



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
AMAZONAS- IFAM
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS- UFAM
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 04**

LUDIMILSON MOTA MARINHO

**EXPLORANDO OS CONCEITOS DA RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO DESDE A
FÍSICA CLÁSSICA ATÉ A MODERNA POR MEIO DA METODOLOGIA PEER
INSTRUCTION**

Manaus
2025

LUDIMILSON MOTA MARINHO

**EXPLORANDO OS CONCEITOS DA RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO DESDE A
FÍSICA CLÁSSICA ATÉ A MODERNA POR MEIO DA METODOLOGIA PEER
INSTRUCTION**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação MNPEF polo 04, como requisitos para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. **Área de concentração:** Ensino de Física. **Linha de Pesquisa:** Física no Ensino Médio.

Orientador: Prof. Dr. Octávio Daniel Rodriguez Salmon.

Manaus

2025

Biblioteca do IFAM – Campus Manaus Centro

M338e Marinho, Ludimilson Mota.

Explorando os conceitos da radiação do corpo negro desde a física clássica até a moderna por meio da metodologia Peer Instruction / Ludimilson Mota Marinho. – Manaus, 2025.

165 p. : il. color.

Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, *Campus* Manaus Centro; Universidade Federal do Amazonas, 2025.

Orientador: Prof. Dr. Octávio Daniel Rodriguez Salmon.

1. Física – ensino. 2. Física moderna. 3. Radiação do corpo negro. 4. Metodologia ativa. 5. Ensino de Jovens e Adultos – EJA. I. Salmon, Octávio Daniel Rodriguez. (Orient.) II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Universidade Federal do Amazonas. IV. Título.

CDD 530.07

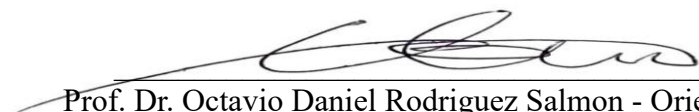
LUDIMILSON MOTA MARINHO

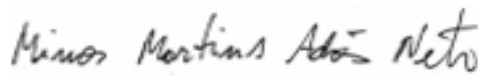
**EXPLORANDO OS CONCEITOS DA RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO DESDE A
FÍSICA CLÁSSICA ATÉ A MODERNA POR MEIO DA METODOLOGIA PEER
INSTRUCTION**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação MNPEF polo 04, como requisitos para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. **Área de concentração:** Ensino de Física. **Linha de Pesquisa:** Física no Ensino Médio.

Aprovada em (dia) de (mês) de (ano).

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Octavio Daniel Rodriguez Salmon - Orientador
Universidade Federal do Amazonas- UFAM


Prof. Dr. Minos Martins Adão Neto – Examinador(a) 1
Universidade Federal do Amazonas- UFAM


Prof. Dr. Francisco Dinóla Neto – Examinador(a) 2
Universidade Federal do Amazonas- UFAM



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
FUNDAÇÃO COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA
PROGRAMA NACIONAL DE MESTRADO EM ENSINO DE FÍSICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAZONAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS



Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - Polo 04 Ata da 77ª Defesa de Dissertação

Aos dois dias do mês de maio, do ano de dois mil e vinte e cinco, às 10h00, no auditório José Leitão do Bloco da Estatística do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal do Amazonas, ocorreu a Defesa da Dissertação do mestrando **Ludimilson Mota Marinho**, intitulada: **“EXPLORANDO OS CONCEITOS DA RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO DESDE A FÍSICA CLÁSSICA ATÉ A MODERNA POR MEIO DA METODOLOGIA PEER INSTRUCTION”**, do Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 04 das Instituições de Ensino Superior: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM) e Universidade Federal do Amazonas (UFAM). A Banca Examinadora foi composta pelo Prof. Dr. Octavio Daniel Rodriguez Salmon (UFAM), Prof. Dr. Francisco Dinóla Neto (UFAM) e o Prof. Dr. Minos Mártins Adão Neto (UFAM). O Professor Doutor Octavio Daniel Rodriguez Salmon, Presidente, deu início aos trabalhos, convidando os membros a comporem a Banca Examinadora. O Presidente fez a leitura dos procedimentos para defesa de dissertação, e convocou a mestranda para fazer a exposição de seu trabalho que, em seguida, foi arguido pelos membros da Banca Examinadora. Após a arguição, a Banca Examinadora reuniu-se privativamente e **decidiu pela aprovação do trabalho, concedendo voto de louvor à Dissertação de Mestrado** conforme Art. 59, §4, do Regimento Interno MNPEF, Resolução N.º 47-CONSUP/IFAM de 13 de julho de 2015. Ao final, os presentes foram chamados para tomarem conhecimento do resultado da avaliação, o Presidente da banca comunicou a interessada que feitas as devidas correções na dissertação, conforme sugestão da banca Examinadora, o discente é obrigado a entregar, na secretaria do polo 04, até sessenta (60) dias após a data da defesa, uma (01) via impressa e encadernada no formato capa dura, e uma via(01) digital em formato PDF, para os trâmites necessários à concessão do diploma, conforme Resolução N.º 47 – CONSUP/IFAM de 13 de julho de 2015. Nada mais havendo a tratar, foi lavrado a presente Ata que, após lida e aprovada, será assinada pelos presentes.

Prof. Dr. Francisco Dinóla Neto
Membro Externo

Prof. Minos Mártins Adão Neto
Membro Interno

Documento assinado digitalmente
gov.br OCTAVIO DANIEL RODRIGUEZ SALMON
Data: 02/05/2025 18:03:41-0300
verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Octavio Daniel Rodriguez Salmon
Presidente

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, expresso minha profunda gratidão a Deus, por me conceder saúde, força e a oportunidade de concluir mais uma etapa significativa em minha vida. Agradeço também à minha família, cujo apoio constante foi fundamental durante meus estudos.

Em especial, dedico meu reconhecimento aos meus pais, que sempre foram minha maior fonte de motivação. Seu apoio incondicional e incentivo foram essenciais para que eu pudesse perseguir meus sonhos, e sou grato por sua ajuda, tanto direta quanto indireta, em minha jornada.

À minha esposa, Vilma Linhares dos Santos, e aos meus filhos, Luma Linhares Marinho, Luana Linhares Marinho e Lucas Linhares Marinho, dedico meu sincero agradecimento. Seus incentivos constantes foram a força motriz que me impulsionou a concluir o Mestrado Profissional no Ensino de Física, MNPEF 2023 Polo 04.'

Aos meus professores, agradeço por serem os principais incentivadores da minha jornada acadêmica e profissional. Sua orientação e suporte foram cruciais para que eu pudesse superar os desafios e alcançar meus objetivos. Em particular, expresso minha gratidão ao meu orientador, Professor Dr. Octávio Daniel Rodriguez Salmon, por sua valiosa contribuição e disponibilidade em me guiar na elaboração deste trabalho.

Aos meus amigos da turma do MNPEF 2023 Polo04, agradeço: a camaradagem; troca de conhecimentos; momentos de aprendizado; desafios e celebrações. Em especial, ao meu amigo Ismael Freire Bata, ombro de gigante, cuja colaboração e apoio foram inestimáveis.

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

"Nas olimpíadas da vida, a vitória depende de dedicação, esforço, entusiasmo e perseverança. Busque e você conseguirá a vitória. (ARAGÃO; ARAGÃO, 2005, p. 1)."

RESUMO

A presente pesquisa tem como objetivo investigar indícios de melhoria na aprendizagem de estudantes da EJA sobre a descrição clássica e moderna da radiação do corpo negro, decorrentes da inserção da metodologia Peer Instruction (PI) no processo de ensino-aprendizagem. Para alcançar tal objetivo, utilizou-se uma pesquisa qualitativa com abordagem de pesquisa-ação, realizada com 28 alunos da 11ª etapa do ano de 2024 da Educação de Jovens e Adultos (EJA) da Escola Estadual Antônio da Encarnação Filho, da rede de ensino do Estado do Amazonas. Alinhado ao referencial teórico da aprendizagem, os dados coletados foram obtidos por meio de testes conceituais de verificação da aprendizagem, aplicados antes, durante e após as aulas. A análise dos dados foi realizada por meio da Análise de Conteúdo, tendo como unidade de análise as respostas dos alunos. Os dados foram categorizados em Compreensão Conceitual, Aplicação do Conhecimento e Mudança de Opinião. A pesquisa concluiu que a metodologia de ensino PI é eficaz para otimizar o tempo de sala de aula, promover o engajamento dos alunos e melhorar gradativamente seu estado de compreensão e habilidade de aplicação do conteúdo. Dessa forma, os alunos conseguem progredir de uma compreensão ou habilidade parcial, após o momento pré-aula, até demonstrarem compreensão ou habilidade de aplicação durante e após a aula.

Palavras-chave: ensino de física; física moderna; radiação do corpo negro; metodologia ativa; peer instruction; ensino de jovens e adultos (EJA).

ABSTRACT

The present research aims to investigate evidence of improved learning among Youth and Adult Education (EJA) students regarding the classical and modern descriptions of black-body radiation, resulting from the integration of the Peer Instruction (PI) methodology into the teaching-learning process. To achieve this objective, a qualitative study with an action research approach was conducted with 28 students in the 11th stage of the 2024 academic year of the Youth and Adult Education (EJA) program at the Antônio da Encarnação Filho State School, within the Amazonas State education network. Aligned with the theoretical framework of learning, the collected data were obtained through conceptual learning verification tests administered before, during, and after the lessons. The data analysis was performed using Content Analysis, with student responses as the unit of analysis. The data were categorized into Conceptual Understanding, Knowledge Application, and Opinion Change. The research concluded that the PI teaching methodology is effective in optimizing classroom time, promoting student engagement, and gradually improving their state of understanding and ability to apply the content. Consequently, students are able to progress from a partial understanding or skill after the pre-class phase to demonstrating comprehension or application skills during and after the lesson.

Keywords: physics teaching; modern physics; black-body radiation; active methodology; peer instruction; youth and adult education (EJA).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema dos processos da metodologia PI	24
Figura 2 - Processos da Metodologia Instrução por pares.	27
Figura 3 - Comportamento temperatura x comprimento de onda	44
Figura 4 - Espectro de cor emitido de acordo com a temperatura	46
Figura 5 - Comportamento da radiância espectral em função da frequência e do comprimento de onda para diferentes temperaturas	48

LISTA DE IMAGENS

Imagem 1 - Momento de votação pós discussões em grupos.....	61
Imagem 2 - Momento de votação pós explicação	61
Imagem 3 - Enquete sobre a participação no momento da pré-aula 1.....	71
Imagem 4 - Enquete sobre a participação no momento da pré-aula 2.....	71
Imagem 5 - Enquete sobre a participação no momento da pré-aula 3.....	71
Imagem 6 - Foto do experimento Efeito Dominó térmico	76
Imagem 7 - Momento de apresentação do experimento sobre as formas de propagação de energia térmica (calor).....	76
Imagem 8- Processo de construção do experimento radiação do Corpo Negro.....	78
Imagem 9 - Experimento radiação do corpo negro em funcionamento.	78
Imagem 10 - Momento de aplicação em sala de aula do experimento de radiação do corpo negro	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - votação dos alunos sobre a compreensão dos tópicos de radiação eletromagnética e térmica antes e após as atividades didáticas em sala na aula 1.....	64
Tabela 2 - resultados percentuais das votações antes e depois das atividades didáticas da aula 1.	65
Tabela 3 - votação dos alunos sobre a compreensão dos tópicos de radiação do corpo negro e lei de Stefan- Boltzmann antes e após as atividades didáticas da aula 2.....	66
Tabela 4 - resultados percentuais das votações antes e depois das atividades didáticas da aula 2	67
Tabela 5 - votação dos alunos sobre a compreensão dos tópicos Lei de Wien, Transição entre a física clássica e a moderna e Lei de Planck antes e após as atividades didáticas da aula 3.	68
Tabela 6 - resultados percentuais das votações antes e depois das atividades didáticas da aula 3	69
Tabela 7 - desempenho individual e do grupo por questão/ tópico dos participantes no pós- teste.	70
Tabela 8 - Ganho normalizado de Hake em relação aos tópicos na comparação entre o pré-teste e o pós-teste	89

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Votação no momento de pré-aula ao item 1 da aula 1, tópico de radiação eletromagnética.....	72
Gráfico 2 - Votação no momento pós- explicação à item 1 da aula 1, tópico de radiação eletromagnética.....	72
Gráfico 3 - Votação no momento pós disc. ao item 1 da aula 1, tópico de radiação eletromagnética.....	72
Gráfico 4 – Votação no momento de pré aula ao item 2 da aula 1, tópico de radiação eletromagnética.....	73
Gráfico 5 – Votação no momento pós disc. em grupos ao item 2 da aula 1, tópico de rad. eletromagnética.....	73
Gráfico 6 - Votação no momento pós explicação e pós discussão em grupo ao item 4 da aula 1, tópico de radiação eletromagnética.	74
Gráfico 7 - Votação no momento de pré aula ao item 5 da aula 1, tópico de radiação térmica.	75
Gráfico 8 - Votação no momento após a discussão em grupos ao item 5 da aula 1, tópico de radiação térmica.....	75
Gráfico 9 - Votação no momento de pós explicação à questão 7 da aula 1, tópico de radiação térmica.	77
Gráfico 10 - Votação no momento pré-aula à questão 1 da aula 2, tópico de radiação do corpo negro.	77
Gráfico 11 - Votação no momento pós explicação à questão 1 da aula 2, tópico de radiação do corpo negro.....	79
Gráfico 12 – Votação no momento pós exp. ao item 3 da aula 2, tópico de radiação do corpo negro	80
Gráfico 13 – Votação no momento pós disc. em grupos ao item 3 da aula 2, tópico de radiação do corpo negro.	80
Gráfico 14 - Votação no momento pós explicação ao item 5 da aula 2, tópico Lei de Stefan-Boltzmann.....	81
Gráfico 15 - Votação no momento pós disc. em grupos ao item 5 da aula 2, tópico Lei de Stefan-Boltzmann.....	81
Gráfico 16 - Votação no momento pós exp. ao item 6 da aula 2, tópico Lei de Stefan-Boltzmann.	82

Gráfico 17 - Votação no momento pós- disc. em grupos ao item 6 da aula 2, tópico Lei de Stefan-Boltzmann.....	82
Gráfico 18– Votação no momento pós explicação em grupos à questão 1 da aula 3, tópico Lei de Wien.	83
Gráfico 19 - Votação no momento pós discussão em grupos à questão 1 da aula 3, tópico Lei de Wien.....	83
Gráfico 20 - Votação no momento pós explicação à questão 2 da aula 3, tópico Lei de Wien.	83
Gráfico 21 - Votação no momento pré aula ao item 3 da aula 3, tópico transição entre a física clássica e a moderna.	84
Gráfico 22 - Votação no momento pré aula ao item 4 da aula 3, tópico transição entre a física clássica e a moderna.	84
Gráfico 23 - Votação no momento pós explicação ao item 3 da aula 3, tópico transição entre a física clássica e a moderna.....	85
Gráfico 24 - Votação no momento pós explicação ao item 4 da aula 3, tópico transição entre a física clássica e a moderna.....	85
Gráfico 25 - Votação no momento pós explicação ao item 5 da aula 3, tópico Lei de Planck.	85
Gráfico 26 - Votação no momento pós explicação à questão 6 da aula 3, tópico Lei de Planck.	86
Gráfico 27 - Votação no momento pós discussão em grupos à questão 6 da aula 3, tópico Lei de Planck.	86
Gráfico 28 - Votação no momento pós explicação à questão 7 da aula 3, tópico Lei de Planck.	87
Gráfico 29 -Comparação entre os resultados do pós-teste com os das questões resolvidas ao longo das aulas.	88

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	OBJETIVOS	20
2.1	GERAL	20
2.2	ESPECÍFICOS.....	20
3	METODOLOGIA	21
4	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA DA APRENDIZAGEM: PEER INSTRUCTION..	24
5	BREVE REVISÃO DE LITERATURA: PEER INSTRUCTION NO CENÁRIO DO ENSINO DE FÍSICA.....	28
5.1	RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO: PEER INSTRUCTION (PI) E O ENSINO SOB MEDIDA (EsM)	30
5.2	RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO: NA PERSPECTIVA AUSUBELIANA INTEGRADA AS COMUNIDADES INVESTIGATIVAS.....	34
5.3	PEER INSTRUCTION (PI) E SUAS CONTRIBUIÇÕES PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS.....	37
5.4	PEER INSTRUCTION (PI) E O ENSINO DE FÍSICA MODERNA: DUALIDADE ONDA PARTÍCULA	40
6	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA DO CONTEÚDO ESPECÍFICO: RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO	44
6.1	ESPECTRO	45
6.2	CORPO NEGRO	45
6.3	LEI DE DESLOCAMENTO DE WIEN.....	51
6.4	LEI STEFAN-BOLTZMANN	52
6.5	APLICAÇÕES.....	53
6.5.1	Emissão Do Corpo Humano	53
6.5.2	Relação De Temperatura Entre Um Planeta E Sua Estrela.....	54
6.5.3	Temperatura Efetiva Da Terra.....	56
7	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	58
7.1	PRÉ- ANÁLISE.....	60
7.2	DESCRIÇÃO ANÁLITICA	62
7.3	INTERPRETAÇÃO INFERENCIAL.....	71
8	CONCLUSÃO	90
9	REFERÊNCIAS	91

10	APÊNDICES A: QUESTÕES DO MOMENTO PRÉ-AULA E EM SALA DE AULA DA AULA 1	94
11	APÊNDICES B: QUESTÕES DO MOMENTO PRÉ-AULA E EM SALA DE AULA DA AULA 2	96
12	APÊNDICES C: QUESTÕES DO MOMENTO PRÉ-AULA E EM SALA DE AULA DA AULA 3	98
13	APÊNDICES D: PÓS-TESTE.....	100
14	APÊNDICES E: CARTA DE ANUÊNCIA DA ESCOLA	103
15	APÊNCIE D: TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)	105

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas os avanços científicos e tecnológicos têm despertado o interesse de jovens por temas relacionados às ciências. A física, em particular, tem contribuído significativa esse interesse, impulsionando o desenvolvimento da medicina e das engenharias (OLIVEIRA; VIANNA; GERBASSI, 2007).

No entanto, a ausência dos avanços científicos e tecnológicos decorrentes de teorias Físicas nos livros didáticos dessa disciplina na Educação Básica, em destaque a Física Moderna, está causando uma lacuna no currículo de Física. Oliveira; Vianna; Gerbassi (2007) ressalta que essa lacuna, provocada por um currículo de física desatualizado, resulta numa prática pedagógica desvinculada e descontextualizada da realidade do aluno. Esse cenário dificulta que o aluno compreenda a importância de estudar essa disciplina, que, muitas vezes, é resumida a aulas baseadas em fórmulas e equações matemáticas, excluindo o papel histórico, cultural e social.

Considerando os novos estudos e descobertas apresentadas pela comunidade científica nos últimos anos, entende-se a necessidade de inserção da Física Moderna e Contemporânea (FMC) no Ensino Médio. Essa inserção proporcionaria aos estudantes um nível de entendimento mais elaborado e abrangente, contextualizando os alunos com a realidade vivenciada, como preconizam os PCN's (GUIMARÃES, 2018). Além disso, outros documentos norteadores da educação de básica nacional, como a BNCC de 2018, orientam a inserção desses tópicos na disciplina de física a fim de promover o letramento científico da sociedade e proporciona o desenvolvimento de habilidades e competências (BRASIL, 2018).

Dessa forma, torna-se essencial a utilização de metodologias de ensino que adequem o conteúdo a ser trabalho com às necessidades dos alunos, promovendo o engajamento e a participação ativa dos estudantes. Segundo Araújo; Abib, (2003), o uso de atividades experimentais no ensino da Física tem sido apontado por professores e estudantes como uma estratégia de grande potencial para minimizar dificuldades no processo ensino-aprendizagem. Em geral, o uso de experimentos e simulações no Ensino Médio é uma das formas de estimular a participação dos alunos como agentes ativos no processo ensino e aprendizagem.

