenvolvido para esta pesquisa se baseia nos princípios de transferência de calor em materiais sólidos, fazendo uso de sensores térmicos simples, denominados TDBC, além de materiais de isolamento térmico acessíveis. Durante as intervenções pedagógicas, foram executadas as atividades propostas na UEPS, visando uma aprendizagem significativa de conceitos de Termodinâmica pelos estudantes.

Foi realizada uma investigação minuciosa sobre as limitações do TFBC, com o intuito de identificar situações que promovam um aprimoramento do produto educacional que é parte integrante da pesquisa aqui apresentada. A compreensão desses aspectos é essencial para avaliar a robustez do método proposto e fornecer orientações claras e assertivas para futuras melhorias e adaptações no produto educacional.

Esta abordagem analítica não apenas ofereceu um entendimento valioso sobre as potencialidades do TFBC, mas também abriu portas para discussões sobre como tecnologias acessíveis podem impulsionar a pesquisa científica em cenários diversos.

5.1 Aplicação da UEPS

A UEPS, desenvolvida nessa pesquisa, foi aplicada de forma presencial a estudantes do segundo ano do Ensino Médio no período de Tempo Integral (EMTI) da Escola Estadual Deus, Universo e Virtude, no município de Passos-MG.

A intervenção teve início no final de 2023 e findou-se em março de 2024.

As intervenções pedagógicas e experimentais ocorreram durante a unidade curricular intitulada Práticas Experimentais, em que cada aula corresponde a um período de 50 minutos, conforme o Projeto Político Pedagógico (PPP) da escola.

Os estudantes foram divididos em quatro grupos de cinco integrantes cada para a execução das atividades práticas, com exceção do preenchimento do questionário e da confecção do mapa conceitual, os quais foram realizados de forma individual.

5.2 Intervenção

1º aula

Na primeira aula, os estudantes foram conduzidos à sala de informática da escola para responder o questionário proposto na UEPS, com a finalidade de levantar e identificar seus conhecimentos prévios acerca do tema tratado na UEPS. As questões foram respondidas individualmente, mediante uma interface online, utilizando o Google Forms, cujo link está disponível para acesso no seguinte endereço eletrônico: <<https://forms.gle/g5JGiot8RD7TXNXE8>>.

Destaca-se que o professor pesquisador, em total colaboração dos estudantes envolvidos, não permitiu nenhum tipo de consulta (virtual ou Física), para a elaboração das respostas.

5.3 Análise das respostas ao questionário

Na análise do questionário, constatou-se que os estudantes não desconhecem os conceitos mínimos sobre temperatura e calor. A maior parte deles pressupõe que temperatura está relacionada com a sensação de quente e frio e, de maneira análoga, atribuem o conceito de calor a tudo aquilo que possui uma temperatura elevada. Foi questionado também se os estudantes conheciam a temperatura local no momento de preenchimento do questionário. Alguns olharam a temperatura em seus smartphones, outros disseram simplesmente desconhecê-la. O que nos interessa foi a resposta ao questionamento posterior, perguntando se ele reconhece o significado deste valor. Nota-se que, quase a totalidade dos entrevistados, afirmam desconhecer o significado da temperatura daquele instante e local e, aqueles que responderam reconhecer o significado da temperatura aferida, tornaram a relacionar esse valor com a sensação térmica.

Figura 20 – Recorte de respostas prévias dos estudantes acerca do conceito de temperatura e calor

O quanto um material esta quente ou frio	quando o clima está quente
1 resposta sem nota	1 resposta sem nota
EU ENTENDO QUE É UMA COISA QUE VARIA MUITO, UMA HORA É QUENTE OUTRA HORA É FRIO	
1 resposta sem nota	
Para mim, temperatura é o nivel de calor que está em um determinado local.	
1 resposta sem nota	
A sensação que eu vou estar sentindo no momento que eu tiver nessa temperatura	
1 resposta sem nota	

Fonte: Acervo do autor

Quando questionados sobre o que ocorreria caso eles deixassem um fluido, cuja temperatura excedesse ou ficasse aquém daquela que prevalece no ambiente, sobre a pia da cozinha, é possível constatar que os estudantes manifestam um entendimento intrínseco acerca da troca de calor entre corpos com diferentes temperaturas (Figura 21). Pode-se concluir que, devido ao evento citado fazer parte do cotidiano do estudante, há compreensão parcial dos fenômenos questionados.

Figura 21 – Recorte de respostas prévias dos estudantes acerca do experimento mental sobre equilíbrio térmico

Estará fria. Ao passar do tempo sua temperatura elevada vai perdendo a intencidade

1 resposta sem nota

Ele estará numa temperatura um pouco abaixo de morno pq o copo a vc vai tomar o chá ele segura bem a temperatura

1 resposta sem nota

A água ira congelar pois ela vai absorver o calor do freezer assim ficando gelado

1 resposta sem nota

Ela vai estar pedrada pq o freezer vai gela ela muito e a caneca de alumínio se adapta bem a qualquer temperatura quanto quente, gelado, morno

1 resposta sem nota

Fonte: acervo do autor

Foi questionado, junto aos estudantes, em qual cômodo de suas residências eles experimentavam uma maior confortabilidade térmica, bem como se os materiais empregados nos pisos, tetos e paredes exercem algum impacto na percepção do conforto térmico do ambiente. Todos os entrevistados apresentaram e identificaram ao menos um cômodo da residência com a temperatura mais aprazível. Entretanto, até o momento do questionamento, não associavam essa sensação de agradabilidade ao tipo de material utilizado na composição estrutural desse ambiente. Após o questionamento, os estudantes passaram a ter uma mudança de perspectiva, fazendo uma percepção parcial, por vezes imprecisa, relacionando os diversos elementos, como o tipo de piso, teto e parede, à percepção de conforto térmico (Figura 22).

Figura 22 – Recorte de respostas prévias dos estudantes acerca do experimento mental sobre conforto térmico

Sim, pois se o teto for de tijolo ou gesso o ambiente fica quente

1 resposta sem nota

Sim, pois o teto é de laje e tem piso frio, acho que acaba influenciando na temperatura.

1 resposta sem nota

Acho que sim, pois o piso ele resfria um pouco a casa mas também tem janelas bem grandes o que influencia

1 resposta sem nota

Fonte: acervo do autor

Ao analisar as respostas dos questionamentos realizados até este momento da intervenção, observou-se o poder transformador do simples ato de questionar. Essa prática, quando bem direcionada, rompe com a passividade e abre as portas para uma aprendizagem significativa. Notou-se que, quando instigado por um fenômeno como o arrefecimento de um fluido, um estudante que decide questioná-lo, ao invés de apenas memorizar definições prontas, ele se lança em uma jornada de investigação, buscando respostas e construindo seu próprio conhecimento. É nesse momento que a aprendizagem significativa floresce, transformando informações em ferramentas para a compreensão do mundo.

Constatou-se que os questionamentos apresentados aos estudantes atuaram como chaves para desvendar os mistérios do conhecimento. Ao ser questionado, o estudante desafia crenças limitantes e paradigmas ultrapassados, abrindo espaço para novas ideias e perspectivas. Essa ruptura com o senso comum permitiu que eles desenvolvessem um pensamento autônomo e crítico, fundamental para a vida em sociedade. Ao engajá-los em um processo de questionamento, os estudantes deixaram de ser um mero receptor passivo de informações e se tornaram agentes ativos na construção do seu aprendizado. Essa postura proativa os levou a desenvolver um olhar mais atento e perspicaz sobre os fenômenos relacionados aos conceitos de Termodinâmica, como se observa nos mapas conceituais apresentados adiante, permitindo que identifiquem padrões, relações e nuances que antes passavam despercebidas.

2º Aula

Na segunda aula, foi dada uma oficina de construção de mapas conceituais. Vale ressaltar que os estudantes da escola já possuíam o conhecimento prévio sobre a construção de mapas mentais, o que simplificou a explicação sobre a distinção entre um mapa mental e um mapa conceitual (MC). A demonstração dessa diferenciação foi feita mediante a utilização de um mapa mental elaborado pelos próprios estudantes, servindo como elemento comparativo. Particularmente, o emprego de um mapa mental referente ao tema da Inflação (aumento contínuo dos preços de bens e serviços na economia) proporcionou uma abordagem prática, exemplificando de maneira eficaz a transição para a construção de mapas conceituais. Essa estratégia não apenas elucidou o processo, mas também promoveu uma compreensão mais profunda e contextualizada da aplicação prática de técnicas de representação gráfica do conhecimento (Figura 23).

Figura 23 – Conversão de mapa mental para mapa conceitual

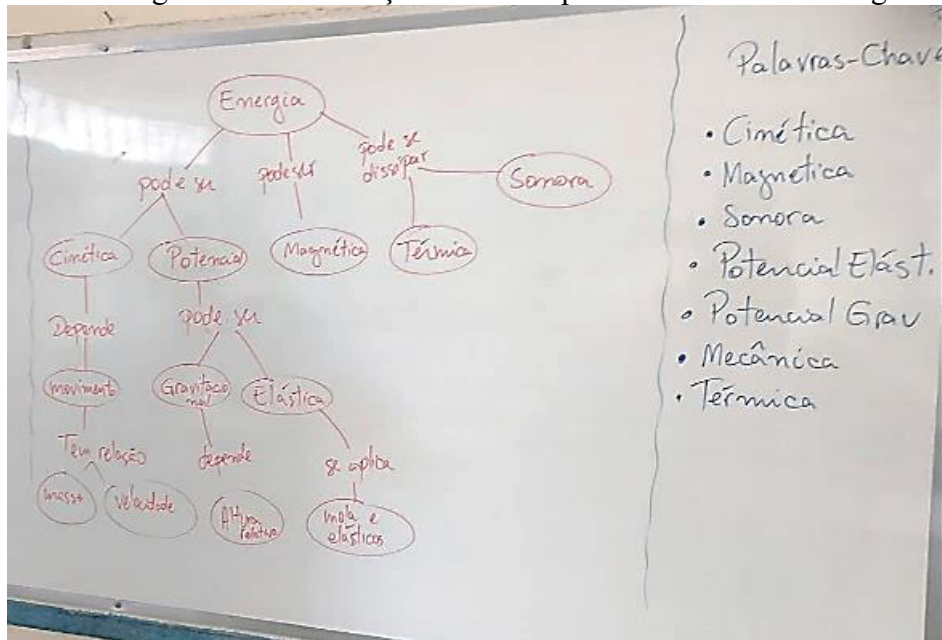


Fonte: acervo do autor

Após o momento que caracterizou a conversão e adaptação entre um mapa mental e um mapa conceitual, foi elaborado um mapa conceitual sobre o conceito de energia e sua conversão. Primeiramente fizemos uma coleta de palavras-chave acerca do tema e, com o uso dessas

palavras, foi feita a construção do mapa conceitual, enfatizando a utilização das ligações que o diferenciam de um mapa mental (Figura 24)

Figura 24 – Construção de um mapa conceitual sobre energia



Fonte: Acervo do autor

Ressalta-se, neste momento, as diferenciações entre os dois tipos de mapa, para que possa haver essa quebra de paradigma e os estudantes possam construir um mapa conceitual com os aspectos reconhecidos por Novak e Cañas (2008, p. 34) quando afirmam que é “... através da organização hierárquica e das conexões significativas entre os conceitos, os mapas conceituais facilitam a compreensão, a retenção e a comunicação do conhecimento, contribuindo para o desenvolvimento intelectual e pessoal do aprendiz”. Essa abordagem favoreceu uma compreensão mais profunda e contextualizada do conceito de energia (tema escolhido pelo professor por ser um conteúdo que os estudantes estavam trabalhando em sala de aula no momento da oficina) e também cultivou a habilidade dos estudantes em articular relações conceituais de maneira mais precisa e significativa. (Figura 25).

Figura 25 – Momento da interação entre o professor e os estudantes na elaboração do mapa conceitual de Energia Mecânica



Fonte: Acervo do autor

3º Aula – Contextualização teórica acerca dos conceitos de temperatura, calor, Equilíbrio Térmico e condutividade Térmica

No início das aulas, já no ano de 2024, foi realizada uma contextualização teórica acerca dos conceitos de Termodinâmica junto aos estudantes, por meio de quatro aulas/momentos expositivo-dialogadas com duração de 50 minutos cada uma. Durante as aulas, foram abordados os conceitos de Temperatura, Calor, Equilíbrio Térmico e Condutividade Térmica. Esses tópicos foram explorados com base referencial o livro de Bonjorno (2016), que auxiliou na elaboração das aulas.

A metodologia expositivo-dialogada proporcionou um ambiente propício à interação entre professor-pesquisador e os estudantes, estimulando a discussão, a análise crítica e o sanar de dúvidas que surgiam durante a intervenção. A escolha do livro de Bonjorno (2016) como referencial bibliográfico reforçou a qualidade e atualidade dos conteúdos apresentados, conferindo credibilidade e embasamento sólido ao processo de ensino e aprendizagem. Este viés metodológico, conforme afirma Monteiro (2021) onde se utiliza de aulas expositivo-dialogadas, e os estudantes são envolvidos em uma dinâmica que estabelece o foco da ação educativa centrada no estudante, e não no professor, propiciaram o desenvolvimento do pensamento crítico e a consolidação de uma compreensão robusta dos princípios fundamentais da Termodinâmica debatidos durante as aulas.

O primeiro momento foi abordado o conceito de Temperatura. Por esse trabalho se tratar de uma UEPS, e por ter um referencial teórico a Teoria da Aprendizagem Significativa de

Ausubel, iniciou-se a aula com uma questão norteadora. Foi indagado aos estudantes o que eles entendem por Temperatura, pergunta essa já realizada no questionário prévio pertencente à primeira aula da UEPS. Assim como nos questionários, os estudantes relacionaram Temperatura com algo quente ou frio (Figura 26).

Figura 26 – Momento de discussão sobre temperatura



Fonte – Acervo do autor

Com a finalidade de promover uma aprendizagem com significado e de quebrar essa sequência de conceitos espontâneos sobre o tema, foi feita a seguinte dinâmica:

a) Solicitou-se aos estudantes que colocassem as mãos na carteira, uma das mãos na madeira do acento o encosto e outra na barra de ferro que formam os pés da cadeira e, rapidamente, perguntado qual tem a maior temperatura. Todos responderam que a madeira estava numa temperatura maior que o ferro. De uso de um Termômetro Infravermelho, foi aferida a temperatura de ambas, demonstrando experimentalmente aos estudantes que a temperatura em ambas as superfícies era idêntica – madeira e ferro. Nesse momento foi indagado como os estudantes se sentem num dia bem frio e num dia bem quente. Quase todos responderam que no frio querem ficar mais parados e no calor se sentem mais agitados. Nesse ponto, o conceito de temperatura é apresentado à sala, mostrando que, assim como em dias quentes eles ficam mais agitados e nos dias frios se sentem mais estáticos, as moléculas se comportavam de maneira análoga. Quanto maior a energia cinética média das moléculas de um corpo maior será a sua temperatura e vice-versa.

b) No segundo momento, abordou-se o conceito de Calor com os estudantes. Como na aula anterior, foi questionado o que eles entendiam por Calor, seguindo a mesma metodologia. Para a maioria dos estudantes, Calor é algo quente, algo que queima. Perguntou-se a eles qual objeto "gera" mais calor, um lençol ou um edredom. Responderam instintivamente que o edredom aquece mais. O professor interveio, questionando: "O edredom de vocês é ligado na tomada? Se não é, como ele pode aquecer vocês? De onde ele tira energia para isso?" Nesse ponto, começou-se a introduzir o conceito de energia térmica, questionando de onde provém a energia para aquecê-los, até que um estudante afirmou: "A energia sai do próprio corpo, professor." Então, afirmou-se que ele está correto e que nosso corpo transmite energia térmica, sendo a função do edredom evitar que essa energia seja transferida para o ambiente. A partir daí, enfatizou-se que calor é a energia que transita de um corpo para o outro, e que essa energia flui de uma substância com maior quantidade de calor para uma com menor quantidade de calor. Outro exemplo fornecido para concluir o conteúdo foi o questionamento sobre a expressão comum das mães: "Fecha a janela senão o frio vai entrar." Foi solicitado que apontassem o erro na afirmação, e a maioria respondeu: "O frio não entra, é o calor que sai."

