



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

LUCAS GIANNINI SABA DE LACERDA

USO DO CHATGPT NO ENSINO MÉDIO APLICADO AO ENSINO DE FÍSICA

FORTALEZA

2025

LUCAS GIANNINI SABA DE LACERDA

USO DO CHATGPT NO ENSINO MÉDIO APLICADO AO ENSINO DE FÍSICA

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

Orientador: Prof. Dr. Humberto de Andrade Carmona

FORTALEZA

2025

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

- L138u Lacerda, Lucas Giannini Saba de.
Uso do ChatGPT no ensino médio aplicado ao ensino de Física / Lucas Giannini Saba de Lacerda. –
2025.
86 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação,
Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Fortaleza, 2025.
Orientação: Prof. Dr. Humberto de Andrade Carmona.
1. ChatGPT. 2. Peer Instruction. 3. Ensino de Física. I. Título.

CDD 530.07

LUCAS GIANNINI SABA DE LACERDA

USO DO CHATGPT NO ENSINO MÉDIO APLICADO AO ENSINO DE FÍSICA

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

Aprovada em: 24 de outubro de 2025

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Humberto de Andrade Carmona
(Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Daniel Brito de Freitas
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Francisco Geraldo de Melo Pinheiro
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

Ao meu pai, João Bosco, minha mãe, Marta Saba, e meu irmão, Jorge Miguel, por serem pessoas tão especiais e que sempre me incentivaram a entrar e concluir o mestrado.

AGRADECIMENTOS

A Deus e a virgem Maria por terem sido a minha fonte espiritual nessa jornada. Ao meu anjo da guarda por ter cuidado tão bem de mim em minhas longas viagens por 2 anos.

Ao prof. dr. Humberto de Andrade Carmona por ter me acolhido e orientado nesse projeto.

Aos doutores Daniel Brito de Freitas, Francisco Geraldo de Melo Pinheiro por terem aceitado fazer parte da minha banca. Ao dr. Diego Araujo Frota pela sua excelente contribuição a este trabalho.

Ao meu diretor e professor Netinho e a Crede 13 por terem permitido a minha participação no mestrado as sextas-feitas. A toda equipe da EEEP Maria Altair Americo Saboia por serem os melhores colegas que eu poderia pedir.

Ao meu padrinho, Marcos Lacerda, a minha madrinha, Adriana Pereira, aos meus primos, Diana Lacerda e Felipe Lacerda, e a Érika Gomes por serem ótimas companhias e por terem me acolhido nesses 2 anos.

A todos os meus professores por me proporcionarem um alto grau de conhecimentos que, sem eles, nunca poderia ter evoluído tanto.

A dra. Débora Carvalho por todo o seu apoio psicológico, que foi bastante essencial.

Aos meus amigos que fiz durante esta jornada.

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

RESUMO

Este trabalho investiga os efeitos do uso do ChatGPT, uma ferramenta baseada em inteligência artificial, como apoio pedagógico no ensino de Física para o Ensino Médio. O estudo é fundamentado na metodologia ativa Peer Instruction, desenvolvida por Eric Mazur, e tem como foco principal o ensino de conceitos de termodinâmica, especialmente os relacionados ao calor, temperatura e sensação térmica, tópicos frequentemente associados a concepções equivocadas por parte dos estudantes. A pesquisa foi aplicada na Escola Estadual de Educação Profissional Maria Altair Américo Saboia, em Independência, no Ceará, onde uma turma utilizou apenas o método Peer Instruction e foi comparada com outras duas que também empregaram o mesmo método, mas com o ChatGPT como ferramenta de apoio. Foram aplicados testes conceituais antes e depois das intervenções, permitindo avaliar a evolução da aprendizagem e a eficácia das abordagens. Um dos principais objetivos do trabalho é destacar a necessidade de desfazer concepções equivocadas sobre calor e temperatura, amplamente enraizadas na linguagem cotidiana, com raízes históricas e culturais que remontam ao Império Romano, além de estarem presentes nos saberes prévios dos alunos. Ao articular explicações conceituais com o uso da inteligência artificial, o estudo busca promover uma aprendizagem mais significativa e consistente, que ultrapasse a memorização mecânica, valorizando a compreensão científica e o letramento digital. Os resultados apontam que a integração entre Peer Instruction e o uso orientado do ChatGPT pode contribuir para a melhoria do desempenho conceitual dos estudantes e representa uma estratégia promissora para o enfrentamento das dificuldades históricas no ensino de Física — ainda que não substitua o protagonismo estudantil.

Palavras-chave: ChatGPT; Peer Instruction; ensino de física.

ABSTRACT

This study investigates the effects of using ChatGPT, an artificial intelligence-based tool, as pedagogical support in high school Physics education. The study is grounded in the active methodology Peer Instruction, developed by Eric Mazur, and focuses primarily on teaching thermodynamics concepts, especially those related to heat, temperature, and thermal sensation—topics frequently associated with students' misconceptions. The research was conducted at the Escola Estadual de Educação Profissional Maria Altair Américo Saboia, in Independência, Ceará, where one class used only the Peer Instruction method and was compared with two others that also employed the same method, but with ChatGPT as a support tool. Conceptual tests were administered before and after the interventions, allowing for the assessment of learning progression and the effectiveness of the approaches. One of the main objectives of this study is to highlight the need to address misconceptions about heat and temperature, which are deeply rooted in everyday language, with historical and cultural origins dating back to the Roman Empire, and are also present in students' prior knowledge. By combining conceptual explanations with the use of artificial intelligence, the study seeks to promote more meaningful and consistent learning, going beyond rote memorization and valuing scientific understanding and digital literacy. The results suggest that the integration of Peer Instruction with the guided use of ChatGPT can contribute to improved conceptual performance among students and represents a promising strategy to tackle long-standing challenges in Physics education—though it does not replace the importance of student protagonism.

Keywords: ChatGPT; Peer Instruction; physics education.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Inventário do conceito de força média para a disciplina de introdução a Física na Universidade de Havard.	29
Figura 2 – Resposta dadas a todos os testes conceituais discutidos no outono de 1997, categorizados conforme descrito no texto.	29
Figura 3 – Gás monoatômico ideal preso em um recipiente hermético com êmbolo. . .	35
Figura 4 – Molécula empurrando o êmbolo para a direita.	36
Figura 5 – Moléculas a uma distância x capazes de acertar o êmbolo em um intervalo de tempo t	37
Figura 6 – Fluxos de calor entre o corpo e o meio.	44
Figura 7 – DICTHUS - Diagrama de Conforto Térmico Humano para o Semiárido. . .	46
Figura 8 – Espectro da distribuição da nota de corte de alunos aprovados aprovados na turma de 1º administração em 2024	60
Figura 9 – Espectro da distribuição da nota de corte de alunos aprovados aprovados na turma de 1º contabilidade em 2024	61
Figura 10 – Espectro da distribuição da nota de corte de alunos aprovados aprovados na turma de 1º redes de computadores em 2024	61
Figura 11 – Evolução das turmas no ITCE	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Roteiro de aplicação do produto educacional	19
Tabela 2 – Frequência de respostas do ChatGPT encontradas em uma turma para uma mesma pergunta.	49
Tabela 3 – Relações de ações que o professor pode tomar por rendimento da turma, adaptado para a gamificação do Kahoot.	50
Tabela 4 – Nota de corte das turmas ingressantes na EEEP Maria Altair Americo Saboia em 2024.	60
Tabela 5 – Notas da primeira aplicação do teste conceitual por turma.	62
Tabela 6 – Evolução das notas médias das turmas após a aplicação do produto educacional	62
Tabela 7 – Correspondência aparente entre a temperatura aparente e as variáveis do vestuário fisiológico para condições amenas	70
Tabela 8 – Correspondência aparente entre a temperatura aparente e as variáveis do vestuário fisiológico para condições severas	70
Tabela 9 – Escala de temperatura-umidade: temperatura aparente (°C) correspondente a cada combinação de temperatura de bulbo seco e umidade relativa. Os valores entre parênteses correspondem a umidade da pele acima de 90% e são aproximados.	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

adm	administração
cont	contabilidade
EEEP	Escola Estadual de Ensino Profissionalizante
FCI	<i>Force Concept Inventory</i>
IA	Inteligência Artificial
ITCE	Introductory Thermal Concept Evaluation
LDB	Leis de Diretrizes e Base da educação nacional
MNPEF	Mestrado Nacional Profissionalizante em Ensino de Física
PI	<i>Peer Instruction</i>
PNED	Política Nacional de Educação Digital
rdc	redes de computadores
UMass	Universidade de Massachusetts

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área do êmbolo
C_V	Calor específico a volume constante
dQ	Variação infinitesimal da quantidade de calor trocado com o ambiente
dT	Variação infinitesimal da temperatura
dU	Variação infinitesimal da energia interna
dV	Variação infinitesimal do volume de um gás
dW	Variação infinitesimal do trabalho de um gás
E_c	Energia cinética
F	Força
G	Energia livre de Gibbs
H	Entalpia
HI	<i>Heat Index</i> , índice de sensação térmica
k_B	Constante de Boltzmann
L	Calor latente
m	Massa
n	Número de átomos por volume
N	Número de átomos
P	Pressão
p	Momento linear
p_0	Momento linear inicial
Q	Calor trocado com o ambiente
Q_L	Calor latente
R	Resistência térmica da pele
S	Entropia
t	Tempo
T	Temperatura

T_0	Temperatura inicial
T_c	Temperatura crítica
U	Energia Interna
v	Velocidade
v_x	Velocidade no eixo-x
V	Volume
x	Distância
W	Trabalho de um gás
Δp_{atomo}	Variação do momento linear de um átomo
Δp_{embolo}	Variação do momento linear do êmbolo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Novas tecnologias, velhos desafios	15
1.2	A Política Nacional de Educação Digital	15
1.3	A motivação desse trabalho	16
1.4	Estrutura do trabalho	17
1.4.1	<i>Descrição do produto educacional</i>	<i>18</i>
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1	Um breve estudo das causas das concepções equivocadas sobre o calor e a energia.	20
2.2	Princípios norteadores do ensino de Física	21
2.3	Peer Instruction	22
2.3.1	<i>Estrutura da Metodologia Peer Instruction</i>	<i>23</i>
2.3.2	<i>O experimento da Beijing Normal University</i>	<i>25</i>
2.4	Aspectos sociais e psicológicos do ensino de Física	26
2.5	Experiências de Peer Instruction no Brasil e no mundo	27
2.5.1	<i>Colégio Aplicação, Rio Grande do Sul</i>	<i>27</i>
2.5.2	<i>Instituto Federal do Pará, campus Paragominas</i>	<i>27</i>
2.5.3	<i>EEM Manoel Senhor de Melo Filho</i>	<i>28</i>
2.6	Vantagens do método Peer Instruction	28
2.6.1	<i>Exemplo de Havard</i>	<i>28</i>
2.6.2	<i>Exemplos de produtos educacionais MNPEF e no Brasil</i>	<i>30</i>
2.7	ChatGPT	30
2.8	Gamificação	31
2.9	Conclusão	32
3	CONCEITOS TERMODINÂMICOS	34
3.1	O que é calor?	34
3.2	A lei zero da Termodinâmica	34
3.3	A natureza microscópica da temperatura	35
3.3.1	<i>O trabalho de um gás monoatômico ideal</i>	<i>35</i>
3.3.2	<i>O momento linear no êmbolo</i>	<i>36</i>

3.3.3	<i>A pressão do gás no êmbolo</i>	37
3.3.4	<i>A natureza da temperatura em um gás monoatômico</i>	39
3.4	A primeira lei da Termodinâmica	40
3.4.1	<i>Capacidade de calor a volume constante</i>	40
3.4.2	<i>Capacidade de calor a pressão constante</i>	41
3.4.3	<i>A natureza do calor para além da energia em trânsito</i>	42
3.5	A segunda lei da Termodinâmica	42
3.6	Entropia e mudança de fase	42
3.7	O que é a sensação térmica?	44
3.7.1	<i>Origem dos estudos de sensação térmica</i>	44
3.7.2	<i>O Heat Index</i>	45
3.7.3	<i>Sensação térmica nos Inhamuns</i>	45
3.7.4	<i>Por que objetos podem parecer mais frios ou quentes quando estão em temperatura ambiente?</i>	46
3.8	Por que é possível esquentar algo sem aumentar a sua temperatura? . .	47
4	METODOLOGIA E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	48
4.1	Avaliação Introdutória de Conceitos Térmicos	48
4.2	Treinamento sobre os limites e uso da Inteligência Artificial	48
4.3	Aula conceitual sobre calor e temperatura	49
4.4	Primeira etapa	51
4.5	Segunda etapa	52
4.6	Terceita etapa	53
4.7	Quarta Etapa	56
4.8	Quinta Etapa	57
4.9	Sexta Etapa	58
4.10	A segunda aplicação teste conceitual	59
4.11	Análise de dados	60
5	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	64
	REFERÊNCIAS	66
	ANEXOS	69

1 INTRODUÇÃO

1.1 Novas tecnologias, velhos desafios

A introdução da Inteligência Artificial (IA) na educação básica é um tema cada vez mais relevante, especialmente com o recente acesso do grande público a essa tecnologia. O lançamento do ChatGPT em 2022 foi um evento polêmico, com o surgimento de um grande número de professores e instituições que tentaram proibir o uso do chatbot para seus alunos (Heidth, 2025).

Por volta da virada do milênio era comum entre os professores a dificuldade com o uso de computadores e o sentimento de medo em perder suas autoridades por terem um domínio inferior da tecnologia em relação aos seus alunos (Abreu; Costa, 2003). Além disso surgiu naquela época desafios que até hoje são enfrentados por professores: a prática dos alunos irem na internet e usarem a função copiar e colar para realizarem tarefas escolares.

De acordo com Heidth (2025), o medo da tecnologia não precisa ser uma realidade no dia a dia da educação visto que, apesar de existirem alunos que usam da tecnologia para trapacear, vários estudantes usam o ChatGPT de forma criativa para otimizar seus estudos.

1.2 A Política Nacional de Educação Digital

Além de tudo, o Brasil tem um plano para garantir a inserção da educação digital nos ambientes escolares, em todos os níveis e modalidades, a partir do estímulo ao letramento digital e informacional e à aprendizagem de computação, de programação, de robótica e de outras competências digitais (Brasil, 2023).

Baseado na Política Nacional de Educação Digital (PNED) e na importância de a educação acompanhar o desenvolvimento tecnológico, busca-se promover não apenas o acesso às ferramentas digitais, mas também o desenvolvimento de competências críticas, criativas e colaborativas que permitam ao estudante atuar de forma plena na sociedade digital. Nesse contexto, integrar recursos digitais, como as Inteligência Artificial (IA) ao ensino de Física é fundamental, uma vez que a disciplina lida diretamente com conceitos científicos que, muitas vezes, os alunos trazem ao ambiente escolar com equívocos conceituais.

Assim, ao alinhar os objetivos da PNED com metodologias já consolidadas no ensino de Física, como o *Peer Instruction*, é possível criar práticas pedagógicas que favoreçam a

participação ativa dos estudantes, a construção do conhecimento e o letramento digital, que se mostra cada vez mais importante para a sociedade.

1.3 A motivação desse trabalho

O avanço das tecnologias digitais e a crescente acessibilidade às IA têm provocado mudanças significativas na educação, levantando debates sobre suas implicações pedagógicas. No ensino de Física, um dos desafios recorrentes é a persistência de concepções equivocadas entre os alunos, aliada a um modelo tradicional que muitas vezes prioriza a memorização em detrimento da compreensão conceitual. Nesse contexto, surge a necessidade de explorar metodologias ativas que favoreçam uma aprendizagem significativa e promovam maior engajamento dos estudantes.

Este trabalho tem como objetivo investigar como a integração do ChatGPT ao método *Peer Instruction* pode impactar o ensino de Física, especialmente no entendimento de conceitos de Termodinâmica. Para alcançar esse objetivo, foi realizada uma pesquisa aplicada em turmas do ensino médio da Escola Profissionalizante Maria Altair Americo Saboia, comparando o desempenho de alunos que utilizam o ChatGPT como ferramenta de apoio no PI com aqueles que apenas usaram a metodologia PI sem o uso de IAs.

Os estudantes foram divididos em equipes de dois ou três, onde eles receberam um papel com algumas perguntas que envolvem concepções equivocadas sobre termodinâmica e tinham acesso a um computador logado ao ChatGPT, que faria o papel de um aluno, que poderia ser consultado para responder perguntas.

Após uma breve explicação, os alunos precisaram responder uma pergunta sobre o assunto na plataforma Kahoot, caso menos de 70% da turma acertasse a questão, os alunos deveriam consultar o ChatGPT sobre o assunto e refletir se a resposta que ele deu estava correta. A análise foi conduzida por meio da aplicação de testes conceituais antes e depois da intervenção, permitindo avaliar a evolução do aprendizado e a eficácia da abordagem.

A motivação para este estudo decorre da necessidade de compreender os efeitos da IA no contexto escolar e sua potencialidade como instrumento pedagógico. A pesquisa busca não apenas identificar ganhos no desempenho acadêmico, mas também discutir os desafios e limitações da adoção dessa tecnologia em sala de aula. Com isso, pretende-se contribuir para o desenvolvimento de estratégias educacionais que integrem a IA de maneira eficaz e responsável, ampliando o repertório de metodologias para o ensino de Física.

O produto educacional desenvolvido nesta dissertação é um livreto digital destinado

a professores de Física do Ensino Médio, com foco no ensino de Termodinâmica. O material fornece subsídios teóricos e práticos para a condução de aulas que estimulem o raciocínio conceitual dos estudantes por meio de discussões orientadas e do uso estratégico de Inteligência Artificial. O material visa apoiar o professor na identificação e superação de obstáculos conceituais frequentes no processo de aprendizagem.

A sequência é organizada para o ensino de conteúdos de Termodinâmica, com foco em temas como:

- Sensação térmica;
- Calor e temperatura;
- Equilíbrio térmico e a Lei Zero da Termodinâmica;
- Calor específico;

O livreto inclui:

- Uma introdução teórica para o professor sobre a metodologia *Peer Instruction*;
- Sugestões de uso do ChatGPT como ferramenta de suporte à argumentação dos alunos durante as discussões em duplas;
- Um conjunto de questões conceituais em formato PI, com alternativas cuidadosamente elaboradas para evidenciar concepções alternativas;
- Uma dinâmica para demonstrar aos alunos quais são as limitações do ChatGPT e como melhor o utilizar;

O produto pode ser aplicado em turmas de Ensino Médio, preferencialmente em contextos que possibilitem o uso de dispositivos conectados à internet, mas também pode ser adaptado para uso com apoio do professor como mediador da IA.