Sendo assim, atualmente, buscam-se metodologias de ensino capazes de promover o desenvolvimento de diversas atividades teóricas e práticas. A metodologia de ensino *Peer Instruction* (PI) traduzida como instrução por pares/ colegas, surgiu da prática docente de seu idealizador, o professor de física Eric Mazur, na Universidade de Harvard e se apresenta como uma metodologia ativa capaz de integrar as características que precisam fazer parte do processo

de ensino-aprendizagem. Tendo como seu principal objetivo atrelar os conhecimentos teóricos adquirido pelos alunos a prática, isto é, enfatizar a importância de que o conhecimento adquirido precisa ser aplicado a situações da realidade dos alunos (MAZUR, 2015).

A metodologia coloca o aluno no centro do processo de aprendizagem, dando-lhe autonomia e responsabilidades. Antes da aula, o aluno lê o material e responde a testes conceituais. Durante a aula, participa de discussões em grupo, argumenta e responde a testes (CAMILLO; GRAFFUNDER, 2022). Ibid., o professor, por sua vez, guia as atividades e garante a eficiência do processo. Isso inclui: preparar testes para verificar as dificuldades dos alunos. Ministras aulas focadas nas dificuldades identificadas. Avaliar a aprendizagem e; promover discussões em grupo para estimular a aprendizagem entre os pares.

Espera-se que este trabalho possa contribuir para o aprimoramento do processo de ensino-aprendizagem dos estudantes na área da Física Moderna, uma vez que a teoria educacional em pauta é um método de aprendizagem ativa que possui dois objetivos básicos: explorar a interação entre os estudantes e focar sua atenção nos conceitos fundamentais para a resolução de questionamentos propostos em sala (ARAUJO *et al.*, 2016). Visando torna o estudante protagonista da sua própria aprendizagem e trazer um novo olhar para a forma de aprender em pares/grupos, contribuiremos por meio da produção de um material de apoio prático-metodológico para o professor de Física: uma Sequência Didática (SD) (BASTOS, 2023).

Considerando este cenário, esta pesquisa abordou o conteúdo de Radiação do corpo negro por meio da metodologia *Peer Instruction*. A sequência didática, composta por 4 aulas de 55 minutos, foi implementada em uma turma da 11ª etapa do EJA, com 28 alunos, da rede de ensino do Estado do Amazonas. Seguindo as etapas da metodologia ativa de Eric Mazur, investigou-se a aprendizagem dos estudantes por meio de testes conceituais nos momentos:

- **Pré aula:** após o primeiro contato com os conteúdos, por meio de videoaulas;
- **Em sala de aula:** após a explicação do professor que utilizou de animações, atividades práticas experimentais e simulações para facilitar a combinação de recursos visuais como imagens, gráficos e desenhos, e após as discussões em grupos e;
- **Após a implementação da SD:** para avaliar a consolidação da aprendizagem.

Salientamos o caráter translacional da pesquisa, que se desenvolve a partir da inquietação do dia a dia do professor e pesquisador. Objetiva-se que esta seja uma proposta viável para a maioria dos professores de Física do país, passível de reimplementação e capaz de dar apoio aos docentes que, porventura, estejam sem ministrar aulas neste ramo da Física há

alguns anos e vejam este trabalho como um desafio para seu aprimoramento em relação aos conhecimentos da Física Moderna. Além disso, o pesquisador leciona a cinco anos na modalidade EJA que no Estado do Amazonas, recentemente, passou a funcionar de forma híbrida (presencial: terça, quarta e quinta-feira; remota: segunda e sexta-feira). Isso torna a metodologia *Peer Instruction* uma escolha assertiva para o contexto educacional específico.

Diante do exposto, e considerando os desafios contemporâneos no ensino de Física Moderna, esta pesquisa busca responder à seguinte questão: Como a metodologia *Peer Instruction* contribui para a aprendizagem dos conceitos físicos da descrição clássica e moderna da radiação do corpo negro para estudantes da EJA?

Para responder a essa questão, adotaremos a pesquisa-ação, como guiar, designer de pesquisa para planejar, agir, observar e refletir. Realizaremos uma análise qualitativa por meio da análise de conteúdo.

Essa dissertação foi estruturada com 8 capítulos. De tal forma que pudéssemos apresentar, no capítulo 1, uma introdução que enfatiza a necessidade de inserção da física moderna no ensino médio e justificamos a relevância dessa pesquisa. No capítulo 2, o objetivo geral e os específicos. No capítulo 3, a metodologia de pesquisa. No capítulo 4, a metodologia de ensino. No capítulo 5, uma breve revisão de literatura, visando identificar as metodologias de ensino utilizadas para maximizar a eficiência do processo de ensino aprendizagem da radiação do corpo negro, as ferramentas e os recursos didáticos utilizados durante a implementação da metodologia PI no processo de ensino aprendizagem e como a ela está sendo inserida no processo de ensino aprendizagem de tópicos de física moderna. No capítulo 6, a fundamentação teórica sobre a radiação do corpo negro a nível de graduação. No capítulo 7, os resultados e discussões e o processo de implementação da SD. No capítulo 8, apresentasse uma conclusão sucinta, alicerçada nos resultados e discussões propostas. Nos apêndices, a carta de anuência do sistema de ensino onde implementamos a pesquisa, o modelo dos termos de consentimento assinados pelos alunos, os testes conceituais utilizados no momento pré-aula e pós-aula e o produto educacional desenvolvido.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Investigar indícios de melhoria na aprendizagem de estudantes da EJA sobre a descrição clássica e moderna da radiação do corpo negro decorrentes da inserção da metodologia *Peer Instruction* no processo de ensino aprendizagem.

2.2 ESPECÍFICOS

- a) Elaborar e aplicar uma proposta de Sequência Didática (SD) sobre a radiação do corpo negro utilizando a metodologia *Peer Instruction*, com foco no papel ativo do aluno na construção do conhecimento.
- b) Investigar como a metodologia *Peer Instruction* estimula a interação e a colaboração entre os estudantes durante o processo de aprendizagem da radiação do corpo negro.
- c) Analisar como a participação ativa dos estudantes, promovida pela metodologia *Peer Instruction*, contribui para a compreensão do processo evolutivo da física clássica para a física teórica.
- d) Analisar a influência da metodologia *Peer Instruction* na aprendizagem dos estudantes da EJA em relação ao conhecimento sobre a radiação do corpo negro.
- e) Elaborar um produto educacional aplicado: Uma SD sobre a radiação do corpo negro incorporando a metodologia *Peer Instruction* para promover o protagonismo do aluno no processo de ensino-aprendizagem da radiação do corpo negro.

3 METODOLOGIA

Esta dissertação caracteriza-se como uma pesquisa qualitativa, pois nosso objeto de estudo é o processo de aprendizagem dos alunos como uma atividade interativa, interpretativa e realizada a partir do contato entre pessoas com foco em analisar os dados sobre o próprio olhar dos participantes, considerando suas interpretações, com interesse no processo e não no resultado, considerando o contexto e as influências do meio, os conhecimentos prévios dos alunos, as condutas do pesquisador (OLIVEIRA, 2010).

Além disso, o presente trabalho apresenta natureza exploratória, visto que a pesquisa busca aprofundar os desdobramentos da utilização da metodologia *Peer Instruction* (PI) para o processo de ensino aprendizagem de conteúdos específicos com o objetivo de investigar o impacto da metodologia PI no processo de ensino aprendizagem de estudantes da EJA sobre a radiação do corpo negro. A escolha dessa metodologia se justifica por sua natureza inovadora e sua potencialidade para promover o engajamento e a aprendizagem ativa dos alunos.

Esta pesquisa é do tipo **pesquisa-ação** apresentando-se como uma possibilidade promissora para o aprimoramento de metodologias de ensino aprendizagem em contextos reais, uma vez que estimula o desenvolvimento da pesquisa como atributo indissociável ao aprimoramento prático (SILVA; MATIAS; BARROS, 2021 apud LEWIN, 1946, p. 491) e estimula a compreensão de uma gama de significados decorrentes de ações e acontecimentos em um ambiente de aprendizagem real, associando aspectos teóricos e práticos, a fim de estabelecer condições favoráveis à ocorrência de aprendizagem em um contexto social: a sala de aula.

Os participantes desta pesquisa são 28 alunos das turmas de 11ª etapa do ano de 2024 da modalidade de ensino EJA da Escola Estadual Antônio da Encarnação Filho, localizada na Av. Desembargador João Machado, 211, Lírio do Vale, Manaus-AM. Os alunos convidados a participar dessa pesquisa foram eleitos por um único critério, a assiduidade ao longo do ano letivo. A participação desses alunos nas aulas presenciais nem sempre é possível, visto que todos eles trabalham durante o período diurno e muitas vezes vão direto de seus trabalhos para a escola. Considerando essa realidade, a metodologia *Peer Instruction* se apresenta como uma alternativa promissora, permitindo flexibilizar o processo de ensino-aprendizagem e integrar momentos assíncronos.

A participação dos estudantes ocorreu no turno noturno, entre os dias 05 e 15 de novembro de 2024, com 4 aulas de 55 minutos cada, orientadas pela metodologia de ensino *Peer Instruction* (PI). Seguindo as diretrizes da metodologia utilizada, as aulas foram divididas

em três momentos, o pré-aula (fora da sala de aula), o momento aula (em sala de aula) e o pós aula (em geral, fora da sala de aula), ao passo que em cada um desses momentos os alunos devem responder a testes composto por itens conceituais, objetivos e de múltipla escolha, nesta pesquisa utilizamos as aulas assíncronas como nosso momento pré aula, já que durante o período diurno os alunos estariam impossibilitados ou encontrariam grande dificuldade em participar, e o momento pós aula foi realizado durante a nossa 4º encontro de 55 minutos, o qual se dividiu em duas etapas interconectadas:

- a. A primeira etapa da pesquisa consistiu na aplicação do pré-teste para investigar o estágio de aprendizagem dos alunos sobre a radiação do corpo negro adquiridos. O pré-teste foi aplicado de forma online, por meio da plataforma Google Forms, e;
- b. A segunda etapa da pesquisa consistiu na aplicação de uma Sequência Didática sobre a radiação do corpo negro fundamentada na metodologia *Peer Instruction*, em sala de aula. Durante os encontros, foram apresentados conceitos e experimentos sobre a radiação do corpo negro, e os alunos foram estimulados a discutir e interagir entre si.

A coleta de dados. Para coletarmos os dados necessários para a pesquisa, foram utilizados testes conceituais, no momento pré-aula e durante as aulas 1, 2 e 3 e, no momento pós-aula, durante o quarto encontro.

Em relação aos instrumentos de coleta de dados, vale salientar que alguns dos itens do pré-teste também faziam parte dos testes aplicados durante as aulas, pois precisávamos atendermos as especificidades metodológicas da PI. O percentual de respostas corretas dos alunos orientou as decisões durante a intervenção em sala de aula.

Durante as aulas, as respostas foram coletadas por meio do aplicativo Plickers instalado no celular do professor, conforme detalhado na metodologia de ensino apresentada no produto educacional, [seção 22.2](#), que permite coletar as respostas dos alunos rapidamente além de permitir a visualização do percentual de votantes em cada alternativa, bem como o nome de cada um que votou em cada alternativa, segundos após a votação.

Como a escola não possuía uma internet estável e de boa qualidade para muitos acessos simultâneos, utilizamos esse recurso gratuito, mas poderiam utilizar-se outros como o google forms.

Além dos instrumentos mencionados, utilizou-se a **observação participante** “uma estratégia de campo que combina ao mesmo tempo a participação ativa com os sujeitos, a observação intensiva em ambientes naturais, entrevistas abertas informais e análise documental” (OLIVEIRA, 2008 *apud* MOREIRA 2002, p. 8). Ibid., p. 8, possibilitam perceber

que nesse processo o pesquisador assume o papel de **participante observador**, visto que os participantes assentiram e consentiram com sua participação, cientes do carácter científico, dos objetivos, dos seus direitos e deveres, conforme termo de consentimento (Anexo C) e da duração da pesquisa.

Esta pesquisa não foi submetida à avaliação de nenhum comitê de ética, por não ser uma obrigatoriedade do programa. Toda via em conformidade com a atual resolução do Conselho Nacional de Pesquisas Sociais CNS 510/2016 (BRASIL, 2016) adotamos os seguintes procedimentos para garantir a integridade ética da pesquisa: *Obtenção do Termo de Anuência da escola (Anexo A)* e *Assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)* pelos participantes (Anexo B).

Os dados foram analisados à luz da análise de conteúdo, uma vez que a mesma pode ser caracterizada por focar na análise de mensagens (comunicações) que podem ser categorizadas em temas, frases ou palavras, com o objetivo de manipulá-las para confirmar indicadores que permitam realizar inferências sobre uma realidade distinta da representada pela mensagem (SANTOS, 2012 *apud* BARDIN, 2011, p. 384). Essa análise se divide em três etapas (MENDES; MISKULIN, 2017 *apud* BARDIN, 1997):

- *Pré-análise*, fase na qual se realiza a “leitura flutuante” dos dados, isto é, define-se a unidade de análise, familiariza-se com ela, formula-se os objetivos de nortear o caminho até a resposta do problema de pesquisa, em resumo, busca-se relacionar os dados coletados com o problema a ser respondido.

- *Exploração do Material*, entendida nesta pesquisa com a análise descritiva dos dados, nesta fase, estabeleceram-se as categorias de análise, formas de pensamento que buscam refletir a realidade, podendo ser um tema, uma frase ou uma palavra. Na definição das categorias levou-se em consideração os momentos de averiguação da aprendizagem, em conformidade com a metodologia de ensino *Peer Instruction*. Além disso, codificaram-se e agregaram-se os dados em tabelas que possibilitem a percepção da sua relação com as categorias definidas.

- *Tratamento dos resultados, a inferência e a interpretação*, denominada neste trabalho de “inferência e interpretação”, considerada como uma técnica que trata os resultados orientada pelas relações de comunicação entre o emissor (o professor pesquisador, aquele que produz a mensagem), o receptor (os alunos, aquele que recebe a mensagem a ser estudada) e a mensagem (o processo de ensino aprendizagem do conteúdo específico), buscando estabelecer relação entre o processo de ensino aprendizagem e a teoria de ensino *Peer Instruction*, a fim de embasar as análises e dar sentido à interpretação (SANTOS, 2017 *apud* BARDIN, 2011, p. 386).

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA DA APRENDIZAGEM: PEER INSTRUCTION

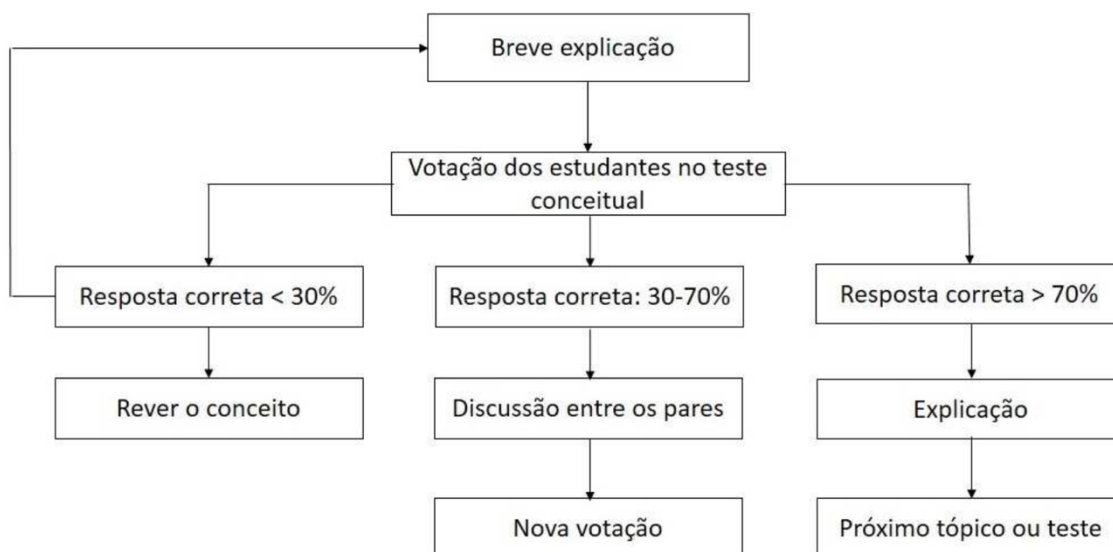
Uma das metodologias mais utilizadas atualmente é a *Peer Instruction* (PI), que tem como principal objetivo tornar as aulas mais interativas e significativas, em que os alunos, em geral, assumem uma postura ativa em sala de aula. O PI faz com que os alunos interajam entre si ao longo das aulas, procurando explicar, uns aos outros, os conceitos estudados, elaborarem hipóteses e apliquem ao conteúdo na solução das questões conceituais apresentadas (PEREIRA, 2020).

O PI, traduzido para o português como “Instrução pelos pares” ou “Instrução pelos colegas”, é trabalhado em uma série de etapas, cada uma delas com um propósito específico. Suscintamente segue um roteiro para aplicação do PI com adição da sala de aula invertida, na qual as etapas são:

- a) Leitura prévia do conteúdo pelos alunos;
- b) Quizzes;
- c) Aula expositiva (máx. 10 minutos);
- d) Testes conceituais (TC);
- e) Conclusão e fornecimento de conteúdo e atividades para próxima aula.

A figura 1 a seguir mostra as etapas dos processos da metodologia PI e seus testes conceituais.

Figura 1 - Esquema dos processos da metodologia PI



Fonte: Adaptação de Lasry; Mazur; Watkins (2008)

A Instrução por Pares nasceu da necessidade que o Professor de Física Eric Mazur, da Universidade de Havard, nos Estados Unidos, notou em manter seus alunos interessados no

conteúdo que ensinava. Em uma entrevista ao canal “Serious Science” intitulada “*Peer Instruction* for Active Learning”, no ano de 2014, Eric Mazur afirmou que não conseguia melhorar o desempenho acadêmico de seus alunos, pois não apresentavam grande interesse nos assuntos estudados, mesmo quando tentava utilizar um método diferente de ensino.

Mazur (2015) ressalta que a metodologia surgiu acidentalmente, quando deixou sua turma com um problema para resolverem, e saiu da sala por alguns minutos. Ao retornar, o professor notou que havia debates pontuais acontecendo entre toda a turma, a respeito do problema levantado, isso o fez perceber que, em sua ausência, o conhecimento foi construído entre os estudantes, uns com os outros, trocando seus pensamentos a respeito da questão e baseados em seus conhecimentos prévios.

A adoção das metodologias ativas ao ensino, especialmente na última etapa da educação básica, vem se tornando necessária, pois os estudantes do ensino médio acompanham e fazem uso das mudanças e tecnologias atuais, nas quais o fluxo de informações é consideravelmente mais acessível e rápido (MELO, 2021 apud MORÁN, 2015). As metodologias ativas promovem a construção do conhecimento através de “análise, estudos, pesquisas e decisões individuais ou coletivas, com a finalidade de encontrar soluções para um problema”(BERBEL, 2011 apud BASTOS, 2006, p. 29).

A finalidade da metodologia ativa é promover aos alunos a autonomia de resolverem os problemas que surgem em suas aprendizagens. Nesse sentido, uma das propostas marcantes acerca do ensino ativo, é proporcionar ao estudante a chance de aderir mais as ferramentas tecnológicas aos seus estudos, que foram vistas, por muito tempo, como inimigas da escola e um atrapalho para as aulas (MELO, 2021 apud MORÁN, 2015).

A principal proposta do *Peer Instruction* é incentivar os estudantes a construírem o conhecimento de forma autônoma, para depois entrarem em momentos de socialização daquilo que foi aprendido, com a orientação de seus professores, sendo semelhante, nesse sentido, à sala de aula invertida (MELO, 2021).