Figura 27 – Momento de discussão sobre Calor



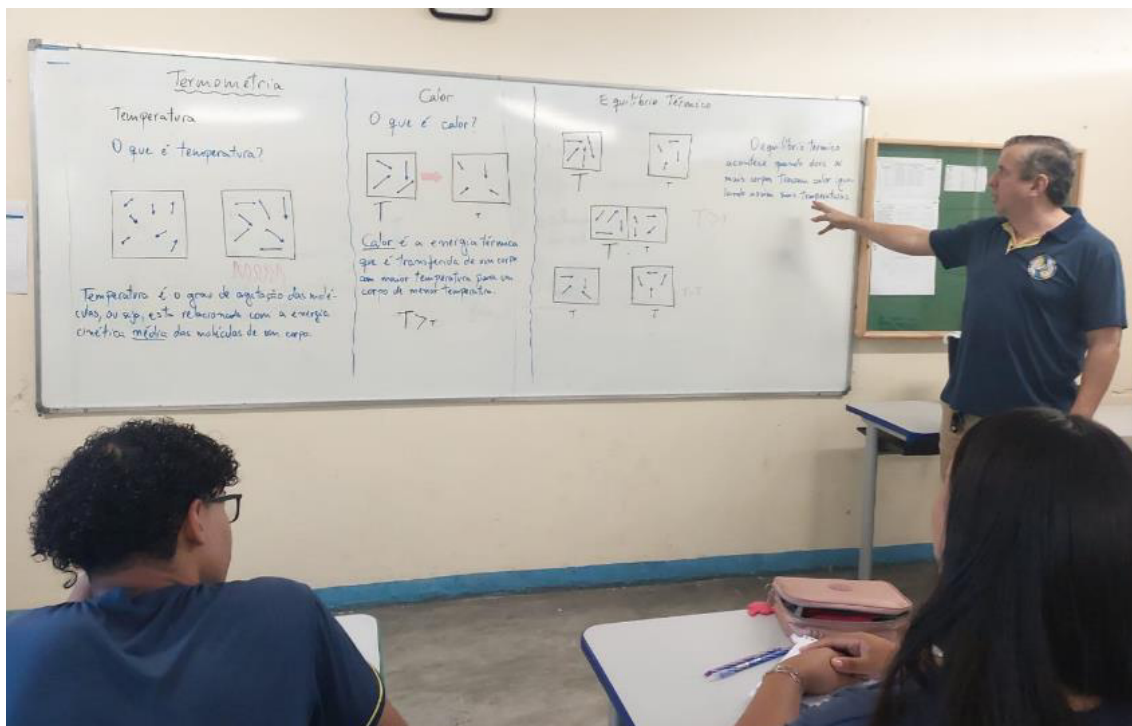
Fonte – Acervo do autor

No momento da discussão sobre Equilíbrio Térmico, indagou-se, assim como no questionário prévio, o que aconteceria se o estudante esquecesse um copo de café ou leite quentes na pia e voltasse depois de uma hora ou duas para pegar. Todos responderam que

esfriaria. Questionou-se então o motivo pelo qual o café esfriou. Após algumas discussões, um estudante afirmou que houve uma perda de calor para uma parte do copo. O professor perguntou então: “Perdeu para quem? Se dois estudantes apostassem uma corrida, um deles perderia, para o outro, claro! Assim funcionaria com o copo de café, ele deveria “perder” (neste momento o professor-pesquisador interrompeu o momento de questionamento afirmando que ao se tratar de energia, as palavras “perdeu” ou “ganhou” não deve ser usada, e sim substituída por “dissipou”) calor para outro corpo.” Foi respondido, após algumas discussões, que perdeu para o ambiente. O professor-pesquisador interveio novamente afirmando que na realidade não há perda de calor para o ambiente, e sim uma dissipação da energia térmica. Para exemplificar o significado de dissipação, pediu-se aos estudantes que se imaginassem no alto de um prédio com a mão cheia de talco e jogassem ao vento. Recolher o talco que se espalhou é impossível, pois ele foi dissipado na atmosfera. De maneira análoga, é com a energia térmica, ela é dissipada na atmosfera.

Perguntou-se agora o que aconteceria se o estudante colocasse uma caneca metálica com água no congelador e, como ele a esqueceu por lá, a água congelou. A caneca foi colocada sobre a pia e perguntou-se: “o que ocorreu com a água congelada presente na caneca?” Todos responderam que ela ficou líquida. Então, foi perguntado o motivo pelo qual houve o descongelamento da água. Nesse momento, houve certa dificuldade por parte dos estudantes em compreender como a água descongela (liquefaz-se). Muitos responderam que a água derreteu apenas, sem conseguir definir um conceito científico para tal efeito. Foi necessária uma interação mais profunda por parte do professor-pesquisador para esclarecer que a água congelada recebe calor do ambiente, até que haja um equilíbrio térmico entre os dois sistemas (recipiente-líquido e ambiente).

Figura 28 – Momento de discussão sobre Equilíbrio Térmico



Fonte – Acervo do autor

Para o momento de discussão sobre Condutividade Térmica, a conversa começa com a proposição do seguinte experimento mental: “Imaginem que a alguém da família de vocês acabou de fazer feijão e chamou vocês para almoçar. Na pressa, essa pessoa deixou duas conchas na panela, uma de metal e outra de silicone com alça de madeira. Qual delas, ao pegá-las, haveria uma probabilidade maior de queimar a sua mão?” Todos responderam que seria a de metal. Nesse momento, convidamos os estudantes a se colocarem no lugar do familiar que preparou o feijão. Através de um experimento mental, desafiamos suas percepções e os convidamos a refletir sobre as propriedades dos materiais que compõem as conchas.

Após a simulação do cenário do almoço, surge a pergunta crucial: por que a concha de metal tem maior probabilidade de queimar a mão do que a de silicone com alça de madeira?

Guiados por essa questão, os estudantes embarcam em uma jornada para desvendar os conceitos da condutividade térmica. Através de discussões e questionamentos, descobrem que a capacidade de um material conduzir o calor é fundamental para entender a diferença de temperatura entre as conchas.

O metal, conhecido por sua alta condutividade térmica, atua como um eficiente transportador de calor. Ao entrar em contato com o feijão quente, ele rapidamente transfere a energia térmica para a mão, aumentando a probabilidade de queimadura.

Por outro lado, o silicone, com sua baixa condutividade térmica, funciona como um bom isolante. A energia térmica do feijão encontra maior resistência para se propagar através do material, o que protege a mão do contato direto com o calor excessivo.

A alça de madeira, por ser um material com baixa condutividade térmica, reforça a proteção contra queimaduras. Ela atua como uma barreira adicional, impedindo que o calor do feijão se transfira rapidamente para a mão.

Essa experiência serve como base para aprofundar o estudo da condutividade térmica, explorando diferentes materiais, seus coeficientes de condutividade térmica e as aplicações práticas desse conceito em diversos campos da ciência e da tecnologia através do uso do TFBC.

Ao combinar esse experimento mental com questionamentos, discussões e a exploração de conceitos científicos, os estudantes tiveram a oportunidade de construir um aprendizado significativo e engajador sobre condutividade térmica. Essa abordagem ativa e contextualizada promoveu a compreensão profunda, a retenção do conhecimento e a capacidade de aplicar o aprendizado em situações reais, observados nos mapas conceituais apresentados adiante.

O simples desafio da escolha entre as conchas de metal e silicone abre espaço para reflexões sobre segurança no dia a dia e a importância da compreensão das propriedades dos materiais.

O aprendizado sobre condutividade térmica será retomado no momento da intervenção com o uso do TFBC.

Outro ponto foi apresentado aos estudantes quando se questionou como é a sensação térmica em suas residências. Houve respostas diversas, desde muito quente até uma temperatura agradável. Nesse momento, foi aberta uma discussão sobre as características das casas de cada estudante, levando em consideração o pé direito da residência, o tipo de parede, o tipo de teto e o tipo de telhado. Mostrou-se que, dependendo do material, espessura e área das paredes e/ou telhados, tem-se uma confortabilidade térmica diferente.

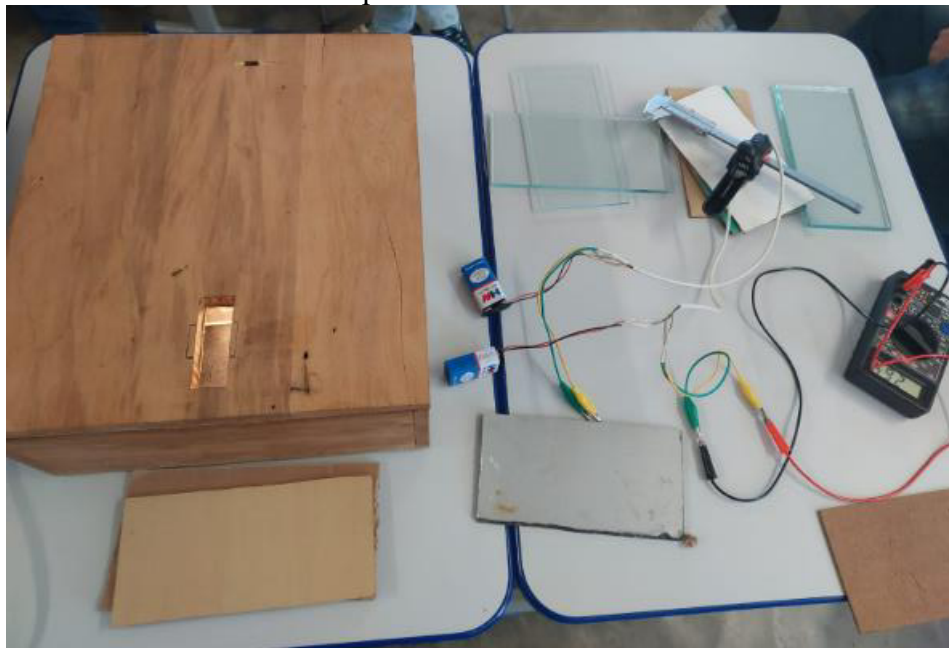
4º aula

A partir desse momento, passa a ser aplicado o TFBC. O produto é apresentado aos estudantes, mostrando a eles todos os seus componentes e suas funcionalidades. Para aprofundar a imersão no TFBC, os estudantes se familiarizam com os TDBC, aprendendo seus princípios de funcionamento e como realizar leituras precisas de temperatura nos multímetros.

A Figura 29, com sua linguagem visual convidativa, apresenta-se como guia nessa etapa fundamental.

Ao redor da mesa, foram dispostos, como um convite à experimentação, placas de diferentes materiais e espessuras. Cada material, com suas propriedades únicas, promete revelar propriedades sobre a condutividade térmica e a transferência de calor.

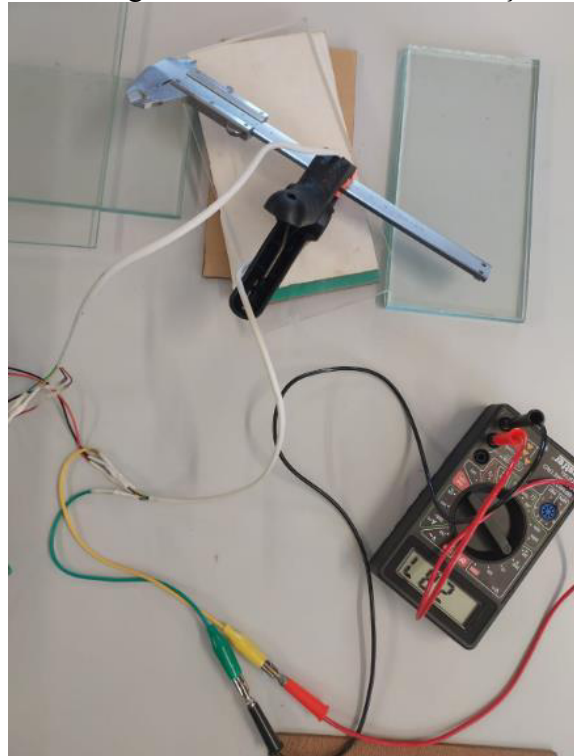
Figura 29 – Termofluxímetro de Baixo Custo, Termômetro Digital de Baixo Custo, Pinça Termométrica e placas diversas montados na sala de aula



Fonte: Acervo de Autor

Na imagem abaixo, nota-se que o professor-pesquisador colocou a pinça termométrica pressionando um paquímetro metálico, para que o equipamento aferisse a temperatura mais próximo possível da temperatura ambiente, conforme Figura 30.

Figura 30 – Termômetro Digital de Baixo Custo com Pinça Termométrica



Fonte: Acervo do Autor

Após a apresentação do produto e de seus periféricos, iniciou-se a aplicação do produto, aferindo primeiramente a variação de temperatura em diferentes materiais, de acordo com a Figura 31. Para uma maior eficiência do TFBC, a lâmpada no seu interior ficou ligada por aproximadamente 5 minutos antes das placas serem inseridas em seu interior.

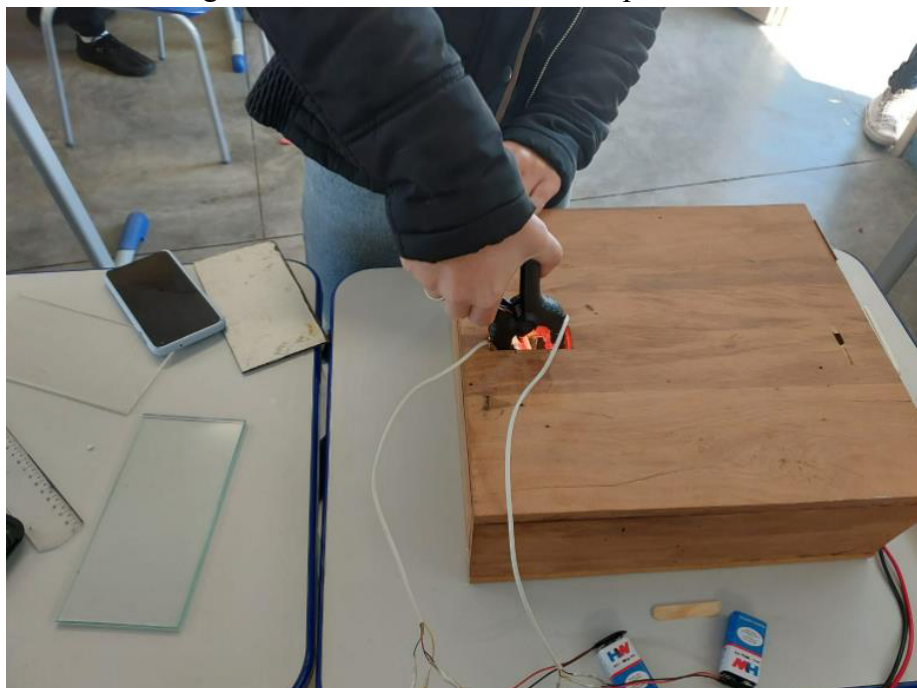
Figura 31 – TFBC pronto para ser aplicado pelos estudantes



Fonte: Acervo do Autor

Para as intervenções com o uso do TFBC, a sala foi subdividida em 4 grupos com no máximo de 5 por grupo, ficando cada grupo responsável por aferir as temperaturas de entrada e saída da pinça termométrica. Os estudantes colocaram, uma a uma, as placas de materiais distintos, atentando-se às aferições das temperaturas mostradas no multímetro, de acordo com a Figura 32.

Figura 32 – TFBC sendo utilizado pelos estudantes



Fonte: Acervo do autor

Os estudantes preencheram o roteiro disponibilizado pelo professor (Anexo 1) com os valores das temperaturas aferidas nas placas de madeira, vidro, papelão e acrílico. A Figura 33 mostra que o resultado obtido por um dos grupos.

Figura 33 – Resultado obtidos pelo grupo nas aferições das placas de diferentes materiais

Tabela 01 – Variação de temperatura de diferentes materiais

MATERIAL	TEMPERATURA DE ENTRADA (°C)	TEMPERATURA DE SAÍDA (°C)	VARIAÇÃO DE TEMPERATURA
MADEIRA	25,6	22,9	2,7
VIDRO	28,3	24,4	3,9
PAPELÃO	28,7	24,1	4,6
MATERIAL DESCONHECIDO	30,6	27,6	3
ACRÍLICO	31,1	26,8	4,3

Fonte: Acervo do autor

Fonte: Acervo do autor

Foram elaboradas quatro questões para serem respondidas pelos estudantes durante o uso do TFBC. Adiante será realizada uma análise sobre as respostas de todos os grupos, de maneira geral.

Inicialmente foi questionado o motivo da tampa do termofluxímetro permanecer fechada durante o procedimento. Todos os estudantes responderam que era para evitar que o calor escapasse, o que mostrou que o conceito de calor estava presente na estrutura cognitiva dos estudantes. Quando questionados sobre quais materiais tiveram maior e menor variação de temperatura, todos apontaram que o vidro teve uma variação menor e a madeira teve uma variação maior, evidenciando assim que o material pode interferir no fluxo de temperatura.

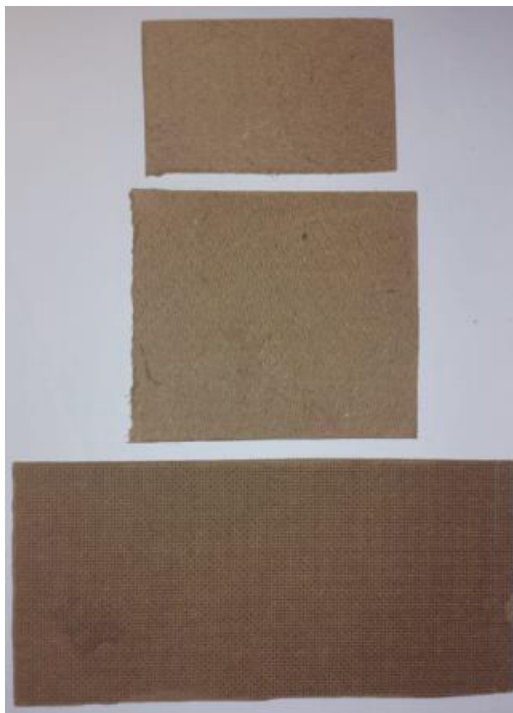
Foi iniciada uma conversa sobre como os conhecimentos adquiridos com o experimento os auxiliariam nas situações do cotidiano. Alguns mencionaram o exemplo das conchas de feijão, citado anteriormente, afirmando que materiais metálicos conduzem o calor melhor do que a madeira. Também foi dado o exemplo das roupas, em que uma é mais quente do que a outra dependendo do material do qual é feita.

Notou-se que a experimentação com diferentes materiais, a conexão com o cotidiano através de exemplos como as conchas de feijão e as roupas, a argumentação sobre a condutividade térmica e a aplicação do conhecimento em situações reais mostram que os estudantes estão construindo pontes entre o conhecimento teórico e a prática. Essa abordagem ativa e contextualizada promoveu a compreensão profunda, uma mudança conceitual e a capacidade de aplicá-lo em diversas situações, como se apresenta nos mapas conceituais adiante.

5º Aula

Neste momento, foi explorado a variação temperatura para materiais de diferentes medidas de superfícies (áreas). Para aplicação dessa parte do experimento, foram utilizadas três placas de madeira de diferentes áreas (em cm^2), conforme a Figura 34.