1.4 Estrutura do trabalho

A dissertação está estruturada em quatro capítulos, organizados de forma a proporcionar uma análise aprofundada e detalhada do tema. No primeiro capítulo, é realizada uma introdução geral à área de estudo, com destaque para os impactos significativos da tecnologia no ensino e as inúmeras oportunidades que ela oferece para a modernização do processo educativo.

No segundo capítulo, são abordados alguns fatores que influenciam a educação, com especial atenção aos que impactam diretamente o método de ensino *Peer Instruction*. Também examina trabalhos relevantes que foram desenvolvidos em diferentes polos do MNPEF, além de artigos científicos que tratam da aplicação e eficácia do *Peer Instruction* em ambientes de ensino.

O terceiro capítulo dedica-se a uma abordagem física sobre a Termodinâmica, analisando os conceitos termodinâmicos sob o rigor da Física, afim de demonstrar o significados cientificamente corretos das concepções equivocadas.

No quarto capítulo, é apresentado o produto educacional. Esse capítulo visa proporcionar uma compreensão clara de como o produto foi elaborado, destacando seus objetivos pedagógicos. Ele também apresenta os resultados obtidos a partir da aplicação do produto educacional, incluindo uma análise de sua eficácia.

Por fim, em uma seção anexa, é apresentado o produto educacional utilizado como objeto de estudo nesta dissertação. Essa seção inclui uma cópia completa do material, seus objetivos pedagógicos e as instruções detalhadas para sua implementação em sala de aula, servindo como um guia para educadores interessados em utilizar o produto em suas práticas de ensino.

1.4.1 Descrição do produto educacional

O produto educacional consiste em uma sequência didática composta por quatro aulas: uma destinada ao ensino de conceitos termodinâmicos, uma ao treinamento no uso do ChatGPT e duas à aplicação de testes conceituais. Essa sequência foi aplicada na Escola Estadual de Ensino Profissionalizante Maria Altair Américo Saboia, nas turmas de primeiro ano do ensino médio, cujos cursos são administração, contabilidade e redes de computadores.

A primeira aula consistiu na aplicação de um teste conceitual (disponível em anexo) com o objetivo de diagnosticar os conhecimentos prévios dos estudantes, adquiridos tanto em contextos de educação formal quanto em ambientes de aprendizagem informal e não formal. A quarta aula repetiu o teste da primeira, com o objetivo de medir a evolução conceitual dos estudantes após a intervenção. Essas foram as únicas aulas em que não foi permitida a utilização de materiais de consulta, como livros, anotações ou o próprio ChatGPT.

Para minimizar a ocorrência de fraudes e tentativas de consulta indevida durante a aplicação da prova, o exame foi construído utilizando o aplicativo Gradenpen como suporte técnico. Esse recurso permitiu o embaralhamento das questões e alternativas, de modo que cada estudante recebesse uma versão única da prova. A correção foi realizada eletronicamente por meio de um dispositivo móvel, que escaneou um QR code impresso em cada teste, assegurando a imparcialidade e precisão na avaliação.

O aplicativo Gradenpen também gerou uma planilha contendo as notas individuais dos

estudantes. A partir desses dados, a média aritmética das pontuações foi calculada, permitindo a obtenção da nota média da turma.

A segunda aula consistiu em uma sessão de treinamento com o chatbot ChatGPT. Essa atividade foi planejada como uma ação pontual, visto que, após a familiarização dos alunos com a ferramenta, sua repetição torna-se desnecessária.

A terceira aula foi elaborada para ensinar os conceitos termodinâmicos e desfazer as concepções equivocadas através da metodologia *Peer Instruction* (PI). Nesta etapa os alunos se dividiram em duplas ou trios que com o suporte do ChatGPT, que desempenhava o papel de um membro adicional do grupo, oferecendo sugestões e esclarecimentos conceituais.

Tabela 1 – Roteiro de aplicação do produto educacional

Aula	Ação realizada	Foi permitido o uso do ChatGPT ou similares?	Turmas participantes		
			1º adm	1º cont	1º rdc
Aula 1	Aplicação do ITCE	Não	Sim	Sim	Sim
Aula 2	Treinamento para o uso do ChatGPT	Sim	Não	Sim	Sim
Aula 3	Aula sobre conceitos termodinâmicos	Sim	Sim	Sim	Sim
Aula 4	Reaplicação do ITCE	Não	Sim	Sim	Sim

Fonte: Elaborado pelo autor

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Um breve estudo das causas das concepções equivocadas sobre o calor e a energia.

É bastante comum as pessoas associarem a palavra calor a sensação de quente, afinal de contas é o significado que aparece nos dicionários (Dicio, 2025a). Toda palavra possui uma origem histórica, sendo esta a área de estudo linguístico chamado de Etimologia. No caso da palavra calor, a sua origem etimológica vem do latim *calor* que significa quentura. Na Física calor é uma quantidade de energia transferida entre corpos ou sistemas causada por uma diferença de temperatura.

Quente e frio são palavras muito associadas ao calor, cuja origem de quente significa que tem ou transmite calor (Priberam, 2025b) e vem do latim *calens* e significa ter calor (Origem da Palavra, 2025c), ou seja, é uma palavra que permanece com o seu significado imutável por milênios. Já definição de frio é aquilo que não tem calor, que é diferente do quente (Priberam, 2025a). Sua origem vindo do latim *frigidus*, que significa frio ou gelado (Origem da Palavra, 2025b).

Esses significados populares possuem uma longa história em nossa sociedade, portanto está enraizado em nossa cultura o uso das palavras calor, quente e frio para se referir a situações e conceitos sociais que evocam ao cotidiano do mundo da idade antiga, não aos critérios científicos. Isto não significa que a linguagem vulgar está ultrapassada, mas que a vida social ainda mantém fortes semelhanças com as de nossos antepassados.

Porém, a língua portuguesa é viva, e o significado das palavras muda com o tempo (Nova Escola, 2025). Um caso curioso é a palavra temperatura cuja origem etimológica vem do latim *temperature*, que significa “proporção” ou “mistura correta” (Jornal da USP, 2025). Ela é uma conjugação do verbo latino *temperare*, “misturar corretamente”, “regular” ou “moderar.” Compartilhando a mesma raiz etimológica de tempero, uma substância que é misturada aos alimentos para dar lhes sabor.

Porém só foi a partir dos trabalhos do Boyle (químico irlandês) que a palavra temperatura começou a se tornar mais complexa ¹, abordando conceitos de quente e frio, visto que agora era possível regular a “quantidade de calor” necessária e não se prender a conceitos vagos como “proporção.” ²

¹ Boyle foi contemporâneo da invenção do termômetro e, por isso, foi pioneiro em estudos mais aprofundados dos seus efeitos da temperatura em reações químicas.

² Apesar de temperatura ser erroneamente associado a uma quantidade de calor, usei esse termo pois no século

O significado original de temperatura acabou se perdendo, não sendo mais encontrado nos dicionários (Dicio, 2025b). Portanto temos um caso histórico da língua se adequando para que o conceito vulgar de uma palavra se tornasse igual ao seu significado científico.

Um outro caso que vale a pena mencionar é a origem etimológica da palavra energia que vem do grego *eenergeia* (Origem da Palavra, 2025a) e significa capacidade de realizar trabalho que, por sua vez, está em acordo com a Física.

O entendimento científico que calor é energia veio somente a partir do começo do século XIX com o desenvolvimento da primeira lei da Termodinâmica por Julius von Mayer (médico e físico alemão), Hermann von Helmholtz (médico, físico e matemático alemão), Ludvig Colding (engenheiro dinamarquês) e o James Joule (engenheiro inglês) (Girolami, 2019).

A História da linguagem demonstra que os significados cotidianos e científicos não precisam ser diferentes. Quando se tornam equivalentes, uma das barreiras que dificultam o aprendizado em Física é reduzida. Dando um papel de importância para o ensino em Física na resolução desse conflito linguístico.

2.2 Princípios norteadores do ensino de Física

O primeiro fator que influencia na educação é o fato que os alunos não são tábuas em branco, ou seja, quando eles ingressam na educação formal eles já trazem consigo um conjunto de conhecimentos e definições preconcebidas. O ato da aprendizagem pode gerar uma assimilação do novo conhecimento, seguido de uma acomodação (Moreira, 1999). As novas informações que eles aprendem podem entrar em choque ou ajudar a reforçar as que eles já possuíam, estando elas certas ou não (Steinberg, 1998).

Junto a isso, uma forte tendência entre professores é o de elaborar aulas baseado em seus próprios gostos em vez de partir da dificuldades de seus alunos, podendo comprometer a qualidade do ensino. De toda forma, o ensino de Física deve ser forçado em alguns princípios:

- Conceitos
- Capacidade de raciocínio
- Habilidades de representação.

A aprendizagem da Física deve ser um processo de investigação e não um conjunto de informações, criando alunos com a capacidade de desenvolver e fazer conexões entre o

XVII o conceito de calor como energia térmica em trânsito ainda não tinha se desenvolvido, tal como a Química como uma Ciência.

formalismo matemático e o mundo real (Steinberg *et al.*, 1990). Mas para isso conceitos equivocados devem ser corrigidos.

As expectativas de uma turma mudam de acordo com o modelo de ensino, ela aprende e compreende a Física (Steinberg, 1998). Em todas as instituições que participaram da sua pesquisa (University of Washington, University of Maryland, University of Minnesota, Ohio State University, Dickinson College, um pequeno público das artes liberais da University of Los Angeles, e um público de médio porte das faculdades) foi demonstrado que os alunos de turmas tradicionais frequentemente sentiam que não estavam aprendendo adequadamente, levando a um comportamento de dependência de fontes formais e memorização.

Ela também revelou que muitos alunos sacrificam sua independência intelectual em prol de melhores notas, recorrendo à memorização e às fontes oficiais dos professores para se saírem melhores nas provas em vez de procurarem outras fontes as informações que precisavam.

Esse tipo de pensamento pode levar os estudantes a um ciclo vicioso onde os alunos se tornam mais dependentes intelectualmente, recorrendo a memorização de fórmulas e conceitos para conseguir boas notas, premiar os estudantes com maior capacidade de memorização acaba por deixar pra trás aqueles que buscam outros métodos de aprendizagem.

2.3 Peer Instruction

Crises educacionais são recorrentes ao longo da história (Mcdermott, 1990). Períodos de entusiasmo pelo ensino são seguidos por momentos de desinteresse. Para resolver isso foi desenvolvido novas metodologias de ensino e uma atualização do currículo. Tal ciclo não é aleatório, mas está em conformidade com os principais eventos da História humana como, por exemplo, a revolução americana no ensino de Ciências que ocorreu entre o final dos anos 50 e nos anos 60, motivada pela guerra fria, em especial o lançamento da Sputnik.

Esses eventos também possuem um paralelo no ensino e pesquisa de Matemática. Os alemães passaram a melhorar as suas escolas de Ciências e Matemática e investir mais em suas universidades após as guerras napoleônicas (Roque, 2012).

Antes desse período a educação científica formal nos EUA consistia em leitura, memorização e na realização de alguns experimentos. Depois ocorreu um incremento com a educação não formal como maiores parcerias das escolas e universidades, visitas a museus e documentários (Mcdermott, 1990). Mesmo assim o desenvolvimento da educação formal em Física estava passando por sérias dificuldades.

Na Universidade de Massachusetts (UMass) foi realizado um teste conceitual de mecânica newtoniana: o *Force Concept Inventory* (FCI). Esta é uma prova que possui 29 questões, elaboradas de tal forma que qualquer pessoa tenha uma opinião de como as responder, mesmo que estejam erradas. Ela foi aplicada no começo de um semestre e repetida no final mesmo, medindo então a evolução das turmas.

Em uma amostra de mais de cinco mil alunos, mesmo aqueles capazes de realizar cálculos complexos não apresentaram melhora significativa nas notas. Isso indica que a maioria permaneceu sem compreender os conceitos físicos da mecânica newtoniana, mantendo concepções aristotélicas (Steinberg *et al.*, 1990). Assim, a qualidade do ensino de Física era avaliada mais com base na percepção pessoal dos professores do que em parâmetros fundamentados em evidências científicas.

Entre os dados apresentados na pesquisa, os alunos foram divididos em quatro grupos, de acordo com os seus tipos de docentes:

- Os tradicionais, que davam aulas mais "chatas e secas";
- Os pedagogicamente premiados;
- Os que demonstravam experimentalmente o que faziam;
- Os que lecionavam em turmas pequenas.

Em ambos os casos os alunos tiveram pontuações parecidas e sem evolução, ou seja, a metodologia dos professores não estavam surtindo efeitos, o problema do ensino de Física é mais profundo.

O professor Eric Mazur, da Universidade de Havard, decidiu realizar o mesmo teste em seus alunos, mas apesar das suas expectativas, seus estudantes também não obtiveram uma evolução (Mazur, 2011).

A metodologia Peer Instruction, desenvolvida pelo físico e educador Eric Mazur, propõe uma abordagem interativa para o ensino, incentivando a participação ativa dos alunos e promovendo uma aprendizagem mais eficaz. Essa metodologia é particularmente eficiente no ensino de disciplinas como a Física, onde a compreensão conceitual é essencial para o desenvolvimento do pensamento crítico e da capacidade de resolução de problemas.

2.3.1 Estrutura da Metodologia Peer Instruction

O processo de Peer Instruction é estruturado em etapas bem definidas, garantindo um ciclo contínuo de aprendizado e reflexão (Mazur; Somers, 1999) (Müller, 2017):

1. **Apresentação de um conceito:** O professor introduz um conceito-chave de forma objetiva e concisa, fornecendo exemplos e explorando aplicações práticas para criar um contexto relevante. O ideal é que essa introdução não se estenda por muito tempo, pois o objetivo é promover a participação ativa dos alunos desde o início da aula.
2. **Pergunta conceitual:** Após a explicação inicial, os alunos recebem uma questão de múltipla escolha que testa sua compreensão do conceito. Essa pergunta deve ser formulada de modo a incentivar o pensamento crítico, evitando respostas triviais ou baseadas apenas em memorização. O desafio proposto deve levar os alunos a refletirem sobre diferentes possibilidades antes de escolherem a resposta.
3. **Resposta individual:** Cada aluno responde à pergunta de forma individual, geralmente utilizando um sistema eletrônico de votação ou cartões de resposta. Esse momento é crucial, pois permite avaliar o conhecimento prévio dos alunos sem interferências externas. Os resultados são coletados para que o professor possa analisá-los antes de prosseguir para a próxima etapa.
4. **Discussão entre pares:** Após a coleta das respostas individuais, os alunos são incentivados a discutir suas escolhas com colegas próximos. Durante essa discussão, eles devem justificar seu raciocínio, compartilhar ideias e argumentar em favor de suas respostas. Esse processo promove um aprendizado colaborativo, pois os alunos confrontam diferentes perspectivas e refinam seu entendimento à medida que explicam e ouvem as explicações dos outros.
5. **Nova votação:** Depois da discussão, os alunos respondem novamente à mesma questão. Em muitos casos, a taxa de acertos aumenta significativamente, demonstrando que a interação entre pares contribui para uma melhor compreensão do conceito. Essa segunda votação serve para confirmar se houve progresso na assimilação do conteúdo.
6. **Testar a aplicação do conceito:** Para consolidar o aprendizado, o professor pode apresentar uma nova questão, dessa vez com caráter prático ou quantitativo. Essa etapa é fundamental para garantir que os alunos sejam capazes de aplicar o conceito aprendido em diferentes contextos, promovendo uma compreensão mais profunda e conectando o conhecimento teórico à sua utilização em problemas reais.
7. **Reforçar o aprendizado:** O ciclo de discussão e reaplicação do conceito contribui para a retenção do conhecimento, pois os alunos passam por um processo ativo de raciocínio e reavaliação de suas respostas. Essa abordagem ajuda a evitar o aprendizado superficial e

estimula uma assimilação mais significativa dos conteúdos trabalhados.

8. **Corrigir concepções errôneas:** Muitas vezes, um aluno pode escolher a resposta correta sem compreender plenamente o porquê. A segunda rodada de votação, seguida da explicação do professor, permite que concepções equivocadas sejam identificadas e corrigidas. Essa reavaliação contínua ajuda a evitar que erros persistam e fortalece a construção do conhecimento.
9. **Explicação final:** O professor revisa as respostas, apresenta a explicação correta do conceito e esclarece eventuais dúvidas que ainda restem. Esse momento é essencial para consolidar o aprendizado e garantir que todos os alunos tenham compreendido o tema abordado. Além disso, pode-se reforçar a importância do método, destacando como a participação ativa melhora a aprendizagem.

2.3.2 *O experimento da Beijing Normal University*

Epistemologia são as atitudes, crenças e visões sobre o conhecimento e a aprendizagem (Zhang *et al.*, 2017). Foi verificado que os estudantes de Física de primeiro semestre dos cursos universitários da Beijing Normal University, a consideram como uma disciplina constituída por fatos desconectados e a sua aprendizagem é baseada em memorização mecânica, bem diferente da visão de um professor ou cientista, corroborando com a pesquisa de Edward F. Redish, Jeffery M. Saul e Richard N. Steinberg.

O método Peer Instruction foi introduzido na Beijing Normal University para, não apenas ensinar Física, mas mudar a epistemologia dos estudantes chineses que fizeram parte dessa pesquisa. Para medir o avanço epistemológico dos alunos as suas respostas foram pontuadas em oito categorias:

- A capacidade dos alunos de aplicar conceitos de física (compreensão conceitual aplicada).
- Sua compreensão dos conceitos de física (compreensão conceitual).
- Seu nível de interesse no assunto (interesse pessoal).
- Quão relevante é a física para suas vidas cotidianas (conexão do mundo real).
- Quão difícil os alunos percebem que é entender os conceitos de física (esforço do senso).
- Três categorias de resolução de problemas.

Em todos os pontos houve progressos nas turmas que participaram do experimento, não só isso, mas os testes iniciais demonstraram que os homens possuíam um domínio melhor da Física no início do semestre, mas durante o decorrer houve uma considerável diminuição

na diferença entre ambos os sexos. Demonstrando que o *Peer Instructions* não só possui um potencial para melhorar o ensino de Física, mas também para promover a equidade de gênero.