Neste viés de trabalhar com fenômenos relacionados à Física Moderna, surge a ideia de desenvolver animações e programações a fim de facilitar a construção e a exploração através da percepção desses conceitos físicos atreladas à Instrução por pares, onde grupos de estudantes realizarão atividades em equipes por conta própria com auxílio de materiais, utilizando ferramenta gratuita e tecnológica acerca de uma metodologia ativa.

Mazur (2015) descreve os momentos que compõem a sua metodologia, podendo ser adaptados conforme as necessidades dos estudantes em relação ao tema estudado. De maneira

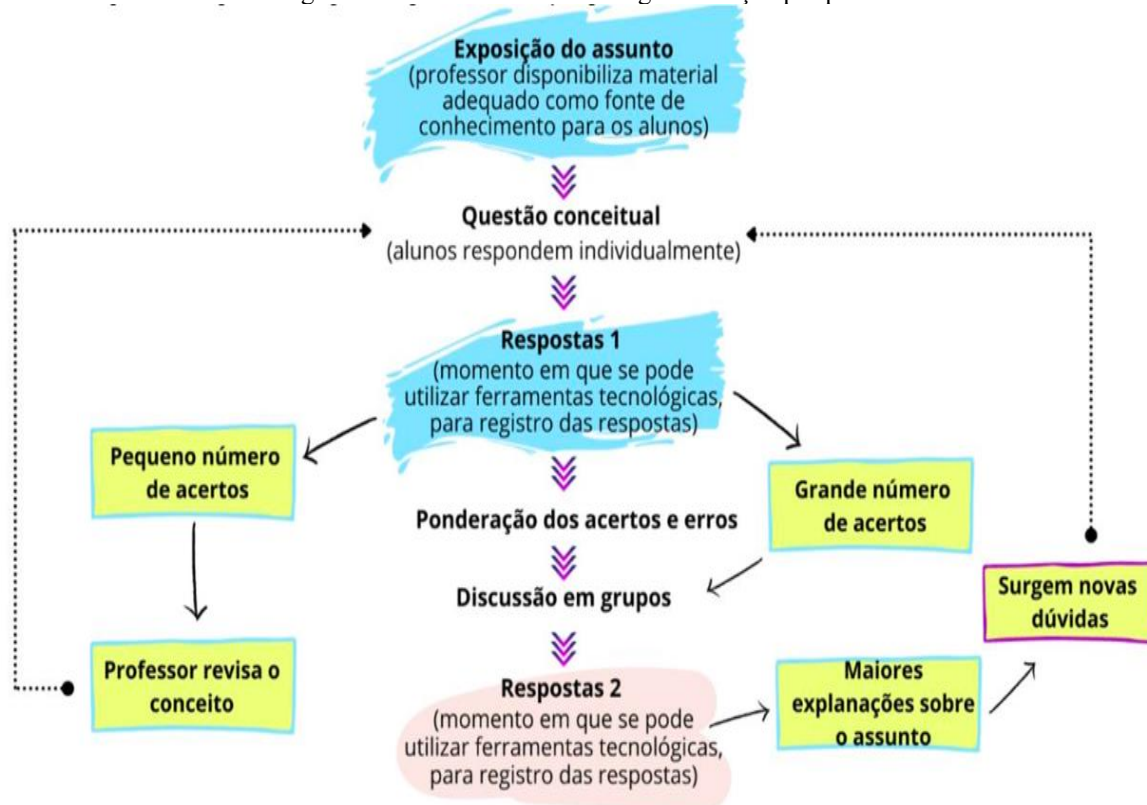
geral, são eles: apresentação, questionamentos, ponderação individual, resposta individual, debates, nova resposta, exposição das respostas, explicação e conclusão do tema estudado.

Müller *et al.* (2017 apud Mazur, 1997), ressaltam que a estrutura proposta por Mazur para o PI pode ser sintetizada nas seguintes etapas:

- 1º Uma curta apresentação oral sobre os elementos centrais de um dado conceito ou teoria é feita por cerca de 20 minutos;
- 2º Uma pergunta de múltipla escolha, geralmente conceitual, denominada Teste Conceitual, é colocada aos alunos sobre o conceito (teoria) apresentado na exposição oral;
- 3º Os alunos têm entre um e dois minutos para pensarem silenciosamente sobre a questão apresentada;
- 4º Os estudantes registram suas respostas individualmente e as mostram ao professor usando algum sistema de respostas;
- 5º De acordo com a distribuição de respostas, o professor pode passar para o passo seis (quando a frequência de acertos está entre 35% e 70%), ou diretamente para o passo nove (quando a frequência de acertos é superior a 70%);
- 6º Os alunos discutem a questão com seus colegas por um a dois minutos;
- 7º Os alunos registram sua resposta revisada e as mostram ao professor usando o mesmo sistema de respostas do passo 4;
- 8º O professor tem um retorno sobre as respostas dos alunos a partir das discussões e pode apresentar os resultados para os alunos e;
- 9º O professor então explica a resposta da questão aos alunos e pode ou apresentar uma nova questão sobre o mesmo conceito ou passar ao próximo tópico da aula, voltando ao primeiro passo.

A figura 2 é um esquema exemplificado dos processos desta metodologia.

Figura 2 - Processos da Metodologia Instrução por pares.



Fonte: Adaptado de Araújo e Mazur (2013).

De acordo com Moraes; Carvalho; Neves (2016) o método acaba sendo composto por uma combinação de avaliações. O professor não precisa esperar a prova, para descobrir o que os alunos não aprenderam, e os alunos não precisam ser afetados com uma nota ruim para perceberem que não aprenderam ou que seus estudos não estão bem focados. Durante as aulas os alunos são avaliados, sua aprendizagem e estudos estão sendo avaliados – o que chamamos de avaliação formativa – e assim qualquer desvio dos objetivos pedagógicos do professor ou insatisfação de aprendizagem por parte dos alunos podem ser contornados antes da prova que, geralmente, detém um maior peso na média final.

Sendo assim, a ideia é que o próprio professor sonde através de um questionário prévio antes da abordagem da sequência de Mazur, a fim de apresentar aos estudantes uma noção geral do recurso sobre será realizada cada atividade por pares. Assim, o professor terá a oportunidade de conceber e divulgar aos alunos a Física, e assim terão a oportunidade de vivenciar fenômenos físicos, até então deixados de lado ou não estudados com a devida atenção e importância.

Cada etapa do trabalho será apresentada como uma atividade, levando em consideração as aulas sobre os conceitos físicos sobre a radiação do corpo negro. As atividades a serem apresentadas aos discentes terá um guia manual sobre noções gerais e o que será explorado.

5 BREVE REVISÃO DE LITERATURA: PEER INSTRUCTION NO CENÁRIO DO ENSINO DE FÍSICA

Para garantir a originalidade desta dissertação e evitar o que Cachapuz *et al.*, (2001 *apud* Lin, 1987) denomina de “*amnésia crônica*”, isto é, a repetição de pesquisas já realizadas, esta seção apresenta uma revisão de literatura focada em trabalhos recentes que abordam a aplicação da metodologia *Peer Instruction* no ensino de Física. A análise dessas obras permitirá identificar lacunas na literatura, fundamentar as escolhas metodológicas desta dissertação e contribuir para a construção de uma proposta de intervenção pedagógica inovadora.

Nesse sentido, esta revisão de literatura tem como objetivos analisar quais as metodologias de ensino vêm sendo utilizadas para promover a ocorrência da aprendizagem do conteúdo específico da Radiação do Corpo Negro e como a metodologia de ensino *Peer Instruction* (PI) vem sendo aplicada no contexto do ensino de Física, com especial atenção ao ensino do conceito de Radiação do Corpo Negro, tema central desta dissertação. A análise dessas obras visa aprofundar a compreensão sobre a implementação do PI e sua eficácia, fornecendo subsídios para a construção da proposta de intervenção pedagógica que desenvolveremos.

Para alcançar esses objetivos, uma busca sistemática por trabalhos relevantes foi realizada, seguindo as etapas descrita abaixo:

1º Delimitação do período de busca: 2015 a 2024

2º Delimitação da plataforma de busca:

A plataforma escolhida foi o Google Acadêmico, por ser um mecanismo de busca gratuito lançado em 2004 que indexa uma ampla gama de artigos de periódicos, teses, dissertações, livros, resumos, anais de congressos, preprints e outros tipos de literatura acadêmica. Abrangendo diversas áreas de conhecimento, além de permitir delimitar o tempo de buscar e permitir buscar por termos específicos, palavras-chaves.

3º Delimitação do grupo de palavras-chaves:

As palavras-chaves utilizadas para levantar o escopo a ser analisado, foram: “*Peer Instruction*”, “Ensino de Física”, “Radiação do corpo negro” e “Ensino de Física Moderna.”

A delimitação inicial do escopo da pesquisa, com base nessas palavras-chave, resultou em um conjunto amplo de trabalhos. Visando a constituição de um corpus de análise mais preciso e condizente com os objetivos da pesquisa, foram estabelecidos novos critérios de seleção, são eles:

1º Qualidade percebida na:

- Clareza do título e do resumo e;
- Publicação em revistas.

2º Relevância direta ao nosso foco:

- Conteúdo específico de Radiação do corpo Negro e;
- Avaliação da aprendizagem em pauta.

Após a aplicação dos critérios de seleção supracitados, selecionamos 4 trabalhos, os quais serão analisados com o intuito de:

- i) Identificar as metodologias de ensino utilizadas para potencializar o processo de ensino aprendizagem do conceito de Radiação do Corpo Negro;
- ii) Analisar os elementos característicos da implementação da metodologia PI, como recursos didáticos e tecnológicos, e sua contribuição para o processo de ensino-aprendizagem de conteúdos de ciências, mais especificamente de física e;
- iii) Perceber como as intervenções pedagógicas de conteúdos de Física Moderna que utilizam o PI como única metodologia de ensino, comunicam e avaliam seus resultados.

Para atingir esses objetivos, os quatro trabalhos selecionados foram divididos em seções para análise, conforme descrito a seguir.

Os dois primeiros trabalhos selecionados ([seção 5.1](#) e [seção 5.2](#)) serão analisados com foco no objetivo i). Eles se destacam por utilizarem metodologias de ensino ativo para o desenvolvimento de Sequências Didáticas para o ensino do conteúdo que será tema desta dissertação. Além disso, a análise destes trabalhos nos permitirá identificar as metodologias que vêm sendo utilizadas para o processo de ensino aprendizagem da radiação do corpo negro.

O terceiro trabalho selecionado ([seção 5.3](#)) será analisado com foco no objetivo ii). Distinguindo-se por ser uma revisão de literatura publicada em um periódico de relevância (Qualis B1) e fazer um levantamento da aplicação da metodologia PI no processo de ensino aprendizagem em ambientes reais de aprendizagem, destacando aspectos indispensáveis para implementação do PI em tais ambientes. Portanto, analisaremos o no intuito de verificar os elementos, recursos e ferramentas utilizadas no processo de implementação da metodologia PI em ambientes reais de aprendizagem.

O quarto e último trabalho revisado ([seção 5.4](#)), será analisado com foco no objetivo iii). Ele mostra-se relevante por ser uma SD aplicada e bem-sucedida sobre um tópico de Física Moderna que utilizar como única metodologia de ensino o PI e seus autores são Professores Doutores da área de ensino de uma das principais universidades do nosso país, a Universidade

do Estado de São Paulo. Por fim, analisar este trabalho nos fornecerá a percepção de como é feita avaliação do processo de ensino aprendizagem de intervenções pedagógicas, que utilizam o PI como única metodologia de ensino, pela literatura especializada.

Dessa forma, esta revisão torna-se concisa, em função do número restrito de trabalhos selecionados, todavia, sem negligenciar os elementos fundamentais analisados em cada um deles: a metodologia de ensino utilizada, os recursos didáticos e tecnológicos empregados, a estrutura das intervenções didática apresentadas, os objetivos de aprendizagem proposto e sua pertinência e/ou coerência, a forma de avaliação da aprendizagem e os resultados obtidos. Acredita-se que essa análise contribuirá significativamente para o desenvolvimento desta dissertação, fornecendo subsídios teóricos e práticos para a construção de uma proposta de intervenção pedagógica eficaz para o ensino de Radiação do Corpo Negro, baseada na metodologia PI.

5.1 RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO: PEER INSTRUCTION (PI) E O ENSINO SOB MEDIDA (ESM)

O primeiro estudo analisa a trabalho de conclusão intitulado de **“Radiação Térmica da Física Clássica à Física Moderna: Uma proposta de abordagem da Física Moderna no Ensino Médio.”** Apresentada por **Bruno Antônio Emmerich** como requisito para a obtenção do título de professor de ciências com habilitação em física ao **Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina**. Este trabalho pode ser situado dentro da Área de Ensino de Física e na linha de pesquisa de Ensino de Física no Ensino Médio.

Interessante, destacarmos a relevância desse TCC para o desenvolvimento dessa dissertação, uma vez que dois de seus conteúdos centrais, a radiação do corpo negro e o PI são os conteúdos centrais da dissertação a ser desenvolvida. Dada a relevância para o presente estudo, faz-se necessário, inicialmente, apresentar seus objetivos.

O objetivo do trabalho de Emmerich (2022) é discutir questões epistemológicas e históricas da transição do modelo clássico para o quântico na compreensão da radiação térmica, enfatizando os "comos" e "porquês" dessa transição. Para isso, propõe uma sequência didática (SD) baseada na combinação das metodologias *Peer Instruction* (PI) e Estudo de Material (EsM). A ideia central do PI é a aprendizagem de conceitos a partir da discussão em grupo estimulada pela apresentação de questões conceituais. O EsM tem por foco desenvolver o processo de ensino e aprendizagem nas dificuldades dos alunos, previamente identificadas por meio da análise das respostas a questões no momento pré-aula.

O autor justifica a escolha do tópico Física Moderna. Emmerich (2022) corrobora a relevância da inserção do tópico no ensino básico, alinhando-se a pesquisadores como Arthury; Garcia (2020) e à BNCC (2018), que enfatizam a aplicação desses conceitos no cotidiano do aluno. O autor também aborda as deficiências na formação de professores e na estruturação da Física no ciclo básico, referenciando autores como Ostermann; Moreira (2000), Sanches e Neves (2011) e Batista (2015). Além disso, destaca o impacto das transformações tecnológicas oriundas da Física Moderna no cotidiano, com base em Martins (2005), Ostermann; Moreira; Massoni (2007) e Forato; Martins; Pietrocola (2011).

Embora o objetivo esteja claro, nota-se a ausência de uma justificativa específica para a escolha da metodologia de ensino e porque ela pode potencializar a aprendizagem do conteúdo específico de radiação do corpo negro, tampouco o porquê da escolha do conteúdo. A não justificativa do porquê da escolha metodológica ocasiona uma dificuldade da implementação em sala de aula, pois os objetivos da aprendizagem estão ligados a essa justificativa, essa seria uma dificuldade a mais a aplicação dela em sala de aula.

Essa limitação, entretanto, poderia ser facilmente contornada, potencializando as possibilidades de aplicação da mesma a um contexto real, uma vez que a escolha tanto do PI como do EsM poderia ser justificada pela “maximização” do tempo em sala de aula, uma vez que parte do processo de ensino aprendizagem ocorre fora do ambiente de aprendizagem, o que promove um “ganho de tempo”. Além disso, promove o enganchamento, a participação e a autonomia do aluno ao longo do processo.

Diante desse cenário, que inclui a defesa da inserção da Física Moderna no Ensino Médio e a discussão sobre as deficiências na formação de professores, Emmerich (2022) propõe uma intervenção pedagógica baseada em uma metodologia de ensino que combina o PI e o EsM, utilizando a história da ciência e a filosofia como abordagens interdisciplinares para apresentar os conteúdos sobre radiação térmica. Busca-se, assim, evidenciar os "comos" e "porquês" do processo construtivo científico, desde as concepções iniciais até a consolidação das teorias e leis científicas. A SD, fundamentada na discussão em grupo (PI) e no foco nas dificuldades prévias dos alunos (EsM), foi planejada para ser desenvolvida em três aulas.

A SD desenvolvida pelo autor apresenta:

- a) Os conteúdos específicos a serem trabalhados;
- b) Os objetivos de aprendizagem, onde propõe que o aluno deverá ser capaz de:
 - Compreender a Radiação Térmica Clássica e a Radiação Térmica Moderna.
 - Entender o contexto histórico em que ocorreu a transição da Radiação Térmica

- Clássica para a Moderna, ressaltando os aspectos históricos e filosóficos que levaram à transição;

- Articular aspectos de natureza da ciência presentes no recorte histórico.

c) O procedimento didático para cada uma das aulas, onde o autor indicar:

- Textos bases a serem utilizados antes de cada aula;

- Questões a serem utilizadas durante cada uma das aulas;

- Os Momentos (as etapas) de cada aula e;

- O tempo a ser gasto e o que fazer durante cada um desses momentos.

d) Apresenta ainda os recursos didáticos a serem usados e as referências para a construção da SD.

De acordo com o autor a sequência didática foi enviada para que alguns professores aplicassem, porém não houve um feedback dos professores aplicadores e considerou-se que a SD não foi aplicada.

Embora a SD apresente uma estrutura detalhada, o próprio autor, nas considerações finais, destacar alguns pontos a serem aprimorados:

- Impossibilidade da reapresentação de conceitos, quando constado dificuldades de aprendizagem;

- A impossibilidade de a sequência abranger todos os tópicos conceituais e epistemológicos relevantes à temática e;

- A carência de contextualização sócio-histórica do desenvolvimento científico abordado.

Além das limitações apresentadas pelo próprio autor, destacamos alguns pontos a serem aprimorados, sem a necessidade da aplicação:

- A sugestão de uma forma de avaliação da aprendizagem decorrente da aplicação da mesma. Apesar de sugerir uma avaliação não propõe nem uma metodologia de pesquisa e nenhum de análise para avaliar a efetividade da mesma;

- A instrução de objetivos e aprendizados específicos a cada aula;

- A definição de habilidades e competências a serem trabalhadas em cada aula na perspectiva da BNCC (2018) e;

- A elaboração de testes capazes de avaliar a aprendizagem de cada um dos tópicos propostos.

Retornando à discussão sobre as limitações, um ponto crucial que merece atenção é a ausência de uma proposta de avaliação da aprendizagem. A efetividade da sequência didática ou caminhos para construir uma é de extrema relevância na perspectiva da aprendizagem baseada em evidências sugeridas por inúmeras referências na área de ensino como Hattie (2017) e Collective (2003).

Destacamos que se a sequência apresentasse, as competências e habilidades a serem desenvolvidas, poderíamos escolher as questões a serem respondidas durante as aulas a elas, possibilitando uma validação interna na perspectiva de Méheut; Psillos (2009).

No mesmo intuito, se houvessem pré-testes e pós-testes poderíamos averiguar a efetividade dela pelo ganho normalizado de Hake, comparando o estado “cognitivo final” ao estado “cognitivo inicial”.

O autor apresenta também caminhos que podem melhorar a sua SD:

- A implementação em um ambiente real de aprendizagem;
- A avaliação a efetividade da sequência.

É importante destacarmos que a SD proposta por Emmerich (2022) tem como principal ponto forte a promoção de um ambiente de ensino aprendizagem centrado no aluno, pois o uso de metodologias de ensino ativo vem se mostrando uma forma de ensino muito promissora e capaz de promover um processo atrativo e eficiente.

A análise desse trabalho se mostrou relevante para a dissertação a ser produzida, pois já fornece algumas justificativas em relação a necessidade de elaborarmos intervenções que busque a inserção de física. Além de mostrar uma forma de implementar a PI a um produto educacional, a SD.

A revisão do trabalho de Emmerich (2022) foi fundamental para a presente dissertação, identificando pontos fortes e fracos de uma proposta de ensino de radiação do corpo negro, e servindo de base para a construção de uma nova SD. Ademais, ressalta-se a importância de uma fundamentação teórica robusta para a escolha e implementação de metodologias ativas de aprendizagem. Por fim, a análise crítica aqui apresentada serve como base para as próximas revisões, que apresentarão e analisarão outras abordagens, a fim de possibilitar uma maior compreensão sobre o tema e as metodologias a ele aplicadas

5.2 RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO: NA PERSPECTIVA AUSUBELIANA INTEGRADA AS COMUNIDADES INVESTIGATIVAS.