Figura 34 – Placa de madeiras de áreas distintas



Fonte: Acervo do Autor

Usando uma trena, os estudantes aferiram as dimensões de todas as placas e calcularam suas áreas em cm^2 . Os valores obtidos foram registrados no roteiro anteriormente disponibilizado pelo professor-pesquisador. As placas foram posicionadas no TFBC, da menor área para a maior área, respeitando o intervalo de três minutos entre a inserção de uma e outra no TFBC, conforme definido pelo professor-pesquisador. A Figura 35 mostra que o resultado obtido por um dos grupos, caracterizando que, quanto maior a área de incidência da radiação emitida pela lâmpada, menor será a variação de temperatura, aumentando assim o fluxo térmico

Figura 35 – Resultado obtidos pelo grupo nas aferições das placas de diferentes materiais

Tabela 2 – Variando a área das placas de madeira

ÁREA	TEMPERATURA DE ENTRADA (°C)	TEMPERATURA DE SAÍDA (°C)	VARIAÇÃO DE TEMPERATURA (°C)
$16 \times 9 = 144$	32,3	27,7	4,6
$19 \times 9 = 171$	28,5	25,6	2,9

Fonte: Acervo do autor

Fonte: Acervo do autor

Questionou-se de que forma os conhecimentos adquiridos com este experimento podem ser aplicados em situações práticas no cotidiano. Além do exemplo da panela, onde os

estudantes observaram e verbalizaram que uma panela com superfície maior aquece mais rapidamente do que uma com superfície menor para aquecer a mesma quantidade de água. Neste momento o professor poderia expandir sobre a transferência de calor, explicando os princípios físicos por trás desse fenômeno, como a lei de Fourier e a taxa de transferência de calor. Também é possível explorar outros exemplos do cotidiano onde a área de superfície influencia na transferência de calor, como a eficiência de trocadores de calor em sistemas de refrigeração ou aquecimento, ou até mesmo a importância da área de exposição ao sol para o aquecimento de ambientes. Além disso, verifica-se a necessidade de se discutir o uso de vestimentas em diferentes culturas e regiões, como nos países árabes, onde o uso de roupas compridas é comum para dissipar o calor de maneira mais eficiente. Essa exploração cultural pode ser complementada com uma discussão sobre eficiência energética e considerações sobre segurança e conforto, destacando a importância de um equilíbrio entre proteção térmica e conforto pessoal.

6° Aula

No próximo experimento, foi explorado a variação temperatura para materiais de diferentes espessuras. Para aplicação dessa parte do experimento, foram utilizadas três placas de vidro de diferentes espessuras, de acordo a Figura 36.

Figura 36 – Estudante aferindo a variação de temperatura de placas de vidros de diferentes espessuras.



Fonte: Acervo do autor

Utilizando um paquímetro, os estudantes aferiram as espessuras das placas de vidro, registrando-as no roteiro e utilizando milímetros como unidade de medida. As placas foram posicionadas separadamente no TFBC, respeitando um intervalo de três minutos entre cada medição. A Figura 37 mostra, com base nos resultados obtidos pelos estudantes, que quanto maior for a espessura do material, maior será a diferença de temperatura, validando assim a intervenção.

Figura 37 – Resultado obtidos pelo grupo nas aferições das placas de diferentes materiais

Tabela 3 – Variando a espessura das placas de madeira

ESPESSURA	TEMPERATURA DE ENTRADA (°C)	TEMPERATURA DE SAÍDA (°C)	VARIAÇÃO DE TEMPERATURA
3 m	29,4	27,3	2,1
6 m	29,5	26,8	2,7
8 m	29,5	25,9	3,6

Fonte: Acervo do autor

Fonte: Acervo do autor

7º aula

Nesse momento, os estudantes realizaram o cálculo do fluxo térmico, utilizando calculadoras baseadas na Lei de Fourier e escolhendo as placas para a execução dos cálculos. Foi concedida autonomia aos estudantes na escolha do equipamento, considerando a familiaridade deles com o mesmo. As calculadoras foram disponibilizadas por meio de *QR code* (Figura 38), possibilitando o acesso fácil e rápido através de *smartphones*. Além disso, durante o processo de cálculo, os estudantes puderam discutir e trocar informações e observações, promovendo uma interação mais dinâmica e colaborativa. A abordagem prática, aliada à liberdade na escolha das ferramentas, contribuiu para uma melhor compreensão dos conceitos envolvidos no experimento e estimulou o pensamento crítico dos participantes.

Figura 38 – QR Code com as calculadoras de fluxo de calor



Fonte: Acervo do Autor

Nessa fase de aplicação do produto educacional, observou-se que os estudantes compreenderam o funcionamento do equipamento e utilizaram a calculadora de forma tranquila por possuírem um designe amigável. Ao abordar o conhecimento adquirido através deste experimento, é essencial considerar os princípios da aprendizagem significativa de Ausubel para promover uma compreensão mais profunda e duradoura.

No momento da intervenção identificou-se que o experimento realizado nessa 7ª aula estabeleceu conexões com o conhecimento prévio dos estudantes com suas experiências cotidianas, destacando os conhecimentos sobre transferência de calor. Ao discutir a eficiência de aquecimento de diferentes superfícies, pode-se encorajar os estudantes a refletir sobre suas próprias experiências na cozinha e como isso se relaciona com o experimento realizado em sala de aula. Além disso, fornece-se uma estrutura organizada para a aprendizagem, apresentando os princípios físicos subjacentes de forma clara e sequencial, como apresentado pela lei de

Fourier e os conceitos de taxa de transferência de calor. Isso permitiu aos estudantes integrar novas informações de forma significativa, conectando-as com conceitos já familiarizados. Além disso, ao oferecer exemplos adicionais de aplicação prática, como placas de espessura e materiais diferentes, amplia-se as oportunidades para que os estudantes se aprofundarem nos conceitos apresentados, interconectando-os a novos contextos. Ao explorar, na forma dialogada, o uso cultural de vestimentas em diferentes regiões, como os países árabes, incentiva-se os estudantes a considerar perspectivas diversas e a compreender como fatores culturais influenciam as práticas cotidianas.

8º aula

A etapa final da aplicação do produto consiste na elaboração de mapas conceituais por parte dos grupos de estudantes. A princípio ocorreu, por parte dos estudantes, uma certa resistência à diferenciação de um mapa mental para um mapa conceitual. Essa resistência foi vencida com uma recapitulação dos conceitos mostrados na 2ª aula.

A avaliação de mapas conceituais relacionados aos conceitos de Termodinâmica e Transferência de Calor foi realizada com base em critérios específicos apontados por Novak e Cañas (2008) que consideram a compreensão e a organização dos conceitos pelos estudantes. Abaixo estão sete critérios mensuráveis que um professor de educação básica pode utilizar para avaliar esses mapas conceituais:

1. Precisão dos Conceitos:

- Avaliar se os conceitos fundamentais de Termodinâmica e Transferência de Calor estão corretamente representados no mapa.
- Verificar se os termos utilizados estão corretos e se os relacionamentos entre os conceitos estão precisos e de acordo com os princípios da Física.

2. Profundidade da Exploração:

- Analisar a profundidade com que os conceitos são explorados no mapa.

- Verificar se os estudantes foram capazes de representar diferentes aspectos da termodinâmica e da transferência de calor, como leis termodinâmicas, processos de transferência de calor (condução, convecção, radiação), ciclos termodinâmicos, entre outros.

3. Clareza na Estruturação:

- Avaliar a clareza da estrutura do mapa conceitual.
- Verificar se os conceitos estão organizados de forma lógica e hierárquica, com conexões claras entre eles.
- Observar se os estudantes utilizaram cores, setas ou outras ferramentas visuais para destacar relações importantes.

4. Inclusão de Exemplos e Aplicações:

- Verificar se o mapa inclui exemplos e aplicações práticas dos conceitos de termodinâmica e transferência de calor.
- Analisar se os estudantes conseguiram relacionar os conceitos teóricos com situações do dia a dia ou com fenômenos observáveis.

5. Originalidade e Criatividade:

- Considerar o nível de originalidade e criatividade na elaboração do mapa conceitual.
- Avaliar se os estudantes foram capazes de apresentar ideias de forma inovadora e criativa, utilizando elementos visuais ou diagramas que enriqueçam a compreensão dos conceitos.

Segundo os autores, a coerência e o detalhe de um mapa conceitual são dois conceitos que podem ser úteis para avaliar mapas conceituais:

6. Coerência e Consistência:

- Verificar a coerência e a consistência dos conceitos apresentados no mapa.

- Analisar se não há contradições ou inconsistências nos relacionamentos entre os conceitos.
- Avaliar se os estudantes foram capazes de manter uma linha lógica ao conectar os diferentes elementos da Termodinâmica e da Transferência de Calor.

7. Nível de Detalhamento e Abstração:

- Avaliar o nível de detalhamento e abstração dos conceitos apresentados.
- Observar se os estudantes conseguiram encontrar um equilíbrio adequado entre detalhar conceitos-chave e manter uma visão geral compreensível.
- Verificar se o mapa consegue transmitir informações importantes sem se perder em excesso de detalhes ou simplificações exageradas.

Conforme Moreira (2006), utilizar uma variedade de critérios permite ao professor avaliar diferentes aspectos da compreensão dos estudantes sobre termodinâmica e transferência de calor, incentivando a construção de mapas conceituais mais claros, precisos e informativos.

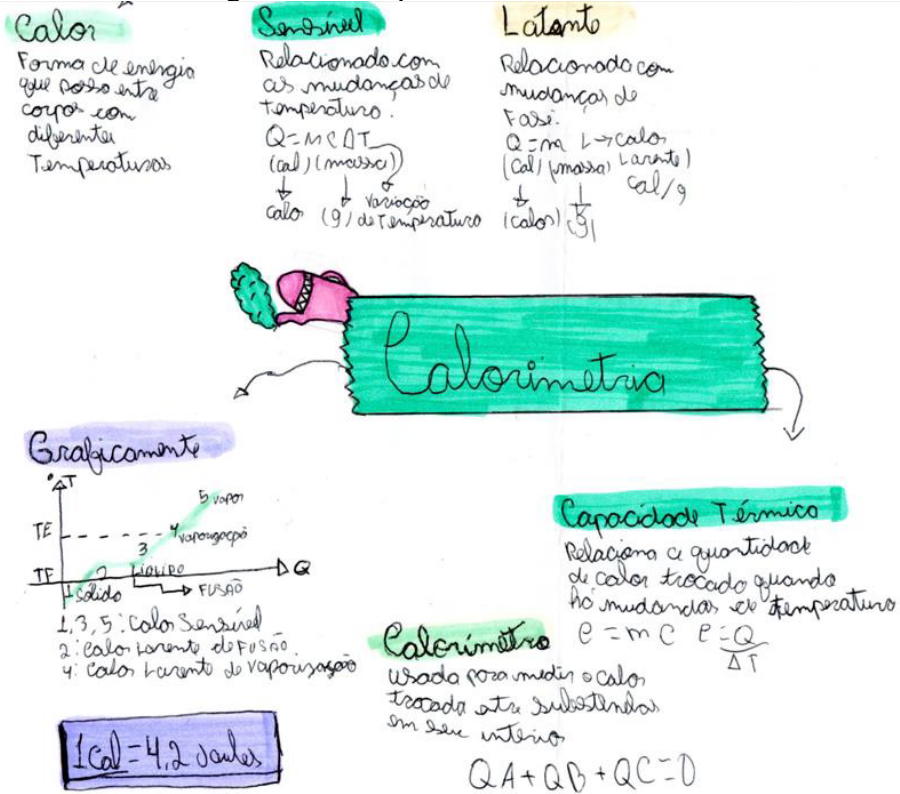
Cada um desses critérios pode ser quantificado em uma escala, permitindo ao professor atribuir uma avaliação objetiva aos mapas conceituais dos estudantes. Além disso, fornecer um *feedback* construtivo com base nesses critérios pode ajudar os estudantes a melhorar suas habilidades de organização conceitual e compreensão dos princípios de Termodinâmica e Transferência de Calor.

Ao contrário da aplicação do produto, que foi realizada em grupo, os mapas conceituais foram elaborados individualmente, permitindo uma análise mais abrangente do conhecimento adquirido. Um mapa conceitual de cada grupo foi selecionado aleatoriamente para análise. Com base nos critérios mensuráveis descritos anteriormente, os mapas conceituais confeccionados pelos estudantes foram cuidadosamente avaliados e compilados em uma tabela para facilitar a análise e comparação. Cada trabalho foi meticulosamente revisado e seus méritos foram atribuídos, resultando em uma representação clara e organizada dos resultados obtidos pelos estudantes. Para elucidar melhor a análise dos mapas, foi confeccionado um gráfico de radar com os resultados obtidos.

Os mapas serão expostos preservando a identidade dos estudantes e aqui serão chamados de “Estudante 1”, “Estudante 2”, “Estudante 3” e “Estudante 4”.

Estudante 1

Figura 39 – Mapa conceitual do estudante 1



Fonte: acervo do Autor

Abaixo teremos a análise do mapa do estudante 1

Tabela 1 - Análise dos mapas conceituais confeccionado pelos estudantes

Critérios para avaliação dos mapas conceituais	Nível das Respostas									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 Precisão dos Conceitos	●	●	●	●	●	○	○	○	○	○
2 Profundidade da Exploração	●	●	●	●	●	●	○	○	○	○
3 Clareza na Estruturação	●	●	●	●	●	○	○	○	○	○
4 Inclusão de Exemplos e Aplicações	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○
5 Originalidade e Criatividade	●	●	●	●	●	●	●	○	○	○
6 Coerência e Consistência	●	●	●	●	●	○	○	○	○	○
7 Nível de Detalhamento e Abstração	●	●	●	●	●	○	○	○	○	○

Fonte: Acervo do autor

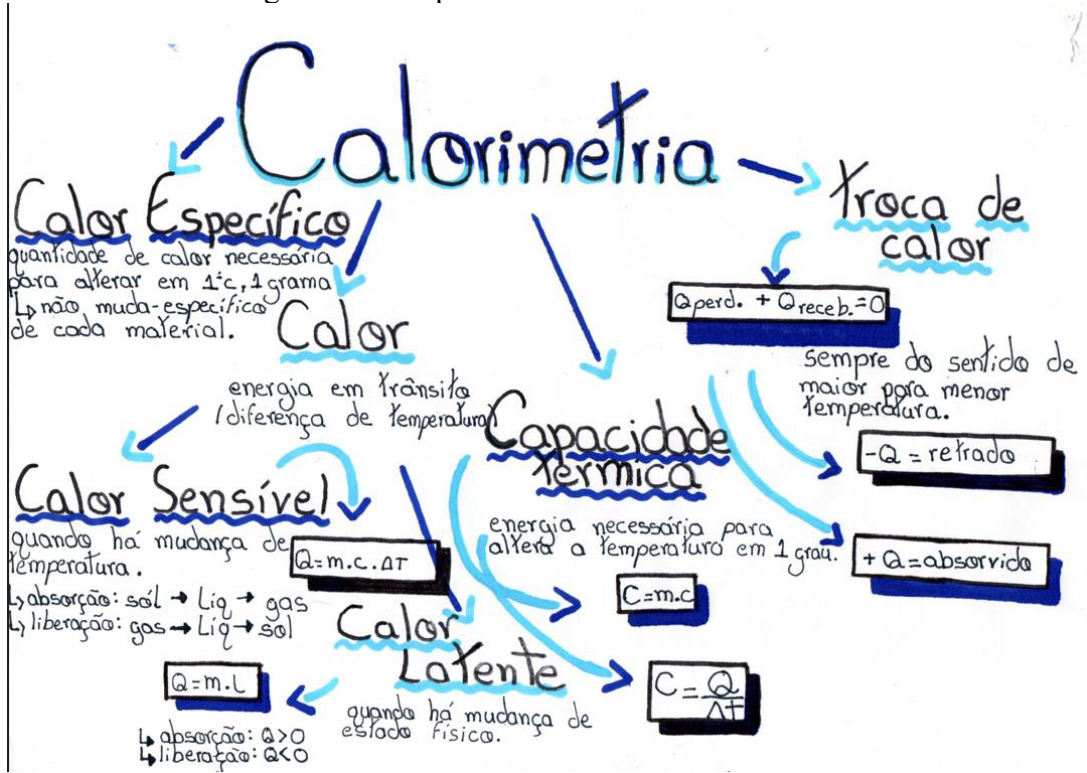
O desempenho do estudante indica uma necessidade significativa de melhoria em várias áreas-chave, especialmente em precisão dos conceitos, clareza na estruturação e inclusão de exemplos e aplicações. As notas mais altas em originalidade e criatividade mostram um potencial que pode ser melhor aproveitado com uma abordagem mais estruturada e detalhada. É fundamental focar nas áreas de precisão, estruturação e exemplos práticos para melhorar a compreensão global e a apresentação dos conceitos. Com o suporte adequado e um esforço direcionado, o estudante pode alcançar uma performance muito melhor.

Ações Recomendadas:

- Leituras Adicionais e Discussões: Aprofundar o entendimento dos conceitos através de leituras e discussões orientadas.
- Exemplos Relevantes: Selecionar exemplos que ilustram claramente os conceitos e sua aplicação prática.
- Revisão e Reorganização: Revisar e reorganizar os mapas conceituais para melhorar a clareza e coerência.
- Equilíbrio Adequado: Encontrar um equilíbrio entre simplificação e detalhamento, adaptado à complexidade dos conceitos.