2.4 Aspectos sociais e psicológicos do ensino de Física

De acordo com a pedagogia de Piaget, durante a adolescência as pessoas passam pelo processo de mudança do raciocínio concreto para o operatório formal, desenvolvendo habilidades como a abstração, dedução e formulação de hipóteses, além de conseguir trabalhar em cima delas (Herron, 1975). Porém alguns estudos sugerem que essa faixa etária não é fixa:

- Lovell testou uma amostra de 39 alunos do ensino fundamental, 10 estudantes universitários e 3 adultos na Inglaterra, e encontrou que apenas 23% a 37% demonstraram pensamento formal.
- Em um estudo realizado por Dale na Austrália, 25% dos alunos de 15 anos conseguiram resolver completamente uma tarefa que mediria o pensamento formal.
- Um estudo na Universidade de Oklahoma revelou que 70% dos calouros estavam no nível operacional concreto de Piaget, e apenas 15% eram totalmente formais em seu pensamento.

No campo social passam a terem relações humanas cada vez mais profundas e íntimas, tornando o seu contexto de grande importância para o ensino. Durante o processo de aprendizagem, os adolescentes não esperam apenas aprender, mas que essas informações façam sentido, tanto a nível individual como social (Songer, 1991). Quando isto não é alcançado, o processo de memorização passa a servir como uma estratégia eficaz para sobreviver no mundo escolar.

O início da aprendizagem começa a partir das percepções sensoriais, onde o aluno sente o mundo ao seu redor, coleta dados, reflete sobre eles e os organiza em ideias que façam sentido para si e para o seu grupo social (Herron, 1975).

O problema de fazer sentido para si não significa estar correto, mas que a informação funcione. Falar “eu estou com calor” comunica corretamente que eu estou com uma sensação térmica elevada, apesar de estar cientificamente errada. Isto é o que chamarei de concepções equivocadas. Por isso, o papel do professor também é o de as corrigir, a fim de facilitar o processo de aprendizagem.

Na realidade brasileira esse comportamento acaba sendo incentivado pela própria dinâmica escolar onde as pescas são realizadas coletivamente, pois a nível individual as informações ensinadas se tornam desconexas da realidade e de outras informações previamente

estudadas. Isto cria um ciclo vicioso onde os estudantes, por não refletirem o que aprenderam, não conseguem integrar o conhecimento e, portanto, não aprendem e recorrem a trapagens coletivas para conseguirem uma boa nota.

O método *Peer Instruction* foi desenvolvido como uma alternativa moderna que visa integrar esses conceitos educacionais, promovendo uma aula que promove a convivência da turma com o assunto lecionado na aula.

2.5 Experiências de Peer Instruction no Brasil e no mundo

2.5.1 Colégio Aplicação, Rio Grande do Sul

O método *Peer Instruction* não é uma novidade no Brasil, já existem professores pesquisadores aplicando a metodologia na rede básica de ensino, como foi o caso no Colégio de Aplicação da UFRGS. A experiência dos alunos foi bastante produtiva com a aplicação do método, pois foi promovido uma aula dinâmica, com forte contato com os colegas e voltado para a resolução de questões de vestibulares públicos e do Enem, favorecendo uma maior confiança dos alunos para a realização dessas provas (Brandão, 2012).

Dentre os aspectos negativos do uso do método estavam a demora para começar a aula, surgida da péssima infraestrutura local, um problema comum nas escolas públicas brasileiras e da dispersão da atenção de alguns alunos, que usaram dos computadores da escola para acessarem outras páginas da internet.

2.5.2 Instituto Federal do Pará, campus Paragominas

Um dos produtos educacionais testados no polo UFC para o Mestrado Nacional Profissionalizante em Ensino de Física (MNPEF) foi desenvolvido pela Dra. Maria Luiza Miguez, que utilizou o método *Peer Instruction* para o ensino de LEDs (Miguez, 2024).

As simulações computacionais se mostraram uma ferramenta eficaz, permitindo otimizar o tempo de aula e proporcionar uma melhor compreensão dos conceitos abordados. Além disso, por serem gratuitas, os estudantes puderam acessá-las fora do ambiente escolar, reforçando o aprendizado.

Na atividade experimental que envolveu a aquisição e análise de dados, o engajamento dos alunos foi menor, especialmente devido à exigência de um relatório. Essa atividade marcou a primeira experiência da turma com circuitos elétricos reais, uma vez que, até então, os

experimentos haviam sido realizados apenas por meio de simuladores. Ainda assim, foi possível notar o envolvimento de parte dos alunos na realização prática.

A aplicação da metodologia Peer Instruction também apresentou bons resultados, com ampla participação dos estudantes, especialmente em questões conceituais. A adaptação ao método ocorreu sem dificuldades, e a interação entre os colegas após a primeira rodada de respostas favoreceu o debate. No entanto, observou-se que alguns estudantes respondiam sem plena convicção, o que prejudicava a etapa de discussão entre pares.

2.5.3 EEM Manoel Senhor de Melo Filho

Outro produto educacional testado no polo UFC para o MNPEF foi desenvolvido pelo me. Renato Lobo de Castro, que utilizou o método Peer Instruction para o ensino de cinemática (Castro, 2019).

A aplicação do produto com o auxílio do método Peer Instruction demonstrou que, na percepção dos alunos, 77% sentiram que a metodologia lhes proporcionava a sensação de estar aprendendo.

Quando questionados sobre a compreensão do conteúdo, 43% afirmaram tê-lo entendido parcialmente, enquanto 53% relataram compreendê-lo totalmente. Além disso, 77% dos estudantes consideraram o método Peer Instruction importante para o aprendizado, enquanto 23% avaliaram que ele não contribuiu significativamente para seu entendimento.

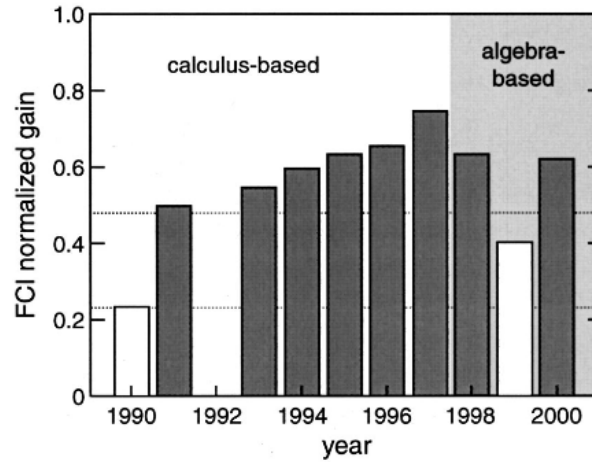
2.6 Vantagens do método Peer Instruction

2.6.1 Exemplo de Havard

Depois de 10 anos de aplicação do método *Peer Instruction* na Universidade de Havard, o prof. dr. Mazur percebeu que houve um desenvolvimento significativo das suas turmas com o uso da sua metodologia de instrução por pares (Mazur; Crouch, 2001). No campo do domínio conceitual foi reportado uma considerável evolução no entendimento conceitual de Física entre os anos de 1991 (quando a instrução por pares foi aplicada pela primeira vez) e 2000, exceto nos anos de 1992 (quando não houve dados para serem avaliados) e em 1999 quando a disciplina de Física usou uma metodologia tradicional.

No teste conceitual do ano de 1997 os resultados também se mostraram com grande qualidade. Na primeira aplicação houve uma aprovação de 46% da turma, já na segunda essa

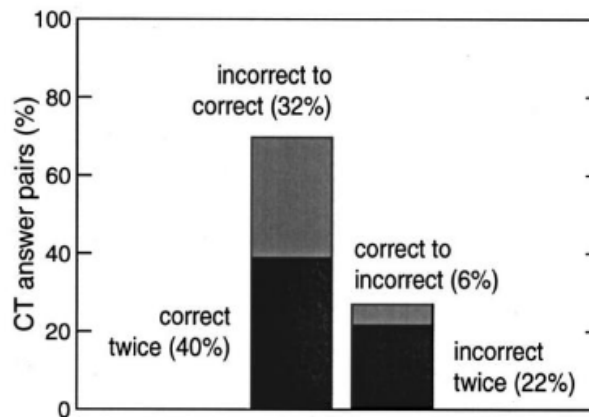
Figura 1 – Inventário do conceito de força média para a disciplina de introdução a Física na Universidade de Havard.



Fonte: (Mazur; Crouch, 2001)

porcentagem aumentou para 72%. Enquanto isso a porcentagem de alunos que não conseguiram passar nas duas aplicações foi de 22%, conforme o gráfico abaixo.

Figura 2 – Resposta dadas a todos os testes conceituais discutidos no outono de 1997, categorizados conforme descrito no texto.



Fonte: (Mazur; Crouch, 2001)

Outro fator importante a se considerar é 40% dos alunos responderam incorretamente no primeiro teste, mas corretamente no segundo teste. Isso demonstra que o método PI tem um forte potencial para aprimorar o potencial e fazer os alunos reverem suas concepções preestabelecidas.

2.6.2 Exemplos de produtos educacionais MNPEF e no Brasil

O método *Peer Instruction* ainda é pouco conhecido no Brasil, mas aos poucos ele tem ganhado notoriedade entre os professores. Ainda existem poucos trabalhos estudando a sua eficácia em nossa sociedade comparado a outras metodologias, mas os que já foram (Castro, 2019) (Miguez, 2024) demonstraram que, apesar de resultados modestos, ele também tem a sua eficácia nas escolas brasileiras.

Pelo o que se observou quando o dr. Mazur lançou o método *Peer Instruction* em 1991 foi uma ótima evolução das turmas, que seguiu até 1997, quando as aulas baseadas em cálculo foram trocadas pelas de álgebra e a evolução ficou estagnada.

Obviamente o público de alunos que frequentam uma escola são diferentes daqueles que frequentam uma universidade, principalmente por que os primeiros ainda estão em desenvolvimento e se descobrindo (tanto em habilidades como em sonhos para o futuro) (Herron, 1975). Apesar de resultados modestos, o Brasil tem se mostrado um terreno fértil para que a aplicação do *Peer Instruction* melhore os nossos resultados no ensino e aprendizado em Física.

2.7 ChatGPT

O ChatGPT é um chatbot baseado em IA, um programa de computador desenvolvido pela OpenAI com o objetivo de simular conversas humanas. Ele utiliza a arquitetura GPT (Generative Pre-trained Transformer), um modelo de linguagem pré-treinado baseado na arquitetura transformer³, desenvolvido a partir de grandes volumes de textos disponíveis publicamente na internet, com a finalidade de gerar respostas em linguagem natural de forma coerente e contextualizada (Kalyan, 2024).

O ChatGPT pode responder perguntas, fornecer informações ou executar tarefas específicas com base nas entradas dos usuários. Chatbots são frequentemente usados em serviços de atendimento ao cliente, assistentes virtuais e plataformas de mensagens para automatizar e agilizar a comunicação.

Entre os seus princípios estabelecidos na Leis de Diretrizes e Base da educação nacional (LDB) está a educação digital (Brasil, 2023), dando a possibilidade de tratar o ChatPGP não como uma mera ferramenta, mas como uma possibilidade de preparar os alunos

³ O modelo *transformer* é uma evolução dos métodos tradicionais de aprendizagem profunda. Sua arquitetura utiliza mecanismos de autoatenção, permitindo o processamento de sequências de entrada sem a necessidade de camadas recorrentes ou convolucionais.

para enfrentar um mundo cada vez mais estranho, dominado por tecnologias que até poucos anos eram consideradas ficção.

Por ser uma tecnologia recente, o ChatGPT apresenta desafios, especialmente no que diz respeito à sua adaptação para o ambiente escolar. O ChatGPT pode apresentar problemas como qualidade de resposta, risco de preconceito e discriminação. Também apresentou um desempenho variado em diferentes disciplinas, sendo excelente em Economia, satisfatório em Programação e insatisfatório em Matemática. Entre os pontos positivos do ChatGPT está a geração de novas ideias para avaliações, pesquisas e análises de redações (Limna *et al.*, 2023).

Uma boa vantagem para o uso do ChatGPT e outros chatbolts do tipo é a possibilidade de poder estudar qualquer assunto com a metodologia de instrução por pares (Heidth, 2025).

Ele é uma ferramenta que cumpre bem os pré-requisitos para tarefa:

- Consegue escrever textos “coerentes” sobre qualquer assunto, permitindo uma leitura fluida.
- Tem acesso a uma vasta gama de conhecimentos.
- Está sujeito ao erro, o que força o estudante a questionar a resposta que lhe foi dada.
- Sabe reconhecer que está errado mediante um bom argumento ou corrigir um argumento errado escrito pelo estudante.
- É uma tecnologia de fácil acesso e disponível 24 h.

Essas características são desejadas em um colega que também frequenta uma aula com metodologia de instrução por pares, fazendo com que o ChatGPT seja uma ferramenta que vá além de um mero consultor de conhecimento, mas uma boa estratégia de aprendizado real.

2.8 Gamificação

Existe uma resistência natural dos alunos aos métodos de ensino baseado em evidências (Felder; Brent, 1996), por isso é necessário que haja uma estratégia para que a mudança de metodologia seja vista como positiva pelos alunos (Rosploch *et al.*, 2015) (Araujo, 2017). Uma estratégia pedagógica que vem entregando resultados e se mostrando promissora é a gamificação.

É uma metodologia que visa a utilização de elementos e técnicas identificados e demasiadamente utilizados nos jogos no intuito de prover um cenário desafiador, obedecendo aos seguintes objetivos:

1. Aprimorar determinadas habilidades;
2. Propor desafios que dão propósito/contexto à aprendizagem;
3. Engajar os alunos em atividades mais participativas, interativas e interessantes;
4. Maximizar o aprendizado de um determinado conteúdo;
5. Promover a mudança de comportamento premiando ações adequadas e penalizando as inadequadas;
6. Oferecer mecanismos de socialização e aprendizagem em grupo; e, finalmente;
7. Discutir os benefícios da gamificação na motivação dos alunos para propor soluções aos diversos problemas de aprendizagem (Sales *et al.*, 2017)."

Ela tem se demonstrado bastante promissora em turmas brasileiras, onde já foi demonstrado o seu potencial de aprendizado em turmas com uma grande eficácia (Silva *et al.*, 2019). Como a gamificação e o PI possuem características em comum, como os desafios que dão contexto à aprendizagem e, em especial, uma educação baseada na socialização, estas duas metodologias possuem um potencial de união onde, unidas, podem fortalecer seus pontos positivos e melhorando substancialmente a qualidade do ensino e aprendizagem em Física.

2.9 Conclusão

O ensino de Física enfrenta desafios históricos e pedagógicos que comprometem a aprendizagem significativa dos estudantes. A persistência de concepções equivocadas, a dependência de metodologias tradicionais baseadas na memorização e a falta de conexão entre os conceitos científicos e o cotidiano dos alunos são fatores que dificultam a assimilação do conhecimento.

Diante desse cenário, a metodologia PI surge como uma alternativa eficaz, promovendo um aprendizado ativo e colaborativo, no qual os alunos são incentivados a discutir e refletir sobre os conceitos físicos. Evidências de sua aplicação em diferentes contextos educacionais, tanto no Brasil quanto no exterior, mostram que esse método contribui para uma melhor compreensão conceitual e um desenvolvimento mais aprofundado do raciocínio científico.

A integração de tecnologias baseadas em IA, como o ChatGPT, ao PI representa uma inovação promissora para o ensino de Física. Ao atuar como um parceiro de discussão disponível a qualquer momento, a IA pode auxiliar no esclarecimento de dúvidas e no estímulo ao pensamento crítico dos alunos. No entanto, é essencial que seu uso seja feito de forma crítica

e mediada pelos professores, a fim de evitar dependência excessiva e garantir a qualidade do aprendizado.

A combinação entre PI, IA e estratégias de gamificação se mostra um caminho viável para tornar o ensino de Física mais dinâmico, acessível e alinhado às necessidades dos estudantes. A literatura revisada reforça que metodologias ativas e tecnologias educacionais podem contribuir significativamente para superar as dificuldades de aprendizagem, promovendo uma educação científica mais eficiente e significativa.

3 CONCEITOS TERMODINÂMICOS

3.1 O que é calor?

Calor é definido como **energia em trânsito**, ou seja, energia que está sendo transferida de um corpo para outro devido à diferença de temperatura entre eles. Essa transferência ocorre naturalmente do corpo mais quente para o mais frio. No entanto, é possível inverter esse fluxo — como no caso de um freezer retirando calor de um alimento — desde que haja uma fonte externa de energia (como eletricidade), mas nunca de forma espontânea.

É importante destacar que calor não é algo que um corpo possui, como se fosse um combustível armazenado. Um objeto pode ter energia interna, mas não quantidade de calor ¹. O calor só faz sentido enquanto está sendo transferido.

Além disso, a temperatura de um corpo pode aumentar tanto pela adição de calor (como se aquecer perto de uma lareira) quanto pela realização de trabalho (como esfregar as mãos). Em ambos os casos, o resultado é o mesmo: aumento da temperatura. Fisicamente, não há diferença entre aquecer um corpo com calor ou com trabalho.

3.2 A lei zero da Termodinâmica

Quando colocamos dois corpos com temperaturas diferentes em contato térmico, o calor sempre flui do mais quente para o mais frio. Com o tempo, ambos atingem o equilíbrio térmico, ou seja, suas temperaturas se igualam e não há mais troca líquida de calor entre eles. Esse processo é chamado de termalização e é irreversível: o sistema tende naturalmente ao equilíbrio.

A lei zero da termodinâmica afirma que, **se dois sistemas estão em equilíbrio térmico com um terceiro, então estão em equilíbrio térmico entre si**. Essa lei, apesar de simples, é fundamental porque justifica a forma como medimos temperatura usando termômetros: se dois corpos atingem o mesmo equilíbrio com um termômetro, estão à mesma temperatura.

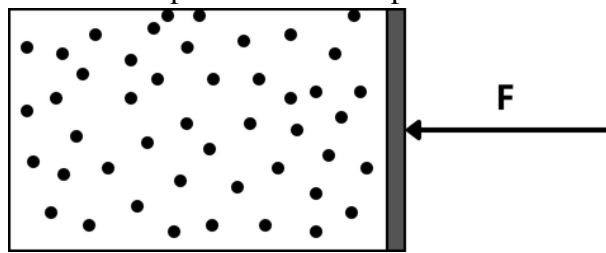
¹ O termo quantidade de calor é uma herança da teoria calórica, pois ela dizia que o calor era um fluido e não um tipo de energia, portanto fazia sentido acreditar numa quantidade de calor dentro de um corpo.