Analisaremos agora a dissertação intitulado de **“Comunidades Investigativas no Ensino de Física: Uma Abordagem Interdisciplinar da Radiação do Corpo negro”** Apresentada por **Daniel Sampaio Nunes** como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física a **Universidade de Brasília** no **Programa de Pós-Graduação de Mestrado Profissional em Ensino de Física** no ano de 2019. Este trabalho está situado dentro da Área de Ensino de Física e na linha de pesquisa de Ensino de Física no Ensino Médio.

A relevância desse trabalho para a produção desta dissertação se dá por ser uma dissertação de um mestrado profissional, ter produzido um produto educacional aplicado e aborda o conteúdo da Radiação do corpo negro, além de situar como diferentes metodologias de ensino vem sendo utilizadas para promover a aprendizagem desse conteúdo, pontos que estão intimamente relacionados ao desenvolvimento deste trabalho.

Dada a relevância desse trabalho para o desenvolvimento da presente dissertação, é importante ressaltar que, de acordo com (NUNES, 2019), o objetivo do trabalho é apresentar uma abordagem interdisciplinar para o ensino do fenômeno da Radiação do Corpo Negro, de modo a incentivar a construção de um raciocínio logicamente elaborado e sistematizado pelos estudantes, fundamentando o estudo em questão nos princípios da aprendizagem significativa de Ausubel (1980) e integrando-a a condução de uma comunidade de investigação, conforme propõe Lipman (1985; 1990; 1995). O autor justifica o uso dessas metodologias como um rompimento dos paradigmas tradicionais que afastam o aluno da aprendizagem, uma vez que essas metodologias tornam a aprendizagem e desenvolvimento do aluno o centro de todo o processo.

A teoria da aprendizagem significativa de Ausubel explica o processo cognitivo de compreensão de novas informações a partir de saberes preliminares, os quais estão organizados em estruturas cognitivas denominadas subsunçores. Essa abordagem toma como ponto de partida o conhecimento prévio do aluno. Um novo conhecimento só se torna significativo quando relacionado a um subsunçor, ou seja, uma estrutura cognitiva já existente, adquirindo sentido a partir dela. O presente produto educacional baseia-se nas etapas de aprendizagem de Ausubel: representacional, de conceitos e proposicional.

O programa de filosofia para crianças de Lipman (1985; 1990; 1995), também conhecido como comunidade de investigação, visa desenvolver o pensamento crítico dos alunos. Para isso, aprimora habilidades de raciocínio lógico, formação de conceitos, investigação e tradução, descentralizando o processo de aprendizagem da figura do professor,

em oposição ao que ocorre no ensino tradicional. Segundo Lipman, a sala de aula se torna uma comunidade de investigação quando os alunos começam a pensar de forma organizada e crítica sobre os valores sociais, os quais a escola pode modificar ou perpetuar. Essa proposta, aliada à teoria da aprendizagem significativa, norteou o desenvolvimento e a aplicação do presente produto educacional.

O autor conectar as duas metodologias utilizadas, mostrando a importância de se ter a filosofia como coadjuvante no processo de aprendizados de conceitos específicos de outras áreas.

“A abordagem sugerida pelo Programa de Filosofia para Crianças e Adolescentes define-se como uma Teoria Educacional e, como tal, estabelece normas e procedimentos que visam a alcançar metas estabelecidas pela abordagem de Ausubel, ou seja, um aprendizado significativo. (NUNES, 2019).”

Nunes (2019) utiliza um mapa conceitual para ilustrar como os processos de aprendizagem representacional, de conceitos e proposicional de Ausubel se articulam com as habilidades de raciocínio, formação de conceitos, investigação e tradução propostas por Lipman. Nesse sentido, a comunidade de investigação serve como um ambiente propício para que os alunos ativem seus subsunçores e construam novos significados a partir da interação com os colegas e com os materiais didáticos.

Diante do exposto, o autor apresenta sua proposta de intervenção pedagógica para promover a aprendizagem do conteúdo específico, a elaboração de uma SD sobre os conceitos de radiação do corpo negro para alunos da 3ª série do Centro Educacional em Período Integral (CEPI) Pedro Xavier Teixeira (PXT), da cidade de Goiânia com duração de 8 horas aula. O autor apresenta por meio de quadros:

- a) Objetivos gerais da SD:
 - Estimular a criação de um raciocínio lógico, coerente e desenvolvido;
 - Elaborar dispositivos plausíveis para proporcionar condutas que conduzam ao diálogo, ao questionamento, à reflexão, à evolução natural e à independência do estudante;
 - Compreender os mecanismos de absorção da radiação por um corpo escuro;
 - Demonstrar uma relação entre a absorção dos raios do espectro luminoso com o aumento de temperatura;
 - Entender os fenômenos relacionados à radiação bem como sua aplicação no dia a dia, compreendendo as potencialidades e os riscos da radiação;
 - Permitir o trabalho em grupo e;
 - Desenvolver a habilidade de manuseio de materiais e instrumentos.

Embora a SD proposta por Nunes apresente diversos pontos fortes, como a detalhada estrutura apresentada em quadros, um aspecto que poderia ser aprimorado é a formulação dos objetivos da sequência. Observa-se que os mesmos são, em sua grande maioria, objetivos de ensino e não de aprendizagem, visto que o autor frisa a todo momento a vontade de concentrar o processo de ensino na aprendizagem, a formulação de objetivos de aprendizagem estreitaria o foco do processo na aprendizagem e não na ação do professor como os objetivos de ensino conduzem a se fazer. Apesar de ser um aspecto sutil, é um aspecto muito relevante para a definição das ações e estratégias de ensino.

- b)* A metodologia;
- c)* As formas de avaliação dos estudantes; da aprendizagem e da própria SD;
- d)* Roteiros para encontros onde apresenta textos auxiliares, situações problemas;
- e)* Momentos de Leitura reflexivas;
- f)* Momentos de Intervenções e ponderações do docente;
- g)* Momentos de miniaulas explicativas;
- h)* Momentos de aplicação das avaliações e;
- i)* Delimitação do tempo de algumas atividades, salientando que a delimitação do tempo não precisa ser exageradamente rígida.

Após a aplicação da SD descrita acima, Nunes (2019) expõe em seus resultados e discussões que todas as decisões foram orientadas de acordo com a teoria de Ausubel, iniciando pela aplicação de um pré-teste composto por 8 questões discursivas, no intuito de detectar a existência de subsunçores relacionados a calor, espectro de luz, transmissão de calor e radiação, e com as orientações de Lipman usando textos auxiliares a fim de criar subsunçores não detectados na estrutura cognitiva dos alunos.

Destaca-se as discussões em sala de aula, fomentadas pelos textos potencialmente significativos e pelas situações-problema, evidenciaram a progressiva construção do conhecimento pelos alunos. Ele observa, por exemplo, que os alunos demonstraram maior compreensão dos conceitos relacionados à radiação do corpo negro após a discussão sobre o acidente com o Césio-137 em Goiânia, os procedimentos realizados pelos alunos nos experimentos e as situações problemas resolvidas ao longo das aulas que indicavam a indícios de ocorrência da aprendizagem deles.

Nota-se a ausência da verificação da efetividade da aprendizagem por parte dos alunos de maneira mais precisa, não houve uma atividade que pudesse averiguar a integralização das aprendizagens e os benefícios advindos da aplicação desta metodologia, indo na contramão ao

que a literatura da aprendizagem baseada em evidências, arcabouço maior ao qual poderíamos enquadrar este trabalho (COLECTIVE, 2003; HATTIE, 2017).

Em síntese, a dissertação de Nunes (2019) apresenta uma proposta inovadora para o ensino da radiação do corpo negro, integrando a Aprendizagem Significativa de Ausubel com as Comunidades de Investigação de Lipman. A Sequência Didática detalhada, baseada em princípios dessas duas abordagens, demonstra o potencial dessa integração para a promoção de um aprendizado mais profundo e contextualizado.

Apesar de a SD focar seus objetivos nas ações do professor e não na aprendizagem do aluno, os relatos apresentados por Nunes sugerem que a metodologia utilizada contribuiu para o desenvolvimento do pensamento crítico e para uma compreensão mais significativa dos conceitos abordados. Contudo, a ausência de uma avaliação mais robusta da aprendizagem dos alunos, como proposto pela literatura de aprendizagem baseada em evidências, é uma limitação importante do estudo.

Apesar disso, a análise de Nunes (2019) é extremamente relevante para a presente dissertação, pois oferece insights valiosos sobre a aplicação de metodologias ativas no ensino de Física, especialmente no que tange ao conteúdo de radiação do corpo negro e a construção de produtos educacionais consistentes para esse fim.

5.3 PEER INSTRUCTION (PI) E SUAS CONTRIBUIÇÕES PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS

O trabalho a qual nos proporemos a analisar é o artigo intitulado de **Contribuições Do Peer Instruction Para O Ensino De Ciências: Uma Revisão Sistemática Da Literatura** escrito por **Cíntia Morales Camilo** e **Karine Gehrke Graffunder**, publicado em **Pesquisa e Debate em Educação**, v. 12, n. 2, p. 1-20, periódico de Qualis B1, ou seja, boa qualidade, com impacto e visibilidade relevantes em âmbito nacional. De acordo com o nosso programa de Pós-graduação esse trabalho estaria concentrado na área de **Ensino de Física**.

Esse trabalho é de extrema relevância para ao desenvolvimento desta dissertação uma vez que:

- 1º Fornecerá subsídios para compreendermos com o PI é aplicado ao ensino de ciências de maneira geral e mais especificamente sobre o ensino de Física;
- 2º Os recursos didáticos e tecnológicos utilizadas durante a implementação dessa metodologia e;
- 3º Como o processo de ensino aprendizagem promovido pelo PI é avaliado.

A fim de responder ao questionamento central do trabalho: Quais as contribuições da metodologia PI no ensino de ciências? Camillo; Graffunder (2022) objetivam mapear artigos nas plataformas Scielo e Google Acadêmico, no período entre 2010 e março de 2021. A escolha da plataforma Scielo se justifica pela abrangência de uma grande coleção selecionada de periódicos científicos brasileiros, enquanto a do Google acadêmico se justifica por armazenar uma grande quantidade de publicações e conteúdos científicos.

Para atingir esse objetivo, Camilo; Graffunder (2022) realizam uma pesquisa exploratória baseada em uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL) que é um método de pesquisa que visa identificar, avaliar e sintetizar as evidências disponíveis sobre um determinado tema, utilizando uma metodologia rigorosa e transparente (GALVÃO; RICARTE, 2019). A primeira etapa dessa pesquisa foi a definição das palavras chaves: “Peer Instruction”, “Instrução por Pares” e “Metodologias Ativas”. A partir dessas palavras e da pesquisa nas plataformas predefinidas encontram-se 130 trabalhos. Para refinar mais a pesquisa após a leitura do título e do resumo dos trabalhos encontrados estabeleceram-se novos critérios de seleção, onde inclui-se os artigos em português, relatos de experiência, aplicação do Método PI e artigos relacionados ao ensino de ciências e excluiu-se as revisões de literatura, as dissertações, as teses e os trabalhos com mais de uma metodologia de ensino.

Após essa filtragem, os autores organizaram os dados dos 11 artigos selecionados, em planilhas com as seguintes categorias: a) autores; b) o ano que foi publicado a pesquisa; c) o título; d) plataforma e periódico que o artigo está anexado; e) os critérios para a análise, e definiram como subcategorias dos critérios de análise: (1) nível de ensino; (2) região; (3) disciplina o qual o artigo contemplou; (4) conteúdo abordado; (5) ferramentas e recursos tecnológicos utilizados; (6) avaliação e, (7) contribuições.

Os critérios de seleção utilizados pelas autoras são adequados uma vez que estão bem alinhados ao objetivo proposto do trabalho, por exemplo, eliminar a influência de outras metodologias que podem ser combinadas com o PI, é um acerto pois os resultados e discussões desses trabalhos é influenciado pelas outras metodologias e seria complexo ou até mesmo impossível definir o quanto os resultados foram em consequência do PI e o quanto foram em consequência da outra metodologia. Além disso, a exclusão de teses e dissertações é adequada considerando que elas fazem revisões de literatura, breves ou tão completas que levam ao desenvolvimento de um estado da arte. Toda via essa decisão pode ser entendida como um equívoco, em especial quando falamos das dissertações e teses produzidas por programas de pós-graduação profissional (Mestrado e Doutorado Profissional), já que as mesmas em sua grande

maioria produzem produtos educacionais aplicados que, certamente, ajudariam na análise das contribuições do PI ao processo de ensino.

Sobre a metodologia de pesquisa as autoras destacaram que se utilizaram do software do Excel para calcular percentuais, do Word.Art para gerar nuvens de palavras e do Canva para gerar imagens.

Após a análise dos dados, as autoras discutem os resultados encontrados. Elas justificam o crescimento da metodologia PI nas pesquisas relacionadas ao ensino de ciências como uma consequência dos avanços tecnológicos e a necessidade das instituições e dos professores em buscar incentivar os alunos em querer aprender e torna-se um agente ativo ao longo do processo de ensino aprendizagem.

Elas caracterizam os processos que norteiam a implementação dessa metodologia por meio de um mapa conceitual que detalha as etapas do PI, desde o planejamento da aula pelo professor até a reflexão e discussão dos alunos. O mapa destaca, por exemplo, que o professor deve preparar a aula levando em conta as dificuldades identificadas nas tarefas de leitura prévia, elaborar questões norteadoras e planejar exposições orais de conceitos centrais. Já os alunos devem se engajar ativamente, pensando, argumentando, votando e discutindo com seus pares. O mapa conceitual também define o tempo sugerido para cada etapa e as decisões a serem tomadas pelo professor com base nos resultados das votações.

A partir da análise dos 11 artigos selecionados, Camilo; Graffunder (2022) apresentam os seguintes resultados em relação aos critérios estabelecidos. Dos 11 artigos apenas 2 não tem como conteúdo específico assuntos da área da Física, sendo 7 na física clássica, 1 não informou a área de física e 1 na área de física moderna. Sobre os recursos tecnológicos utilizados durante o processo de implementação da metodologia, 9 dos 11 artigos utilizam como recurso tecnológico, softwares ou aplicativos para computar as respostas, dentre os quais o mais utilizado foi o Plickers. Sobre recursos didáticos constatou-se que 2 utilizaram vídeos e 4 utilizaram simulações. Em relação a avaliação da metodologia dos 11 trabalhos, 8 avaliaram de formar positiva a implementação, seja por melhorar o desempenho dos alunos nas questões ou por promoverem aspectos que potencializam a ocorrência de aprendizagem, 2 apresentarão dificuldades de implementação e 1 apresentou reflexões em relação a estrutura da metodologia que podem ser entendidos como carácter punitivo. Sobre as principais contribuições apontadas nestes trabalhos podemos destacar os seguintes aspectos:

— *Em relação aos alunos:* Melhora no entendimento em relação aos conteúdos; Desenvolvimento de autonomia; Promoção de motivação, engajamento e interação (entre os próprios alunos e entre os alunos e o professor).

— *Em relação aos professores:* Levantamento de concepções alternativas o que facilita a preparação da aula; A organização do tempo das atividades pedagógicas e; A promoção de abordagens interdisciplinar e contextualiza.

Em conclusão, a revisão sistemática da literatura realizada por Camilo e Graffunder (2021) fornece um panorama abrangente sobre a aplicação do *Peer Instruction* no ensino de Ciências, com foco especial no ensino de Física. Os resultados compilados pelas autoras, a partir da análise de 11 artigos, demonstram que o PI é uma metodologia em ascensão, capaz de promover a reflexão, a argumentação e o engajamento dos alunos, tornando-os protagonistas do processo de aprendizagem. Embora a decisão de excluir teses e dissertações possa ter limitado ao escopo da revisão, especialmente considerando a relevância de trabalhos desenvolvidos em programas de pós-graduação profissionais, a organização e a análise dos dados em categorias bem definidas contribuem para uma compreensão clara das potencialidades e dos desafios associados ao uso do PI.

Finalmente, destacamos que as principais contribuições deste trabalho, para minha dissertação, relacionam-se ao processo de implementação do PI em um ambiente de aprendizagem complexo, a sala de aula, uma vez que o mapa conceitual desenvolvido pelas autoras fornece um guia prático para a aplicação dessa metodologia. Além disso, a análise dos recursos tecnológicos e didáticos utilizados em conjunto com a metodologia, bem como a avaliação dos seus impactos na aprendizagem, servirão como base para a seleção de estratégias e ferramentas a serem incorporadas na minha proposta de intervenção pedagógica.

5.4 PEER INSTRUCTION (PI) E O ENSINO DE FÍSICA MODERNA: DUALIDADE ONDA PARTÍCULA

Nesta secção faremos uma análise do artigo intitulado de “**Implementação De Uma Metodologia Ativa Para O Ensino Da Dualidade Onda Partícula No Ensino Médio**” escrito por **Marina Valentim Barros e Marcelo Alves Barros** publicada em **Caminhos da Educação Matemática em Revista**, v. 11, n. 4, p. 163-189, 2021, periódico com Qualis A4, isto é, bom nível internacional, com impacto e visibilidade consideráveis. De acordo com o nosso programa de Pós-graduação esse trabalho estaria concentrado na área de **Ensino de Física** e na linha de pesquisa **Ensino de Física Para o Ensino Médio**.

Esse trabalho se mostra relevante para o desenvolvimento desta dissertação pela presença de três elementos que estarão em foco:

- 1º Elementos gerais de como a metodologia de ensino PI é implementada no ensino de Física Moderna no Ensino Médio com o auxílio de experimentos;
- 2º Uma Sequência Didática (SD) aplicada e;
- 3º Análise dos resultados e discussões em relação à aprendizagem decorrente da implementação da metodologia PI.

Diante da relevância do artigo, ressaltamos que de acordo com Barros; Barros (2021), o objetivo do trabalho é utilizar o PI como estratégia instrucional em sala de aula para promover a aprendizagem do conceito de onda partícula utilizando o Interferômetro de Mach-Zehnder, destacando que o trabalho traz uma inovação metodológica e curricular.

Os autores apresentam justificativas tanto para o ensino de tópicos de Física moderna, uma vez que apresentam argumentos que evidenciam a obrigação da escola em proporcionar ao cidadão comum a compreensão de novas tecnologias e as mudanças curriculares no país (BRASIL, 1999; BRASIL, 2002; BNCC, 2018), quanto para o uso da metodologia PI que se faz necessária uma vez que o processo de ensino brasileiro tornou-se voltado para o desenvolvimento de habilidades e competências que de acordo com as pesquisas de Mazur (1997), Skoloff e Thorton (2006), Santos e Sasaki (2015) são mais facilmente desenvolvidas quando os alunos estão ativamente envolvidos no processo.

Entre as dificuldades características ao processo de ensino de tópicos de física moderna, em especial a mecânica quântica, os autores destacam quatro principais: a mudança conceitual em relação à física clássica, a complexidade matemática envolvida, a formação inadequada de muitos professores e a escassez de sequências didáticas adequadas ao ensino médio. Barros e Barros (2021) enfatizam que um dos maiores desafios é a transposição didática destes tópicos para a sala de aula, fato que justificar a elaboração de uma SD para o ensino de tópicos de Física Moderna.

Para alcançar esse objetivo, os autores se baseiam na metodologia *Peer Instruction* (PI), originalmente proposta por Mazur (1997). De acordo com Moraes e Moraes (2019), o PI consiste, inicialmente, em uma breve exposição oral do professor sobre uma parte do conteúdo, enfatizando tópicos essenciais ao assunto, posteriormente se apresentar questões conceituais de múltipla escolha sobre o assunto da aula com duas votações, a primeira individual e a segunda em grupo, após a interação entre os colegas. Os autores sugerem que inicialmente deva-se

realizar uma pergunta aberta sobre o próprio conceito apresentado e depois formular alternativas com base nas dificuldades dos alunos.