Estudante 2

Figura 18 – Mapa conceitual do estudante 2



Fonte: Acervo do autor

Abaixo teremos a análise do mapa do estudante 2

Tabela 2 - Análise dos mapas conceituais confeccionado pelos estudantes

Critérios para avaliação dos mapas conceituais	Nível das Respostas									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 Precisão dos Conceitos	●	●	●	●	●	●	●	●	○	○
2 Profundidade da Exploração	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○
3 Clareza na Estruturação	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○
4 Inclusão de Exemplos e Aplicações	●	●	●	●	●	●	●	●	○	○
5 Originalidade e Criatividade	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○
6 Coerência e Consistência	●	●	●	●	●	●	●	●	○	○
7 Nível de Detalhamento e Abstração	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

Fonte: Acervo do autor

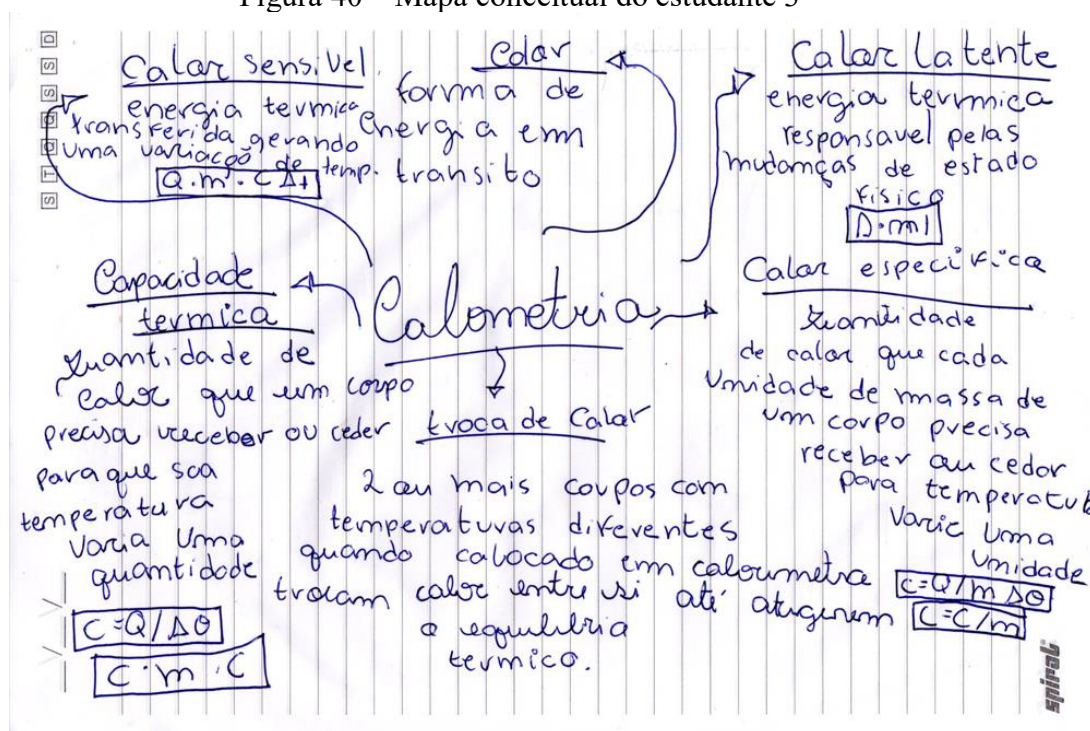
O estudante obteve um forte desenvolvimento em várias áreas, especialmente na profundidade da exploração, clareza na estruturação, originalidade e criatividade, e nível de detalhamento e abstração. As áreas que necessitam de mais atenção são a precisão dos conceitos e a coerência e consistência das conexões entre os conceitos. O estudante mostra uma sólida compreensão e habilidade na apresentação de conceitos. Com foco nas áreas de precisão e consistência, ele poderá alcançar um nível ainda mais elevado de desempenho.

Ações Recomendadas:

- Leituras Adicionais e Discussões: Aprofundar o entendimento dos conceitos através de leituras e discussões orientadas.
- Exemplos Diversificados: Selecionar uma gama mais diversificada de exemplos e aplicações práticas.
- Revisão e Reorganização: Revisar e reorganizar os mapas conceituais para melhorar a coerência e clareza.

Estudante 3

Figura 40 – Mapa conceitual do estudante 3



Fonte: Acervo do autor

Abaixo teremos a análise do mapa do estudante 3

Tabela 3 - Análise dos mapas conceituais confeccionado pelos estudantes

Critérios para avaliação dos mapas conceituais		Nível das Respostas									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Precisão dos Conceitos	●	●	●	●	●	●	●	●	○	○
2	Profundidade da Exploração	●	●	●	●	●	●	○	○	○	○
3	Clareza na Estruturação	●	●	●	●	●	●	○	○	○	○
4	Inclusão de Exemplos e Aplicações	●	●	●	●	●	●	○	○	○	○
5	Originalidade e Criatividade	●	●	●	●	●	○	○	○	○	○
6	Coerência e Consistência	●	●	●	●	●	●	○	○	○	○
7	Nível de Detalhamento e Abstração	●	●	●	●	●	○	○	○	○	○

Fonte: Acervo do autor

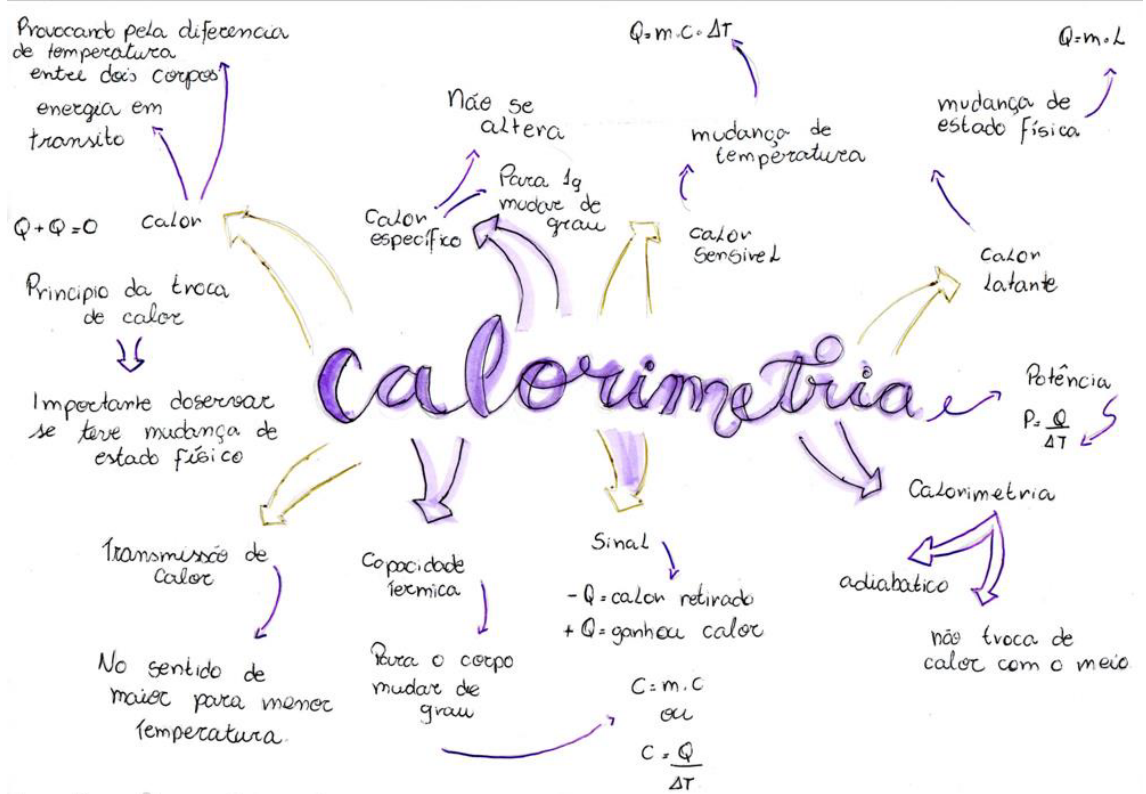
O estudante três logrou êxito em ilustrar alguns conceitos, entretanto, seu mapa se encontra um tanto confuso. Evidencia-se que, caso o espaço disponível fosse ampliado, sua capacidade de desenvolvimento poderia ser aprimorada significativamente. Por conseguinte, foi sugerido ao estudante otimizar a utilização do espaço já existente ou, alternativamente, expandi-lo mediante a incorporação de uma folha adicional. Em termos gerais, o desempenho apresentado foi satisfatório.

Ações Recomendadas:

- Leituras Adicionais e Discussões: Aprofundar o entendimento dos conceitos através de leituras e discussões orientadas.
- Exemplos Relevantes: Selecionar exemplos que ilustram claramente os conceitos e suas aplicações práticas.
- Revisão e Reorganização: Revisar e reorganizar os mapas conceituais para melhorar a clareza e coerência.
- Abordagens Criativas: Encorajar abordagens criativas para apresentar os conceitos.

Estudante 4

Figura 41 – Mapa conceitual do estudante 4



Fonte: Acervo do autor

Abaixo teremos a análise do mapa do estudante 4

Tabela 4 - Análise dos mapas conceituais confeccionado pelos estudantes

Critérios para avaliação dos mapas conceituais		Nível das Respostas									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Precisão dos Conceitos	●	●	●	●	●	●	●	●	○	○
2	Profundidade da Exploração	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
3	Clareza na Estruturação	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
4	Inclusão de Exemplos e Aplicações	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○
5	Originalidade e Criatividade	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
6	Coerência e Consistência	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○
7	Nível de Detalhamento e Abstração	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○

Fonte: Acervo do autor

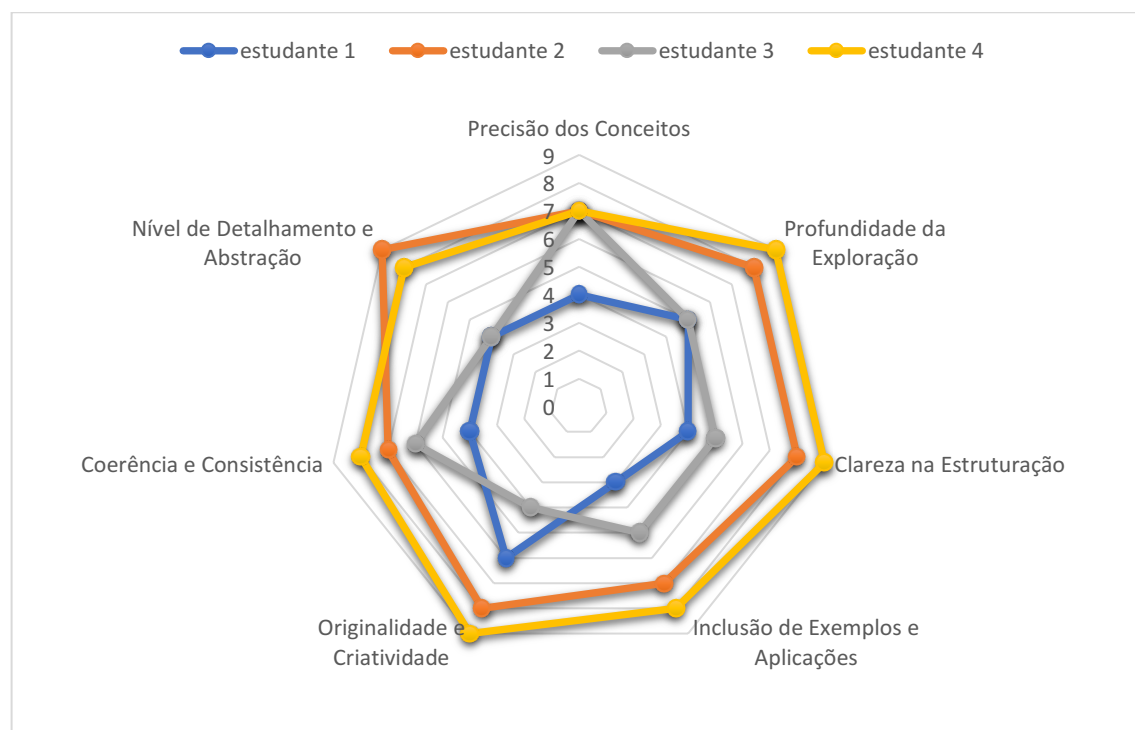
O desempenho do estudante foi excelente em diversos aspectos, particularmente na profundidade da exploração, clareza na estruturação e originalidade. As áreas de precisão dos conceitos e coerência/coerência podem se beneficiar de uma atenção mais detalhada. O equilíbrio entre detalhamento e abstração foi bem mantido, mas pode ser refinado ainda mais. Com algumas melhorias específicas, o estudante poderá atingir um nível ainda mais elevado de desempenho.

Ações Recomendadas:

- Participação em discussões adicionais e consulta a fontes confiáveis.
- Seleção de uma gama mais diversificada de exemplos e aplicações.
- Revisões cuidadosas e reorganizações dos mapas conceituais para melhorar a coerência.

Abaixo temos um gráfico representativo, na forma de Radar com os resultados das análises consolidados

Gráfico 1 – Análise consolidada dos dados quantitativos dos MC.



Fonte: Acervo do autor

Observa-se uma notável ampliação do conhecimento entre os estudantes. O FTBC, em sua aplicação prática, proporcionou uma imersão no método científico, orientando-os sobre

como operar aparatos experimentais e desenvolver conceitos fundamentais nas ciências da natureza. O experimento não apenas elucidou o funcionamento do método científico, mas também incentivou a exploração criativa na elaboração de fórmulas e na compreensão de conceitos complexos.

Ao concluir a experiência, evidenciou-se o êxito do principal objetivo da UEPS: a demonstração conceitual e fenomenológica do fluxo térmico por condução em diferentes materiais e situações.

Apesar do esforço do docente em clarificar a distinção entre mapa mental e mapa conceitual, uma parcela dos estudantes manifestou uma sutil resistência durante a elaboração dos últimos. Optou-se, portanto, por abster-se de interferências diretas e individualizadas na confecção dos mapas, concedendo-lhes uma liberdade que permitisse uma perspectiva autêntica do conhecimento assimilado. Sugere-se, contudo, uma intervenção mais substancial no processo de construção dos mapas conceituais, visando assegurar que todos os discentes possam discernir com precisão entre ambas as representações. Não obstante alguns estudantes apresentarem um desempenho aquém do esperado na confecção dos mapas, constatou-se uma resposta satisfatória e um notável avanço no processo de aprendizagem significativa.

Ao elaborarem seus mapas conceituais sobre Termodinâmica, é perceptível que os estudantes deveriam considerar aspectos relevantes que poderiam contribuir para uma compreensão mais completa e precisa dos conceitos abordados tanto no TFBC quanto na aula expositivo-dialogada. Nesse sentido, o professor poderia retornar os mapas aos estudantes, promovendo uma análise cruzada entre eles, permitindo que um colega examine o mapa do outro para obter uma visão ainda mais aprofundada de conceitos e conexões que seu próprio mapa não proporcionou. É fundamental, em primeiro lugar, que os estudantes contextualizem os conceitos termodinâmicos dentro do contexto mais amplo das Ciências Naturais, reconhecendo sua importância e relevância. Um cuidado especial deve ser dado à descrição detalhada da metodologia utilizada na manipulação do TFBC, garantindo uma compreensão sólida dos procedimentos realizados e dos resultados obtidos. Integrar os conceitos termodinâmicos de forma holística ao longo da elaboração do mapa, destacando suas interconexões e aplicações práticas, é crucial para uma compreensão abrangente do tema. Além disso, é essencial encorajar os estudantes a refletirem sobre sua experiência de aprendizado, fornecendo feedback sobre o que funcionou bem e identificando áreas que precisam de melhorias. Estimular a criatividade e a exploração na aplicação dos conceitos termodinâmicos em diferentes contextos é crucial para promover uma compreensão mais profunda e

significativa do assunto, como evidenciado em alguns mapas, como o elaborado pelo estudante número 4. Ao considerarem esses pontos durante a construção de seus mapas conceituais, os estudantes podem desenvolver uma compreensão mais sólida e abrangente da Termodinâmica e de seu papel nas Ciências Naturais.

Ao abordar cada critério de avaliação, os professores podem fornecer feedback mais detalhado e direcionado aos estudantes, ajudando-os a entender as áreas em que precisam melhorar e fornecendo orientações específicas para o aprimoramento de seus mapas conceituais.

Fornecer orientações sobre a elaboração de mapas conceituais aos professores de Ciências e/ou Física é essencial para melhorar a qualidade do ensino e a compreensão dos estudantes sobre os conceitos fundamentais da unidade curricular e em especial sobre conceitos de Termodinâmica. As diretrizes abaixo podem apoiar os professores a definir claramente o propósito do mapa, identificar os conceitos-chave e estabelecer relações claras entre eles, promovendo uma organização estruturada do conteúdo. Ao incorporar exemplos, cores e ícones nos mapas – como apresentado por alguns estudantes -, os professores estimulam a criatividade e tornam o aprendizado mais envolvente. Além disso, ao revisar e refinar os mapas, os professores podem identificar lacunas no conhecimento e áreas que precisam de mais ênfase, otimizando assim o tempo de sala de aula e garantindo uma apresentação abrangente e compreensível do conteúdo. Pedir feedback aos colegas e ao professor no momento de finalizar o mapa conceitual também promove um ambiente de colaboração, melhorando ainda mais a qualidade do material didático apresentado aos estudantes.

Logo abaixo, apresenta-se algumas diretrizes a professores de Ciências e/ou Física, no momento de elaboração dos mapas pelos seus estudantes, independente do conceito científico abordado:

1. Defina o Propósito: Antes de iniciar, esclareça o objetivo do mapa conceitual. Isso ajudará a determinar quais conceitos incluir e como organizá-los.
2. Identifique os Conceitos-Chave: Liste os principais conceitos que você deseja explorar no mapa. Esses serão os pontos de partida para o desenvolvimento das conexões.
3. Estabeleça Relações: Use setas e linhas para conectar os conceitos, mostrando como eles se relacionam entre si. As relações devem ser claras e bem definidas.