3.3 A natureza microscópica da temperatura

3.3.1 O trabalho de um gás monoatômico ideal

Imaginemos um gás monoatômico ideal, contido em um recipiente hermético e vedado por um êmbolo capaz de se deslocar no eixo-x. Cada átomo deste gás colide com a superfície interna do êmbolo, lhe dando um pequeno momento linear afim de que este aumente o seu volume V.

Figura 3 – Gás monoatômico ideal preso em um recipiente hermético com êmbolo.



Fonte: Elaborado pelo autor

Para impedir isso, é necessário realizar uma força F sobre o êmbolo, cuja pressão é determinado por:

$$P = \frac{F}{A} \quad (3.1)$$

Sabendo que o trabalho infinitesimal do êmbolo é descrito como $dW = F \cdot (-dx)$, logo (3.1) pode ser escrita como ²:

$$\frac{dW}{dx} = -PA \quad (3.2)$$

$$dW = -PA dx \quad (3.3)$$

Por geometria, sabemos que o produto entre a área A de um objeto regular com a sua altura é igual ao seu volume. No caso, podemos dizer que o volume infinitesimal de expansão do gás é $A \cdot dx$, aplicando isso em (3.3):

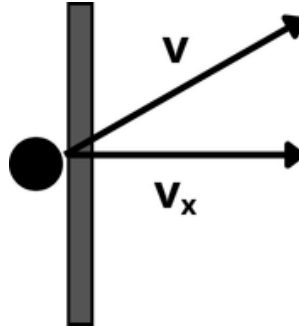
$$dW = -PdV \quad (3.4)$$

² como o êmbolo está sendo pressionado para a esquerda, logo o seu movimento infinitesimal é descrito como -dx.

3.3.2 O momento linear no êmbolo

Existem muitos átomos dentro do recipiente e alguns deles devem atingir o êmbolo, muitos o farão com diferentes velocidades. Mas imagine um átomo que acerta o êmbolo com uma velocidade v , este o empurrará na direção do eixo-x com uma velocidade v_x .

Figura 4 – Molécula empurrando o êmbolo para a direita.



Fonte: Elaborado pelo autor

A colisão atômica ocorre de forma elástica, ou seja, bate e volta com velocidade v_x , mas inicialmente ia para a direita (v_x) e retornou para a esquerda ($-v_x$). Portanto, a variação de momento linear de um único átomo é de:

$$\Delta p_{\text{atomo}} = p - p_0 \quad (3.5)$$

$$\Delta p_{\text{atomo}} = -mv_x - mv_x \quad (3.6)$$

$$\Delta p_{\text{atomo}} = -2mv_x \quad (3.7)$$

De acordo com a lei da conservação do momento linear, podemos achar a variação de momento linear do êmbolo:

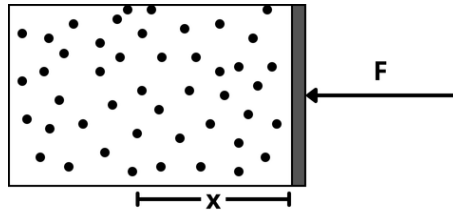
$$\Delta p_{\text{atomo}} + \Delta p_{\text{embolo}} = 0 \quad (3.8)$$

$$\Delta p_{\text{embolo}} = 2mv_x \quad (3.9)$$

3.3.3 A pressão do gás no êmbolo

Em um intervalo de tempo t , o êmbolo será atingido pelos átomos localizados a uma distância x dele.

Figura 5 – Moléculas a uma distância x capazes de acertar o êmbolo em um intervalo de tempo t .



Fonte: Elaborado pelo autor

Pela equação do movimento retilíneo uniforme, podemos reescrever essa distância x como:

$$x = v_x t \quad (3.10)$$

Sabendo que o êmbolo possui uma área A , podemos achar o volume com capacidade de acertar o êmbolo pelo produto de sua área com a distância x :

$$V = v_x t \cdot A \quad (3.11)$$

O número total de átomos que existem dentro do volume com capacidade de acertar o êmbolo é N . Logo, o número de átomos por volume (n) capaz de o acertar pode ser descrito como:

$$N = n \cdot V \quad (3.12)$$

Aplicando (3.11) em (3.12), temos que:

$$N = n v_x t A \quad (3.13)$$

Dividindo ambos os termos por t , temos a frequência de impactos no êmbolo:

$$\frac{N}{t} = nv_x A \quad (3.14)$$

Sendo a força um somatório de momentos lineares, podemos concluir que a força total que o gás faz sobre o êmbolo é definido pelo produto de (3.14) com (3.9).

$$F = 2mv_x \cdot nv_x A \quad (3.15)$$

$$F = 2nmv_x^2 A \quad (3.16)$$

Aplicando o resultado de (3.16) em (3.1), podemos definir a pressão P do gás como:

$$P = 2nmv_x^2 \quad (3.17)$$

Porém, pela própria natureza do gás, apenas metade acertará o êmbolo, enquanto a outra metade ficará com uma parede rígida ³. Também é necessário lembrar que os átomos dentro do recipiente possuem velocidades diferentes, mas elas possuem uma velocidade média que será representada pelos símbolos $\langle \rangle$. Portanto, (3.17) precisa ser reescrita para:

$$P = nm \langle v_x^2 \rangle \quad (3.18)$$

A equação (3.18), apesar de correta, tem o inconveniente de ser dependente da direção x. Para resolver isso, podemos recorrer ao fato que todas as outras direções também são iguais.

$$\langle v_x^2 \rangle = \langle v_y^2 \rangle = \langle v_z^2 \rangle \quad (3.19)$$

Disso, conclui-se que:

$$\langle v_x^2 \rangle = \frac{1}{3} \langle v_x^2 + v_y^2 + v_z^2 \rangle \quad (3.20)$$

³ Caso contrário o gás não iria exercer pressão em todos os pontos do recipiente.

$$\langle v_x^2 \rangle = \frac{\langle v^2 \rangle}{3} \quad (3.21)$$

Aplicando (3.21) em (3.18), temos que:

$$P = nm \frac{\langle v^2 \rangle}{3} \quad (3.22)$$

Multiplicando o segundo termo de (3.22) por $\frac{2}{2}$ e reorganizando os termos, temos que:

$$P = \frac{2}{3} n \langle mv^2/2 \rangle \quad (3.23)$$

O termo $mv^2/2$ é a energia cinética. A variável n é o número de átomos (N) por volume (V) (3.12). Logo a equação (3.23) pode ser aberta para:

$$p = \frac{2}{3} \frac{N}{V} \langle E_c \rangle \quad (3.24)$$

$$PV = \frac{2}{3} N \langle E_c \rangle \quad (3.25)$$

3.3.4 A natureza da temperatura em um gás monoatômico

Experimentalmente sabemos que a relação $PV = Nk_B T$ é real. Ao aplicar essa lei com a equação (3.25), temos que:

$$Nk_B T = \frac{2}{3} N \langle E_c \rangle \quad (3.26)$$

$$T = \frac{2}{3k_B} \langle E_c \rangle \quad (3.27)$$

Portanto, a expressão (3.27) demonstra que a temperatura de um gás monoatômico é uma medida macroscópica da energia cinética média das partículas de um sistema e não uma medida da quantidade de calor, como muitos pensam.

3.4 A primeira lei da Termodinâmica

Após o calor começar a ser entendido como energia, foi formulado por Julius Robert Mayer e Hermann von Helmholtz a primeira lei da Termodinâmica, que diz que a energia é conservada e calor e trabalho são ambas formas de energia.

A energia interna U de um sistema é a soma da energia de todos os seus graus de liberdade e é uma função de estado, ou seja, depende apenas do estado do sistema. Já o calor Q e o trabalho W não são funções de estado, pois dependem do modo como a energia é transferida. Após a transferência, não é possível saber, apenas observando o sistema, quanto foi transferido como calor ou como trabalho.

A relação entre essas grandezas é expressa pela primeira lei da Termodinâmica:

$$\Delta U = \Delta Q + \Delta W \quad (3.28)$$

A adaptando para a sua forma diferencial:

$$dU = dQ + dW \quad (3.29)$$

Aplicando (3.4) em (3.29):

$$dU = dQ - pdV \quad (3.30)$$

$$dQ = dU + pdV \quad (3.31)$$

3.4.1 Capacidade de calor a volume constante

A energia interna de um gás é descrita em função da sua temperatura e pressão ($U = U(T, V)$). Uma pequena mudança de T e V causa a seguinte mudança em U :

$$dU = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V dT + \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T dV \quad (3.32)$$

Aplicando (3.31) em (3.32):

$$dQ = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V dT + \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T dV + p dV \quad (3.33)$$

$$dQ = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V dT + \left[\left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T + p \right] dV \quad (3.34)$$

Derivando ambos os lados da equação por dT :

$$\frac{dQ}{dT} = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V + \left[\left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T + p \right] \frac{dV}{dT} \quad (3.35)$$

Por definição, sabemos que a capacidade de calor a volume constante (C_V) de um corpo é definido por:

$$C_V = \left(\frac{\partial Q}{\partial T} \right)_V \quad (3.36)$$

Como a capacidade de calor a volume constante tem como característica o o volume constante. Sob essa condição e aplicando 3.36 a equação (3.35) pode ser reduzida para:

$$\frac{dQ}{dT} = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V + \left[\left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T + p \right] \frac{dV}{dT} \quad (3.37)$$

$$C_V = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V \quad (3.38)$$

3.4.2 Capacidade de calor a pressão constante

A capacidade de calor a pressão constante é definida por:

$$C_P = \left(\frac{\partial Q}{\partial T} \right)_P \quad (3.39)$$

Aplicando (3.39) e (3.36) em (3.35), temos que:

$$C_P = C_V + \left[\left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T + p \right] \frac{dV}{dT} \quad (3.40)$$

$$C_P - C_V = \left[\left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T + p \right] \frac{dV}{dT} \quad (3.41)$$

3.4.3 A natureza do calor para além da energia em trânsito

A definição de calor como “energia em trânsito” entre sistemas a diferentes temperaturas é central na Termodinâmica clássica. No entanto, essa conceituação, embora operacionalmente eficaz, não esgota a complexidade do fenómeno.

Como já foi demonstrado anteriormente, a palavra calor tem origem no latim, significando quentura. Porém, com o avanço da Física e mostrado nos tópicos anteriores, foi sendo descoberto que este fenómeno não depende apenas da temperatura, mas também de outros parâmetros (volume e pressão).

É por este motivo que o significado popular de calor, que mantém a sua herança latina, contém uma concepção equivocada que distoia do significado científico.

3.5 A segunda lei da Termodinâmica

A Segunda Lei da Termodinâmica, baseada no enunciado de Clausius ⁴, estabelece que processos naturais têm uma direção preferencial: o calor flui espontaneamente de um corpo quente para um corpo frio, nunca o contrário.

Um enunciado equivalente da segunda lei da termodinâmica diz respeito à facilidade de transformar energia entre diferentes formas, especialmente entre trabalho e calor. Enquanto é simples converter trabalho em calor, o inverso é muito mais difícil — e a conversão total de calor em trabalho é, na verdade, impossível. Essa limitação é expressa no enunciado de Kelvin: nenhum processo pode ter como único resultado a conversão completa de calor em trabalho.

3.6 Entropia e mudança de fase

Entropia, em um processo onde a troca de calor ocorre em um processo reversível, é definida pela equação:

$$dS = \frac{dQ_{rev}}{T} \quad (3.42)$$

Onde S é entropia, Q_{rev} é a quantidade de calor trocada em um processo reversível e T é a temperatura do sistema. Isso implica que a variação de entropia entre dois estados A e B pode ser expressa como:

⁴ Nenhum processo é possível cujo único resultado seja a transferência de calor de um corpo mais frio para um corpo mais quente.

$$S(B) - S(A) = \Delta S = \int_A^B \frac{dQ_{rev}}{T} \quad (3.43)$$

Essa integral é independente do caminho, desde que o processo seja reversível, o que implica que a entropia é uma função de estado. Em uma situação de temperatura crítica (T_c), onde esta permanece constante, como é percebido experimentalmente, a equação (3.43) é reescrita para:

$$\Delta S = \frac{1}{T_c} \int_A^B dQ_{rev} \quad (3.44)$$

$$\Delta S = \frac{1}{T_c} [(Q_{rev}(A) - Q_{rev}(B))] \quad (3.45)$$

$$\Delta S = \frac{\Delta Q_{rev}}{T_c} \quad (3.46)$$

$$\Delta Q_{rev} = T_c \cdot \Delta S \quad (3.47)$$

Quando duas fases de uma substância estão em equilíbrio a uma temperatura crítica T_c , é comum que seja necessário fornecer calor latente L para que ocorra a mudança de fase, mesmo sem variação de temperatura. Esse calor latente está associado à diferença de entropia entre as fases:

$$L = \Delta Q_{rev} = T_c(S_2 - S_1) \quad (3.48)$$

Essa descontinuidade na entropia implica que, na transição de fase, há um pico na capacidade térmica do sistema — um comportamento característico observado em experimentos. Quando isto acontece, qualquer corpo que está recebendo calor passa a mudar de estado físico sem ter a sua temperatura alterada.

3.7 O que é a sensação térmica?

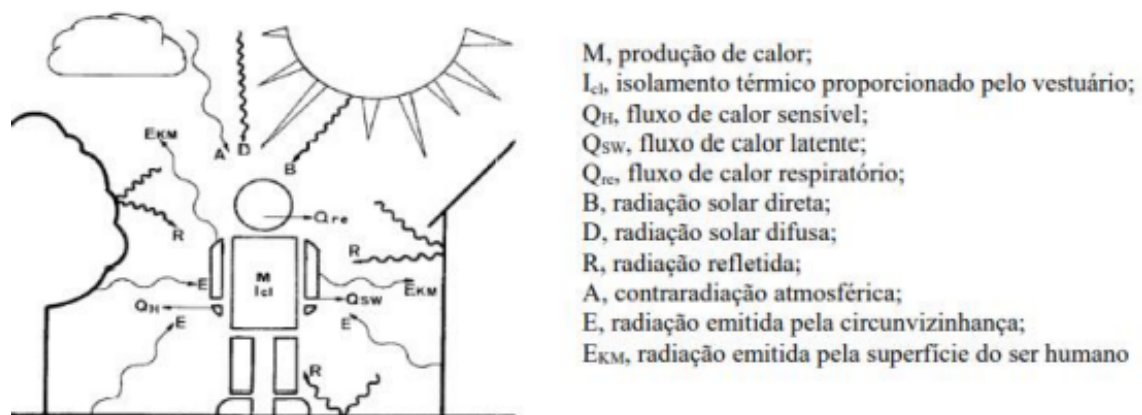
3.7.1 Origem dos estudos de sensação térmica

O ser humano é um organismo endotérmico e homeotérmico, características que indicam sua capacidade de produzir energia metabólica e, simultaneamente, a necessidade de dissipá-la para manter a temperatura corporal constante em aproximadamente 37°C, independentemente das variações térmicas do ambiente (Frota; Schiffer, 2001).

A regulação térmica é coordenada na base central do cérebro, especificamente no hipotálamo, utilizando informações fornecidas pelos termorreceptores localizados na superfície da pele, nos músculos e na medula espinhal (Parsons, 2006).

De modo geral, a temperatura corporal difere da temperatura do meio, resultando em fluxos de calor entre o organismo e o ambiente, ou seja, o ser humano realiza trocas térmicas com o meio.

Figura 6 – Fluxos de calor entre o corpo e o meio.



Fonte: (Jendritzky, 1991)

A dissipação do calor ocorre predominantemente por meio da pele e da respiração. Conforme Andrade (2003), em condições de calor associado a elevada umidade, as perdas respiratórias de calor têm importância reduzida. As transferências de calor entre o corpo e o meio podem ocorrer de duas formas: por trocas secas, realizadas via condução, convecção e radiação — denominadas calor sensível — ou por trocas úmidas, que envolvem mudança de fase da água, especialmente pela evaporação do suor, processo no qual o calor liberado é denominado calor latente de vaporização (Lamberts *et al.*, 2011).

Em situações em que a temperatura ambiental é suficientemente elevada a ponto de

reduzir a eficiência das perdas térmicas necessárias à manutenção da homeotermia, o sistema nervoso central ativa respostas compensatórias, como o aumento da atividade cardíaca, resultando em maior bombeamento de sangue. Esse processo promove a vasodilatação dos capilares periféricos, aumentando a transferência de calor do núcleo corporal para a superfície da pele. Como consequência, observa-se a elevação da temperatura cutânea e o incremento das trocas de calor entre o organismo e o meio (Givoni, 1976).

3.7.2 *O Heat Index*

O termo sensação térmica foi introduzido por (Steadman, 1979) com o objetivo de quantificar os efeitos combinados do vento e da baixa temperatura na percepção humana do frio. No mesmo estudo, Steadman também propôs o conceito de sensação abafada, destinado a avaliar a percepção do desconforto térmico em ambientes de alta temperatura e elevada umidade relativa do ar. No entanto, o termo sensação térmica acabou se consolidando tanto no meio acadêmico quanto na sociedade em geral, sendo utilizado de forma abrangente para descrever a influência de diferentes fatores ambientais na percepção subjetiva da temperatura.

Steadman desenvolveu uma tabela (Anexo A) para calcular a sensação térmica, levando em consideração fatores como vento e temperatura ambiente. Posteriormente, (Roth-Fusz, 1990) aprimorou essa metodologia ao descrever as tabelas de Steadman por meio da equação polinomial abaixo, permitindo uma representação matemática mais precisa e simplificada dos dados originalmente apresentados por Steadman. Sendo HI o índice de sensação térmica (*Heat Index*), T a temperatura do ambiente e R a resistência térmica da pele.