Além disso, orientam o uso de tecnologia para registrar as respostas dos alunos às questões de múltipla escolha e apresentam um quadro com as etapas da aplicação dos testes/questões conceituais.

Após a exposição, são apresentadas questões conceituais de múltipla escolha, elaboradas estrategicamente para avaliar a compreensão dos alunos sobre os conceitos-chave e para identificar possíveis equívocos. Essas questões são conhecidas como ConcepTests (teste conceituais) e, segundo Mazur, devem focar em um único conceito, não serem solucionáveis por memorização ou “plug and chug” (aplicação direta de fórmulas) e possuírem alternativas de resposta plausíveis, baseadas em erros comuns cometidos pelos alunos.

A SD proposta pelos autores foi aplicada por um professor em formação inicial do Curso de Licenciatura em Ciências Exatas do Instituto de Física da USP de São Carlos durante um minicurso de 8 horas, realizado em único dia, sendo 4 horas no turno matutino e 4 horas no vespertino, para 19 alunos dos três anos do ensino médio de uma escola pública. Antes da aplicação houve uma etapa anterior onde a SD foram desenvolvidas a preparação do professor, roteiros de aulas, a utilização de simuladores computacionais e teste conceituais em um grupo-piloto de 20 alunos. Podemos concluir que a SD implementada é um redesigne (COLECTIVE, 2003), apesar do autor não utilizar esse termo.

Apesar dos autores mostrarem domínio sobre o conteúdo e a estruturação de uma sequência didática definindo os conteúdos, tópicos, a serem apresentados, as atividades a serem realizadas e o tempo de duração das mesmas, no entanto, não definem objetivos de aprendizagem, tampouco as habilidades e competências a serem trabalhadas em cada aula.

Na análise dos resultados e discussões, os autores, definem a ordem dos conteúdos a ser apresentada e as questões conceituais que sucederam cada um dos tópicos apresentados. Percebemos que afim de mostrar a efetividade da metodologia os mesmos apresentam o resultado percentual para as cinco questões conceituais por meio de gráficos de barra, o desempenho dos alunos nas questões antes e após a instrução pelos colegas, onde constatou-se: Para a questão uma melhora de 14% para 75%, na questão 2 uma melhora de 0% para 62%, na questão 3 não houve melhora, na questão 4 de 44% para 47% e na questão 5 de 33% para 38%, fato que pode ser explicado de acordo com os autores pelas constatações de Mazur (2012), Sayer; Marshman; Singh (2016) que apontam o quão confortável se sentem os alunos nos momentos de interação entre os pares.

Interessante ainda destacarmos o fato que a SD sempre propõe uma nova abordagem didática, além da instrução entre os colegas, para minimizar as dificuldades de aprendizagem ainda constatadas, como exposição oral com o uso de simulação.

Em suma, o artigo de Barros; Barros (2021) apresenta uma proposta promissora para o ensino da dualidade onda-partícula no Ensino Médio, utilizando a metodologia ativa *Peer Instruction* (PI). A aplicação da SD, que inclui a instrução pelos colegas e o uso de ConcepTests, demonstrou ser eficaz para aumentar o índice de acertos dos alunos em questões conceituais, corroborando a literatura sobre os benefícios do PI (MAZUR, 1997; 2012; SAYER; MARSHMAN; SINGH, 2016). Embora a SD careça de objetivos de aprendizagem e da explicitação das habilidades a serem desenvolvidas, a estruturação detalhada das etapas e a análise dos resultados fornecem subsídios importantes para o desenvolvimento de intervenções pedagógicas voltadas ao ensino de Física Moderna.

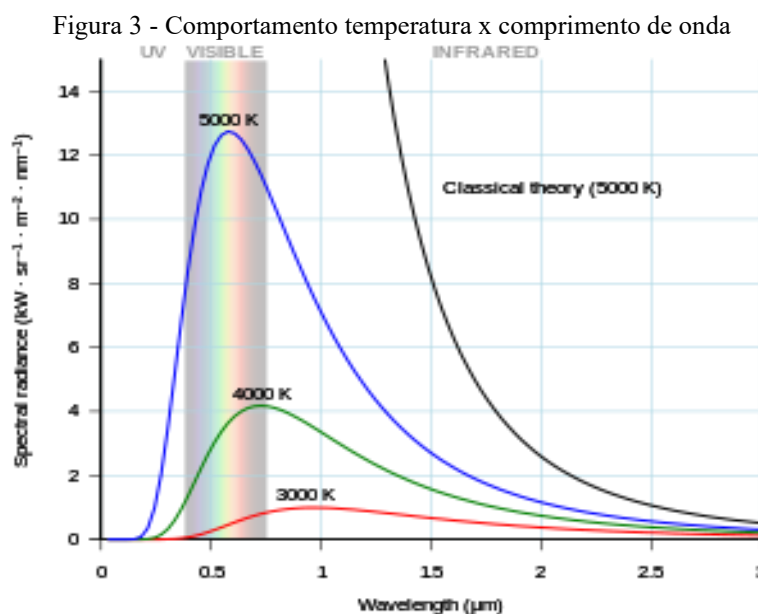
Os resultados apresentados por Barros; Barros (2021) reforçam a importância de se utilizar metodologias ativas, como o PI, no ensino de Física Moderna e, mais especificamente, no ensino da dualidade onda-partícula, conteúdo que será abordado em minha dissertação. A estrutura da SD proposta, bem como a análise dos resultados obtidos com sua aplicação, servirão como base para o desenvolvimento e a implementação da minha própria proposta de intervenção pedagógica.

6 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA DO CONTEÚDO ESPECÍFICO: RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO

A radiação de corpo negro é a radiação eletromagnética térmica dentro ou ao redor de um corpo em equilíbrio termodinâmico com seu ambiente, emitida por um corpo negro (um corpo idealizado, opaco e não reflexivo). Possui um espectro específico e contínuo de comprimentos de onda, inversamente relacionados à intensidade, que depende apenas da temperatura do corpo, que se supõe, para fins de cálculos e de teoria, ser uniforme e constante.

Um invólucro perfeitamente isolado que esteja em equilíbrio térmico internamente contém radiação de corpo negro e a emitirá através de um buraco feito em sua parede, desde que o buraco seja pequeno o suficiente para ter um efeito insignificante sobre o equilíbrio. A radiação térmica emitida espontaneamente por muitos objetos comuns pode ser aproximada como radiação de corpo negro.

A figura 3 mostra o comportamento da relação entre comprimento de onda e temperatura de um corpo.



Fonte: Kule (2010)

À medida que a temperatura de um corpo negro diminui, a radiação térmica emitida diminui de intensidade e o seu máximo move-se para comprimentos de onda mais longos, como se pode observar na figura acima. É mostrada para comparação a clássica lei de Rayleigh-Jeans e sua catástrofe ultravioleta.

Um corpo negro à temperatura ambiente 23°C (296 K) irradia principalmente no espectro infravermelho, que não pode ser percebido pelo olho humano, mas pode ser sentido por alguns répteis. À medida que a temperatura do objeto aumenta para cerca de 500°C (773

K), o espectro de emissão fica mais forte e se estende até a faixa visual humana, e o objeto parece vermelho fosco. À medida que a sua temperatura aumenta ainda mais, emite cada vez mais luz laranja, amarela, verde e azul (e, em última análise, além do violeta).

Os buracos negros são corpos negros quase perfeitos, no sentido de que absorvem toda a radiação que incide sobre eles. Foi proposto que eles emitam radiação de corpo negro (chamada radiação Hawking) com uma temperatura que depende da massa do buraco negro.

O termo corpo negro foi introduzido por Gustav Kirchhoff em 1860. A radiação do corpo negro também é chamada de radiação térmica, radiação de cavidade, radiação completa ou radiação de temperatura.

6.1 ESPECTRO

A radiação do corpo negro tem um espectro de frequência característico e contínuo que depende apenas da temperatura do corpo, chamado espectro de Planck ou lei de Planck. O espectro atinge o pico em uma frequência característica que muda para frequências mais altas com o aumento da temperatura, e à temperatura ambiente a maior parte da emissão está na região infravermelha do espectro eletromagnético.

À medida que a temperatura aumenta além de cerca de 500 graus Celsius, os corpos negros começam a emitir quantidades significativas de luz visível. Visto no escuro pelo olho humano, o primeiro brilho fraco aparece como um cinza "fantasmagórico" (a luz visível é na verdade vermelha, mas a luz de baixa intensidade ativa apenas os sensores de nível de cinza do olho). Com o aumento da temperatura, o brilho torna-se visível mesmo quando há alguma luz de fundo ao redor: primeiro como um vermelho fosco, depois amarelo e, eventualmente, um "branco azulado deslumbrante" à medida que a temperatura aumenta.

Quando o corpo parece branco, ele está emitindo uma fração substancial de sua energia como radiação ultravioleta. O Sol, com uma temperatura efetiva de aproximadamente 5.800 K, é um corpo negro aproximado com um espectro de emissão com pico na parte central, verde-amarelada do espectro visível, mas com potência significativa também no ultravioleta.

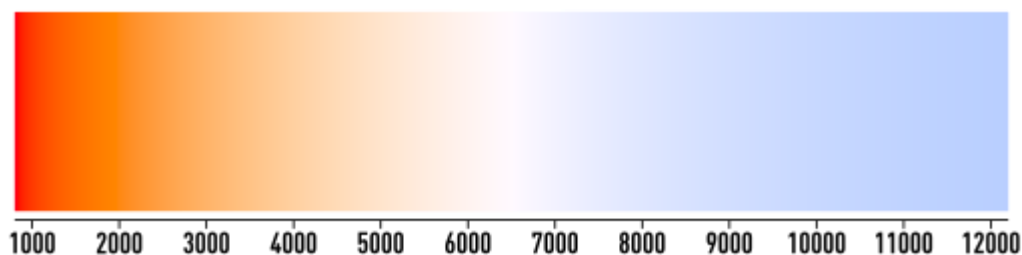
A radiação do corpo negro fornece informações sobre o estado de equilíbrio termodinâmico da radiação da cavidade.

6.2 CORPO NEGRO

Um objeto que absorve toda a radiação que incide sobre ele, em todos os comprimentos de onda, é chamado de corpo negro. Quando um corpo negro está a uma temperatura uniforme,

a sua emissão tem uma distribuição de frequência característica que depende da temperatura. Sua emissão é chamada de radiação de corpo negro. A figura 04 a seguir, por exemplo, mostra a cor de um corpo negro de 800 K a 12.200 K. Esta gama de cores aproxima-se da gama de cores de estrelas de diferentes temperaturas, vistas ou fotografadas no céu noturno.

Figura 4 - Espectro de cor emitido de acordo com a temperatura



Fonte: Bhutajata (2015)

O conceito de corpo negro é uma idealização, pois não existem corpos negros perfeitos na natureza. No entanto, o grafite e o preto da lâmpada, com emissividades superiores a 0,95, são boas aproximações de um material preto. Experimentalmente, a radiação de corpo negro pode ser melhor estabelecida como a radiação de equilíbrio em estado estacionário estável em uma cavidade em um corpo rígido, a uma temperatura uniforme, que é totalmente opaca e apenas parcialmente reflexiva. Uma caixa fechada com paredes de grafite a uma temperatura constante e com um pequeno orifício num dos lados produz uma boa aproximação à radiação ideal de corpo negro que emana da abertura.

A radiação do corpo negro tem a distribuição única e absolutamente estável de intensidade radiativa que pode persistir no equilíbrio termodinâmico em uma cavidade. Em equilíbrio, para cada frequência, a intensidade da radiação que é emitida e refletida de um corpo em relação a outras frequências (isto é, a quantidade líquida de radiação que sai de sua superfície, chamada de radiância espectral) é determinada exclusivamente pelo equilíbrio temperatura e não depende da forma, material ou estrutura do corpo. Para um corpo negro (um absorvedor perfeito) não há radiação refletida e, portanto, a radiância espectral é inteiramente devida à emissão. Além disso, um corpo negro é um emissor difuso (sua emissão independe da direção). Consequentemente, a radiação de corpo negro pode ser vista como a radiação de um corpo negro em equilíbrio térmico.

Os objetos reais nunca se comportam como corpos negros totalmente ideais e, em vez disso, a radiação emitida em uma determinada frequência é uma fração do que seria a emissão ideal. A emissividade de um material especifica quão bem um corpo real irradia energia em comparação com um corpo negro. Essa emissividade depende de fatores como temperatura, ângulo de emissão e comprimento de onda. No entanto, é típico em engenharia assumir que a

emissividade e a absortividade espectral de uma superfície não dependem do comprimento de onda, de modo que a emissividade é uma constante. Isso é conhecido como suposição do corpo cinza.

Um corpo negro irradia energia em todas as frequências, mas a sua intensidade tende rapidamente a zero em altas frequências (comprimentos de onda curtos). Por exemplo, um corpo negro à temperatura ambiente (300 K) com um metro quadrado de área de superfície emitirá um fóton na faixa visível (390–750 nm) a uma taxa média de um fóton a cada 41 segundos, o que significa que, para a maioria dos propósitos práticos, tal corpo negro não emite na faixa visível.

O estudo das leis dos corpos negros e o fracasso da física clássica em descrevê-las ajudaram a estabelecer os fundamentos da mecânica quântica.

O cálculo da curva do corpo negro foi um grande desafio na física teórica durante o final do século XIX. O problema foi resolvido em 1901 por Max Planck no formalismo hoje conhecido como lei da radiação do corpo negro de Planck. Ao fazer alterações na lei de radiação de Wien (não confundir com a lei de deslocamento de Wien) consistentes com a termodinâmica e o eletromagnetismo, ele encontrou uma expressão matemática que se ajustava satisfatoriamente aos dados experimentais. Planck teve que assumir que a energia dos osciladores na cavidade era quantizada, o que significa que existia em múltiplos inteiros de alguma quantidade. Einstein baseou-se nesta ideia e propôs a própria quantização da radiação eletromagnética em 1905 para explicar o efeito fotoelétrico. Esses avanços teóricos eventualmente resultaram na substituição do eletromagnetismo clássico pela eletrodinâmica quântica. Esses quanta eram chamados de fótons e pensava-se que a cavidade do corpo negro continha um gás de fótons. Além disso, levou ao desenvolvimento de distribuições quânticas de probabilidade, chamadas estatísticas de Fermi-Dirac e estatísticas de Bose-Einstein, cada uma aplicável a uma classe diferente de partículas, férmions e bósons.

A Lei de Planck define que a energia é quantizada e se dá em múltiplos inteiros de alguma unidade, expressa pela seguinte equação:

$$B_{\nu}(T) = \frac{2hv^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{hv}{kT}} - 1} \quad eq. (1)$$

Onde:

$B_{\nu}(T)$ é a radiância espectral (a potência por unidade de ângulo sólido e por unidade de área normal à propagação) ou densidade de frequência da radiação por unidade de frequência em equilíbrio térmico à temperatura T.

$$[B_v(T)] = \frac{\text{potência}}{[\text{área} \times \text{ângulo sólido} \times \text{frequência}]}$$

h é a constante de Planck;

c é a velocidade da luz no vácuo;

k é a constante de Boltzmann;

ν é a frequência da radiação eletromagnética;

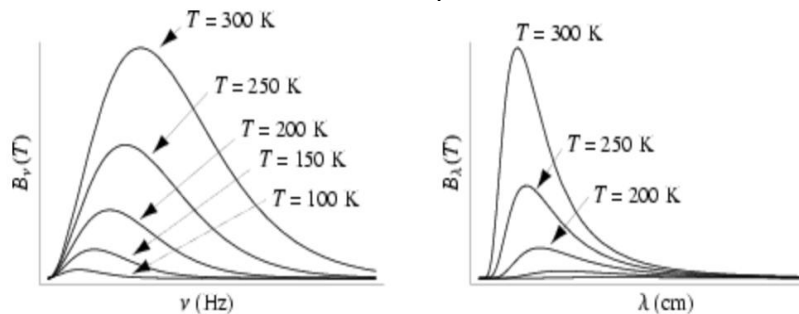
T é a temperatura absoluta do corpo.

Para uma superfície de corpo negro, a densidade de radiância espectral (definida por unidade de área normal) à propagação é independente do ângulo de emissão em relação ao normal. No entanto, isso significa que, seguindo a lei dos cossenos de Lambert é a densidade de radiância por unidade de área da superfície emissora, pois a área de superfície envolvida na geração da radiância é aumentada por um fator em relação a uma área normal à direção de propagação. Em ângulos oblíquos, os vãos dos ângulos sólidos envolvidos ficam menores, resultando em intensidades agregadas mais baixas.

A densidade do fluxo de energia emitida ou irradiância $B_v(T, E)$, está relacionado à densidade do fluxo de fótons através de:

$$B_v(T, E) = E b_v(T, E) \quad \text{eq. 2}$$

Figura 5 - Comportamento da radiância espectral em função da frequência e do comprimento de onda para diferentes temperaturas



Fonte: Pierrehumbert (2001)

A figura 05 acima mostra a frequência ou comprimento de onda de intensidade específica máxima para cada temperatura conforme a lei de Wien expressa na equação (3).

$$u_W(\nu) = \frac{8\pi h}{c^3} e^{\frac{-h\nu}{kT}} \nu^3 \quad \text{eq. 3}$$

Além disso, mostra o comportamento da radiância em baixas temperaturas, fato que podia ser explicado pela Lei de Rayleigh-Jeans, expressa na equação (4).

$$\langle u \rangle = \frac{\int_0^\infty \epsilon e^{\frac{-\epsilon}{kT}} d\epsilon}{\int_0^\infty e^{\frac{-\epsilon}{kT}} d\epsilon} \quad \text{eq. 4}$$

Partindo da fórmula proposta por Planck, que é resultado da unificação da fórmula empírica de Wien e da fórmula de Rayleigh-Jeans, tem-se

$$u(\nu) = \frac{8\pi}{c^3} \frac{(h\nu^3)}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \quad eq. 5$$

Analisando os resultados para $u(\nu)$ de acordo com a equação (5) temos que:

$$\begin{cases} u(\nu) \rightarrow \frac{8kT}{c^3} \nu^2 \leftrightarrow \frac{h\nu}{kT} \ll 1 \\ u(\nu) \rightarrow \frac{8\pi h}{c^3} e^{-\frac{h\nu}{kT}} \nu^3 \leftrightarrow \frac{h\nu}{kT} \gg 1 \end{cases} \quad eq. 6$$

Por outro lado, partindo do resultado de Rayleigh e Jeans, a densidade de energia para cada frequência pode ser:

$$U(\nu) = \frac{1}{V} N(\nu) < E > \quad eq. 7$$

Onde:

$N(\nu)$ é o número de ondas permitidas na cavidade e;

$< E >$ é a energia média associada para um grau de liberdades do sistema.