4. Use Palavras de Ligação: Para cada linha ou seta do seu mapa, inclua palavras ou frases curtas que expliquem a relação entre os conceitos. Isso torna o mapa mais informativo e fácil de seguir.

5. Organize Hierarquicamente: Coloque os conceitos mais gerais no topo e os mais específicos abaixo. Isso ajuda a entender a estrutura do conhecimento representado. Essa não é uma representação padrão dos Mapas Conceituais, apenas uma elaboração mais simples. Após essa construção mais simples, deve-se partir para uma mais elaborada.

6. Incorpore Exemplos: Para cada conceito, considere adicionar exemplos que ilustrem sua aplicação ou significado. Isso torna o mapa mais concreto e compreensível.

7. Revise e Refine: Após a primeira ou segunda versão, revise o mapa para verificar se há redundâncias ou conexões faltantes. Ajuste conforme necessário para melhorar a clareza e a eficiência.

8. Peça Feedback: Mostre seu mapa a outros colegas e peça opiniões. O feedback pode revelar áreas que precisam de mais trabalho ou novas perspectivas a considerar.

9. Utilize Cores e Ícones: Cores diferentes podem representar categorias diferentes de conceitos, enquanto ícones ou imagens podem ajudar a visualizar ideias abstratas.

10. Mantenha a Flexibilidade: Mapas conceituais são ferramentas dinâmicas. Esteja aberto a fazer alterações à medida que novas informações ou entendimentos surgem.

Ao desenvolver e aplicar o processo de avaliação por meio de mapas conceituais nesta dissertação, fundamentados nos ensinamentos de Novak, fica evidente que os estudantes precisam buscar uma compreensão mais profunda do tema. Para garantir a precisão dos conceitos em seus mapas, é essencial que os estudantes realizem leituras complementares, participem de debates em sala de aula e pratiquem exercícios relacionados aos conceitos trabalhados pelo professor. Além disso, consultando fontes confiáveis e buscando esclarecimentos quando necessário.

A exploração aprofundada dos conceitos é crucial para evitar aquelas notas abaixo de 5 pontos. Isso requer análises detalhadas e aplicação prática dos conceitos em situações reais, estimulando também questionamentos que promovam o pensamento crítico.

A clareza na estruturação dos mapas é de fundamental importância pois facilita a compreensão das relações entre os conceitos. Recomenda-se o uso de orientações claras e técnicas de organização lógica, como hierarquias e diagramas de fluxo. A inclusão de exemplos pertinentes ao tema trabalhado pelo professor fortalece a aplicabilidade dos conceitos, enquanto a promoção da originalidade e criatividade torna a apresentação dos mapas mais envolvente, incentivando a exploração de novas perspectivas e o uso de metáforas e representações visuais.

Para assegurar a coesão e consistência dos mapas, é necessário realizar revisões minuciosas nos mapas, garantindo clareza e lógica. Encontrar um equilíbrio adequado entre simplificação e detalhamento é crucial para evitar mapas excessivamente simplificados ou detalhados.

Para além disso, compreender os conceitos em diferentes níveis de abstração, adaptados ao nível de complexidade dos estudantes, é igualmente importante para uma representação eficaz do conhecimento. Para tanto, os professores devem oferecer *feedback* construtivo e específico, orientando os estudantes nas áreas que necessitam de melhoria e fornecendo diretrizes claras para o desenvolvimento de seus mapas conceituais.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os fatos e dados apresentados neste trabalho permitiram identificar que os estudantes possuíam concepções iniciais sobre temperatura e calor, evidenciadas através de questionários prévios aplicados via *Google Forms*. Essas concepções foram corrigidas e ampliadas pela manipulação e experimentações propostas com a aplicação da UEPS e o uso do TFBC. A análise dos mapas conceituais, confeccionados após as intervenções pedagógicas, destacou uma clara preferência dos estudantes por aulas práticas, estes disseram que a visualização dos processos experimentais facilitou significativamente a aprendizagem.

A aplicação do produto educacional, integrada às práticas experimentais, revelou-se fundamental para esclarecer dificuldades dos estudantes, promovendo discussões em sala de aula que ressaltaram a importância crucial da intervenção didático-pedagógica do professor. A execução dos experimentos não apenas mostrou na prática os conceitos físicos, mas também estimulou um ambiente de aprendizagem colaborativo e participativo.

As análises detalhadas dos mapas conceituais confeccionados após as intervenções evidenciaram que estas foram altamente eficazes para o aprendizado dos conceitos de termodinâmica. Os estudantes mostraram uma maior familiaridade e compreensão dos fenômenos estudados, o que facilitou significativamente a interação e a troca de conhecimentos entre estudantes e professor.

No entanto, foi identificada a necessidade de uma intervenção pedagógica mais profunda no que tange à construção e diferenciação entre mapas mentais e mapas conceituais. Esta diferenciação é crucial para que os estudantes desenvolvam habilidades cognitivas mais refinadas e para que possam estruturar de maneira mais clara e organizada o conhecimento adquirido durante as atividades experimentais. Essas modificações buscam não só ampliar o entendimento sobre os resultados obtidos, mas também enfatizar a importância da intervenção pedagógica contínua e adaptativa, essencial para um ensino mais efetivo e significativo em Ciências da Natureza.

Cada intervenção com o uso do TFBC levou os estudantes a se envolverem ativamente no próprio aprendizado, criando um ambiente rico em novas situações desafiadoras e alternativas ao ensino tradicional. Este método ampliou as possibilidades de elaboração de novos conhecimentos e desenvolvimento de habilidades e competências relacionadas à Ciência da Natureza. Os resultados dos mapas conceituais indicaram características de um laboratório

investigativo, onde os estudantes resolveram situações-problema que exigiam habilidades aplicáveis no cotidiano.

O uso de práticas experimentais nas aulas de Física não apenas aprimorou a qualidade da transposição didática dos conceitos científicos, mas também proporcionou aos estudantes uma compreensão mais profunda e prática dos fenômenos físicos, conforme evidenciado pelo manuseio do TFBC. Relatos dos estudantes indicaram que conceitos previamente abordados de forma teórica se tornaram mais claros e aplicáveis após as intervenções pedagógicas. Este feedback destaca a importância de adotar metodologias de ensino diversificadas, reconhecendo que a aprendizagem ocorre de maneiras variadas para cada indivíduo, sendo as atividades experimentais uma estratégia especialmente eficaz nesse sentido.

Após a aplicação do produto e análise dos resultados, verificou-se que os experimentos investigativos são uma estratégia eficaz para promover a participação ativa no processo de aprendizagem. Os estudantes participaram de etapas como explicação do funcionamento do produto educacional de baixo custo, coleta de dados, análise e discussão, formulando hipóteses e propondo soluções, desenvolvendo raciocínio lógico e habilidades cognitivas essenciais. Esse envolvimento nas etapas do experimento foi fundamental para que os estudantes compreendessem de forma prática e concreta os conceitos teóricos apresentados.

Portanto, este estudo comprova, de forma conceitual e fenomenológica, o fluxo térmico por condução em diferentes materiais e situações. O TFBC mostrou-se um aliado indispensável na percepção do fluxo de calor em diversas atividades experimentais de termodinâmica, sendo confeccionado com materiais de baixo custo e fácil acesso, e apresentando robustez e flexibilidade para utilização com diversos materiais. A experiência prática proporcionada pelo uso do TFBC não apenas facilitou a compreensão dos conceitos, mas também estimulou o interesse dos estudantes pela unidade curricular, tornando o aprendizado mais dinâmico e interativo.

A aplicação da UEPS fundamentada nos princípios de aprendizagem significativa de David Ausubel, mostrou auxiliar os estudantes na aprendizagem significativa dos conceitos abordados. A UEPS focou em conectar novos conhecimentos aos subsunçores já presentes na estrutura cognitiva dos estudantes, o que facilitou a ampliação dos conceitos de temperatura e calor de maneira mais concreta e contextualizada. Durante as atividades, os estudantes foram incentivados a relacionar os novos conteúdos com suas experiências prévias, tornando o aprendizado mais relevante e significativo. A utilização do TFBC permitiu que os estudantes visualisassem e compreendessem os fenômenos térmicos de forma prática, reforçando a teoria

através de experimentos concretos. Esse método não apenas facilitou a compreensão dos princípios científicos, mas também promoveu a autonomia de todos na condução dos experimentos, estimulando o pensamento crítico e a resolução de problemas. As intervenções pedagógicas, integradas às práticas experimentais, possibilitaram um ambiente de aprendizado colaborativo, onde o diálogo e a troca de ideias foram fundamentais para a construção do conhecimento. Dessa forma, a UEPS alinhada aos pressupostos de Ausubel não só melhorou o entendimento dos conceitos científicos, mas também fomentou um ambiente educacional mais dinâmico e engajador, promovendo uma aprendizagem que é ao mesmo tempo profunda e aplicável ao cotidiano dos estudantes.

Para trabalhos futuros, recomenda-se explorar a utilização de uma placa Arduino para digitalizar os resultados obtidos com o TFBC, proporcionando uma maior versatilidade ao aparato experimental e integrando tecnologia de forma mais completa ao processo educativo. Essa abordagem não apenas facilitaria a coleta e análise de dados de maneira precisa e eficiente, mas também abriria novas oportunidades para explorar conceitos avançados de instrumentação e controle em contextos educacionais.

Além disso, a adaptação e implementação de novos experimentos utilizando o TFBC podem expandir significativamente o escopo de sua aplicação. Isso possibilitaria aos professores explorarem uma variedade ainda maior de fenômenos físicos e promover atividades práticas mais diversificadas e engajadoras em sala de aula. Os benefícios observados nesta pesquisa indicam claramente que o uso do TFBC em atividades experimentais é não só viável, mas também altamente benéfico para professores do Ensino Médio, representando uma contribuição valiosa para sua formação continuada.

Essa dissertação confirma, com suas limitações, que a inclusão de metodologias experimentais mais robustas no currículo de Física tem o potencial de transformar significativamente o ensino dessa Unidade Curricular. Ao proporcionar uma aprendizagem mais prática e contextualizada, essas abordagens não apenas aumentam o interesse dos estudantes, mas também promovem um aprendizado mais efetivo e relevante, preparando os estudantes para desafios acadêmicos e profissionais futuros.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, M. S. T.; ABIB, M.L.V.S. **Atividades Experimentais no Ensino de Física: Diferentes Enfoques, Diferentes Finalidades**. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 25, no. 2, junho, 2003.

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

AUSUBEL, D. P. **Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva**. Lisboa: Plátano, 2000.

BARBOSA, R. R. **Uma proposta para vivenciar no ensino médio os conceitos iniciais de termodinâmica por meio de uma unidade de ensino potencialmente significativa**. Dissertação, Instituto Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2016.

BERGMAN, Theodore L. *et al.* **Introduction to heat transfer**. John Wiley & Sons, 2011.

BURKE, A. **Group Work: How to Use Groups Effectively**. The Journal of Effective Teaching, Vol. 11, No. 2, 2011, 87-95

CATELAN, S. S.; RINALDI, C. **A atividade experimental no ensino de ciências naturais: contribuições e Contrapontos**. Experiências em Ensino de Ciências V.13, Nº.1, 2018.

CORREIA, J. J. **Definições de temperatura em fontes didáticas**. Revista Binacional Brasil-Argentina: Diálogo entre as ciências, v. 6, n. 1, p. 201-220, 2017.

DAMIÃO, G. J.; RODRIGUES, C. G. **A Função de Distribuição de Velocidades de Maxwell-Boltzmann em Detalhes**. Physicae Organum-Revista dos Estudantes de Física da UnB, v. 7, n. 2, p. 134-149, 2021.

DE MOURA, F. A.; TAVARES, W. B. R.; DOS SANTOS, O. C. **Aulas interativas e experimentais como recurso facilitador do processo de ensino e aprendizagem de ondas sonoras**. Research, Society and Development, v. 8, n. 6, p. e43861045, 2019.

DE OLIVEIRA, J. R. S. **A perspectiva sócio-histórica de Vygotsky e suas relações com a prática da experimentação no ensino de Química.** Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia, v. 3, n. 3, p. 25-45, 2010.

DISTLER, R. R. **Contribuições de David Ausubel para a Intervenção Psicopedagógica.** Revista da Associação Brasileira de Psicopedagogia, Volume 32, Edição 98, 2015.

DORNELES, P. F. T. **Integração entre Atividades Computacionais e Experimentais como Recurso Instrucional no Ensino de Eletromagnetismo em Física Geral.** 2010. 367 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

DORNELES, P. F. T. **Investigação de ganhos na aprendizagem de conceitos físicos envolvidos em circuitos elétricos por usuários da ferramenta computacional Modellus.** 142 f. Dissertação (Mestrado em Física) - Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

DOS SANTOS, T. F. F. **Ótica quântica aplicada a termodinâmica quântica.** 2019. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO.

FREIRE, P. **Pedagogia do oprimido.** 17^a ed. Rio de Janeiro, Paz e Terra, 1987.

FERRARI, A. F.; NOGUEIRA, A. A.; PALECHOR, C. **Mínimo teórico para descrever campos quânticos em equilíbrio termodinâmico.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 40, 2018.

FONTELLES, M. J. *et al.* **Metodologia da pesquisa científica: diretrizes para a elaboração de um protocolo de pesquisa.** Revista paraense de medicina, v. 23, n. 3, p. 1-8, 2009.

GOLD, M. **Judeus sem dinheiro.** Lisboa: Editorial Caminho; 1944.

GONÇALVES, L. C. C.; GASPAR, P. D.; **Energia, entropia, energia.** ICEUBI, 2012.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J.; **Fundamentos de Física, volume 2: Gravitação Ondas Termodinâmica** - 10. ed. - Rio de Janeiro: LTC, 2016.

HASE, M O *et al.* **O teorema de flutuação-dissipação e o modelo de Glauber linear.** 2006, Anais. São Paulo: Instituto de Física, Universidade de São Paulo, 2006

HIGA, I.; OLIVEIRA, O. B. D. **A experimentação nas pesquisas sobre o ensino de Física: fundamentos epistemológicos e pedagógicos.** Educar em Revista, Curitiba, Brasil, Editora UFPR, n. 44, p. 75-92, abr./jun. 2012.

LEÃO, D. M. M. **Paradigmas Contemporâneos de Educação: Escola Tradicional e Escola Construtivista.** Cadernos de Pesquisa, nº 107, p. 187-206, julho/1999.

MARINIAK, M. R.; HILGER, T. R. **Proposta de UEPS sobre energia e sua lei de conservação.** Revista Insignare Scientia, Vol. 4, n. 6 set/dez 2021, ISSN: 2595-4520.

MAYER, R. E.; MORENO, R. **Nine Ways to Reduce Cognitive Load in Multimedia Learning.** Educational psychologist, 38(1), 43–52, 2003.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa.** Brasília: Editora UnB, 1999.

_____. **Teorias de aprendizagem.** (Vol. 2). São Paulo: Editora pedagógica e universitária. (1999).

_____. **Aprendizagem Significativa e sua implementação em sala de aula.** Brasília: Editora da UnB, 2006.

_____. **Desafios no ensino da Física.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 43, p. e20200451, 2021.

NESI, E. R. *et al.* **Perspectivas e desafios atuais no ensino de Física.** Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 2, p. 17285-17298, 2021.

RICARDO, E. C. **Problematização e contextualização no ensino de Física.** Ensino de Física. São Paulo: Cengage Learning, p. 29-48, 2010.

RIESS, M. L. R. **Trabalho em Grupo: Instrumento Mediador de Socialização e Aprendizagem.** Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Pedagogia) - Faculdade de Educação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto alegre, 2010.

SANTOS, J. C. F. **Aprendizagem Significativa: Modalidades de aprendizagem e o papel do professor.** Porto Alegre: Editora Mediação. 2008.

SÉRÉ, M.G.; COELHO, S. M.; NUNES, A. D.; **O papel da experimentação no ensino da Física.** Caderno Brasileiro de Ensino de Física, p. 31-43, 2004.

SEARS, F.; YOUNG, H. D.; ZEMANSKY, M.W. **Física II**. 12. ed., São Paulo: PEARSON, 2013, v. 2

PEDROSO, L. S.; NETO, F. P.; ARAÚJO, M. S. T. **Investigação sobre o funcionamento de um termômetro digital de baixo custo** RBFTA, v.1, n.2, dezembro de 2014, p. 10

APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS - DEPARTAMENTO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA - MNPEF
POLO 28

Giovanni Armando da Costa

PRODUTO EDUCACIONAL

Termofluxímetro para o Ensino de Termodinâmica
Construção de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) relacionada
a conceitos de fluxo de calor de acordo com a lei de Fourier.

Termofluxímetro para o Ensino de Termodinâmica
Construção de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) relacionada
a conceitos de fluxo de calor de acordo com a lei de Fourier.

Este produto educacional é parte integrante da dissertação: O USO DE UM TERMOFLUXÍMETRO DE BAIXO CUSTO PARA O ENSINO DE TERMODINÂMICA, desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 28 – UNIFAL, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Soares Pedroso
Coorientador: Prof. Dr. José Antônio Pinto

ALFENAS/MG

2024

AGRADECIMENTOS

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

Agradeço primeiramente à Deus e a instituição Universidade Federal de Alfenas (Unifal – MG), pela oportunidade e incentivo à Ciência.

Agradeço aos meus orientadores Dr. Luciano Soares Pedroso (orientador) e Dr. José Antônio Pinto (coorientador) por todo apoio, disposição, ideias inovadoras, profissionalismo e por toda imensa contribuição para que essa dissertação fosse possível acontecer, com toda certeza, se não fosse por vocês, a conclusão desse trabalho não seria possível.