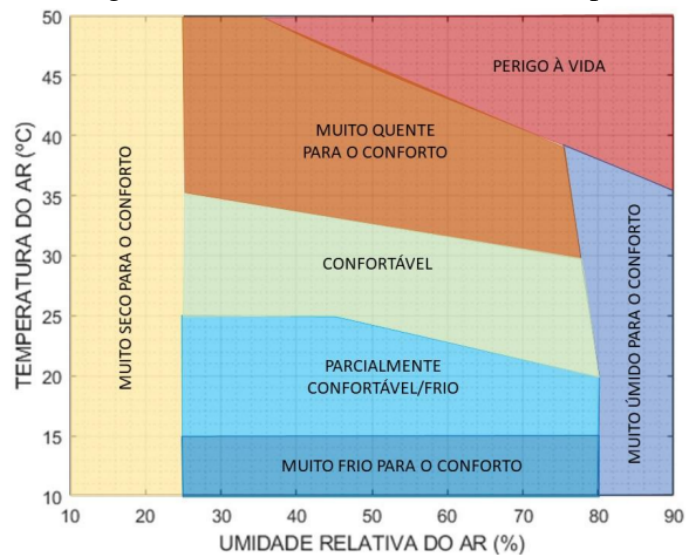
$$HI = -42,379 + 2,04901523T + 10,14333127T - 0,22475541T \cdot R - 6,83783 \cdot 10^{-3} \cdot T^2 - 5,481717 \cdot 10^{-2} \cdot R^2 + 1,22874 \cdot 10^{-3} \cdot T^2 \cdot R + 8,5282 \cdot 10^{-4} T R^2 - 1,99 \cdot 10^{-6} T^2 R^2$$

3.7.3 *Sensação térmica nos Inhamuns*

Inhamuns é o nome de uma microrregião do estado do Ceará, atualmente ela compreende os municípios de Aiuaba, Arneiroz, Parambu, Quiterianópolis e Tauá (o maior deles). Porém, tradicionalmente e ainda assim chamada pelos seus habitantes, a região também englobava os municípios que hoje formam os sertões de Crateús (Ararendá, Catunda, Crateús, Hidrolândia, Independência, Ipaporanga, Ipueiras, Monsenhor Tabosa, Nova Russas, Novo Oriente, Poranga, Santa Quitéria e Tamboril).

De acordo com (Gomes, 2024), o semiárido cearense também é submetido aos mesmos processos relacionados à sensação térmica observados em outras regiões. Em seu estudo, foi elaborada uma nova tabela, construída a partir de dados coletados nos municípios de Crateús, Tauá e Campos Sales, com o objetivo de identificar as condições térmicas ideais para a qualidade de vida da população local. Considerando que o município de Independência faz limite com Crateús e Tauá, os resultados obtidos no estudo são pertinentes para caracterizar também o ambiente térmico da cidade de Independência, permitindo inferir que a EEEP Maria Altair Américo Sabóia está igualmente sujeita aos mesmos processos de sensação térmica.

Figura 7 – DICTHUS - Diagrama de Conforto Térmico Humano para o Semiárido.



Fonte: Gomes (2024).

3.7.4 *Por que objetos podem parecer mais frios ou quentes quando estão em temperatura ambiente?*

Os organismos humanos produzem calor por meio de diversos processos fisiológicos, incluindo reações químicas celulares, atividade muscular, secreção hormonal, entre outros (Redação Sanar, 2021). Dessa forma, estabelece-se uma interação biofísica contínua entre o organismo e o ambiente externo.

Todos os materiais apresentam uma propriedade física denominada condutividade térmica, que quantifica a capacidade de um corpo em conduzir energia térmica. Materiais com elevada condutividade térmica, como os metais, promovem a transferência rápida de energia térmica do organismo para o ambiente, resultando em redução local da temperatura cutânea e consequente percepção de frio. Em contraste, materiais com baixa condutividade térmica, como

a madeira, dificultam essa transferência, contribuindo para a manutenção da energia térmica próxima ao corpo e a sensação de conforto térmico (Deziel, 2018).

3.8 Por que é possível esquentar algo sem aumentar a sua temperatura?

Quando se aplica calor a uma substância, normalmente espera-se que a temperatura aumente. No entanto, em algumas situações, como durante uma transição de fase, o calor fornecido não resulta em um aumento de temperatura. Isso ocorre devido ao comportamento das grandezas termodinâmicas, como a energia de Gibbs, entalpia e calor latente, que desempenham um papel fundamental nessas mudanças (Gros, 2025).

4 METODOLOGIA E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

4.1 Avaliação Introdutória de Conceitos Térmicos

Muitos alunos concluem o ensino médio carregando conceitos equivocados sobre diversos fenômenos físicos, especialmente em áreas como a termologia. Isso ocorre, em parte, porque os estudantes chegam à escola trazendo uma variedade de ideias prévias sobre o mundo natural, muitas das quais não correspondem ao conhecimento científico e estabelecido. Essas concepções alternativas, quando não são devidamente confrontadas e discutidas em sala de aula, acabam se consolidando. Apesar da importância da termologia para a compreensão de processos cotidianos, ainda são escassos os trabalhos que buscam, de forma sistemática, consolidar o ensino dessa área, o que evidencia a necessidade de mais pesquisas e propostas didáticas voltadas ao tema (Instituto de Física da UFRJ, 2008).

Inspirados pelo FCI, Yeo e Zadnik (2001) fizeram um estudo mapeando os principais conceitos equivocados apresentados por estudantes no assunto de calor, constatando que "os alunos usam concepções diferentes para explicar problemas semelhantes (Yeo; Zadnik, 2001, p. 497)." Com base nos dados da pesquisa, foi desenvolvido o ITCE, na qual foram retirados 12 questões para formar o teste conceitual aplicado neste produto educacional (em anexo).

4.2 Treinamento sobre os limites e uso da Inteligência Artificial

A segunda aula teve como foco o treinamento no uso do ChatGPT, proporcionando aos alunos uma compreensão mais aprofundada sobre as potencialidades e limitações da ferramenta. Apesar de já utilizarem chatbots em seu cotidiano, observou-se que seu uso geralmente ocorre de maneira limitada. Durante essa aula, os alunos foram desafiados a resolverem a seguinte charada com o auxílio da inteligência artificial, de modo a explorar suas funcionalidades de maneira mais eficaz.

Como, eu nasci. Não sei se, assim como o outro Alexandre, com poucas ou muitas voltas, o mundo conquistei. Dez mil não são muitas notas, não pagam todos os títulos de conde, porque, com prata e zinco aos montes, ainda que não seja eu a fonte, de volta em volta, a energia do mundo armazenei. Responda:

Onde nasci?

Quem sou?

O quê eu inventei?

Em seguida, os alunos foram orientados a analisar as respostas do ChatGPT e a compartilhar suas conclusões com a turma. As contribuições foram registradas no quadro, onde também foi contabilizada a frequência com que cada resposta apareceu entre os estudantes.

A resposta parece óbvia, é o Alexandre. Mas qual? Existem alguns Alexandres famosos que podem se encaixar na charada e ao perguntar ao ChatGPT as seguintes respostas aparecem: Alexandre o Grande, Alexandre Volta, Alexandre Graham Bell, Alexandre Dumas e alguns outros.

Tabela 2 – Frequência de respostas do ChatGPT encontradas em uma turma para uma mesma pergunta.

Resposta dada pelo ChatGPT	Porcentagem da turma que a encontrou
Alexandre, o Grande	30%
A. Volta	45%
A. Graham Bell	12,5%
Outros	12,5%

Fonte: Elaborado pelo autor

Com a presença crescente das IAs no cotidiano, esta aula objetivou promover a educação digital. A proposta é que os alunos explorem as capacidades do ChatGPT, compreendendo tanto suas limitações quanto suas potencialidades. Para usar a IA de maneira adequada, é essencial desenvolver um senso crítico e a habilidade de questionar, evitando tratá-la como uma fonte infalível de conhecimento.

4.3 Aula conceitual sobre calor e temperatura

A terceira aula teve como objetivo introduzir os conceitos fundamentais da termodinâmica, como calor e temperatura, além de abordar e corrigir concepções equivocadas frequentemente presentes no imaginário dos alunos. Para essa abordagem, utilizou-se a metodologia Peer Instruction, implementada por meio da plataforma Kahoot. A escolha dessa

ferramenta se deu devido às seguintes vantagens:

- É de acesso gratuito e permite a participação dos alunos sem a necessidade de criação de conta, bastando inserir o código da atividade;
- Possui uma interface lúdica e interativa, tornando a experiência mais dinâmica e atrativa para os estudantes;
- Já é utilizada por outros docentes da EEEP Maria Altair Américo Sabóia, sendo, portanto, uma plataforma familiar e amplamente aceita pelos alunos;
- Permite uma gamificação da aula.

Apesar das vantagens, é importante que o docente esteja ciente de algumas limitações da ferramenta:

- Embora a plataforma seja gratuita, algumas funcionalidades estão restritas a versões pagas;
- Dependendo do comportamento da turma, alguns alunos podem inserir nomes inapropriados durante a atividade, exigindo que o professor gerencie e, se necessário, remova jogadores inadequados;
- Em casos de instabilidade na conexão, um aluno pode ser desconectado e perder sua pontuação, o que deve ser considerado ao atribuir avaliações ou bonificações;
- A plataforma gera estatísticas de todos os participantes, incluindo os removidos, o que pode demandar um tratamento adicional dos dados por parte do professor após a aula.

Esta aula foi dividida em seis etapas, onde cada uma é composta por duas perguntas realizadas de duas a três vezes. A primeira pergunta, nomeada de introdutória, é realizada após uma breve explicação do conteúdo. Após os alunos responderem, é observada a porcentagem de acertos da turma, cujo valor indicará qual deve ser a próxima ação do professor, de acordo com a tabela abaixo.

Tabela 3 – Relações de ações que o professor pode tomar por rendimento da turma, adaptado para a gamificação do Kahoot.

Porcentagem da turma que acertou a pergunta introdutória.	Ação que o professor deve tomar.
>70%	A turma compreendeu bem o conceito apresentado.
$30\% > x > 70\%$	A turma compreendeu o conceito de forma mediana e deve debater entre si com o ChatGPT sobre o assunto.
< 30%	A turma não compreendeu o conceito e o professor deve o explicar novamente.

Fonte: Elaborado pelo autor

Caso a turma necessitasse recorrer ao debate e à pesquisa utilizando o ChatGPT, as respostas fornecidas foram registradas em uma lista de atividades composta pelas perguntas introdutórias. Esse procedimento teve como objetivo assegurar a efetiva participação dos alunos no processo de aprendizagem, prevenindo possíveis tentativas de fraude ou respostas não fundamentadas.

A segunda pergunta da etapa, chamada verificadora, serve para testar a compreensão da turma. O ideal é que a porcentagem de alunos que acertaram a verificadora seja maior que a introdutória, pois indicará que o conceito apresentado foi consolidado.

Tradicionalmente, quando uma aula peer instruction é usada, quando mais de 70% de uma turma acerta a questão introdutória, a pergunta verificadora é pulada e a aula segue para a etapa seguinte. Mas pela própria natureza do Kahoot isso não é possível e as duas perguntas devem ser realizadas.

4.4 Primeira etapa

A atividade foi iniciada com uma discussão aberta, na qual os alunos foram convidados a expressar suas concepções sobre o conceito de calor. Em seguida, foi apresentada a Lei Zero da Termodinâmica, que estabelece que se dois corpos estão em equilíbrio térmico com um terceiro, então também estão em equilíbrio térmico entre si. Para ilustrar esse princípio, foi realizado um experimento simples.

Questão introdutória, primeira etapa.

O professor apresentou um copo de alumínio (retirado de um calorímetro) e um livro didático de Física, questionando os alunos: qual desses objetos está mais frio?

- a. O copo.
- b. O livro
- c. Ambos possuem a mesma temperatura

De acordo com a Lei Zero da Termodinâmica, como os objetos estavam em equilíbrio térmico com o ambiente, ambos possuíam a mesma temperatura, independentemente das sensações térmicas subjetivas ao toque.

A segunda questão buscou avaliar a compreensão desse conceito. Foi apresentado o seguinte problema:

Questão verificadora, primeira etapa.

Joana deixou uma colher de alumínio dentro de uma panela com a água a 100°C enquanto cozinhava.

Qual será a temperatura da colher após algum tempo?

- a. 80°C
- b. 190°C
- c. 100°C
- d. 110°C

A resposta correta, 100°C, decorre do fato de que a colher, ao permanecer em contato com a panela, entra em equilíbrio térmico com o sistema. Essa questão reforçou a distinção entre temperatura real e a sensação térmica percebida ao toque, uma vez que metais, como o alumínio, frequentemente são percebidos como mais frios do que materiais como papel ou madeira, devido à sua maior condutividade térmica.

Com essa abordagem, os alunos foram preparados para compreender o conceito de sensação térmica, que se refere à forma como os sensores térmicos do corpo humano interpretam a temperatura ambiente. Esse fenômeno pode variar entre indivíduos e torna-se especialmente evidente ao comparar uma pessoa saudável com outra que apresenta febre.

4.5 Segunda etapa

A segunda etapa abordou o conceito de sensação térmica, diferenciando-o da temperatura real de um corpo. Foi enfatizado que a sensação de frio está associada à perda de calor para o meio, enquanto a sensação de calor ocorre quando o corpo absorve calor do ambiente. Dessa forma, um indivíduo com febre, por apresentar uma temperatura corporal elevada, tende a perceber o ambiente como mais frio do que uma pessoa saudável, mesmo que ambos estejam expostos às mesmas condições.

Para aprofundar essa compreensão, os alunos foram submetidos à seguinte questão:

Questão introdutória, segunda etapa.

Em uma sala fechada, uma pessoa está sentada de frente para um ventilador, enquanto outra não. Quem apresenta a maior temperatura corporal?

- a. A pessoa sentada de frente para o ventilador.
- b. A pessoa que não está na frente do ventilador
- c. Ambas apresentam a mesma temperatura corporal.

A resposta correta é a alternativa C, pois a temperatura corporal de ambos os indivíduos se mantém aproximadamente constante, independentemente da presença do ventilador. No entanto, a sensação térmica difere entre eles, pois o fluxo de ar facilita a dissipação de calor, reduzindo a percepção de calor da pessoa exposta ao ventilador.

A quarta questão, de caráter verificatório, buscou avaliar se os alunos compreendiam que a sensação térmica não equivale à medição direta da temperatura. A questão foi:

Questão verificadora, segunda etapa.

Do ponto de vista de uma pessoa com febre, qual é a sua sensação térmica e por que ela sente isso?

- a. Calor, pois ela está quente.
- b. Frio, pois ela está perdendo o excesso de calor para o meio ambiente.
- c. Frio, pois ela está suando muito.
- d. Frio, pois o corpo está gastando mais energia por causa da febre.

A resposta correta, alternativa B, destaca que a sensação térmica é influenciada por diversos fatores climáticos, como temperatura, umidade e velocidade do vento, e até mesmo biológicos. Embora os indivíduos percebam variações térmicas, essas percepções não correspondem necessariamente à temperatura real do ambiente.

Essa etapa foi essencial para reforçar que a Física é uma ciência baseada em medições objetivas e não em sensações subjetivas, visto que os sentidos humanos podem induzir a interpretações equivocadas. Esse conceito serve como preparação para tópicos mais contra intuitivos que serão abordados posteriormente.

4.6 Terceita etapa

Nesta etapa, são introduzidos os conceitos de calor sensível e calor latente, iniciando-se com uma contextualização histórica sobre as pesquisas do físico Joseph Black no século XVIII. Black investigou o derretimento do gelo e o comportamento térmico das geleiras, observando que sua temperatura permanecia próxima de 0°C , mesmo durante a transição de fase (Gomes, 2012).

Com a mudança das estações, ele percebeu que, embora o gelo derretesse, formando riachos e rios, sua temperatura não aumentava durante o processo. Para aprofundar essa observação, Black realizou experimentos controlados, utilizando termômetros para monitorar a

temperatura do gelo enquanto aplicava calor. Ele verificou que a temperatura não se alterava durante a fusão, apesar da absorção contínua de calor. Essa descoberta levou à formulação dos conceitos de:

- Calor sensível: responsável pelo aumento da temperatura de um corpo sem mudança de estado físico.
- Calor latente: responsável pela mudança de fase da matéria, sem variação de temperatura.

Para consolidar esse conceito, os alunos foram submetidos à seguinte questão:

Questão introdutória, terceira etapa.

O que acontece com o gelo quando ele começa a ser aquecido, antes mesmo de derreter totalmente?

- a. Sua temperatura não vai mudar.
- b. Sua temperatura vai diminuir.
- c. Sua temperatura vai aumentar.

A alternativa correta é a letra A, pois, conforme demonstrado nos experimentos de Black, o gelo absorve calor latente sem alteração de temperatura até completar sua fusão. Esse fenômeno pode ser facilmente replicado em sala de aula por meio de um experimento simples. Para realizá-lo, são necessários os seguintes materiais:

- Termômetro culinário;
- Panela;
- Cooler para armazenar gelo;
- Peneira;
- Aquecedor.

O procedimento consiste em medir a temperatura inicial do gelo, que deve estar próxima de 0°C. Em seguida, aquece-se o gelo até que uma parte significativa tenha derretido, sem permitir que toda a amostra se transforme em água. Com o auxílio da peneira, separa-se o gelo remanescente da água residual e verifica-se novamente sua temperatura, constatando que permanece constante durante a fusão.

Observação: o professor deve equilibrar a explicação teórica com a realização do experimento, evitando revelar a resposta antes da conclusão da atividade interativa no Kahoot, garantindo que os alunos cheguem à resposta por meio da investigação experimental.

A sexta questão, de caráter verificatório, reforçou o conceito de calor latente por

meio do seguinte questionamento:

Questão verificatória, terceira etapa.

Se a água de uma chaleira estava a 100°C e, após adicionar hortelã, continuou cozinhando por 2 minutos, qual será a temperatura do chá ao ser servido?

- a. 98°C
- b. 100°C
- c. 105°C
- d. 110°C

A resposta correta é a letra B. A água em ebulição permanece a 100°C enquanto estiver no estado de vapor-líquido, pois toda a energia fornecida adicionalmente é convertida em calor latente de vaporização, sem aumento de temperatura.

Essa etapa foi essencial para reforçar a importância das medições científicas na compreensão dos fenômenos térmicos e para consolidar a distinção entre temperatura e transferência de calor.

4.7 Quarta Etapa

Após compreender que calor e temperatura são conceitos distintos, é necessário estabelecer uma definição independente para a temperatura. Para isso, introduz-se a teoria cinética dos gases, que explica a temperatura como uma medida da energia cinética média das partículas de uma substância.

Questão introdutória, quarta etapa.

Qual grandeza física está sendo medida pela temperatura?
foram:

- a. Calor das moléculas
- b. Energia cinética das moléculas
- c. Outra forma de energia das moléculas

A resposta correta é a letra B, pois a temperatura de uma substância está diretamente relacionada à energia cinética média das partículas que a constituem. A velocidade de agitação dessas moléculas, por sua vez, determina tanto a energia cinética quanto o valor da temperatura.

Para reforçar a compreensão, a oitava pergunta, de caráter verificatório, foi a seguinte:

Questão verificatória, quarta etapa.

Em um dia quente na cidade de Independência, sentimos diretamente a temperatura do ambiente?

- a. Sim, por isso usamos termômetros para medir o clima.
- b. Não, sentimos apenas o calor ou o frio.
- c. Não, sentimos a sensação térmica, que depende da temperatura, do vento e de outros fatores.