Se aceitamos que o número de graus de liberdades do campo eletromagnético $N(\nu)$ é dada pela equação:

$$N(\nu) \rightarrow 2 \frac{4\pi V}{c^3} \nu^2 \quad eq. 8$$

A densidade de energia pode ser reescrita como sendo:

$$u(\nu) = \frac{8\pi}{c^3} \nu^2 < E > \quad eq. 9$$

Comparando esta equação com a fórmula de Planck, temos:

$$< E > \rightarrow \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \quad eq. 10$$

Definindo $x = h\nu/kT$, podemos escrever que:

$$\frac{1}{e^x - 1} = \frac{e^{-x}}{1 - e^{-x}} = e^{-x} + e^{-2x} + e^{-3x} + \dots = \sum_{n=1}^{\infty} e^{-nx} \quad eq. 11$$

E:

$$\frac{e^x}{e^x - 1} = \frac{1}{e^x - 1} + 1 = \sum_{n=0}^{\infty} e^{-nx} = \sum_{n=0}^{\infty} nxe^{-nx} \quad eq. 12$$

Note que 12 pode ser reescrita como:

$$-x \frac{d}{dx} \sum_{n=1}^{\infty} e^{-nx} = -x \frac{d}{dx} \left(\frac{1}{e^x - 1} \right) = \frac{xe^x}{(e^x - 1)^2} \quad eq. 13$$

Logo usando o resultado de (11), temos:

$$\frac{x}{e^x - 1} = \frac{\sum_{n=0}^{\infty} n x e^{-nx}}{\sum_{n=0}^{\infty} e^{-nx}} \quad eq. 14$$

Utilizando o resultado da equação 14 e sabendo que $x = hv/kT$, podemos reescrever a equação 10 como segue:

$$\frac{hv}{e^{\frac{hv}{kT}} - 1} = \frac{\sum_{n=0}^{\infty} n h v e^{-\frac{nhv}{kT}}}{\sum_{n=0}^{\infty} e^{-\frac{nhv}{kT}}}$$

Ou:

$$\frac{\sum_{n=0}^{\infty} n h v e^{-\frac{nhv}{kT}}}{\sum_{n=0}^{\infty} e^{-\frac{nhv}{kT}}} = \frac{\sum_{n=0}^{\infty} E_n e^{-\frac{E_n}{kT}}}{\sum_{n=0}^{\infty} e^{-\frac{E_n}{kT}}} \quad Eq. 15$$

Onde:

$$E_n = nhv$$

A expressão acima tem exatamente a forma de valor médio dos valores das energias $\{E_0, E_1, E_2, \dots\}$ com a probabilidade de cada energia dada pela distribuição de Boltzmann:

$$P(E_n) \propto e^{-\frac{E_n}{kT}}$$

Ou seja:

$$E \geq \frac{\sum_{n=0}^{\infty} E_n P(E_n)}{\sum_{n=0}^{\infty} P(E_n)}$$

Isto mostra que os valores, os valores de energia do campo eletromagnético com a frequência não podem ser contínuos, mas só podem assumir valores discretos,

$$E_n = nhv; n = \mathbb{Z}_+^* \quad Eq. 16$$

Isto é, a oscilação para cada frequência ocorre como se existisse uma unidade mínima da energia,

$$E_1(v) = hv \quad Eq. 17$$

Sabe-se que a existência de uma unidade mínima da energia acima tem um efeito dramático. Para ondas planas com frequência hv/kT , a probabilidade de ter oscilação com a energia mínima fica exponencialmente pequena. Ou seja, não pode oscilar. Assim, para um dado valor de temperatura, surge um corte natural da frequência acima a qual ondas eletromagnéticas não participam na excitação térmica. Desta forma, podemos mostrar que a energia total não diverge. De fato:

$$\varepsilon = \int_0^{\infty} u(v) dv = \frac{8\pi}{c^3} \int_0^{\infty} \frac{hv^3}{e^{\frac{hv}{kT}} - 1} dv$$

$$\varepsilon = \frac{8\pi h}{c^3} \left(\frac{kT}{h}\right)^4 \int_0^\infty \frac{x^3}{e^x - 1} dx = \sigma T^4 \quad Eq. 18$$

Onde σ é a constante de Stephan-Boltzmann,

6.3 LEI DE DESLOCAMENTO DE WIEN

A lei de deslocamento de Wien mostra como o espectro da radiação do corpo negro em qualquer temperatura está relacionado com o espectro em qualquer outra temperatura. Se conhecermos a forma do espectro a uma temperatura, poderemos calcular a forma a qualquer outra temperatura. A intensidade espectral pode ser expressa em função do comprimento de onda ou da frequência.

A lei de deslocamento de Wien dá a frequência (ou comprimento de onda) na qual a lei de Planck tem a intensidade específica máxima.

Uma consequência da lei de deslocamento de Wien é que o comprimento de onda no qual a intensidade por unidade de comprimento de onda da radiação produzida por um corpo negro tem um máximo ou pico local, λ_{pico} , é uma função apenas da temperatura:

$$\lambda_{pico} = \frac{b}{T} \quad Eq. 19$$

onde a constante b , conhecida como constante de deslocamento de Wien, é igual a

$$b = \frac{hc}{k} \frac{1}{5 + W_0(-5e^{-5})} \approx 2,897771955 \times 10^{-3} mK \quad Eq. 20$$

Onde, W_0 é definido como a função Lambert W .

Sendo o deslocamento de Wien, $b = 2898 \mu mK$ e a temperatura ambiente típica de $20^\circ C$ (293 K), o λ_{pico} é de aproximadamente $9,9 \mu m$.

A lei de Planck (HALLIDAY; RESNICK; KRANE, 2009) também foi declarada acima em função da frequência. A intensidade máxima para isso é dada por

$$v_{pico} = T \times 5.879 \dots \times 10^{10} Hz/K \quad Eq. 21$$

Na forma sem unidade, o máximo ocorre quando $e^x \left(1 - \frac{x}{3}\right) = 1$, onde $x = hv/kT$. A solução numérica aproximada é $x \approx 2.82$. A uma temperatura ambiente típica de 293 K (20 °C), a intensidade máxima é para $v = 17 THz$.

Para se chegar no resultado da solução numérica, basta derivar a Lei de Planck em relação à frequência igualando a zero.

$$\frac{d}{dv} \left\{ \frac{2\pi v^3 h}{c^2 \left[e^{\frac{hv}{kT}} - 1 \right]} \right\} = 0 \quad Eq. 22$$

onde h é a constante de Planck, c é a velocidade da luz, k é a constante de Boltzmann e T é a temperatura. Resolvendo:

$$\frac{d}{dv} \left\{ v^3 \left[e^{\frac{hv}{kT}} - 1 \right]^{-1} \right\}$$

Logo:

$$3v^2 \left[e^{\frac{hv}{kT}} - 1 \right]^{-1} - v^3 \left[e^{\frac{hv}{kT}} - 1 \right]^{-2} \left(\frac{h}{kT} \right) e^{\frac{hv}{kT}} = 0 \quad Eq. 23$$

Assim:

$$3 \left[e^{\frac{hv}{kT}} - 1 \right]^{-1} - \frac{hv}{kT} e^{\frac{hv}{kT}} = 0 \quad Eq. 24$$

Definindo:

$$u \equiv \frac{hv}{kT}$$

Teremos:

$$3(e^u - 1) - ue^u = 0 \quad Eq. 25$$

Resolvendo através da função W de Lambert, fica:

$$u = 3 + W(-3e^{-3}) \quad Eq. 26$$

Que tem solução numérica igual a u=2.821439...

6.4 LEI STEFAN-BOLTZMANN

Ao integrar $B_v(T) \cos(\theta)$ sobre a frequência o brilho L (*unidades: potência / [área × ângulo sólido]*) é

$$L = 2\pi^5 \frac{2\pi^5 k^4 T^4}{15 c^2 h^3} \frac{1}{\pi} = \sigma T^4 \frac{\cos(\theta)}{\pi} \quad Eq. 27$$

Usando:

$$\int_0^\infty \frac{x^3}{e^x - 1} dx = \frac{\pi}{15}$$

Com:

$$\left\{ \begin{array}{l} x = hv/kT \\ \sigma \equiv \frac{(2\pi^5)}{15} \frac{k^4}{c^2 h^3} = 5,670373 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4} \end{array} \right.$$

Sendo σ a constante de Stefan-Boltzmann.

Em uma nota lateral, a uma distância d , a intensidade dI por área dA da superfície radiante é a expressão útil

$$dI = \sigma T^4 \frac{\cos\theta}{\pi d^2} dA \quad \text{Eq. 27}$$

Quando a superfície receptora está perpendicular à radiação.

Ao integrar posteriormente L sobre o ângulo sólido Ω para todos os ângulos azimutais (0 a 2π) e ângulo polar de 0 a $\pi/2$, chegamos à Lei Stefan-Boltzmann: a potência j^* emitida por unidade de área da superfície de um corpo negro é diretamente proporcional à quarta potência de sua temperatura absoluta:

$$j^* = \sigma T^4 \quad \text{Eq. 28}$$

Usando:

$$\int \cos\theta d\Omega = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} \cos\theta \sin\theta d\theta d\phi = \pi$$

6.5 APLICAÇÕES

6.5.1 Emissão Do Corpo Humano

O corpo humano irradia energia como luz infravermelha. A potência líquida irradiada é a diferença entre a potência emitida e a potência absorvida:

$$P_{líq} = P_{emit} - P_{absorvida} \quad \text{Eq. 29}$$

Aplicando a lei Stefan-Boltzmann,

$$P_{líq} = A\sigma\varepsilon(T^4 - T_0^4) \quad \text{Eq. 30}$$

Onde A e T são a área de superfície e temperatura do corpo, ε é a emissividade, e T_0 é a temperatura ambiente.

A área de superfície total de um adulto é de cerca de $2m^2$, e a emissividade do infravermelho médio e distante da pele e da maioria das roupas está próxima da unidade, como é para a maioria das superfícies não metálicas. A temperatura da pele é de cerca de 33°C , mas a roupa reduz a temperatura da superfície para cerca de 28°C quando a temperatura ambiente é de 20°C . Portanto, a perda de calor radiativo líquido é de cerca de

$$P_{líq} = P_{emit} - P_{absorvida} = 100W \quad \text{Eq. 31}$$

A energia total irradiada em um dia é de cerca de 8 MJ, ou 2000 kcal (calorias alimentares). A taxa metabólica basal para um homem de 40 anos é de cerca de $35 \text{ kcal}/(m^2h)$,

o que equivale a 1700 kcal por dia, assumindo a mesma área de $2m^2$. No entanto, a taxa metabólica média de adultos sedentários é cerca de 50% a 70% maior do que sua taxa basal.

Existem outros mecanismos importantes de perda térmica, incluindo convecção e evaporação. A condução é insignificante - o número de Nusselt é muito maior do que a unidade. A evaporação por transpiração só é necessária se a radiação e a convecção forem insuficientes para manter uma temperatura de estado estacionário (mas a evaporação dos pulmões ocorre independentemente). As taxas de convecção livre são comparáveis, embora um pouco mais baixas, do que as taxas radiativas. Assim, a radiação é responsável por cerca de dois terços da perda de energia térmica no ar frio e quieto. Dada a natureza aproximada de muitas das suposições, isso só pode ser tomado como uma estimativa bruta. O movimento do ar ambiente, causando convecção forçada ou evaporação, reduz a importância relativa da radiação como um mecanismo de perda térmica.

A aplicação da Lei de Wien à emissão do corpo humano resulta em um pico de comprimento de onda de

$$\lambda_{pico} = \frac{2.898 \times 10^{-3} \text{ K.m}}{305K} = 9.05 \mu m$$

Por esse motivo, os dispositivos de imagem térmica para humanos são mais sensíveis na faixa de 7 a 14 micrômetros.

6.5.2 Relação De Temperatura Entre Um Planeta E Sua Estrela

A lei do corpo negro pode ser usada para estimar a temperatura de um planeta orbitando o Sol.

A temperatura de um planeta depende de vários fatores:

- a) Radiação incidente de sua estrela;
- b) Radiação emitida pelo planeta (por exemplo, o brilho infravermelho da Terra);
- c) O efeito albedo faz com que uma fração da luz seja refletida pelo planeta;
- d) O efeito estufa para planetas com uma atmosfera;
- e) Energia gerada internamente por um planeta devido ao decaimento radioativo, aquecimento das marés e contração adiabática devido ao resfriamento.

A análise considera apenas o calor do Sol para um planeta em um Sistema Solar.

A lei Stefan-Boltzmann dá a potência total (energia/segundo) que o Sol emite:

$$P_{emit.Sol} = 4\pi R_S^2 \sigma T_S^4 \quad Eq. 32$$

Onde:

σ é a constante Stefan-Boltzmann;

T_S é a temperatura efetiva do Sol e;

R_S é o raio do Sol.

O Sol emite esse poder igualmente em todas as direções. Por causa disso, o planeta é atingido com apenas uma pequena fração dele. O poder do Sol que atinge o planeta (no topo da atmosfera) é:

$$P_{SE} = P_{emit.Sol} \left(\frac{\pi R_E^2}{4\pi D^2} \right) \quad Eq. 33$$

Onde

R_E é o raio do planeta, e

D é a distância entre o Sol e o planeta.

Devido à sua alta temperatura, o Sol emite em grande parte na faixa de frequência ultravioleta e visível (UV-Vis). Nesta faixa de frequência, o planeta reflete uma fração dessa energia onde é o albedo ou refletância do planeta na faixa UV-Vis. Em outras palavras, o planeta absorve uma fração da luz do Sol, e reflete o resto. O poder absorvido pelo planeta e sua atmosfera é então:

$$P_{absorvido} = (1 - \alpha)P_{SE} \quad Eq. 34$$

Mesmo que o planeta só absorva como uma área circular πR^2 , emite em todas as direções; a área de superfície esférica é $4\pi R^2$. Se o planeta fosse um corpo negro perfeito, ele emitiria de acordo com a lei Stefan-Boltzmann

$$P_{emit.bb} = 4\pi R_E^2 \sigma T_E^4 \quad Eq. 35$$

Onde T_E é a temperatura do planeta. Esta temperatura, calculada para o caso do planeta agindo como um corpo negro por definição $P_{absorvido} = P_{emit.bb}$, é conhecida como a temperatura efetiva. A temperatura real do planeta provavelmente será diferente, dependendo de sua superfície e propriedades atmosféricas. Ignorando a atmosfera e o efeito estufa, o planeta, por estar a uma temperatura muito mais baixa do que o Sol, emite principalmente na parte infravermelha (IR) do espectro. Nesta faixa de frequência, ele emite da radiação que um corpo negro emitiria onde é a emissividade média na faixa de IR. A potência emitida pelo planeta é então:

$$P_{emit} = \epsilon P_{emit.bb} \quad Eq. 36$$

Para um corpo em equilíbrio de troca radiativa com seu entorno, a taxa na qual ele emite energia radiante é igual à taxa em que o absorve:

$$P_{absorvido} = P_{emit} \quad Eq. 37$$

Substituir as expressões para a potência solar e planetária nas equações 36 e 37, e simplificar, produz a temperatura estimada do planeta, ignorando o efeito estufa, T_p :

$$T_p = T_s \sqrt{\frac{R_s \sqrt{\frac{1-\alpha}{\epsilon}}}{2D}} \quad Eq. 38$$

Em outras palavras, dadas as suposições feitas, a temperatura de um planeta depende apenas da temperatura superficial do Sol, do raio do Sol, da distância entre o planeta e do Sol, do albedo e da emissividade IR do planeta.

Observe que uma bola cinza (espectro plano) onde $(1 - \alpha) = \epsilon$ chega à mesma temperatura de um corpo negro, não importa o quão escuro ou cinza claro.

6.5.3 Temperatura Efetiva Da Terra

Substituindo os valores medidos pelos rendimentos do Sol e da Terra:

$$T_s = 5772K;$$

$$R_s = 6,957.10^8 m;$$

$$D = 1,496.10^{11} m$$

$$\alpha = 0,309$$

Com a emissividade média ϵ definido para a unidade, a temperatura efetiva da Terra é:

$$T_{EF} = 254,356 K \text{ ou } -18,8^\circ C$$

Esta é a temperatura da Terra se irradiasse como um corpo negro perfeito no infravermelho, assumindo um albedo imutável e ignorando os efeitos de efeito estufa (que podem elevar a temperatura da superfície de um corpo acima do que seria se fosse um corpo negro perfeito em todos os espectros). A Terra, de fato, não irradia como um corpo negro perfeito no infravermelho, o que aumentará a temperatura estimada alguns graus acima da temperatura efetiva. Se quisermos estimar qual seria a temperatura da Terra se não tivesse atmosfera, então poderíamos tomar o albedo e a emissividade da Lua como uma boa estimativa. O albedo e a emissividade da Lua são cerca de 0,1054 e 0,95 respectivamente, produzindo uma temperatura estimada de cerca de 1,36 °C.

As estimativas do albedo médio da Terra variam na faixa de 0,3 a 0,4, resultando em diferentes temperaturas efetivas estimadas. As estimativas geralmente são baseadas na constante solar (densidade total de potência de insolação) em vez da temperatura, tamanho e distância do Sol. Por exemplo, usando 0,4 para albedo e uma insolação de $1400 W.m^{-2}$, obtém-

se uma temperatura efetiva de cerca de 245 K. Da mesma forma, usando albedo 0,3 e constante solar de $1372 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, obtém-se uma temperatura efetiva de 255 K

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta e discute os resultados da pesquisa sobre a aplicação da metodologia *Peer Instruction* no ensino de conceitos físicos relacionados à radiação do corpo negro para alunos da Educação de Jovens e Adultos (EJA). O objetivo principal foi investigar indícios de melhoria na aprendizagem desses alunos a partir da inserção dessa metodologia, que prevê a familiarização prévia com o conteúdo e a interação entre pares. Os dados foram coletados por meio de testes aplicados em três momentos distintos: antes da aula (pré-aula), após a explicação do professor e após a discussão em grupos. A análise dos resultados se concentrou em três categorias: Compreensão Conceitual, Aplicação do Conhecimento e Mudança de Opinião.

Os principais resultados indicam que a metodologia *Peer Instruction* contribuiu para o aumento do engajamento dos alunos, evidenciado pelo aumento da participação nas atividades de pré-aula e pela maior frequência nas aulas. Além disso, a interação entre pares se mostrou eficaz na promoção da compreensão conceitual e no desenvolvimento da habilidade de aplicação do conhecimento.

Os resultados e discussões aqui propostos são decorrentes da aplicação de uma Sequência Didática (SD) a alunos da 11ª ETAPA do Ensino de Jovens e Adultos (EJA) na Escola Estadual Antônio da Encarnação Filho, localizada na Av. Desembargador João Machado, 211, Lírio do Vale, Manaus-AM, entre os dias 05 e 15 de novembro de 2024 no turno noturno, conforme carta de anuência da escola em anexo.

Essa unidade de ensino pertence a rede pública de ensino do Estado do Amazonas, sendo gerida pela Secretária de Educação e Desporto do Estado do Amazonas (SEDUC-AM). Nessa unidade de ensino é oferecido o ensino médio regular nos turnos matutino, vespertino e noturno, além do EJA no turno noturno. As aulas do EJA são ministradas de forma híbrida, com aulas presenciais às segundas, terças e quartas-feiras, e aulas assíncronas às quintas e sextas-feiras.

Devido à realidade dos alunos da EJA, que trabalham durante o dia, as aulas assíncronas de quinta e sexta-feira foram utilizadas como 'pré-aula'. Nesse momento, os alunos tiveram acesso ao conteúdo a ser trabalhado em sala de aula, o que permitiu identificar suas dificuldades iniciais. Essa estratégia se alinha à metodologia *Peer Instruction*, que prevê a familiarização prévia com o conteúdo para otimizar o tempo em sala de aula e promover uma aprendizagem mais eficaz.

A pesquisa foi desenvolvida com 28 alunos da 11ª ETAPA da EJA, esses alunos tinham entre 20 e 55 anos, 22 eram do sexo feminino e 6 eram do sexo masculino. Esses participantes

não costumam ter um alto nível de frequência, mas durante a implementação da SD esse nível de frequência aumentou, sendo assim um indicio que a mesma conseguiu promover engajamento entre os alunos.

O presente trabalho tem por finalidade responder o seguinte problema de pesquisa: ***Como a metodologia Peer Instruction contribui para a aprendizagem dos conceitos físicos da descrição clássica e moderna da radiação do corpo negro para estudantes da EJA?***

Com o intuito de responder a esse problema de pesquisa temos como objetivo geral deste trabalho: *Investigar indícios de melhoria na aprendizagem de estudantes da EJA sobre a descrição clássica e moderna da radiação do corpo negro decorrentes da inserção da metodologia Peer Instruction no processo de ensino aprendizagem.* Para alcançar esse objetivo, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- a)* Verificar a importância da metodologia Peer- Instruction no processo de preparação de aulas mais assertivas e eficientes para o processo de ensino aprendizagem (objetivo específico b);
- b)* Investigar como a metodologia *Peer Instruction* estimula a interação e a colaboração entre os estudantes durante o processo de aprendizagem (objetivo específico c) e;
- c)* Analisar o ganho de aprendizagem em relação a compreensão conceitual ou de aplicação dos conceitos após a interação entre os pares (objetivo específico d).