Os agradecimentos ao Professor Dr. Artur Justiniano Roberto Junior, coordenador do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - MNPEF - do Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL – MG.

Por fim, agradeço à minha mãe Erotilde Armando da Costa, por todo incentivo e força, à minha namorada Charliane, por todo apoio e torcida e a toda a minha família e amigos, que estiveram juntos nessa caminhada e que colaboraram no processo de confecção dessa dissertação, além de todo suporte durante esses anos.

SUMÁRIO

1.APRESENTAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	5
2.INTRODUÇÃO	6
3.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA DO PRODUTO	7
4.ESTRATÉGIAS.....	10
4.1CONSTRUÇÃO DO TERMÔMETRO DIGITAL DE BAIXO CUSTO.....	10
4.2CONSTRUÇÃO DO TFBC	11
5.Aplicação do TFBC	13
6.Considerações Finais	28
7.REFERÊNCIA.....	30

1. APRESENTAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

O Produto Educacional, aqui apresentado, é parte integrante de nossa pesquisa intitulada **O uso de um Termofluxímetro de baixo Custo para o Ensino de Termodinâmica**, desenvolvida no Programa do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, da Universidade Federal de Alfenas polo 28, sob orientação do Professor Dr. Luciano Soares Pedroso e coorientação do Professor Doutor José Antônio Pinto.

O principal objetivo deste Produto Educacional (PE) consiste em auxiliar os profissionais da educação na elaboração de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), com o apoio de um aparato experimental utilizando-se da aprendizagem significativa dos conteúdos de Termodinâmica, na Unidade Curricular (UC) de Física no Ensino Médio.

A linha de pesquisa que o PE está relacionado, refere-se ao Ensino e Aprendizagem em Educação em Ciências e Matemática e o tipo de pesquisa relaciona-se a um piloto, pois trata-se de Unidade de Ensino Potencialmente Significativa composta por Sequências Didáticas e Experimentos.

No que diz respeito ao subtipo, de acordo com a relação de PE da CAPES, trata-se de “PTT1 - Material didático/instrucional” e que tem o objetivo de promover a aprendizagem de conceitos de Termodinâmica de forma articulada entre a teoria e a prática utilizando como estratégia a Unidade de Ensino Potencialmente Significativo (UEPS) em que os estudantes possam interpretar e compreender as relações existentes entre as grandezas Físicas envolvidas no conteúdo.

O Público Alvo são os estudantes do 2º ano do Ensino Médio na Unidade Curricular de Física para o ensino de conceitos básicos de Eletrodinâmica.

A abrangência de aplicação do produto educacional aos estudantes do ensino médio nas escolas públicas propicia uma vasta funcionalidade, visto que o produto visa explorar e interagir mais efetivamente em diferentes possibilidades que permitam facilitar a compreensão de conhecimentos considerados abstratos. Assim, o produto tenta aproximar os conteúdos e os conceitos ao dia a dia dos estudantes e também fazer o uso da contextualização dos mesmos.

Em relação à sua produção o PE aqui apresentado possui média complexidade, visto que resultará da combinação de conhecimentos pré-estabelecidos e estáveis nos diferentes atores, pois será a partir da prática do professor-pesquisador e está ligado ao problema de pesquisa da

dissertação. O caráter do PE é de médio teor inovador (combinação e/ou compilação de conhecimentos pré-estabelecidos).

No que diz respeito à possibilidade de replicabilidade torna-se possível, visto que o produto tem a possibilidade de ser reaplicado em diferentes ambientes e grupos sociais e possibilita adaptações a fim de atingir seus objetivos específicos para os quais foi desenvolvido.

2. INTRODUÇÃO

Percebe-se, na área de Ensino de Física, apontamentos que evidenciam a necessidade de se utilizar práticas experimentais nas salas de aula da Educação Básica. A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) prevê essa metodologia, visando ampliar, ainda mais, o papel do professor no planejamento, mediação e monitoramento das práticas de ensino, tendo como objetivo o pleno desenvolvimento do estudante. O uso de práticas experimentais para o estudo da Termodinâmica, na Educação Básica, está longe de se atingir um patamar ideal, principalmente por necessitar de equipamentos de custo elevado, demandar um tempo enorme na sua preparação e aos cuidados que se deve ter com a manipulação desses aparatos. Como alternativa, propomos a construção e aplicação em sala de aula do 2º ano do Ensino Médio um aparato experimental denominado Termofluxímetro de Baixo Custo (TFBC). O uso do TFBC em sala de aula abordará, dentre suas especificidades, temas relacionados ao cotidiano dos estudantes no que se refere ao conceito de calor, seus princípios de propagação, materiais adequados ao isolamento térmico nas residências, dissipação do calor por uma superfície, como o fluxo de calor ocorre entre os diferentes materiais, de espessura e áreas distintas. Desse modo, este trabalho tem como intuito mostrar como ocorre o fluxo de calor em variadas superfícies, validando a Lei de Fourier através de Sequências Didáticas e experimentos simples e de baixo custo. Para essa finalidade, apoiar-se-á em autores da área de ensino de Física que se utilizam da aprendizagem significativa para o levantamento dos subsunçores preexistentes na estrutura cognitiva do estudante e também na análise de conteúdo para o tratamento dos dados coletados após a intervenção pedagógica.

Dito isto, foi elaborada uma UEPS para que facilite o processo de ensino e aprendizagem, de forma que o estudante consiga elaborar e manipular o experimento, tendo assim condições de responder as perguntas norteadoras elaboradas pelo professor.

O objetivo da UEPS é apoiado na Base Nacional Comum Curricular (BNCC), descritos nas habilidades e competências específica das áreas de conhecimento das Ciências da Natureza. São elas:

(EM13CNT102). Realizar previsões, avaliar intervenções e/ou construir protótipos de sistemas térmicos que visem à sustentabilidade, considerando sua composição e os efeitos das variáveis termodinâmicas sobre seu funcionamento, considerando também o uso de tecnologias digitais que auxiliem no cálculo de estimativas e no apoio à construção dos protótipos. (Brasil, 2018, p.555).

(EM13CNT301). Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica. (Brasil, 2018, p.559).

(EM13CNT307). Analisar as propriedades dos materiais para avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações (industriais, cotidianas, arquitetônicas ou tecnológicas) e/ ou propor soluções seguras e sustentáveis considerando seu contexto local e cotidiano. (Brasil, 2018, p.559).

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA DO PRODUTO

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

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

Este são os principais elementos a serem observados na elaboração e edificação de uma UEPS, visto que em seu objetivo é levado em consideração os conhecimentos declarativos e/ou procedimentais que se deseja despertar no estudante. Esse objetivo diz respeito à cognição, à

formação do conhecimento significativo sobre pessoas, eventos, proposições e imagens na mente de quem aprende. Em relação à filosofia presente na construção de uma UEPS, se reconhece que ela deve sempre buscar a aprendizagem significativa, pois é ela que assegura que o ensino, que foi pensado e materializado nas ações da unidade de ensino, realmente aconteça.

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

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

- O conhecimento prévio é a variável que mais influencia a aprendizagem significativa (Ausubel, 2000);

- Pensamentos, sentimentos e ações estão integrados no ser que aprende; essa integração é positiva, construtiva, quando a aprendizagem é significativa (Novak, 1990);

- É o estudante quem decide se quer aprender significativamente determinado conhecimento (Ausubel, 2000);

- Organizadores prévios mostram a relacionabilidade entre novos conhecimentos e conhecimentos prévios;

- Situações-problema pode funcionar como organizadores prévios, dar sentido a conhecimentos novos e serem propostas em nível crescente de complexidade;

- A “diferenciação progressiva, a reconciliação integradora e a consolidação” devem ser levadas em conta na organização do ensino (Ausubel, 2000);

- A avaliação da aprendizagem significativa deve ser feita em termos de buscas de evidências; a aprendizagem significativa é progressiva;

- Um episódio de ensino envolve uma relação triádica entre estudante, docente e materiais educativos, cujo objetivo é direcioná-lo a captar e compartilhar significados que são aceitos no contexto da matéria de ensino (Gowin; Millman, 1981);

- A aprendizagem deve ser significativa e crítica, não mecânica (Moreira, 2012, p. 47).

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

Alguns Conceitos Fundamentais da UEPS, segundo Moreira (2011, p.132 a p. 134):

- ✓ Aprendizagem mecânica: é a memorização, sem significado, de informações a serem reproduzidas em curto prazo; aprender mecanicamente é simplesmente decorar. Do ponto de vista cognitivo, as informações são internalizadas praticamente sem interação com conhecimentos prévios. No cotidiano escolar, é a “decoreba”.
- ✓ Aprendizagem significativa: aprendizagem com significado, compreensão, capacidade de explicar, de aplicar o conhecimento adquirido a novas situações; resulta da interação cognitiva não-arbitrária e não-literal entre conhecimentos prévios e novos conhecimentos; depende fundamentalmente de conhecimentos prévios que permitam ao aprendiz captar significados (em uma perspectiva interacionista, dialética, progressiva) dos novos conhecimentos e, também, de sua intencionalidade para essa captação.
- ✓ Atividade colaborativa: resolução de tarefas (problemas, mapas conceituais, construção de um modelo, realização de uma experiência de laboratório, etc.) em pequenos grupos (dois a quatro participantes), com participação de todos integrantes e apresentação, ao grande grupo, do resultado, do produto, obtido; esse resultado deve ser alcançado como um consenso do pequeno grupo a ser apreciado criticamente pelo grande grupo.
- ✓ Avaliação formativa: é aquela que avalia o progresso do estudante ao longo de uma fase de sua aprendizagem; a que contribui para a regulação da aprendizagem, em andamento, no progressivo domínio de um campo conceitual; é uma avaliação contínua e ocupada com os significados apresentados e em processo de captação pelo aluno.
- ✓ Avaliação somativa: é aquela que busca avaliar o alcance de determinados objetivos de aprendizagem ao final de uma fase de aprendizagem; é usualmente baseada em provas de final de unidade, em exames finais.

4. ESTRATÉGIAS

Exposição de conteúdo por meio de perguntas norteadoras, discussão de situações em sala de aula, mostra de vídeos sobre o tema, apresentação do experimento e discussão sobre os resultados obtidos.

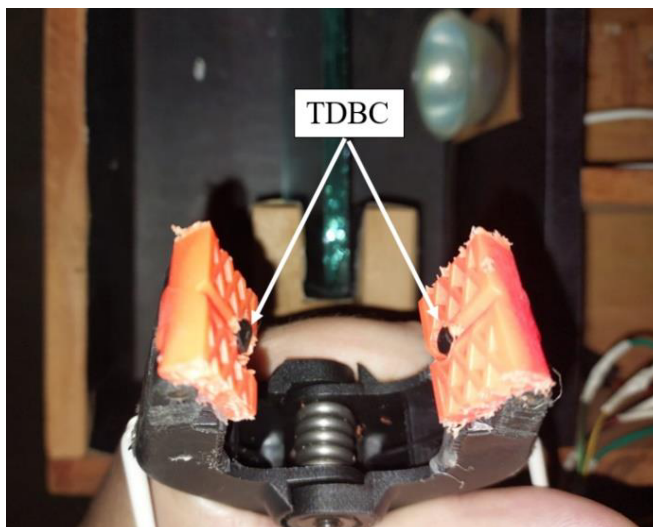
4.1 CONSTRUÇÃO DO TERMÔMETRO DIGITAL DE BAIXO CUSTO

O uso de termômetros em experimentos é essencial por várias razões, principalmente devido ao papel fundamental que a medição da temperatura desempenha em muitos campos da ciência e da tecnologia. Embora os termômetros convencionais sejam amplamente utilizados e confiáveis em muitas situações, eles também têm algumas desvantagens em determinadas aferições.

Como a maioria dos termômetros convencionais requer contato direto com o material cuja temperatura está sendo aferida. Isso pode não ser adequado em situações em que o contato direto é de difícil acesso. Devido a essa desvantagem, em algumas aplicações específicas, podem ser preferíveis termômetros especializados. Pensando nisso, Pedroso, Neto e Araújo (2014) idealizaram um termômetro digital de baixo custo (TDBC), com a utilização de um transistor sensor de temperatura, o LM35DZ.

Utilizando-se dois TDBC, acoplados em cada um dos extremos de uma garra sargento de bancada, foi criada uma pinça termométrica (Figura 1), para facilitar a captação das temperaturas a serem aferidas no TFBC.

Figura 1 – Pinça Termométrica



Fonte: Acervo do autor

4.2 CONSTRUÇÃO DO TFBC

O termofluxímetro é um dispositivo utilizado para medir o fluxo de calor através de um material ou sistema. Ele é usado para determinar a taxa na qual o calor está sendo transferido ou conduzido através de um objeto.

O funcionamento básico de um termofluxímetro envolve a medição das temperaturas em dois pontos diferentes ao longo do material ou sistema sendo estudado. Com base na diferença de temperatura e nas propriedades térmicas do material, como condutividade térmica, o termofluxímetro retorna a taxa de transferência de calor.

O termofluxímetro é uma ferramenta importante em áreas como a análise de isolamento térmico de edifícios e residências, pesquisa em transferência de calor, estudos de condutividade térmica de materiais e em aplicações industriais em que é crucial entender e controlar o fluxo de calor. Ele fornece informações críticas para projetar sistemas de isolamento, otimizar a eficiência energética e entender como o calor é transferido em uma variedade de contextos.

Para a implantação desse projeto, foi confeccionada uma caixa de madeira (Figura 2) com uma lâmpada halógena dicróica que, por gerar uma grande quantidade de energia térmica, se torna ideal para o funcionamento do aparato que tem por objetivo aferir as diferenças de temperaturas entre as faces de diferentes placas, que variam o material, a área e a espessura.

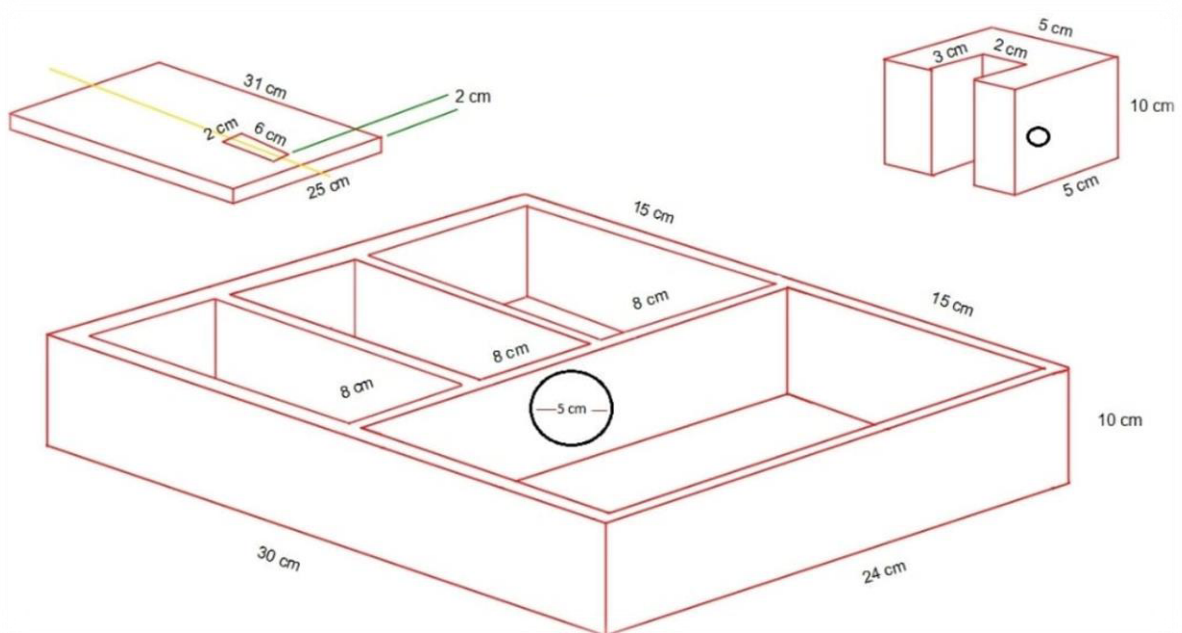
Figura 2 – Termofluxímetro



Fonte: Acervo do autor

Na Figura 3, é apresentada uma orientação a confecção da caixa de madeira e dos suportes para as placas, com suas devidas dimensões.

Figura 3 – Diagrama da caixa (fora de escala)



Fonte: Acervo do autor

5. Aplicação do TFBC

Para a aplicação do produto TFBC serão necessárias 8 aulas de 100 minutos, recomendando-se ministrar as aulas na unidade curricular “Práticas Experimentais”, ofertado em todas as escolas que ministram o novo ensino médio. As aulas serão dispostas da seguinte maneira:

1ª Aula – Verificação dos conhecimentos prévios

Na primeira aula deve-se verificar os conhecimentos prévios dos estudantes com o uso de perguntas norteadoras sobre temperatura, calor, conforto térmico, transporte de energia e fluxo de calor. As questões serão redigidas visando a utilizar observações do cotidiano do estudante.

O nível das questões será escalonado, conforme decorre o debate e a aplicação das SD, observando as respostas dadas pelos estudantes e o nível de conhecimento adquirido por eles no decorrer da intervenção pedagógica.

Conforme o debate prossegue, deve-se aumentar o nível das perguntas de acordo com o retorno e o nível de conhecimento esboçado pela maioria dos estudantes.

Os estudantes serão distribuídos em grupos de até 4 integrantes, distinguíveis por cores, para uma melhor construção de aprendizagens significativas, fazendo uso de práticas pedagógicas diversificadas, além de oportunizar a socialização entre os mesmos (RIESS, 2010).