A resposta correta foi a letra B, já que a temperatura corresponde ao grau de agitação das moléculas (ou seja, a velocidade média de suas partículas) e, por isso, é uma medida da energia cinética média das moléculas.

Essa etapa é crucial para consolidar a ideia de que a temperatura não é uma forma de energia, mas uma medida da intensidade da agitação molecular, sendo fundamental para a compreensão dos fenômenos térmicos e a distinção entre as grandezas de calor e temperatura.

4.8 Quinta Etapa

Com a definição formal de temperatura estabelecida, passamos para a definição formal de calor, um termo que possui dois significados: um vulgar e um científico. A aula iniciou com a diferenciação clara entre essas duas acepções, enfatizando que, a partir daquele momento, seria adotada exclusivamente a definição física de calor.

De acordo com a física, calor é a quantidade de energia que se transfere entre dois corpos devido a uma diferença de temperatura. Com essa definição em mente, a nona pergunta foi formulada da seguinte maneira:

Questão verificatória, quinta etapa.

Sabendo que energia é a capacidade de realizar trabalho, uma máquina térmica precisa de duas fontes de energia?

- a. Sim, precisa de duas fontes iguais em temperatura.
- b. Não, basta uma fonte quente.
- c. Sim, basta uma fonte fria.
- d. Sim, precisa de uma fonte fria e outra quente.

A resposta correta é a letra D, pois uma máquina térmica, como o motor de um carro ou uma usina de energia, precisa de uma diferença de temperatura entre duas fontes para realizar

trabalho. A transferência de calor só ocorre quando há uma diferença de temperatura entre os corpos ou sistemas envolvidos.

Para aprofundar a compreensão, a décima pergunta, de caráter verificatório, foi formulada da seguinte forma:

Questão verificatória, quinta etapa.

Para que uma célula permaneça viva, ela necessita transformar a energia química dos alimentos em calor. Para isso, ela precisa. . .

- a. Ser capaz de absorver calor do ambiente para iniciar suas reações químicas.
- b. Ser capaz de transformar todo o calor em energia química para uso imediato.
- c. Ser capaz de criar uma diferença de temperatura entre seu interior e o ambiente.
- d. Ser capaz de manter sua temperatura sempre igual à do ambiente externo.

A resposta correta é a letra C, pois para que ocorra a transformação de energia química em calor, é necessário criar uma diferença de temperatura entre o interior da célula e o ambiente, o que permite a transferência de calor de acordo com a definição física.

4.9 Sexta Etapa

Nesta etapa, dois objetivos principais foram abordados: introduzir a Matemática nas aulas de Termodinâmica e medir o nível das turmas, já que, no contexto da educação básica, é fundamental testar e avaliar as habilidades dos alunos para determinar a melhor estratégia de ensino.

Nas primeiras aulas de Termodinâmica, foi ensinado como calcular a temperatura final de uma mistura de substâncias com diferentes temperaturas. O foco foi na aplicação da média ponderada para encontrar a temperatura final das misturas, uma introdução útil à Matemática, sem complicar demais o conceito. A décima primeira pergunta foi formulada da seguinte maneira:

Questão introdutória, sexta etapa.

A fim de encher um baú, foram despejadas quatro garrafas de leite com as seguintes temperaturas: 15°C, 20°C, 35°C e 30°C. Qual será a temperatura final no baú?

- a. 20°C
- b. 25°C
- c. 27°C
- d. 28°C

A resposta correta é 25°C, pois a média aritmética das temperaturas fornecidas é:

$$T_{final} = \frac{15 + 20 + 35 + 30}{4} = \frac{100}{4} = 25^{\circ}\text{C} \quad (4.1)$$

A décima segunda pergunta, de caráter verificatório, foi formulada assim:

Questão vericatória, sexta etapa.

Para encher um tanque, foram despejadas três porções de azeite com as seguintes temperaturas: 18°C, 22°C e 38°C.

Qual será a temperatura do azeite misturado?

- a. 23°C
- b. 26°C
- c. 27°C
- d. 29°C

A resposta correta é 26°C, que é a média das temperaturas do azeite antes da mistura:

$$T_{final} = \frac{18 + 22 + 38}{3} = \frac{78}{3} = 26^{\circ}\text{C} \quad (4.2)$$

4.10 A segunda aplicação teste conceitual

Esta foi realizada nos mesmos moldes e regras da primeira aplicação, incluindo a mesma plataforma de correção Gradepen. Com os resultados obtidos na planilha do app, foi calculado a nota média de cada turma.

4.11 Análise de dados

Esse projeto foi realizado em três turmas de primeiros anos na Escola Estadual de Ensino Profissionalizante (EEEP) Maria Altair Américo Sabóia, sendo estas a turma de administração, contabilidade e redes de computadores. Para o ingresso de um aluno nessa instituição é necessário ser aprovado num processo seletivo que avalia o histórico escolar dos candidatos por todo o período do ensino fundamental.

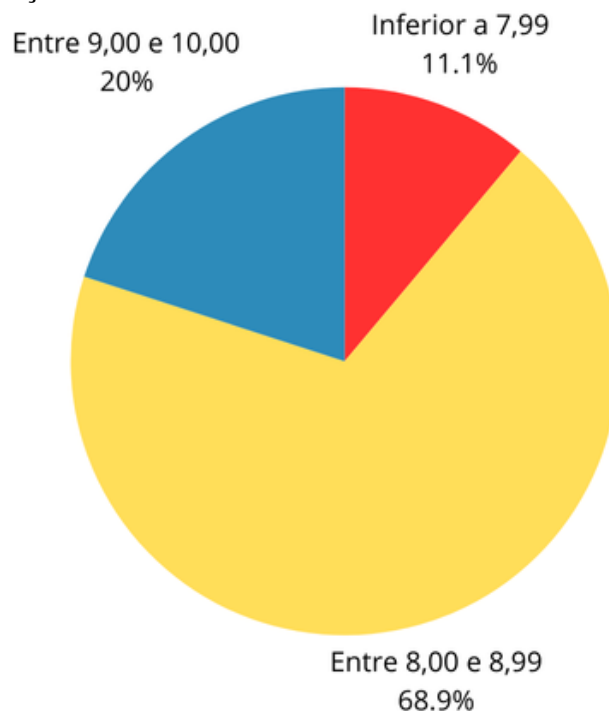
O processo seletivo utiliza como parâmetro as notas finais de todo o ensino fundamental, gerando uma nota final, que os alunos usam para competir pelas vagas ofertadas. Com isso o nível das turmas foi comparado de duas formas distintas: pela suas notas de corte e por uma distribuição de notas.

Tabela 4 – Nota de corte das turmas ingressantes na EEEP Maria Altair Americo Saboia em 2024.

Turma	Nota de corte
Administração	7,54
Contabilidade	7,18
Redes de computadores	7,34

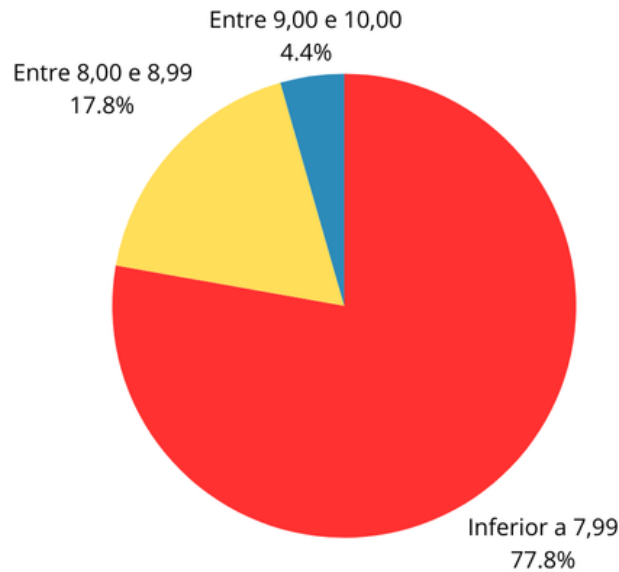
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 8 – Espectro da distribuição da nota de corte de alunos aprovados na turma de 1º administração em 2024



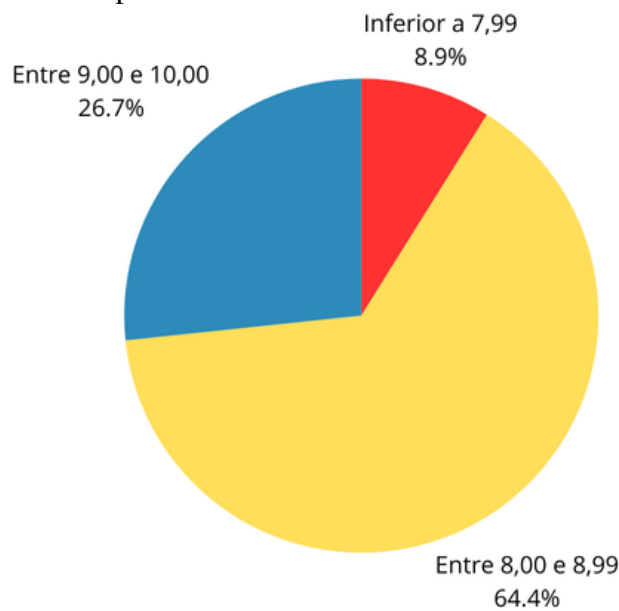
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 9 – Espectro da distribuição da nota de corte de alunos aprovados na turma de 1º contabilidade em 2024



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 10 – Espectro da distribuição da nota de corte de alunos aprovados na turma de 1º redes de computadores em 2024



Fonte: Elaborado pelo autor

As turmas de administração e redes de computadores são as turmas com maior quantidade de alunos com potencial, de acordo com os seus desempenhos no ensino fundamental, comparado com a turma de contabilidade. Por analisar essas condições iniciais a turma de administração foi escolhida como a turma controle, usou o peer instruction sem o auxílio do ChatGPT, visto que ela possui uma certa equivalência com a turma de redes de computadores, gerando uma comparação mais equilibrada.

Os resultados do primeiro teste conceitual (cuja nota máxima é 11) corroboram com essa diferença entre as turmas visto que a nota média das turmas de administração e redes de computadores são semelhantes, enquanto a nota média da turma de contabilidade foi significativamente inferior.

Tabela 5 – Notas da primeira aplicação do teste conceitual por turma.

Turma	primeira aplicação
Administração	2,91
Contabilidade	2,81
Redes de computadores	2,92

Fonte: Elaborado pelo autor

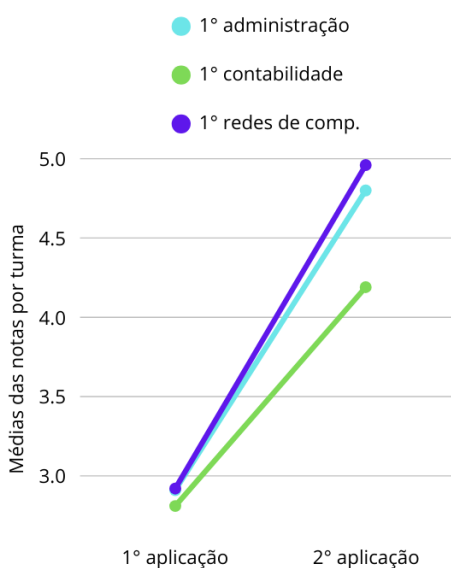
Porém, ao ser comparado com a nota média das turmas após a reaplicação do teste conceitual, pode-se verificar uma evolução significativa de todas as turmas, mesmo da turma controle.

Tabela 6 – Evolução das notas médias das turmas após a aplicação do protudo educacional

Turma	Primeira aplicação	Segunda aplicação	Evolução
Administração	2,91	4,80	+64,9%
Contabilidade	2,81	4,19	+49,1%
Redes de computadores	2,92	4,96	+70,2%

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 11 – Evolução das turmas no ITCE



Fonte: Elaborado pelo autor

A turma de redes de computadores demonstrou um crescimento superior à turma de administração, enquanto a turma de contabilidade evoluiu de forma mais modesta, mesmo tendo a sua disposição o ChatGPT.

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O uso das Inteligências Artificiais (IA) no campo educacional apresenta um imenso potencial, mas também envolve desafios que precisam ser enfrentados para aprimorar sua eficácia (Limna *et al.*, 2023). Um dos caminhos futuros para o desenvolvimento de um produto educacional mais robusto seria fazer uma releitura do estudo do Dr. Eric Mazur, que explorou os 10 anos de aplicação do Peer Instruction (PI) (Mazur; Crouch, 2001), mas agora com um foco na integração das IAs. Ao adaptar seu trabalho para o contexto atual, seria possível observar como as IAs podem potencializar o PI, ajudando a personalizar a experiência de aprendizagem para cada aluno e fornecendo um feedback instantâneo e preciso sobre suas dificuldades. No entanto, seria crucial manter a essência do PI, que se baseia no engajamento dos alunos com outros alunos, priorizando a socialização do ensino, mas com o diferencial de uma IA que sirva de suporte e sem roubar o protagonismo estudantil.

Como toda pesquisa que se debruça sobre tecnologias de fronteira, este estudo apresenta limitações temporais e tecnológicas que devem ser consideradas. A aplicação prática desta pesquisa ocorreu utilizando o modelo GPT-3.5 (versão gratuita), devido à inviabilidade de custeio da versão paga (GPT-4) para todos os estudantes envolvidos na época. É importante notar que, entre a coleta de dados e a defesa deste trabalho, modelos mais avançados e com capacidades de raciocínio lógico e matemático aprimoradas foram lançados. Portanto, os resultados aqui apresentados refletem o potencial de uma versão específica da tecnologia, que tende a ser superada rapidamente pela evolução dos algoritmos.

Nesse sentido, a criação de extensões do GPT ou o uso de modelos mais atuais que minimizem os erros nas respostas e aumentem a precisão em áreas específicas, como a Física, é um passo essencial. O desenvolvimento dessas ferramentas poderia incluir bancos de dados mais robustos de conceitos fundamentais e algoritmos especializados para gerar explicações mais claras e menos suscetíveis a equívocos, tornando a IA um parceiro ainda mais eficiente no processo de ensino-aprendizagem.

Outro desafio relevante diz respeito às recentes discussões no campo da neurociência sobre o uso de IAs generativas. Durante o processo de avaliação deste trabalho, discutiu-se a existência de estudos, como o conduzido pelo MIT Media Lab (Kosmyrna; Gerlich, 2024), que sugerem uma possível redução na atividade cerebral em certas tarefas mediadas por IA—fenômeno conhecido como *cognitive offloading* (descarregamento cognitivo). Tais achados indicam que o uso passivo da ferramenta pode reduzir o engajamento crítico e a atividade das

áreas responsáveis pelo controle executivo do cérebro.

Entretanto, é fundamental destacar que tais evidências não invalidam os ganhos pedagógicos observados nesta pesquisa. Pelo contrário, reforçam a importância da metodologia aplicada: enquanto o uso isolado da IA pode induzir à passividade, a integração com o Peer Instruction exige que o aluno confronte a resposta da IA com a de seus pares, mantendo o esforço cognitivo necessário para a aprendizagem real. O contraste entre o desempenho acadêmico positivo e as possíveis variações na atividade cerebral reforça que a IA não deve ser uma "muleta", mas um catalisador de debate.

Por fim, há a necessidade de adaptação à legislação sobre o uso de celulares nas escolas (Brasil, 2025), implementada após a conclusão deste trabalho. A crescente presença das IAs pode entrar em conflito com leis que proíbem celulares em sala de aula, exigindo estratégias em que os alunos usem essas tecnologias de forma controlada através de outros aparelhos, como computadores. Testar outras IAs e diferentes abordagens pedagógicas ajudará a entender como cada ferramenta pode ser aplicada de forma diversificada no ensino de Física.

Esses desafios exigem inovação constante, colaboração entre educadores e desenvolvedores e, principalmente, um compromisso com a melhoria contínua das ferramentas que estão moldando o futuro da educação.

REFERÊNCIAS

- ABREU, R. d. A. d. S.; COSTA, A. M. Nicolaci-da. Internet: um novo desafio para os educadores. **Paidéia (Ribeirão Preto)**, v. 13, n. 25, p. 123–134, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/paideia/a/5fDFpCHDr8hdKcKCFNqsFHR/?lang=pt>. Acesso em: 09 mar. 2025.
- ARAUJO, E. A. V. M. G. M. I. S. Metodologias interativas de ensino na formação de professores de física: um estudo de caso com o método instrução pelos colegas (peer instruction). **Alexandria: revista de educação em ciência e tecnologia**, v. 10, n. 2, p. 171–195, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/alexandria/article/view/1982-5153.2017v10n2p171/35390>. Acesso em: 11 mar. 2025.
- BRANDÃO, M. G. M. I. S. A. E. A. V. R. V. Implementação do método de ensino peer instruction com o auxílio dos computadores do projeto 'uca' em aulas de física do ensino médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, p. 491–524, 2012.
- BRASIL. **Lei nº 15.100, de 13 de janeiro de 2025**. Câmara dos Deputados, 2025. Disponível em: . Acesso em: 13 mar. 2025. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2025/lei-15100-13-janeiro-2025-796892-publicacaooriginal-174094-pl.html>. Acesso em: 11 mar. 2025.
- BRASIL. **Lei nº 14.533, de 11 de janeiro de 2023**. 2023. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2023-2026/2023/Lei/L14533.htm. Acesso em: 11 mar. 2025.
- CASTRO, R. L. de. **Uma proposta de sequência didática para o ensino de cinemática com o auxílio de ferramentas computacionais e métodos ativos**. Dissertação (Mestrado)—Universidade Federal do Ceará, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/49125>. Acesso em: 11 mar. 2025.
- DEZIEL, C. **Why Does Steel Feel Colder Than Wood?** 2018. Publicado em 27 de abril de 2018. Disponível em: <https://www.sciencing.com/steel-feel-colder-wood-5918/>. Acesso em 09 mar. 2025.
- DICIO. **Significado de Calor**. 2025. Disponível em: <https://www.dicio.com.br/calor/>. Acesso em: 09 mar. 2025.
- DICIO. **Significado de Temperatura**. 2025. Disponível em: <https://www.dicio.com.br/temperatura/>. Acesso em: 09 mar. 2025.
- FELDER, R. M.; BRENT, R. Navigating the bumpy road to student-centered instruction. **College Teaching**, v. 44, p. 43–47, 1996. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/87567555.1996.9933425>. Acesso em: 09 mar. 2025.
- FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.
- GIROLAMI, G. S. A brief history of thermodynamics, as illustrated by books and people. **Journal of Chemical and Engineering Data**, v. 65, n. 2, 2019. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jced.9b00515>. Acesso em: 09 mar. 2025.
- GIVONI, B. **Man, Climate and Architecture**. London: Applied Science Publishers, 1976.
- GOMES, F. I. B. P. **Adequação de índices a partir da percepção de conforto e proposta de Diagrama de Conforto Térmico Humano do Semiárido (DICTHUS)**. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Ceará, 2024. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/77660>. Acesso em: 09 mar. 2025.