Esta pesquisa trata-se de uma pesquisa qualitativa e o método utilizado para analisar os dados será o método de análise de conteúdo que se divide em três etapas: Pré-análise; Descrição Analítica e; Interpretação Inferencial, as quais apresentaremos, respectivamente, nas seções 8.1, 8.2 e 8.3 (BARDIN, 2011).

7.1 PRÉ- ANÁLISE

O ponto de partida dessa pesquisa foi a respostas dos alunos as questões objetivas de múltiplas escolhas sobre os tópicos de radiação eletromagnética, radiação térmica, radiação do corpo negro, a Lei de Stefan-Boltzmann, a Lei de Wien, a transição entre a física clássica e a moderna e a Lei de Planck. Estes tópicos contextualizam o que é a radiação e o tipo de radiação emitida por um corpo negro (radiação eletromagnética e térmica), a descrição da física clássica (Lei de Stefan-Boltzmann, a Lei de Wien) e a descrição da Física Moderna (Lei de Planck) sobre a radiação do corpo negro.

A fase de pré-análise consistiu na elaboração dos instrumentos de coleta de dados, que foram testes compostos por questões conceituais de múltipla escolha, conforme proposto por Mazur (2015). Essas questões, com alternativas cuidadosamente elaboradas, incluindo distratores que representam erros comuns de raciocínio, visam incitar os alunos a pensarem criticamente sobre os conceitos e sua aplicação em diferentes situações. Os testes foram aplicados em três momentos distintos, chamados de 'Momentos de Votação' (MV):

1º *Antes da aula (Pré-aula):* De acordo com a metodologia PI deve se apresentar aos alunos o conteúdo antes de iniciar a aula em sala de aula, seja por meio de vídeos, textos ou outros meios e após essa primeira apresentação verificar as dificuldades de aprendizagem dos alunos para iniciar as aulas: Em consonância com a metodologia PI, o conteúdo foi apresentado aos alunos previamente, por meio de vídeos, textos ou outros recursos. As questões aplicadas nesse momento visavam identificar as dificuldades iniciais dos alunos em relação aos conceitos e sua aplicação.

2º *No momento em sala de aula, pós explicação (Pós Exp.) ou após as discussões em grupos ('Pós Disc.):* As questões elaboradas no primeiro momento foram respondidas novamente em sala, ora após breve explicação que seria norteadas com base nas respostas do MV pré-aula, ora após a discussão em grupos. Além disso, nesse momento em sala de aula, os alunos responderam novas questões após a explicação e/ou após discussão em grupos com o objetivo de averiguar a mudança no nível de acerto da turma, isto é, a melhoria ou não na assimilação ou aplicação do conteúdo ou para determinar, na perspectiva metodológica do PI, se poderíamos avançar para o próximo tópico a ser apresentado na aula.

A imagem 1 mostra os alunos utilizando os cartões respostas para indicar suas respostas e participar do momento de votação após a discussão em grupos com a utilização do aplicativo Plickers, a imagem 2 mostra diferentes pontos da sala no momento de votação individual. Em ambos os momentos se observa que os alunos estão engajados na atividade.

Imagem 1 - Momento de votação pós discussões em grupos



Fonte: Autoria própria (2025)

Imagem 2 - Momento de votação pós explicação



Fonte: Autoria própria (2025)

3º *Pós aplicação das aulas ministradas de acordo com metodologia PI:* Essas questões correspondem ao pós-teste. Aplicado com o objetivo de verificar a melhora na aprendizagem conceitual e/ou de aplicação dos tópicos trabalhados ao longo da SD.

7.2 DESCRIÇÃO ANALÍTICA

A unidade de análise foram as respostas dos alunos a 20 itens conceituais sobre tópicos que abrangem desde a descrição clássica até a descrição moderna da radiação do corpo negro, ao longo de 3 aulas de 55 minutos e as 7 questões do pós-teste, respondidas em 30 minutos após uma breve revisão sobre os tópicos apresentados ao longo das 3 primeiras aulas.

Ao longo das discussões propostas nessa seção usaremos a palavra “questão”, “problema” e “situação-problema” por diversas vezes. Logo é válido diferenciá-los para que o leitor não entenda as mesmas como sinônimos. (DANTE, 2021) diferencia questão, problema e situação-problema pela complexidade e desafio cognitivo. Uma questão busca uma resposta direta e única, como "Qual a capital do Brasil?" Um problema exige reflexão e pode ter várias soluções, como "Como reduzir a taxa de desemprego?" Já a situação-problema apresenta um contexto desafiador com diversas variáveis, demandando a aplicação de conhecimentos para encontrar soluções, como "Uma empresa enfrenta dificuldades financeiras. Como reverter essa situação?" A palavra usada de maneira geral para representar uma questão, um problema ou uma situação-problema é “item.”

Para realizarmos a análise, organizamos as respostas dos alunos ao longo de cada uma das aulas nas tabelas 1, 3, 5 e 7, considerando os três momentos de votação (MV): Pré-aula, Pós Explicação (Pós Exp.), Pós discussões em grupos (Pós Disc.). Para aprofundar a análise dos dados e responder ao item de pesquisa, foram definidas três categorias de análise:

1º **Compreensão Conceitual:** Avalia a capacidade do aluno de entender os conceitos físicos, desde a radiação eletromagnética até as leis clássicas e modernas que descrevem a radiação do corpo.

A fim de alinharmos nossa análise com as orientações metodológicas da PI (MAZUR, 2015), consideraremos que a turma “*demonstrou entendimento*” quando o percentual de respostas corretas for igual ou maior a 70%, “*entendimento parcial*” quando for maior que 30% e menor que 70% e “*não demonstrou entendimento*” quando for menor que 30%.

Os itens foram classificados com base na análise dos enunciados e distratores, considerando a clareza na apresentação do conceito e a capacidade de diferenciar a resposta correta de concepções errôneas.

2º **Aplicação do Conhecimento:** Refere-se à habilidade do aluno de utilizar o conhecimento sobre os conceitos físicos clássicos e modernos da radiação para resolver problemas e situações do dia a dia, como a emissão e absorção de radiação.

Consideraremos que a turma “*demonstrou a habilidade de aplicação*” quando o percentual de acerto for igual ou maior à 70%, “*demonstrou uma habilidade de aplicação em desenvolvimento*” quando for maior que 30% e “*não demonstraram habilidade de aplicação*” quando for menor que 30%.

As questões foram classificadas como 'aplicação do conhecimento' quando exigiam dos alunos a utilização dos conceitos em diferentes contextos e situações-problema, como a análise da cor de objetos aquecidos, a comparação da radiação emitida por diferentes fontes, ou a resolução de problemas relacionados à Lei de Stefan-Boltzmann.

3º ***Mudança de Opinião:*** Analisa a influência da interação entre pares (*Peer Instruction*) na mudança de respostas dos alunos após a discussão em grupo. Para analisar essa categoria, incluímos nas tabelas de 1 à 7 o MV (Média das Votações após a Discussão).

A terceira categoria está intimamente ligada à 1ª e a 2ª categoria, ela se manifesta naturalmente a análise, como consequência das orientações da metodologia PI, sempre que os alunos apresentarem um percentual de acerto menor que 70% na votação aos itens apresentados, isto é, sempre que os alunos não demonstraram compreensão ou habilidade de aplicação.

A fim de verificarmos qual o impacto da interação entre os grupos sobre a demonstração de entendimento ou de habilidade de aplicação da turma, consideraremos o percentual de acerto as respostas após o momento de discussão entre os grupos, tal que, quando o percentual de respostas corretas for:

- Maior ou igual a 70%, “*impactou positivamente*”;
- Maior que o percentual de acerto antes da interação e menor que 70%, “*não promoveu o impacto esperado*” e;
- Menor que o percentual de respostas corretas antes da interação entre os grupos, “*impactou negativamente*”.

Utilizando o ganho normalizado de Hake compararemos o percentual de acertos a cada item em distintos momentos de votação ou as respostas aos itens relacionados a um mesmo tópico considerando todos os momentos, a fim de estabelecer se houve ganho ou perda na aprendizagem.

As respostas dos alunos foram categorizadas e organizadas nas Tabelas 1 a 7, de acordo com às categorias de análise. Para facilitar a visualização, as categorias foram representadas por pelas seguintes cores: azul (Compreensão Conceitual), laranja (Aplicação do Conhecimento) e verde (Mudança de Opinião).

Tabela 1 - votação dos alunos sobre a compreensão dos tópicos de radiação eletromagnética e térmica antes e após as atividades didáticas em sala na aula 1.

IDENTIFICAÇÃO DO ALUNO NA PESQUISA	QUESTÕES SOBRE RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA								QUESTÕES SOBRE RADIAÇÃO TÉRMICA				
	1			2		3		4	5		6		7
	MV			MV		MV		MV	MV		MV		MV
	PRÉ-AULA	PÓS-EXP.	PÓS-DISC.	PRÉ-AULA	PÓS-DISC.	PRÉ-AULA	PÓS-DISC.	PÓS-EXP.	PRÉ-AULA	PÓS-DISC.	PRÉ-AULA	PÓS-EXP.	PÓS-EXP.
1	A	B	B	A	C	A	A	C	D	B	C	A	C
2	B	B	B	D	A	A	A	A	B	B			C
3	A	C	B	A			A	B	B				C
4	C	D	B	A			A	B	B				
5	C	B	B	D			A	B	B				B
6	C		B	A			A	A	B				
7	C	B	B	A			A	B	D				
8	B	D	B	C	A	B	A	B		B	C	B	
9	C	A	C	A	A	A	A			B	A	A	
10	D	D	B	A			A	B					C
11			B	A	A	A	A	B	B	B	D	A	
12	D	B	B	D	B	A	A	B	B	B	C	D	
13	A	C	B	D			A	B	B		C	D	
14		B	B	D	A	A	A	B	B	B	C	B	
15	D		B	D			A		D				C
16			B	A	A	A	A			B	A	B	
17	B	B	B	A	A	A	A	A	B	B	B	B	
18		B	B	A	A	A	A	B	B	B	B	A	C
19		B	B	D	A	A	A	B	B	B	D	B	C
20		B	A	A				B	A				C
21					B	A	A			B	D	B	A
22					A	A				B	D	D	C
23					A	A				B	D	A	
24				A	A	A				D	C	B	C
25					B	A				B	D	B	B
26	B												C
27													C
28													

Fonte: Própria Autoria (2025)

Tabela 2 - resultados percentuais das votações antes e depois das atividades didáticas da aula 1.

TÓPICO	QUESTÃO	MV	A	B	C	D	ALTERNATIVA CORRETA	MÉDIA POR QUESTÃO	MÉDIA POR TÓPICO
RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA	1	PRÉ-AULA	20,00%	26,67%	33,33%	20,00%	B	0,27	0,62
		PÓS-EXP.	6,25%	62,50%	12,50%	18,75%		0,63	
		PÓS-DISC.	5,00%	90,00%	5,00%	0,00%		0,90	
	2	PRÉ-AULA	61,90%	0,00%	4,76%	33,33%	A	0,62	
		PÓS-DISC.	75,00%	18,75%	6,25%	0,00%		0,75	
	3	PRÉ-AULA	6,25%	93,75%	0,00%	0,00%	A	0,06	
		PÓS-DISC.	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%		1,00	
	4	PÓS-EXP.	17,65%	76,47%	5,88%	0,00%	B	0,76	
RADIAÇÃO TÉRMICA	5	PRÉ-AULA	12,50%	12,50%	37,50%	37,50%	B	0,13	
		PÓS-EXP.	31,25%	50,00%	0,00%	18,75%		0,50	
	6	PRÉ-AULA	75,00%	18,75%	6,25%	0,00%	A	0,75	0,55
		PÓS-DISC.	57,14%	0,00%	4,76%	38,10%		0,57	
	7	PÓS-EXP.	6,67%	13,33%	80,00%	0,00%	C	0,80	

Fonte: Própria Autoria (2025)

Tabela 3 - votação dos alunos sobre a compreensão dos tópicos de radiação do corpo negro e lei de Stefan-Boltzmann antes e após as atividades didáticas da aula 2.

IDENTIFICAÇÃO DO ALUNO NA PESQUISA	QUESTÕES SOBRE RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO					QUESTÕES SOBRE A LEI DE STEFAN- BOLTZMANN				
	1		2	3		4	5		6	
	MV		MV	MV		MV	MV		MV	
	PRÉ-AULA	PÓS-EXP.	PÓS-EXP.	PÓS-EXP.	PÓS-DISC.	PÓS-EXP.	PÓS-EXP.	PÓS-DISC.	PÓS-EXP.	PÓS-DISC.
1	A	A	C	A		B	D	C	D	D
2	B	A	C	A	B	C	C	C	C	D
3	A									
4	B			B	B	C	B	C	B	D
5	B									
6	D			B	B	A	C	C	D	D
7										
8	B	A	A	A	B	A	A	A	D	D
9	A	A	A		B	C	C	B	C	D
10	B			A	B	C	B	C	B	B
11	A	A	A	B	B	C	C	C	C	C
12	B	A	A							
13	D									
14	B	A	A		B	C	C	C	D	D
15	A			A	A	C	B	C	B	D
16	A	A	A	A	B	C	C	C	C	D
17	B	A	B	A	B	C	C	C	C	B
18	A	A	B							
19		A	A							
20	A			A	B	C	C	C	C	C
21		A	D	B		C	A	C	B	D
22		A	B	A	B	C	B	A	D	D
23		B	A	A	B	C	B	B	D	D
24		B	D	B		B	D	C	C	D
25		B	A	B	B	A	C	B	C	D
26				A	A	C	C	C	C	D
27										
28				A	B	C	C	C	C	D

Fonte: Própria Autoria (2025)

Tabela 4 - resultados percentuais das votações antes e depois das atividades didáticas da aula 2

TÓPICO	QUESTÃO	MV	A	B	C	D	ALTERNATIVA CORRETA	MÉDIA POR QUESTÃO	MÉDIA POR TÓPICO
RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO	1	PRÉ-AULA	44,44%	44,44%	0,00%	11,11%	A	0,44	0,57
		PÓS- EXP.	81,25%	18,75%	0,00%	0,00%		0,81	
	2	PÓS-EXP.	56,25%	18,75%	12,50%	12,50%	B	0,19	
	3	PÓS- EXP.	66,67%	33,33%	0,00%	0,00%	B	0,33	
		PÓS- DISC.	11,76%	88,24%	0,00%	0,00%		0,88	
	4	PÓS- EXP.	15,00%	10,00%	75,00%	0,00%	C	0,75	
LEI DE STEF BOLTZMANN	5	PÓS- EXP.	10,00%	25,00%	55,00%	10,00%	C	0,55	0,6
		PÓS- DISC.	10,00%	15,00%	75,00%	0,00%		0,75	
	6	PÓS- EXP.	0,00%	20,00%	50,00%	30,00%	D	0,30	
		PÓS- DISC.	0,00%	10,00%	10,00%	80,00%		0,80	

Fonte: Própria Autoria (2025)

Tabela 5 - votação dos alunos sobre a compreensão dos tópicos Lei de Wien, Transição entre a física clássica e a moderna e Lei de Planck antes e após as atividades didáticas da aula 3.

IDENTIFICAÇÃO DO ALUNO NA PESQUISA	QUESTÕES SOBRE LEI DE WIEN			QUESTÕES SOBRE A TRANSIÇÃO ENTRE A FÍSICA CLÁSSICA E A MODERNA				QUESTÕES SOBRE LEI DE PLANK			
	1		2	3		4		5	6		7
	MV		MV	MV		MV		MV	MV		MV
	PÓS-EXP.	PÓS-DISC.	PÓS-EXP.	PRÉ-AULA	PÓS-EXP.	PRÉ-AULA	PÓS-EXP.	PÓS-EXP.	PÓS-EXP.	PÓS-DISC.	PÓS-EXP.
1	A	A	B	B	A	B	B	C	B	A	B
2	B	A	B		B	A		C	B	A	B
3				B	B	B	B				
4	A	A	C	B	B	A	B	C	A	B	B
5				B	D	B	B				
6				A	D	A	B				
7	B	B	A		B			A	D	B	B
8					A	D					
9	B	B	B	A	A	B	B	B	C	A	B
10				B	B	A	B				
11			B	A			B	B	A	B	B
12	A	A	B		A	A		D	B	A	B
13	A	A	B	C			A	D	B	A	B
14	A	A	B					D	B	A	B
15	C	A	A					B	A	A	B
16	A	A	B		B			C	A	A	B
17											
18	B	A			B	D		A	A	A	B
19	B	B	B	A			B	D	B	A	B
20				A	D	A	B				
21					B	B					
22	A	A	B	A			A	C	B	B	B
23					B	B					
24	B	A	A	A	C	A	A	C	B	B	B
25	A	A	B	B	B	D	B	C	B	A	B
26	A	A	B	B	B	A	B	D	A	A	B
27	C	A	D		B	B		D	A	B	B
28	B	A	B	C			A	D	B	A	B

Fonte: Própria Autoria (2025)

Tabela 6 - resultados percentuais das votações antes e depois das atividades didáticas da aula 3

TÓPICO	QUESTÃO	MV	A	B	C	D	ALTERNATIVA CORRETA	MÉDIA POR QUESTÃO	MÉDIA POR TÓPICO
LEIS DE WIEN	1	PÓS- EXP.	33,33%	55,56%	11,11%	0,00%	A	0,33	0,63
		PÓS- DISC.	83,33%	16,67%	0,00%	0,00%		0,83	
	2	PÓS EXP.	16,67%	72,22%	5,56%	5,56%	B	0,72	
TRANSIÇÃO ENTRE A FÍSICA CLÁSSICA E A MODERNA	3	PRÉ-AULA	43,75%	43,75%	12,50%	0,00%	B	0,44	0,54
		PÓS- EXP.	20,00%	60,00%	5,00%	15,00%		0,60	
	4	PRÉ-AULA	44,44%	38,89%	0,00%	16,67%	B	0,39	
		PÓS- EXP.	25,00%	75,00%	0,00%	0,00%		0,75	
LEI DE PLANCK	5	PÓS- EXP.	10,53%	10,71%	25,00%	25,00%	A	0,11	0,54
	6	PÓS- EXP.	36,84%	52,63%	5,26%	5,26%	A	0,37	
		PÓS DISC.	68,42%	31,58%	0,00%	0,00%		0,68	
	7	PÓS- EXP.	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	B	1,00	

Fonte: Própria Autoria (2025)

Tabela 7 - desempenho individual e do grupo por questão/ tópico dos participantes no pós- teste.