As seguintes sugestões de questões norteadoras, para a identificação dos conhecimentos prévios, estão elencadas a seguir. Sugere-se aplicar as questões de maneira impressa ou de forma digital via *Google Forms* < <https://forms.gle/g5JGiot8RD7TXNxE8> >.

Questões norteadoras – Termofluxímetro

1. O que você entende por Temperatura?
2. Para você, o que significa sentir calor?
3. Quando alguém lhe diz que o café está quente, o que você imagina?
4. Você saberia dizer o valor da temperatura, em °C, nas proximidades do local onde se encontra agora?
5. Qual o significado desse valor para você?

6. Quando alguém lhe diz que o suco está gelado, o que você imagina?
7. Pensando na Física, o que significa “fluxo”?
8. Ao preparar um chá numa tarde fria e chuvosa, verificou que este ficou muito quente. Você o deixa sobre a pia da cozinha e vai assistir à um filme e acaba por esquecê-lo. Quando se recorda de pegá-lo, como estará a temperatura deste chá? O que motivou a sua resposta?
9. Você, num dia bem quente, buscando se refrescar, coloca uma caneca de alumínio cheia d’água no freezer. Devido às suas inúmeras tarefas escolares, acaba por esquecê-la. O que acontecerá com a água contida no recipiente? O que motivou a sua resposta?
10. Qual cômodo da sua casa é mais confortável? Esse é o cômodo mais fresco da casa, isto é, o mais confortável termicamente (em condições naturais)?
11. Ao escolher esse cômodo da sua casa, você levou em consideração o tipo de piso (taco, cimento batido, piso frio, dentre outros), o teto (laje, forro de PVC, de gesso ou de madeira, sem forro, dentre outros) e as paredes (de madeira, de gesso, de alvenaria, dentre outros)?
12. Você acredita que o material de que é feito piso, teto e paredes influenciam na sua confortabilidade? Qual foi a motivação para essa sua resposta?
13. Você já teve a curiosidade de aferir a distância entre o piso e o teto de um cômodo da sua casa (também chamado de pé-direito)? Escolha um cômodo e estime a altura do pé-direito. Geralmente o pé-direito de uma casa comum varia de 2,5m a 3,0m, aproximadamente. Foi isso que você verificou?
14. Já esteve em cômodos onde o pé direito é elevado (mais de 4,0m)? Qual foi a sensação térmica nesse local?
15. Você já observou o tipo de telha usado em sua casa? Em caso negativo, procure um espaço adequado e tente observar o tipo de telha. Pergunte aos seus pais ou responsáveis, se eles sabem o nome desta telha e do que ela é fabricada. Descreva neste espaço o nome da telha e seu material de fabricação.
16. Você acredita que o material de fabricação da telha afeta o conforto térmico da casa?
17. Você já observou as cores das paredes externas da sua casa? Em caso negativo, vá até a parte externa e anote as cores das paredes, observando quais paredes recebem Sol pela manhã e Sol à tarde. Preencha a tabela abaixo conforme suas anotações:

Figura 4 - Tabela disposta no questionário

	Bem clara	Mais clara	Mais escura	Bem escura
Sala	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cozinha	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Quarto 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Quarto 2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Fonte: Acervo do autor

18. Na sua percepção, qual cômodo fica mais quente no período noturno? O que motivou a sua resposta?
19. Numa noite quente, com o que você se cobre? E numa noite fria? Você acha que o material utilizado para se cobrir influencia no seu conforto térmico? E quanto à espessura, há influencia? O que motivou a sua resposta?

2ª Aula – Oficina de Construção de Mapas Conceituais

Mapas conceituais são representações gráficas que organizam e visualizam conceitos e as relações entre eles. Eles são uma ferramenta poderosa para a representação e comunicação de conhecimento, ideias e informações de forma clara e concisa. Eles são frequentemente usados na educação, pesquisa, planejamento e comunicação. Os mapas conceituais podem ser usados para organizar informações, facilitar o aprendizado e a compreensão de novos conceitos. Essa é uma ferramenta versátil que pode ajudar a tornar ideias complexas mais claras e acessíveis, promovendo a compreensão e a colaboração em uma variedade de contextos.

Para criar um mapa conceitual, deve-se seguir as seguintes etapas:

- Definir o tópico ou ideia principal.
- Identificar os conceitos relacionados ao tópico principal. Esses conceitos serão conectados ao conceito principal por ligações.
- Desenhar e redesenhar um mapa conceitual que represente as relações entre os conceitos. Utilizar linhas ou setas para conectar os conceitos.
- Adicionar texto ao seu mapa conceitual para explicar as relações entre os conceitos.

- Nesta aula o professor-pesquisador elencará com os estudantes os tópicos ou ideias principais (palavras-chave) relacionadas ao conceito de Termodinâmica conforme respostas obtidas durante a primeira aula.

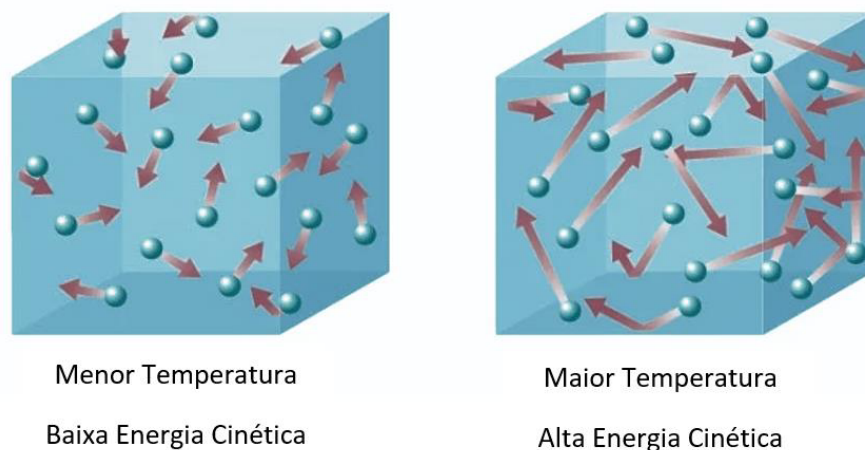
3ª Aula – Contextualização Teórica

Nessa aula, haverá uma contextualização teórica sobre o conceito de Termodinâmica, com apoio ferramental do livro didático adotado na escola, tornando os espaços de aprendizagem dialogáveis com o espaço de vivência dos estudantes, atraindo-os assim, para uma aprendizagem significativa.

TEMPERATURA

Se observarmos o comportamento das moléculas a nível microscópico, pode-se verificar que elas estão em movimento relativamente intenso, variando de acordo com o estado de agregação que se encontra a matéria (sólido, líquido ou gasoso) e de suas condições Físicas. Sabe-se que, como essas partículas estão em movimento, possuem energia cinética. O somatório das energias cinéticas das partículas pode ser caracterizado como energia térmica (Figura 5).

Figura 5 – Esquema demonstrativo da energia cinética de um gás conforme sua temperatura



Fonte: <https://encurtador.com.br/aekm2> Acesso em: 07/09/22 (Adaptado)

Com isso, dentre os três estados físicos mais conhecidos da matéria, o gasoso possui maior energia térmica por ter maior mobilidade das moléculas. Em contrapartida, o estado sólido possui menor energia térmica por ter menos mobilidade molecular.

Esse movimento das partículas que fazem parte de um sistema físico é extremamente caótico, sendo denominado grau de agitação das moléculas ou movimento de agitação térmica. Analisando macroscopicamente um sistema, as propriedades atreladas a esse sistema, em decorrência desses movimentos caóticos microscópicos, estão associadas a grandeza Física denominada temperatura.

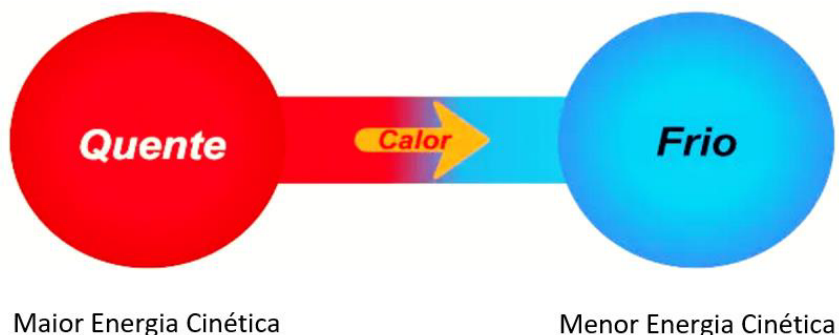
Em suma, temperatura é uma medida que indica o grau de agitação térmica das partículas de um sistema.

CALOR

O conceito de calor é popularmente confundido com temperatura, sendo que são grandezas Físicas distintas. Na Física, calor é a energia que transita entre dois meios materiais que estão em contato, estando com diferentes temperaturas, fluindo sempre do meio de maior temperatura para o meio de menor temperatura.

Para diferenciar calor de temperatura, podemos falar de maneira resumida que temperatura é a energia interna de um corpo e calor seria a transmissão dessa energia de um corpo para o outro (Figura 6).

Figura 6 – Demonstração do conceito de Calor



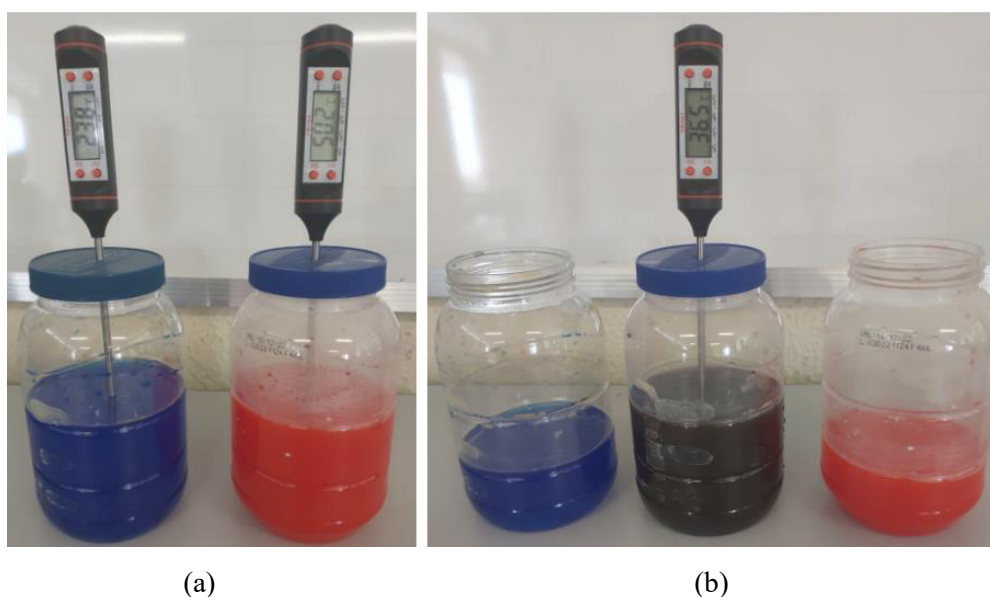
Fonte: <https://encurtador.com.br/uvEL9> Acesso em: 07/09/22 (Adaptado)

EQUILÍBRIO TÉRMICO

Como foi visto anteriormente, temperatura é o grau de agitação das moléculas e calor é a energia térmica em trânsito. Dito isto, pode-se dizer que o equilíbrio térmico ocorre quando dois corpos, inicialmente com temperaturas diferentes, quando entram em contato, as suas energias internas tenderão a ficar equalizadas ao longo do tempo.

Isso se dá porque as partículas com maior temperatura, ao se chocar com as partículas com menor temperatura, transmitem parte da sua energia cinética, tendendo assim ao chamado equilíbrio térmico (Figura 7a e 7b).

Figura 7 – Equilíbrio Térmico – (a) Fluidos em temperaturas distintas (b) Equilíbrio térmico após homogeneizar os fluidos



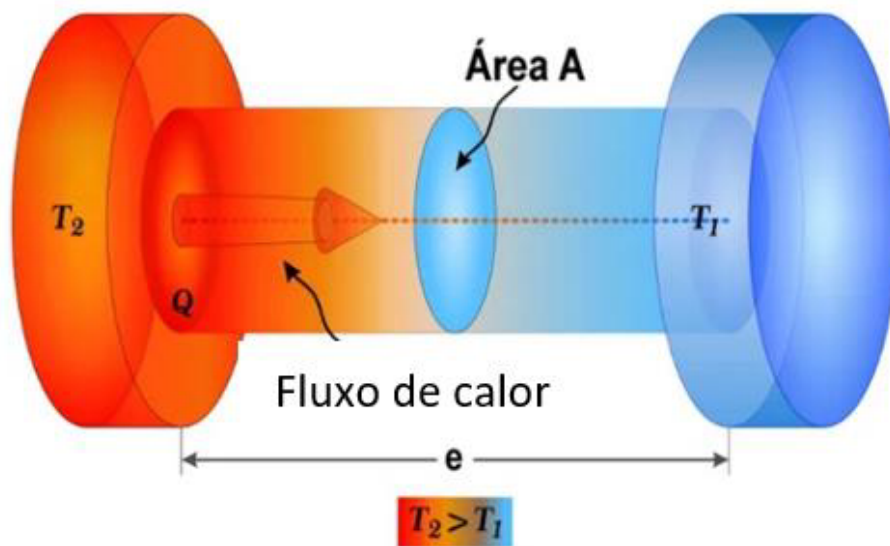
Fonte: Acervo do autor

CONDUTIVIDADE TÉRMICA

Se fizermos um experimento simples em sala de aula, pedindo aos estudantes que coloquem uma das mãos na parte metálica e outra na parte de madeira, questionando-os qual tem maior temperatura, a resposta tenderá a ser que a madeira tem temperatura maior do que a parte metálica. Essa percepção se dá pois, sendo o metal um bom condutor térmico em relação à madeira, à um fluxo de calor maior do corpo para o objeto.

Esse fenômeno é descrito como condutividade térmica, que nada mais é do que a habilidade de um material em transmitir energia térmica sem que haja transferência de matéria. Quanto maior for a condutibilidade térmica, maior será sua capacidade em conduzir energia térmica, sendo assim classificado como um bom condutor térmico. Em contrapartida, um material com pouca condutividade térmica, é classificado como um bom isolante térmico (Figura 8).

Figura 8 – Energia térmica sendo transferida



Fonte: <https://encurtador.com.br/BDLOS> Acesso em 07/09/22 (Adaptado)

A condutividade térmica é uma característica intrínseca e inerente da matéria e não do objeto, podendo variar de acordo com o estado físico, temperatura e pureza da matéria.

4ª Aula – Utilizando o TFBC (Variando o material)

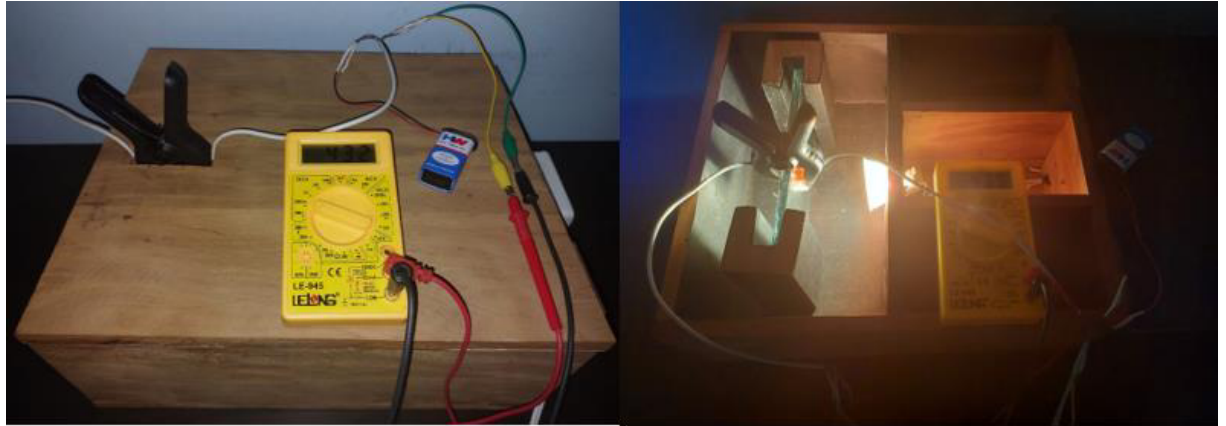
Você já percebeu a diferença de temperatura em ambientes com diferentes tipos de telha? Por exemplo: telha de amianto, barro, galvanizada, dentre outras.

Apoiado na lei de arrefecimento de Newton, Joseph Fourier publica seu trabalho sobre a propagação térmica, denominado *Théorie analytique de la chaleur*⁵. Nesse trabalho Fourier observou, através de experimentos, que a temperatura que flui em um corpo varia linearmente, em decorrência do material, espessura e a área.

⁵ <https://www3.nd.edu/~powers/ame.20231/fourier1822.pdf>

Reproduzir-se-á aqui, com o uso de um Termofluxímetro de Baixo Custo (Figura 9), o experimento de Fourier, visando obter ao final das intervenções, a função matemática que descreve o fluxo de calor por diferentes materiais, espessuras e superfícies.