GOMES, L. C. A ascensão e queda da teoria do calórico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Universidade Federal de Santa Catarina, v. 28, n. 3, p. 1030–1073, dez. 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/viewFile/2175-941.2012v29n3p1030/23609>. Acesso em: 27 maio 2025.

GROS, C. **Thermodynamics and Statistical Mechanics**. [S.l.]: Universidade de Frankfurt, 2025. <https://itp.uni-frankfurt.de/~gros/Vorlesungen/TD/>. Acesso em: 27 maio 2025.

HEIDTH, A. Students find new uses for chatbots. **Nature**, Nature Publishing Group, v. 408, n. 6810, p. 361–365, 2025.

HERRON, J. D. Piaget for chemists. explaining what 'good' students cannot understand. **Journal of Chemical Education**, v. 52, n. 3, p. 146, 1975.

INSTITUTO DE FÍSICA DA UFRJ. **Introductory Thermal Concept Evaluation**. 2008. Disponível em: <https://www.if.ufrj.br/~marta/aprendizagememfisica/ThermalConceptsEvaluation.pdf>. Acesso em: 27 maio 2025.

JENDRITZKY, G. Selected questions of topical interest in human bioclimatology. **International Journal of Biometeorology**, v. 35, n. 3, p. 139–150, Sept. 1991.

JORNAL DA USP. **Palavra da semana #12**: a palavra temperatura foi usada no início com o significado de misturar algo corretamente. 2025. Disponível em: <https://jornal.usp.br/podcast/palavra-da-semana-12-a-palavra-temperatura-foi-usada-no-inicio-com-o-significado-de-misturar-algo-corretamente/>. Acesso em: 09 mar. 2025.

KALYAN, K. S. A survey of gpt-3 family large language models including chatgpt and gpt-4. **Natural Language Processing Journal**, v. 6, p. 100048, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2949719123000456>. Acesso em: 09 mar. 2025.

KOSMYNA, N.; GERLICH, M. Your brain on chatgpt: Exploring the effects of generative ai on cognitive engagement and creativity. **MIT Media Lab Research**, 11 2024. Disponível em: <https://www.media.mit.edu/>. Apresentado no contexto de estudos sobre Interface Cérebro-Computador e IA Generativa. Disponível em: <https://www.media.mit.edu/projects/your-brain-on-chatgpt/overview/>. Acesso em: 09 mar. 2025.

LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A.; GOULART, S.; VECCHI, R. de. **Conforto e stress térmico**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2011. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV4200_apostila%202011.pdf_2.pd. Acesso em: 09 mar. 2025.

LIMNA, P.; KRAIWANI, T.; JANGJARAT, K.; KLAYKLUNG, P.; CHOCKSATHAPORN, P. The use of chatgpt in the digital era: Perspectives on chatbot implementation. **Journal of Applied Learning & Teaching**, v. 6, n. 1, p. 64–74, May 2023.

MAZUR, E. **Confessions of a Converted Lecturer**. 2011. 1 vídeo (1h 20 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=WwsIBPj8GgI&t>. Acesso em: 09 out. 2024.

MAZUR, E.; CROUCH, C. H. Peer instruction: ten years of experience and results. **American Journal of Physics**, v. 69, p. 970, March 2001. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1119/1.1374249>. Acesso em: 09 out. 2024.

MAZUR, E.; SOMERS, M. D. Peer instruction: a user's manual. **American Journal of Physics**, v. 67, p. 359–360, 1999.

MCDERMOTT, L. C. Millikan lecture 1990: what we teach and what is learned. **American Journal of Physics**, v. 59, n. 4, p. 301–305, 1990.

MIGUEZ, M. L. **Estratégias didáticas para ensino de física moderna usando LEDs**. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) — Universidade Federal do Ceará, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/78438>. Acesso em: 11 mar. 2025.

MOREIRA, M. A. **Teorias da Aprendizagem**. [S.l.]: EPU - Editora Pedagógica e Universitária, 1999.

MÜLLER, I. S. A. E. A. V. J. S. M. G. Uma revisão da literatura acerca da implementação da metodologia interativa de ensino peer instruction (1991 a 2015). **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 39, n. 3, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/Vv8MmjJWmm5B3HjJ8hYwKCJ/?lang=pt>. Acesso em: 11 mar. 2025.

NOVA ESCOLA. **A língua é viva**. 2025. Disponível em: <https://novaescola.org.br/conteudo/2604/a-lingua-e-viva>. Acesso em: 09 mar. 2025.

ORIGEM DA PALAVRA. **Etimologia da palavra Energia**. 2025. Disponível em: <https://origemdapalavra.com.br/pergunta/energia/>. Acesso em: 09 mar. 2025.

ORIGEM DA PALAVRA. **Etimologia da palavra Frio**. 2025. Disponível em: <https://origemdapalavra.com.br/palavras/frio/>. Acesso em: 09 mar. 2025.

ORIGEM DA PALAVRA. **Etimologia da palavra Quente**. 2025. Disponível em: <https://origemdapalavra.com.br/palavras/quente>. Acesso em: 09 mar. 2025.

PARSONS, K. C. **Human thermal environments**. 2. ed. New York: Taylor & Francis, 2006.

PRIBERAM. **Definição de Frio**. 2025. Disponível em: <https://dicionario.priberam.org/frio>. Acesso em: 09 mar. 2025.

PRIBERAM. **Definição de Quente**. 2025. Disponível em: <https://dicionario.priberam.org/quente>. Acesso em: 09 mar. 2025.

REDAÇÃO SANAR. **Fisiologia da termorregulação**. 2021. Publicado em 19 de julho de 2021. Disponível em: <https://sanarmed.com/fisiologia-da-termorregulacao-colunistas/>. Acesso em: 09 mar. 2025.

ROQUE, T. **História da Matemática**. [S.l.]: Zahar, 2012.

ROSPLOCH, K.; RAHMANIAN, R.; PILARZ, M.; STAINS, M.; VICKREY, T. Research-based implementation of peer instruction: A literature review. **CBE—Life Sciences Education**, v. 14, n. 1, p. es3, 2015. Disponível em: <https://www.lifescied.org/doi/10.1187/cbe.14-11-0198>. Acesso em: 09 mar. 2025.

ROTHFUSZ, L. P. **The Heat Index "Equation"(or, More Than You Ever Wanted to Know About Heat Index)**. Fort Worth, TX: [s.n.], 1990. Technical Attachment SR 90-23. Disponível em: https://www.weather.gov/media/ffc/ta_htindx.PDF. Acesso em: 09 mar. 2025.

SALES, G. L.; CUNHA, J. L. L.; GONÇALVES, A. J.; SILVA, J. B. da; SANTOS, R. L. dos. Gamificação e ensinagem híbrida na sala de aula de física: Metodologias ativas aplicadas aos espaços de aprendizagem e na prática docente. **Conexões – Ciência e Tecnologia**, v. 11, n. 2, p. 45–52, 2017. Disponível em: <https://conexoes.ifce.edu.br/index.php/conexoes/article/view/1181>. Acesso em: 09 mar. 2025.

SILVA, J. B. da; SALES, G. L.; CASTRO, J. B. de. Gamificação como estratégia de aprendizagem ativa no ensino de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 41, n. 4, p. 45, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/Tx3KQcf5G9PvcgQB4vswPbq/>. Acesso em: 09 mar. 2025.

SONGER, M. C. L. N. B. Cognitive and conceptual change in adolescence. **American Journal of Education**, v. 99, n. 4, p. 379–417, 1991.

STEADMAN, R. The assessment of sultriness. part i: A temperature-humidity index based on human physiology and clothing science. **J. Appl. Meteor.**, v. 18, p. 861–873, 1979.

STEINBERG, E. F. R. J. M. S. R. N. Student expectations in introductory physics. **American Journal of Physics**, v. 66, n. 3, p. 212, 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1119/1.18847>. Acesso em: 09 mar. 2025.

STEINBERG, M. S.; BROWN, D. E.; CLEMENT, J. Genius is not immune to persistent misconceptions: Conceptual difficulties impeding isaac newton and contemporary physics students. **International Journal of Science Education**, v. 12, n. 3, p. 265–273, 1990. Acesso em: 09 mar. 2025.

ZHANG, P.; DING, L.; MAZUR, E. Publisher's note: Peer instruction in introductory physics: A method to bring about positive changes in students' attitudes and beliefs. **American Physical Society**, v. 13, p. 019904, fevereiro 2017. Acesso em: 09 mar. 2025.

Anexo A: Tabelas Steadman

Tabela 7 – Correspondência aparente entre a temperatura aparente e as variáveis do vestuário fisiológico para **condições amenas**.

Variável primária, espessura da roupa (mm)	Temperatura aparente (°C)	Resistência térmica da pele (m^2KW^{-1})	resistência a umidade da pele (m^2KPaw^{-1})
7,64	16	0,0387	0,0521
6,72	17	0,0387	0,0521
5,84	18	0,0387	0,0521
4,97	19	0,0387	0,0521
4,13	20	0,0387	0,0521
3,30	21	0,0387	0,0521
2,50	22	0,0387	0,0521
1,72	23	0,0387	0,0521
0,95	24	0,0387	0,0521
0,20	25	0,0387	0,0521

Fonte: (STEADMAN, 1979)

Tabela 8 – Correspondência aparente entre a temperatura aparente e as variáveis do vestuário fisiológico para **condições severas**.

Resistência térmica, da pele (m^2KW^{-1})	Temperatura aparente (C)	Resistência a umidade da pele (m^2KPaw^{-1})	Espessura da roupa (valor desprezível)
0,0377	26	0,0446	0
0,0364	27	0,0375	0
0,0353	28	0,0320	0
0,0343	29	0,0277	0
0,0334	30	0,0242	0
0,0325	31	0,0214	0
0,0318	32	0,0190	0
0,0311	33	0,0170	0
0,0304	34	0,0153	0
0,0298	35	0,0138	0
0,0292	36	0,0125	0
0,0287	37	0,0113	0
0,0281	38	0,0103	0
0,0276	39	0,0095	0
0,0272	40	0,0087	0
0,0267	41	0,0079	0
0,0262	42	0,0073	0
0,0258	43	0,0067	0
0,0254	44	0,0062	0
0,0250	45	0,0057	0
0,0245	46	0,0052	0
0,0241	47	0,0048	0
0,0237	48	0,0044	0
0,0233	49	0,0041	0
0,0229	50	0,0037	0

Fonte: (STEADMAN, 1979)

Tabela 9 – Escala de temperatura-umidade: temperatura aparente (°C) correspondente a cada combinação de temperatura de bulbo seco e umidade relativa. Os valores entre parênteses correspondem a umidade da pele acima de 90% e são aproximados.

(°C)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
20	16	17	17	18	19	19	20	20	21	21	21
21	18	18	19	19	20	21	21	21	22	22	23
22	19	19	20	20	21	21	22	22	23	23	23
23	20	20	21	22	22	23	23	24	24	24	25
24	21	22	22	23	23	24	24	25	25	25	26
25	22	23	24	24	25	25	26	26	27	27	28
26	24	24	25	26	26	27	27	28	28	29	30
27	25	25	26	27	27	28	29	30	31	32	33
28	26	26	27	27	28	29	30	31	32	34	(36)
29	26	27	27	28	29	30	31	33	35	37	(40)
30	27	28	28	29	30	31	33	35	37	(40)	(45)
31	28	29	29	30	31	33	35	37	40	44	(51)
32	29	29	30	31	33	36	39	43	(49)		
33	30	31	31	33	34	36	38	42	(47)		
34	30	31	32	33	36	38	42	(47)			
35	31	32	33	35	37	40	(45)	(51)			
36	32	33	35	37	39	43	(49)				
37	32	34	35	38	41	46					
38	33	35	37	40	44	(49)					
39	34	36	38	41	46						
40	35	37	40	43	49						
41	36	39	41	45							
42	36	40	42	47							
43	37	40	44	49							
44	38	41	45	52							
45	38	42	47								
46	39	44	51								
47	40	45	53								
48	41										
49	42	47									
50	42	48									

Fonte: (STEADMAN, 1979)

EEEP Maria Altair Americo Saboia

Professor: Lucas Saba

Disciplina: Física

Curso: Redes de computadores

Aluno: _____

Matrícula: _____

Turma: 1°

Nota

Data: 05/11/2024

Marque o gabarito preenchendo completamente a região de cada alternativa.	
	a b

Q.1 (1.00) - Qual é a temperatura mais provável dos cubos de gelo em um congelador a -10°C?

- a) () -10°C
b) () 0°C
c) () 5°C
d) () Depende do tamanho dos cubos de gelo.

Q.2 (1.00) - Um estudante pega seis cubos de gelo do congelador e coloca quatro deles em um copo de água. Ele deixa dois no balcão. Ele mexe e mexe até que os cubos de gelo estejam bem menores e tenham parado de derreter. Qual é a temperatura mais provável da água neste estágio?

- a) () -10°C

- b) () 0°C

- c) () 5°C

- d) () -5°C

Q.3 (1.00) - Os cubos de gelo que o aluno deixou no balcão quase derreteram e estão em uma poça d'água. Qual é a temperatura mais provável desses cubos de gelo menores?

- a) () -10°C

- b) () 0°C

- c) () 5°C

- d) () 10°C

Q.4 (1.00) - No fogão há uma chaleira cheia de água. A água começou a ferver rapidamente. A temperatura mais provável da água é cerca de:

- a) ☐ 88°C
- b) ☐ 98°C
- c) ☐ 110°C
- d) ☐ Nenhuma das respostas anteriores

Q.5 (1.00) - Cinco minutos depois a água da chaleira ainda está fervendo. A temperatura mais provável da água é de cerca de:

- a) ☐ 88°C
- b) ☐ 98°C
- c) ☐ 110°C
- d) ☐ 120°C

Q.6 (1.00) - Das temperaturas abaixo, qual é a mais provável do vapor de água que sai da chaleira?

- a) ☐ 88°C
- b) ☐ 98°C
- c) ☐ 110°C
- d) ☐ 120°C

Q.7 (1.00) - Uma aluna pegou uma xícara de água a 40°C e misturou com uma xícara de água a 10°C. Qual é a temperatura mais provável das águas após a mistura?

- a) ☐ 20°C
- b) ☐ 25°C
- c) ☐ 15°C
- d) ☐ 35°C

Q.8 (1.00) - Um objeto de plástico e outro de metal estão dentro de uma sala há bastante tempo. Qual das alternativas abaixo possui a afirmação correta?

- a) ☐ O metal está mais frio porque ele é naturalmente mais gelado que o plástico.
- b) ☐ Ambos os objetos de metal e plástico estão na mesma temperatura.
- c) ☐ O metal parece mais frio porque é mais pesado.
- d) ☐ O metal é mais frio porque tem menos calor para perder que o plástico.

Q.9 (1.00) - Um grupo de jovens estão ouvindo a previsão do tempo em uma rádio. Eles ouvem

a seguinte chamada: "... hoje à noite estará frio, 5°C, mais frio do que os 10°C da noite passada." Qual afirmação a seguir é a correta?

- a) ☐ Maria diz: Isso significa que hoje à noite estará duas vezes mais frio que ontem à noite.
- b) ☐ Pedro diz: Isso não está certo. 5°C não é duas vezes mais frio que 10°C.
- c) ☐ Joana diz: Está parcialmente certo, mas ela deveria ter dito que 10° é duas vezes mais quente que 5°C.
- d) ☐ Mateus diz: Está parcialmente certo, mas ela deveria ter dito que 5°C é metade da temperatura de 10°C.

Q.10 (1.00) - Roberto pega uma régua de metal e uma régua de madeira de seu estojo. Ele pensa que a de metal parece mais fria que a de madeira. Qual explicação seria a correta?

- a) ☐ O metal conduz mais energia para longe de sua mão que a madeira.
- b) ☐ A madeira é uma substância naturalmente mais quente que o metal.
- c) ☐ A régua de madeira contém mais calor que a régua de metal.
- d) ☐ O frio flui melhor no metal do que na madeira.

Q.11 (1.00) - O que é temperatura?

- a) ☐ É a quantidade de calor.
- b) ☐ A velocidade das partículas que compõem a matéria.
- c) ☐ Uma substância capaz de fazer as coisas queimarem.
- d) ☐ É a quantidade de substância que faz as coisas se tornarem quentes.

Q.12 (1.00) - O que é o calor?

- a) ☐ A energia externa de um corpo.
- b) ☐ É uma substância que causa a temperatura.
- c) ☐ É a energia que se move por causa da diferença de temperatura.
- d) ☐ É a quentura de um objeto ou lugar.



Produto educacional - MNPEF

Prof. Lucas Giannini Saba de Lacerda

Prof. orientador: dr. Humberto de Andrade Carmona

SUMÁRIO

1	Introdução	4
2	ChatGPT	6
3	Aula sobre calor e temperatura	8
3.1	Primeira etapa	8
3.2	Segunda etapa	9
3.3	Terceira etapa	10
3.4	Quarta Etapa	12
3.5	Quinta etapa	12
3.6	Sexta etapa	13

1. INTRODUÇÃO

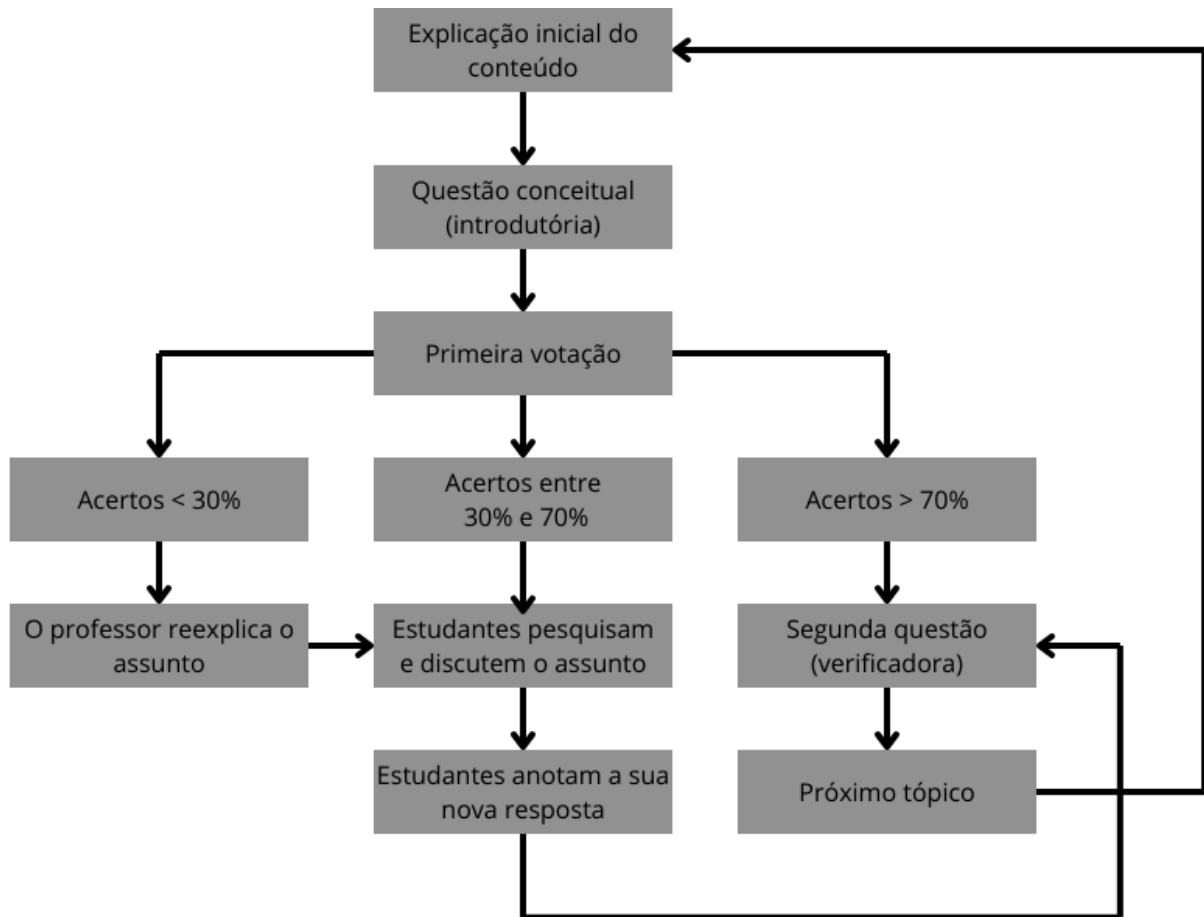
Este material didático é composto por uma sequência de aulas que apresentam estratégias pedagógicas para o ensino de Física no Ensino Médio, utilizando a metodologia Peer Instruction e o ChatGPT como ferramenta de apoio à aprendizagem. A proposta é desenvolver um ensino ativo e interativo, promovendo a desconstrução de concepções equivocadas e incentivando a participação dos estudantes no processo de aprendizagem.

Todas as aulas dessa sequência foram planejadas para serem realizadas em 100 minutos na sala de aula regular, a segunda parte pode ser dividida em mais aulas caso seja do interesse do professor. O foco das atividades é proporcionar um ambiente de aprendizado baseado na interação, gamificação, na argumentação entre os alunos e na resolução de problemas conceituais.

Durante as aulas, serão apresentadas todas as estratégias utilizadas na aplicação deste produto educacional, incluindo o uso da avaliação diagnóstica no início das atividades para avaliar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre os temas abordados. Além disso, o ChatGPT será empregado como ferramenta auxiliar para ampliar a compreensão dos conceitos e estimular o pensamento crítico dos alunos.

A primeira aula será sobre o funcionamento do ChatGPT e suas limitações, enquanto a segunda aula será sobre os conceitos básicos de calor e temperatura, dividida em seis etapas, onde os alunos precisarão responder com ajuda do chatbot enquanto o professor ministra a aula pela metodologia *Peer Instruction*. Esta é uma metodologia que utiliza questões preferencialmente conceituais para que um grupo de dois ou mais alunos discutam as temáticas de acordo com o diagrama abaixo.

Figura 1: proposta de sequência a ser realizada em uma aula que utiliza o método *Peer Instruction* e da plataforma Kahoot. A metodologia está adaptada para que ela se encaixe nas limitações da plataforma, se aproveitando da sua gamificação.



A plataforma usada é o site Kahoot, ele trás uma pequena desvantagem de ser impossível retornar os slides e perguntas anteriores. Mas possui uma série de vantagens como:

- É de acesso gratuito e permite a participação dos alunos sem a necessidade de criação de conta, bastando inserir o código da atividade;
- Possui uma interface lúdica e interativa, tornando a experiência mais dinâmica e atrativa para os estudantes;
- Permite uma gamificação da aula, motivando a participação dos alunos.
- A plataforma mostra automaticamente as estatísticas das respostas dos alunos, além de permitir um levantamento de dados posterior a aula.

A plataforma Kahoot é recomendado por seus benefícios ao professor a interatividade da aula, devendo ser adaptado pelo professor para que as suas limitações não sejam algum tipo de impeditivo.

2. ChatGPT

O ChatGPT é um modelo de inteligência artificial desenvolvido para compreender perguntas e gerar respostas com base em grandes volumes de texto. Embora o modelo não "pense" da mesma forma que um ser humano, ele utiliza padrões de linguagem aprendidos durante o treinamento para fornecer informações relevantes e consistentes. Mas o que isso significa? O ChatGPT funciona analisando enormes quantidades de texto e gerando respostas que são estatisticamente coerentes com os padrões que aprendeu.

No entanto, é importante destacar que "coerente" não significa "certo". Por exemplo, a frase “carro branco cima” é considerada incoerente, pois está incompleta e carece de elementos gramaticais que a tornariam compreensível. Por outro lado, a frase “humanos conseguem voar” é coerente do ponto de vista linguístico, mas está incorreta do ponto de vista científico.

Embora o ChatGPT seja uma ferramenta útil para esclarecer dúvidas, explicar conceitos e até criar textos, suas respostas precisam ser verificadas, especialmente em áreas científicas e matemáticas. Portanto, é sempre recomendável comparar as informações fornecidas com outras fontes confiáveis.

01. Copie a seguinte charada no ChatGPT e anote a resposta dele.

Como, eu nasci. Não sei se, assim como o outro Alexandre, com poucas ou muitas voltas, o mundo conquistei. Dez mil não são muitas notas, não pagam todos os títulos de conde, porque, com prata e zinco aos montes, ainda que não seja eu a fonte, de volta em volta, a energia do mundo armazenei. Responda:

- a) Onde nasci?
- b) Quem sou?
- c) O quê eu inventei?

02. Você concorda com a resposta do ChatGPT? Justifique a sua resposta.

03. Anota na primeira linha da tabela abaixo a sua resposta, nas demais linhas anote as respostas de seus colegas. Conte quantas vezes cada resposta apareceu.

Respostas	Quantas vezes o chatGPT a respondeu?
Sua resposta	
Resposta de seus colegas	
Resposta de seus colegas	
Resposta de seus colegas	
Resposta de seus colegas	

04. O ChatGPT respondeu corretamente? Você acha que ele é muito confiável ou que o usuário precisa ter um censo crítico para o usar? Justifique a sua resposta.

3. Aula sobre calor e temperatura

3.1 Primeira etapa

A Lei Zero da Termodinâmica estabelece a ideia fundamental de equilíbrio térmico. Ela diz que, se dois corpos A e B estão em equilíbrio térmico com um terceiro corpo C, então A e B também estão em equilíbrio térmico entre si. Isso significa que todos esses corpos têm a mesma temperatura.

O conceito de equilíbrio térmico é essencial para entendermos como funcionam os termômetros. Quando colocamos um termômetro em contato com um objeto, ele troca calor com o objeto até atingir a mesma temperatura. Nesse momento, o termômetro e o objeto estão em equilíbrio térmico, permitindo que possamos medir a temperatura corretamente.

Na prática, a Lei Zero garante que objetos em contato tendem a igualar suas temperaturas ao longo do tempo. Essa lei é chamada de "zero" porque é uma ideia tão básica que foi reconhecida depois das outras três leis da termodinâmica, mas deveria vir antes delas.

Pergunta introdutória

Em sua sala existem dois objetos: um copo de alumínio e um livro de Física. Qual destes objetos está mais frio? Selecione a sua resposta entre as opções que se encontram no Kahoot. Depois a registre no espaço abaixo.

- a. O copo de metal.
- b. O livro de Física.
- c. Ambos estão com a mesma temperatura.

Pergunta verificadora

Joana deixou uma colher de alumínio dentro de uma panela com água a 100°C enquanto cozinhava. Qual será a temperatura da colher após algum tempo? As alternativas foram:

- a. 80°C

- b. 190°C
- c. 100°C
- d. 110°C

3.2 Segunda etapa

Sensação térmica e percepção da temperatura

A sensação de calor ou frio nem sempre reflete a temperatura real do ambiente. Isso ocorre porque a percepção térmica do corpo humano é influenciada por diversos fatores, como umidade, vento e radiação. Por exemplo, uma pessoa com febre pode sentir mais frio do que outra saudável, mesmo estando no mesmo local, pois seu organismo está dissipando calor de maneira diferente.

Nossos sentidos, portanto, nem sempre são confiáveis para medir grandezas físicas. Um exemplo clássico é a diferença de sensação ao tocar um pedaço de metal e um pedaço de madeira que estão à mesma temperatura: o metal parece mais frio porque conduz calor mais rapidamente da nossa pele para ele. Da mesma forma, um dia ventoso pode parecer mais frio do que um dia sem vento, ainda que a temperatura seja a mesma, pois o vento aumenta a perda de calor do corpo.

Esse fenômeno é conhecido como sensação térmica e não deve ser confundido com a temperatura, que é uma medida objetiva do estado térmico de um corpo e pode ser determinada com instrumentos como termômetros.

Pergunta introdutória

Em uma sala fechada, uma pessoa está sentada de frente para um ventilador, enquanto outra não. Quem apresenta a maior temperatura corporal? As alternativas foram:

- a. A pessoa sentada de frente para o ventilador.
- b. A pessoa que não está na frente do ventilador.
- c. Ambas apresentam a mesma temperatura corporal.

Pergunta verificadora

Do ponto de vista de uma pessoa com febre, qual é a sua sensação térmica e por que ela sente isso?

- a. Calor, pois ela está quente.
- b. Frio, pois ela está perdendo o excesso de calor para o meio ambiente.
- c. Frio, pois ela está suando muito.
- d. Frio, pois o corpo está gastando mais energia por causa da febre.

3.3 Terceira etapa

Joseph Black, no século XVIII, foi até as geleiras para estudar sua temperatura. Ao medir, descobriu que elas estavam próximas de 0°C , o que o deixou preocupado com a possibilidade de um derretimento em massa, caso a temperatura aumentasse um pouco mais. No entanto, ao observar o cenário, percebeu que, mesmo com as temperaturas ao redor subindo, o derretimento não acontecia da forma como ele esperava.

Intrigado com esse fenômeno, Black decidiu realizar um experimento em seu laboratório para entender melhor o que estava ocorrendo. Ele aqueceu blocos de gelo e, durante o derretimento, mediu cuidadosamente sua temperatura. O que ele observou foi algo surpreendente e que desafiou as ideias da época.

Pergunta introdutória

O que acontece com o gelo quando ele começa a ser aquecido, antes mesmo de derreter totalmente?

- a. Sua temperatura não vai mudar.
- b. Sua temperatura vai diminuir.
- c. Sua temperatura vai aumentar.

Vamos verificar a sua resposta.

Em sua bancada deve se encontrar os seguintes materiais: termômetro culinário, panela, cooler com gelo, peneira e um aquecedor. Com ele em mãos, realize os seguintes procedimentos:

- Despeje todo o gelo na panela **ainda fria**.
- Meça a temperatura do gelo e anote: _____.
- Com o auxílio do aquecedor, esquente o gelo. **Mas não o derreta todo**, precisamos de uma quantidade suficiente para medir a temperatura dele.
- Com o auxílio da peneira, separe o gelo da água e o devolva ao cooler.

- Meça novamente a temperatura do gelo e a anote novamente: _____.

E então, a sua resposta introdutória estava correta?

Após realizar o experimento em seu laboratório, Joseph Black chegou a uma conclusão surpreendente: ao aquecer o gelo, sua temperatura não aumentava enquanto ele estava derretendo. Isso indicava que, apesar do calor ser transferido para o gelo, ele não era convertido diretamente em um aumento da temperatura. Em vez disso, o calor parecia ser usado para provocar uma mudança no estado físico do gelo, transformando-o de sólido para líquido.

Black concluir que existem dois tipos de calores. O primeiro é o **calor sensível**, ele é a quantidade de calor que é transferida para ou de um corpo, resultando em uma mudança na sua **temperatura**. Esse tipo de calor é chamado "sensível" porque pode ser sentido através da variação da temperatura com o uso de um termômetro.

O segundo tipo é o **calor latente**, ele é a quantidade de calor que é transferida para uma substância durante uma mudança de **estado físico**, sem que ocorra alteração na sua temperatura. Esse calor é chamado de "latente" porque está "escondido" durante a mudança de fase, não podendo ser percebido pela variação de temperatura.

Pergunta verificadora

Se a água de uma chaleira estava a 100°C e, após adicionar hortelã, continuou cozinhando por 2 minutos, qual será a temperatura do chá ao ser servido?

- a. 98°C
- b. 100°C
- c. 105°C
- d. 110°C

Esse experimento demonstrou que a **temperatura** de um corpo não é necessariamente uma medida da quantidade de **calor** que ele possui. O calor pode ser transferido para uma substância sem alterar sua temperatura, especialmente quando ocorre uma mudança de fase, como o derretimento. Essa descoberta foi

fundamental para diferenciar os conceitos de **temperatura** e **calor**, estabelecendo uma base importante para o desenvolvimento da termodinâmica.

3.4 Quarta etapa

Já sabemos que a temperatura não mede a quantidade de calor, mas ela está associada a uma propriedade fundamental das partículas que compõem um material. Quando a temperatura de um corpo aumenta, algo em suas moléculas também está aumentando, refletindo a intensidade de um movimento microscópico. Da mesma forma, quando a temperatura diminui, esse comportamento se torna menos intenso. Mas o que exatamente a temperatura está medindo?

Temperatura é uma medida da agitação molecular da matéria, ou seja, quanto mais agitado se encontram as moléculas de um corpo, maior será sua temperatura. Esse movimento microscópico está diretamente relacionado à energia que cada partícula possui. Em temperaturas mais altas, as moléculas se movem mais rapidamente, enquanto em temperaturas mais baixas, sua agitação diminui. Dessa forma, a temperatura reflete a energia associada a esse movimento, permitindo-nos entender fenômenos térmicos como o aquecimento, o resfriamento e as trocas de calor entre os corpos.

Pergunta introdutória

Qual grandeza física está sendo medida pela temperatura?

- a. Calor das moléculas.
- b. Energia cinética das moléculas.
- c. Outra forma de energia das moléculas.

Pergunta verificadora

Em um dia quente na cidade de Independência, sentimos diretamente a temperatura do ambiente?

- a. Sim, por isso usamos termômetros para medir o clima.
- b. Não, sentimos apenas o calor ou o frio.
- c. Não, sentimos a sensação térmica, que depende da temperatura, do vento e de outros fatores.

3.5 Quinta etapa

No senso comum, o calor é associado à "quentura", mas na Física, ele representa uma forma de energia em trânsito. O calor não é uma substância nem uma propriedade de um corpo, mas sim a transferência de energia entre dois corpos com temperaturas diferentes, fluindo do mais quente para o mais frio.

A temperatura, por sua vez, está relacionada à energia cinética média das moléculas de um corpo. Quanto maior a agitação das partículas, maior a temperatura. Porém, a temperatura não mede diretamente a quantidade de calor, apesar de ser influenciada por ela, dois corpos com a mesma temperatura podem armazenar quantidades diferentes de calor.

Portanto, calor e temperatura são conceitos distintos. Essa diferenciação é crucial para entender processos como trocas de calor, o funcionamento de motores térmicos e até a regulação da temperatura no corpo humano.

Pergunta introdutória

Sabendo que energia é a capacidade de realizar trabalho, uma máquina térmica precisa de duas fontes de energia?

- a. Sim, precisa de duas fontes iguais em temperatura.
- b. Não, basta uma fonte quente.
- c. Sim, basta uma fonte fria.
- d. Sim, precisa de uma fonte fria e outra quente.

Pergunta verificadora

Para que uma célula permaneça viva, ela necessita transformar a energia química dos alimentos em calor. Para isso, ela precisa...

- a. Ser capaz de absorver calor do ambiente para iniciar suas reações químicas.
- b. Ser capaz de transformar todo o calor em energia química para uso imediato
- c. Ser capaz de criar uma diferença de temperatura entre seu interior e o ambiente.
- d. Ser capaz de manter sua temperatura sempre igual à do ambiente externo.

3.6 Sexta etapa

Quando diferentes corpos ou substâncias com temperaturas distintas são misturados, ocorre uma troca de calor até que todos atinjam o **equilíbrio térmico**. Esse fenômeno é explicado pelo princípio da **conservação da energia térmica**, que afirma que o calor perdido pelos corpos mais quentes é igual ao calor ganho pelos corpos mais frios, desde que não haja perdas para o ambiente.

No caso de mesmas substâncias com massa proporcional ou idênticas, a temperatura final da mistura pode ser determinada pela **média aritmética das temperaturas iniciais**. Esse conceito é útil para entender processos como o resfriamento de bebidas, a temperatura da água ao misturar quente e fria, e até fenômenos naturais como a regulação térmica dos oceanos.

Exemplo 1: três copos idênticos de óleo a 10°C, 50°C e 70°C foram misturados. Qual será o valor da temperatura final?

Como sabemos que os copos são idênticos temperatura final depende apenas da sua média aritmética.

$$T_{final} = \frac{10 + 50 + 70}{3} = \frac{130}{3} = 43,3^{\circ}\text{C}$$

Pergunta introdutória

A fim de encher um baú, foram despejadas quatro garrafas de leite com as seguintes temperaturas: 15°C, 20°C, 35°C e 30°C. Qual será a temperatura final no baú?

- a. 20°C
- b. 25°C
- c. 27°C
- d. 28°C

Pergunta verificadora

Para encher um tanque, foram despejadas três porções de azeite com as seguintes temperaturas: 18°C, 22°C e 38°C. Qual será a temperatura do azeite misturado?

- a. 23°C
- b. 26°C
- c. 27°C
- d. 29°C