Figura 9 - Termofluxímetro de Baixo custo



Fonte: Acervo do autor

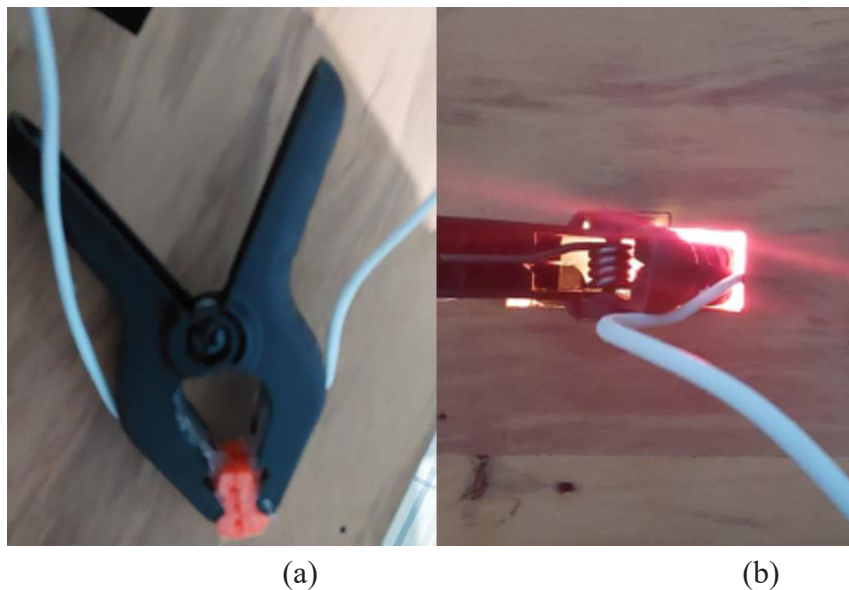
Material Utilizado

TFBC, placas diversas (madeira, vidro, papelão, material desconhecido).

Metodologia

Para este momento da aula o estudante deve conectar o plug macho do TFBC na tomada e acionar o seu interruptor, aguardando por aproximadamente 5 (cinco) minutos mantendo a tampa fechada para que a lâmpada dicróica aqueça todo o interior do aparato. Após o aquecimento, o estudante deve abrir a tampa, colocar a placa de madeira fornecida pelo professor nos suportes, fechar a tampa, e aguardar por 3 (três) minutos aproximadamente e, logo em seguida colocar a pinça termométrica (Figura 10a) na fenda da tampa, fazendo com que a pinça pressione a placa de ambos os lados, conforme (Figura 10b). De uso do display do TDDB (multímetro na escala milivolts), aferir a temperatura de entrada (lado da lâmpada) e de saída (lado oposto), anotando de forma organizada os resultados obtidos.

Figura 10 – a) Pinça termométrica b) Pinça colocada no TFBC



Fonte: Acervo do autor

Repetir o procedimento anterior, substituindo a placa de madeira pelas demais placas, aferindo sempre as temperaturas. Com os dados em mãos, preencha a tabela 01.

Tabela 01 – Variação de temperatura de diferentes materiais

Material	Temperatura de entrada (°C)	Temperatura de saída (°C)	Variação de temperatura (°C)
Madeira			
Vidro			
Papelão			
Acrílico			
Material desconhecido			

Fonte: Acervo do autor

Questões Norteadoras

- 1) Por que a tampa do TFBC deve ficar fechada no procedimento? Explique usando conceitos físicos.
- 2) Dos materiais testados, qual obteve menor variação na temperatura entre os lados da pinça termométrica? E qual obteve maior variação?

- 3) Com base nos dados coletados, é possível dizer que o material da placa influencia no fluxo da temperatura? O que motivou sua resposta?
- 4) De que forma os conhecimentos adquiridos com este experimento podem ser aplicados em situações práticas do cotidiano?

5ª Aula – Utilizando o TFBC (Variando a superfície)

Você sabe dizer por que no inverno os dias claros são, em média, mais frios do que no verão? Para que possamos responder essa questão, reutilizaremos o TFBC, só que desta vez vamos usar placas de mesmo material com diferentes dimensões, atentando na manutenção da sua espessura.

Material Utilizado

TFBC, placas de diversas dimensões, trena.

Metodologia

Ligue o TFBC por aproximadamente 5 (cinco) minutos, mantendo a tampa fechada. Fazendo uso da trena, afira as dimensões da placa e calcule a área. Abra a tampa, coloque a placa fornecida pelo professor nos suportes, feche a tampa, aguarde por 3 (três) minutos. Coloque a pinça termométrica na fenda da tampa, fazendo com que os seus lados pressionem a placa, conforme Figura 11. De uso do voltímetro, na escala mV, afira a temperatura de entrada (lado da lâmpada) e de saída (lado oposto).

Figura 11 – Pinça termométrica com a tampa fechada e como deve pinçar o anteparo



Fonte: Acervo do autor

Repita o procedimento anterior, substituindo a placa de madeira pelas demais placas de madeira de outras dimensões, aferindo sempre as temperaturas e suas áreas. Com os dados em mãos, preencha a tabela 2.

Tabela 2 – Variando a área das placas de madeira

Área (cm ²)	Temperatur a de entrada (°C)	Temperatur a de saída (°C)	Varição de temperatura (°C)

Fonte: Acervo do autor

Questões Norteadoras

- 1) Houve diferença entre as variações de temperatura? Se sim, qual placa houve maior variação de temperatura, a de maior ou a de menor área?
- 2) Com base nos dados coletados, é possível dizer que a área da placa influencia no fluxo térmico? O que motivou sua resposta?
- 3) De que forma os conhecimentos adquiridos com este experimento podem ser aplicados em situações práticas do cotidiano?

6ª Aula – Utilizando o TFBC (Variando a espessura)

Caso as paredes de nossa casa fossem mais espessas ou mais finas, isso faria diferença na percepção das variações de calor sentidas por quem está no seu interior? De uso do TFBC iremos verificar qual é a influência da espessura do material no fluxo de calor.

Material Utilizado

TFBC, placas de vidro de diversas espessuras, paquímetro.

Metodologia

Ligue o TFBC por aproximadamente 5 (cinco) minutos, mantendo a tampa fechada. Fazendo uso da trena, afira as dimensões da placa e calcule a área. Abra a tampa, coloque a placa fornecida pelo professor nos suportes, feche a tampa, aguarde por 3 (três) minutos. Coloque a pinça termométrica na fenda da tampa, fazendo com que os seus lados pressionem a placa, conforme Figura 8. De uso do voltímetro, na escala mV, afira a temperatura de entrada (lado da lâmpada) e de saída (lado oposto).

Repita o procedimento anterior, substituindo a primeira placa pelas demais placas de outras espessuras, aferindo sempre as temperaturas em ambos os lados (entrada e saída) e suas espessuras.

Tabela 3 – Variando a espessura das placas de vidro

Espessura (mm)	Temperatura de entrada (°C)	Temperatura de saída (°C)	Varição de temperatura (°C)

Fonte: Acervo do autor

7ª Aula – Utilizando o Conversor de Grandezas e a Calculadora de Fluxo Térmico para obter resultados do fluxo do calor

Nessa aula, fazendo uso do Conversor de Grandezas (CG) e da Calculadora de Fluxo Térmico (CFT) (Figuras 12 e 13) que está disponível no link⁶, os estudantes deverão encontrar o fluxo de calor em placas de livre escolha, visando uma melhor compreensão dos conceitos adquiridos até o momento. A utilização do CG e da CFT é necessária uma vez que não é pretensão desta pesquisa reconhecer as habilidades matemáticas dos estudantes no momento de converter uma medida em outra ou mesmo de calcular o valor do fluxo térmico através de uma placa. Como a equação (6) necessita que as grandezas aferidas estejam no Sistema Internacional

⁶ https://drive.google.com/file/d/1DqtxcW_ceVJpCNhmO64xZYEeb5UeJRae/view?usp=drive_link

de Unidades (SI), há uma necessidade de converter os dados coletados que estão no sistema CGS (Centímetro, Grama e Segundo) para o SI.

A Figura 12 identifica as possibilidades de conversão conforme dados de entrada realizada pelo estudante.

Figura 12: Conversor de Grandezas para uso concomitante com o TFBC.

Conversor de Grandezas - TFBC

MNPEF - campus de Alfenas - Polo 28
Prof. Giovanni Armando da Costa
Orientador: Prof. Dr. Luciano Soares Pedroso

Espessura (mm para m): Converter
Espessura em metros: 0,0012 m

Área (cm² para m²): Converter
Área em metros quadrados: 0,004 m²

Temperatura (°C para K): Converter
Temperatura em Kelvin: 358,15 K

Fonte: Acervo do autor

A Figura 13 tipifica o resultado do cálculo do fluxo de calor conforme os dados inseridos pelos estudantes.

Figura 13: Calculadora de Fluxo de Calor.

Calculadora de fluxo de calor - TFBC

MNPEF - campus de Alfenas - Polo 28
Prof. Giovanni Armando da Costa
Orientador: Prof. Dr. Luciano Soares Pedroso

Fonte: Acervo do autor

O CG e a CFT foram elaboradas utilizando-se da linguagem de programação *JavaScript*. *JavaScript* é uma linguagem de programação amplamente usada para criar páginas *web* dinâmicas e interativas. Ela é frequentemente usada em conjunto com HTML para criar experiências de usuário envolventes na *web*. O protocolo HTML (*Hypertext Markup Language*) é uma linguagem de marcação usada para criar a estrutura e o conteúdo de páginas da *web*, sendo a espinha dorsal de praticamente todas as páginas e é responsável por definir a estrutura do documento, como títulos, parágrafos, imagens, links e outros elementos.

O CG e a CFT utilizam-se do protocolo HTML para que seja renderizada em quaisquer navegadores contidos nos smartphones dos estudantes sem a necessidade de pré-instalação de aplicativos ou simulares.

Tabela 4 – Resultados encontrados com a Calculadora de Fluxo Termométrico (CFT).

Placa de:	Fluxo de calor obtido: (J/s ou W)
Madeira	
Vidro	
Acrílico	

Fonte: Acervo do autor

Questões Norteadoras

- 1) Qual o significado de cada um dos valores do fluxo de calor obtido em cada placa?
- 2) Qual placa seria adotada por você para construir ou revestir as paredes de uma casa no norte do Brasil? O que motivou sua resposta?
- 3) Qual placa seria adotada por você para construir ou revestir as paredes de uma casa no Canadá? O que motivou sua resposta?

8ª Aula – Avaliação – Construção de Mapa Conceitual

Para avaliar os conceitos retidos na estrutura cognitiva dos estudantes, os grupos construirão, com o apoio do professor-pesquisador, o seu respectivo mapa conceitual do TFBC e das respostas às questões norteadoras que ocorrerão durante as intervenções pedagógicas.

Os mapas conceituais podem ser uma ferramenta valiosa no processo de avaliação da aprendizagem de conceitos relacionados ao fluxo de calor. Para que os Mapas Conceituais sejam utilizados de forma eficaz, conforme Novak e Cañas (2006) é importante seguir alguns procedimentos. Primeiramente, ao iniciar a avaliação, é fundamental estabelecer os objetivos específicos que deseja avaliar nos estudantes, como compreensão dos princípios do fluxo de calor, identificação de variáveis envolvidas ou aplicação prática desses conceitos. Em seguida, será fornecida aos estudantes uma tarefa ou questão relacionada ao fluxo de calor que estimule

a criação do mapa conceitual do seu grupo. Este momento será realizado na primeira aula, onde o professor-pesquisador coletará, em conjunto com os estudantes, as palavras-chaves sobre os conceitos que este detém sobre a ideia de calor e temperatura. Isso será feito solicitando que eles organizem as palavras-chave, como condutividade térmica, condução, convecção e radiação, de maneira hierárquica e conectada.

Durante a elaboração dos mapas, nesta 8ª aula, os estudantes serão encorajados a fazer conexões entre os conceitos e a explicar as relações entre eles. Isso não só avaliará a compreensão conceitual, mas também a capacidade de síntese e organização dos conhecimentos. Além disso, será permitido que os estudantes usem recursos visuais, como setas, cores e formas, para representar as relações entre os conceitos de forma mais clara e intuitiva.

Depois que os grupos concluírem seus mapas conceituais, o professor-pesquisador irá avaliá-los de diversas maneiras. Será observado a análise da precisão das conexões e relações estabelecidas em cada um dos mapas, bem como a profundidade da compreensão demonstrada. Também será avaliado a clareza da apresentação visual e a capacidade de comunicação dos grupos por meio de seus mapas. Além disso, será dado um *feedback* aos estudantes sobre suas representações conceituais, identificando possíveis erros ou lacunas em seu entendimento sobre os conceitos de Termodinâmica e em especial sobre o fluxo de calor e a lei de Fourier.

Para avaliar os mapas conceituais elaborados pelos grupos, o professor-pesquisador utilizará de um quadro onde os mapas serão analisados de forma qualitativa, sendo adotados os seguintes critérios: a) Conceito principal (conceitos fornecidos); b) Proposições (acréscimo de pelo menos mais quatro outros conceitos); c) Ligações cruzadas (ligações válidas e inválidas) e exemplos; d) Hierarquia (múltiplos relacionamentos entre os conceitos); e e) Conteúdo.

Dessa forma, para cada um destes critérios serão atribuídas as seguintes avaliações: “satisfatório”, quando o critério estiver completamente adequado; “parcialmente satisfatório”, quando o critério estiver com alguns poucos equívocos; e “insatisfatório”, quando o critério apresentar muitos equívocos conceituais e de ligações.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Espera-se que esse produto educacional, como complementação à proposta pedagógica do professor de Educação Básica, contribua no processo de ensino e aprendizagem em sala de aula de Física. Visto que, trabalhando com uma proposta diferenciada no ensino de Ciências, pode-se identificar um avanço na aprendizagem dos estudantes, uma vez que passam a apresentar a capacidade de compreender e interpretar a sociedade e seus impactos tecnológicos e ambientais, mas também de transformá-lo, onde são capazes de permitir uma mudança interna de valores e atitudes. Portanto, possibilitará aos estudantes não só o entendimento do cotidiano, mas sua relação no contexto científico, gerando a capacidade de tomada de decisão em questões relativas à Ciência e Tecnologia em que estejam diretamente envolvidos, sejam decisões pessoais ou de interesse público.

Neste sentido e como apresentado, o TFBC é um aparato experimental de fácil construção e manuseio, facilitando assim ao professor um gama de possibilidades de aferições, podendo selecionar outros materiais não listados nessa UEPS, assim como propiciar uma melhor interação da sala e despertar o interesse pela descoberta científica. Cabe ao professor inovar o equipamento, como por exemplo substituir os multímetros por uma placa *Arduino*.

Outra possibilidade é a interdisciplinaridade com a Matemática e com a química, pois se trabalhará com conversões de unidades e com o arranjo molecular de objetos.

Como é evidente, o TFBC representa um dispositivo experimental que se distingue por sua facilidade de construção e manuseio. Essas características singulares concedem ao professor de Física do Ensino Médio um vasto leque de possibilidades para aferições, ampliando consideravelmente o horizonte de experimentação disponível em sala de aula. Além disso, o TFBC proporciona ao docente a capacidade de selecionar materiais não previamente contemplados na UEPS, elevando, desse modo, o grau de flexibilidade pedagógica.

Vale ressaltar que a versatilidade do TFBC transcende os limites da mera aferição de temperatura e a validação da Lei de Fourier. Ele se revela como um recurso didático capaz de fomentar uma interação mais profunda e significativa na sala de aula, promovendo o engajamento dos estudantes e estimulando o despertar do interesse pela pesquisa e descoberta científica. Nesse sentido, o TFBC não é apenas um instrumento de medição, mas uma ferramenta que potencializa o processo de aprendizado e pesquisa.

Uma forma de inovar ainda mais o uso desse equipamento é explorar a substituição dos multímetros tradicionais por dispositivos mais modernos, como uma placa *Arduino*. Essa

abordagem, por exemplo, pode abrir novos horizontes para o ensino de eletrônica e programação, enriquecendo ainda mais a experiência de aprendizado dos estudantes.

Além disso, o TFBC também se revela como uma ponte para a interdisciplinaridade, permitindo a integração efetiva com disciplinas como Matemática e Química. Através do TFBC, os estudantes podem explorar conversões de unidades, aprofundando sua compreensão das relações matemáticas subjacentes aos fenômenos físicos. Da mesma forma, o estudo do arranjo molecular de objetos, em conjunto com a Química, possibilita uma compreensão mais completa das propriedades da matéria e de sua relação com as forças que atuam sobre ela.

O TFBC emerge como uma ferramenta pedagógica versátil e enriquecedora, capaz de ampliar o ensino de Ciências e promover uma abordagem interdisciplinar que potencializa o aprendizado e estimula o interesse dos estudantes pela pesquisa científica e pelo conhecimento.

7. REFERÊNCIA

AUSUBEL, D. P. **Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva.** Lisboa: Plátano, 2000.

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

GOWIN, D. Bob; MILLMAN, Jason. **Rumo à reforma da avaliação de programas: Lee J. Cronbach, SR Ambron, SM Dornbusch, RD Hess, RC Hornik, DC Phillips, DF Walker e SS Weiner.** Avaliação Educacional e Análise de Políticas, v. 6, pág. 85-87, 1981.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física – Gravitação, Ondas e Termodinâmica.** 10. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2016 vol 2;

MOREIRA, M. A. **Unidades de Enseñanza Potencialmente Significativas - UEPS.** Aprendizagem Significativa em Revista. V. 1(2). p. 43-63. 2012. <http://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo_ID10/v1_n2_a2011.pdf> Acesso em 01 jun. 2021.

_____. UEPS. In. SILVA, M. G. L. MOHR, A. ARAÚJO, de. (orgs). **Temas de ensino e formação de professores de Ciências.** Natal: EDUFRN, 2012. p.45-71.

NOVAK, J. D. & CAÑAS, A. *The theory underlying concept maps and how to construct them.* Florida Institute for Human and Machine Cognition, 1. (2006)

NOVAK, J. D. **Concept mapping: a useful tool for science education.** *Journal of Research in Science Teaching*, 27(10), 937-949. (1990)

PEDROSO, Luciano Soares; NETO, Fabrício Pimenta; DE ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira. **Investigação sobre o funcionamento de um termômetro digital de baixo custo.** *Revista Brasileira de Física Tecnológica Aplicada*, v. 1, n. 2, 2014.