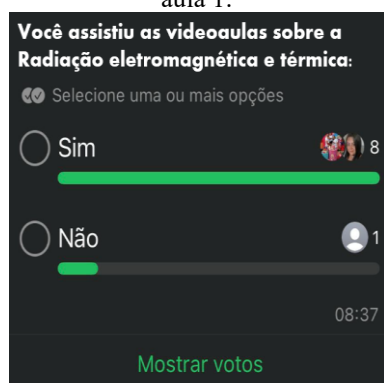
IDENTIFICAÇÃO DO ALUNO NA PESQUISA	TÓPICOS						DESEMPENHO PERCENTUAL DO PARTICIPANTE						
	RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA	RADIAÇÃO TÉRMICA	RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO	LEI DE STEFAN-BOLTZMANN	LEI DE WIEN	LEI DE PLANK							
								QUESTÕES					
								1	2	4	5	7	10
1	A	A	A	A	A	A	50%						
2	A	B	B	B	B	A	33%						
3													
4	A	A	B	B	A	A	50%						
5													
6													
7													
8	A	A	A	A	B	A	50%						
9	A	B		A	A	A	40%						
10													
11	A	A	B	B	B	A	50%						
12	A	A	A	A	C	A	67%						
13													
14	A	B	A	A	C	A	50%						
15													
16	A	A	B	B	A	A	50%						
17													
18													
19	A	A	A	A	C	A	67%						
20													
21													
22													
23													
24													
25													
26	A	A	A	A	A	A	50%						
27	A	A	B	B	A	A	50%						
28	D	A	D	D	A	A	33%						
DESEMPENHO POR QUESTÃO/ TÓPICO (%)	92,31	76,92	50,00	53,85	53,85	100,00							

Fonte: Própria Autoria (2025)

7.3 INTERPRETAÇÃO INFERENCIAL

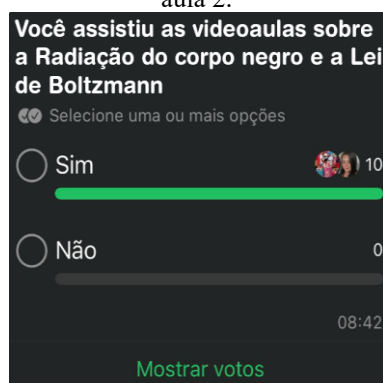
Antes de iniciarmos a interpretação inferencial dos dados que podem ser mensurados mais assertivamente cujo objetivo é responder ao problema de pesquisa, apresentaremos dois indícios que buscam evidenciar, a melhora em um aspecto que contribui para o processo de ensino aprendizagem que é a motivação. Ao longo das aulas, em decorrência da utilização da metodologia PI, foram enviados aos alunos vídeos curtos, enviados pelo WhatsApp, que explicavam os tópicos a serem debatidos durante as aulas. A fim de verificarmos se a implementação das aulas em sala de aula melhoraria o engajamento dos alunos nesse momento de pré-aula, criamos enquetes onde eles informavam se haviam assistido ou não as videoaulas. Conforme as imagens 3, 4 e 5, observou-se um crescimento no número de participações assistindo a videoaula no momento de pré aula. Comparando a primeira e a última pré-aula tivemos um aumento de 75%, isto é, a metodologia estava promovendo engajamento no alunado.

Imagem 3 - Enquete sobre a participação no momento da pré-aula 1.



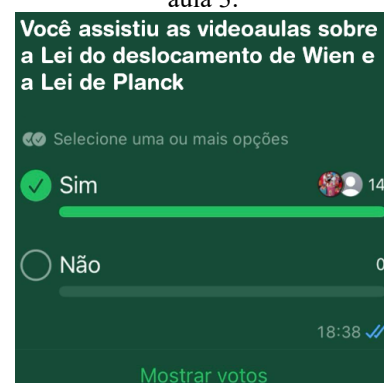
Fonte: Autoria própria (2025)

Imagem 4 - Enquete sobre a participação no momento da pré-aula 2.



Fonte: Autoria própria (2025)

Imagem 5 - Enquete sobre a participação no momento da pré-aula 3.



Fonte: Autoria própria (2025)

Além desse fato outro índice que podemos considerar é o nível de presença que foi maior em relação ao resto do ano letivo. Portanto, a partir desses dois índices concluímos que a metodologia produziu um impacto positivo na motivação dos alunos.

Durante os momentos em sala de aula buscou-se, a partir da análise das respostas dos alunos aos itens conceituais ou de aplicação de conceitos, averiguar a demonstração ou não de compreensão conceitual e da habilidade de perceber e/ou aplicá-los em contexto diversos, e como a discussão em grupo poderia maximizar a eficiência do processo de aprendizagem dos tópicos que envolvem a compreensão dos conceitos que descrevem a radiação do corpo negro desde a física clássica até a moderna.

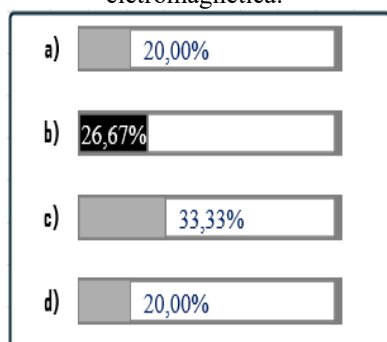
A primeira situação-problema apresentada trata sobre o conceito de radiação, sobre a definição desse conceito na área de física, nossa primeira categoria de análise. Leiamos o item abaixo.

Aula 1: Item 1) habilidade trabalhada (EM13CNT201). Imagine que você está em uma praia ensolarada. Você sente o calor do sol na sua pele, mesmo sem tocar nele. Esse calor chega até você através de um processo chamado radiação. Agora, pense em outros exemplos: a luz de uma lâmpada, as ondas do rádio. Todos eles envolvem o conceito de radiação. Você saberia dizer o que é uma radiação?

- a) É a propagação de energia por meio de partículas com massa.
- b) É a transferência de energia por meio de ondas eletromagnéticas ou partículas.**
- c) É o fluxo de calor que ocorre somente em meios materiais.
- d) É um tipo de energia que se propaga apenas no vácuo.

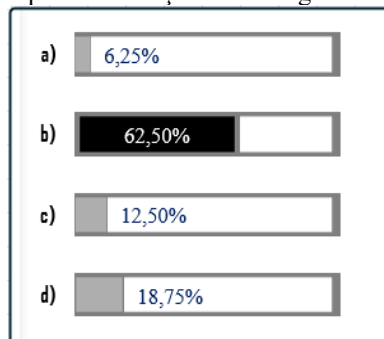
Os gráficos 1, 2 e 3 são referentes a respostas dos alunos em relação a questão 1, em 3 momentos distintos de votação.

Gráfico 1 - Votação no momento de pré-aula ao item 1 da aula 1, tópico de radiação eletromagnética.



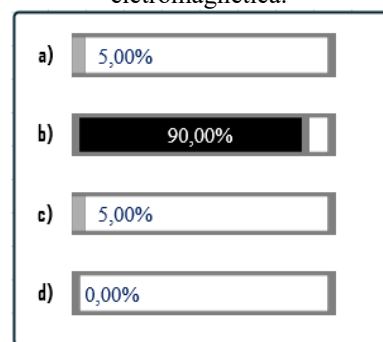
Fonte: Próprio Autor (2025)

Gráfico 2 - Votação no momento pós- explicação à item 1 da aula 1, tópico de radiação eletromagnética.



Fonte: Próprio Autor (2025)

Gráfico 3 - Votação no momento pós disc. ao item 1 da aula 1, tópico de radiação eletromagnética.



Fonte: Próprio Autor (2025)

O gráfico 1 mostra que o distrator mais atraente aos alunos, quando foram apresentadas ao conceito de radiação, foi a alternativa c), isso mostra que os mesmos limitam a radiação a propagação de calor e confundem radiação com os outros processos de propagação de calor como condução e convecção.

De acordo com a metodologia PI a aplicação do conceito de radiação eletromagnética precisava ser reforçado apresentando outras formas de radiação além da radiação térmica, o “calor”, pois os alunos tiveram um baixo nível de acerto. Após a apresentação do tópico foi feita uma nova votação, todavia conforme o gráfico 2 ainda não houve uma compreensão mínima, que de acordo com a PI deve ser igual ou maior que 70%. A partir daí proporcionamos

uma discussão entre os grupos e de acordo com o gráfico 3 à compreensão do conceito foi potencializada havendo um ganho de aprendizagem maior que 0,7 o que de acordo com o ganho normalizado de Hake é um ganho de aprendizagem alto.

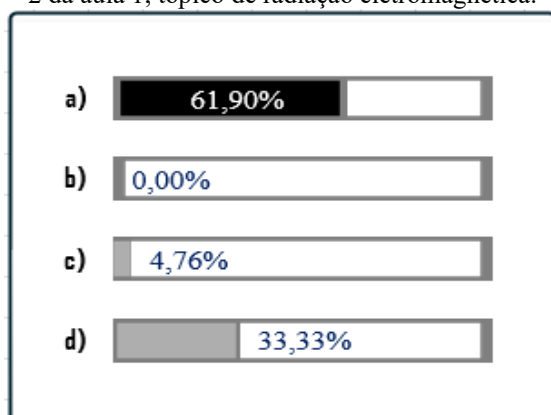
De acordo com o a metodologia do PI poderíamos avançar para o próximo tópico de aprendizagem, mas nossa pesquisa também pretender averiguara se a metodologia pode produzir impacto na aprendizagem dos alunos para aplicação do conteúdo a situações problemas. No intuito de fazer tal verificação no que tange a aplicação do tópico de radiação eletromagnética os alunos responderam à questão 2 da aula 1.

Aula 1: Item 2) Habilidade trabalhada (EM13CNT201). Quais das alternativas contém um exemplo de radiação?

- a) O calor que sentimos de uma fogueira.
- b) O som de um trovão.
- c) A água corrente de um rio.
- d) O movimento de um carro.

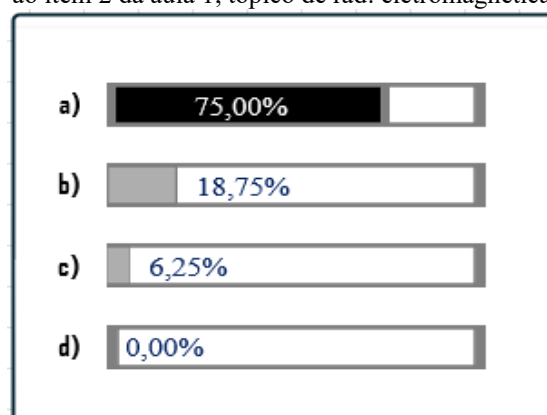
Os gráficos 4 e 5 registram as respostas dos alunos a estes problemas antes da aula e após a discussão em grupo.

Gráfico 4 – Votação no momento de pré aula ao item 2 da aula 1, tópico de radiação eletromagnética.



Fonte: Próprio Autor (2025)

Gráfico 5 – Votação no momento pós disc. em grupos ao item 2 da aula 1, tópico de rad. eletromagnética.



Fonte: Próprio Autor (2025)

Se comparamos o nível de acerto em relação a aplicação do conteúdo e a compreensão do mesmo percebemos que os alunos se saíram melhor na nossa segunda categoria de análise, todavia no MV da pré-aula o distrator que mais chamou a atenção dos alunos foi o distrator d) que em termos de erro de aplicação do conhecimento é similar ao distrator c), isto é, os alunos associam qualquer tipo de movimento a radiação, ao fato de qualquer energia em movimento produzir radiação. Agora os alunos já haviam sido apresentados a outros tipos de radiação durante a explicação, então propusemos que os mesmos se reunissem em grupo para então

realizarem uma nova votação. E percebemos que em decorrência desse processo houve um ganho de aprendizagem de 0,34 que um ganho médio de acordo com Hake.

No processo de ensino aprendizagem do primeiro tópico em análise verificamos que a metodologia se mostrou eficiente em todas as categorias de análise. Além disso, tanto a compreensão conceitual como a capacidade de aplicação desse conhecimento a este tópico foram potencializadas.

No entanto, os resultados até agora apresentados foram frutos de atividades em que os alunos tiveram colaboração, seja do professor ou entre si. A fim de verificarmos se os alunos melhoram a compreensão e se poderíamos avançar para o próximo tópico fizemos os alunos realizar uma votação individual, sem que houvesse novas explicações, além do feedback dado após a resposta ao problema anterior, o problema analisado foi:

Aula 1: Item 4) Habilidade trabalhada (EM13CNT103): A luz visível é uma radiação eletromagnética. Levando em consideração a cor branca e a cor preta em uma roupa ou em um objeto qualquer, qual das duas cores absorve mais energia térmica “calor”?

a) A cor branca, pois reflete mais luz.

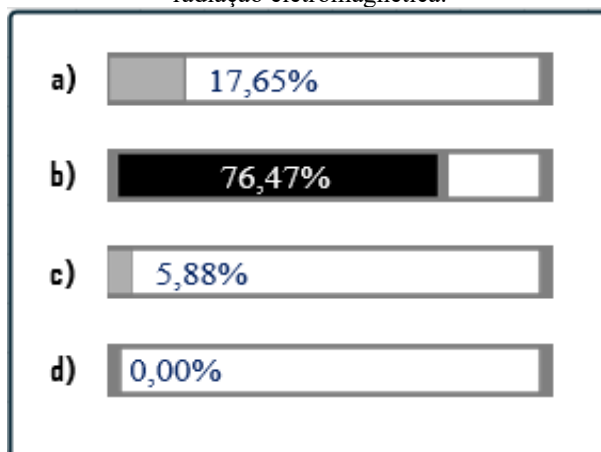
b) A cor preta, pois absorve mais luz.

c) Ambas absorvem a mesma quantidade de “calor.”

d) Nenhuma das duas absorve “calor.”

Essa questão se enquadra em aplicação do conhecimento, a diferença entre o item 2 e o item 4 concentrasse em relação a votação, o bom desempenho na resolução desse item, de acordo com o gráfico 8, fornece indícios que a interação entre os pares produz um aprimoramento da compreensão individual.

Gráfico 6 - Votação no momento pós explicação e pós discussão em grupo ao item 4 da aula 1, tópico de radiação eletromagnética.



Fonte: Autoria própria (2025)

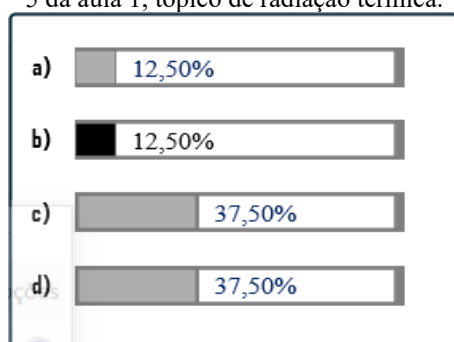
Para avaliarmos a demonstração do entendimento sobre os conceitos da radiação térmica analisaremos a resposta dos alunos ao item 5 da aula 1.

Aula 1: Item 5) Habilidade parcialmente trabalhada (EM13CNT201). Após aprender sobre radiação térmica, Pedro fica intrigado e se pergunta se um cubo de gelo, que está a uma temperatura muito baixa, também emite radiação térmica. É verdade que todo corpo independente da sua temperatura emite radiação térmica?

- a) **Sim, todo corpo emite radiação térmica, independente da sua temperatura.**
- b) Não, somente corpos com temperaturas muito altas emitem radiação térmica.
- c) Não, a emissão de radiação térmica depende da cor do objeto.
- d) Não, a emissão de radiação térmica depende do material do objeto.

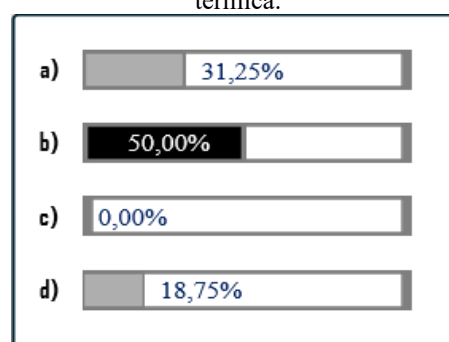
De acordo com o gráfico 7, os alunos não demonstraram aprendizagem em relação a esse conceito no momento da pré-aula. Os participantes foram atraídos, de igual forma, pelos distratores c) e d), portanto os principais erros de compreensão são relacionados ao fato de a radiação térmica ser, na compreensão deles, emitida apenas por alguns objetos constituídos de um material específico que é visível e possui cor, isto é, a emissão das radiações térmicas ocorre em um determinado intervalo de temperatura. Diante do indício de que os alunos já dominavam o conceito de radiação propusemos que os mesmos se reunissem e discutissem sobre o item 4 novamente, e após essa discussão os alunos votaram novamente e os resultados estão evidenciados no gráfico 8.

Gráfico 7 - Votação no momento de pré aula ao item 5 da aula 1, tópico de radiação térmica.



Fonte: Próprio Autor (2025)

Gráfico 8 - Votação no momento após a discussão em grupos ao item 5 da aula 1, tópico de radiação térmica.



Fonte: Próprio Autor (2025)

O gráfico 10 mostrou uma melhora devido a intervenção pedagógica utilizada em conformidade com a metodologia PI, no entanto, essa aprendizagem ainda não permite concluir que os alunos “demonstraram entendimento” sobre o conteúdo. Todavia, é válido salientar que na perspectiva do ganho normalizado de Hake, houve um ganho de 0,4, um ganho médio.

O erro demonstrado pelos alunos estar associado a confusão causada entre os elementos que constituem um corpo, que emitem radiação em um comprimento de onda específico, uma

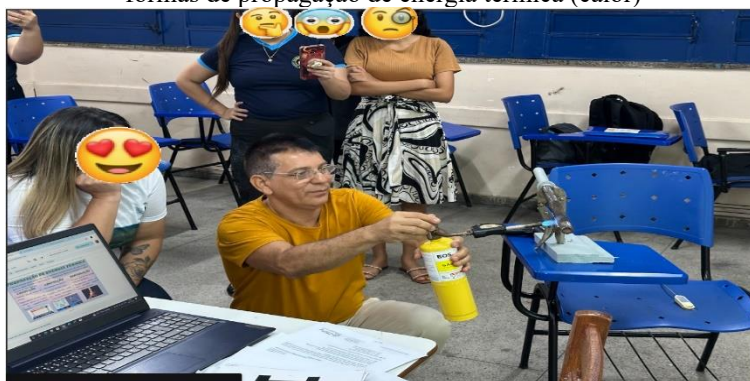
cor específica, associando assim um único tipo de transferência de calor a cada estrutura, a cada cor, associando por fim a propagação da energia térmica por irradiação a corpos que possuem brilho intenso e são feitos de um material específico capaz de suportar essas “altas temperaturas”. A metodologia *Peer Instruction* orienta o professor a fazer uma apresentação focada nas dificuldades dos alunos. A fim de melhorarmos a compreensão dos alunos em relação ao conceito, sua aplicabilidade e manter as práticas pedagógicas alinhadas a PI, construiu-se um experimento de autoria própria, denominado de “Efeito dominó térmico”, conforme os registros das imagens 1 e 2 que evidenciam o experimento em si e o seu momento de aplicação em sala de aula.

Imagem 6 - Foto do experimento Efeito Dominó térmico



Fonte: Autoria Própria (2025)

Imagem 7 - Momento de apresentação do experimento sobre as formas de propagação de energia térmica (calor)



Fonte: Autoria própria (2025)

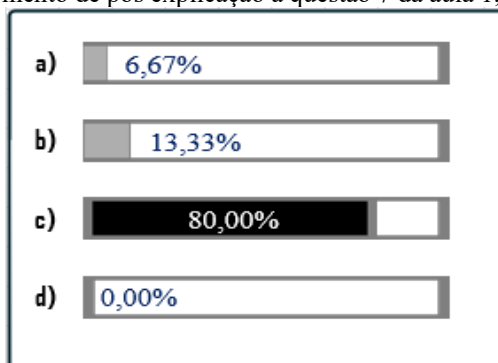
Utilizando o Efeito dominó térmico fizemos uma explicação das formas de propagação da energia térmica, mostrando que um mesmo corpo pode produzir transferência de energia térmica por mais de uma forma. Apresentamos aos participantes o item 7, uma situação-problema, para que os alunos votassem e pudéssemos averiguar tanto a assimilação conceitual e a habilidade de perceber o conceito em situações diversas.

Aula 1: Item 7) Habilidade trabalhada (EF08CI01). Em dias ensolarados, sentimos nossa pele aquecer ao ficarmos expostos à luz solar. Qual o principal processo de propagação de calor responsável por esse aquecimento?

- a) Condução
- b) Convecção
- c) Radiação**
- d) Evaporação

Após a votação do item 7 o desempenho da turma está evidenciado no gráfico 9 que indica que houve a assimilação do conceito e de sua aplicabilidade, pois o índice de acerto foi superior a 70%.

Gráfico 9 - Votação no momento de pós explicação à questão 7 da aula 1, tópico de radiação térmica.



Fonte: Autoria própria (2025).

O próximo tópico que iremos analisar é a radiação do corpo negro. O início das atividades realizadas em sala de aula a fim de potencializar a compreensão desse conceito foi orientada pelas respostas dos alunos ao item 1 da aula 2.

Aula 2: Item 1) Habilidades trabalhadas (EM13CNT103) e (EM13CNT301). Em um documentário sobre astronomia, Júlia ouviu falar sobre "corpos negros" e como eles ajudam os cientistas a entenderem a temperatura das estrelas. Você saberia definir o que é um corpo negro? a) **É um corpo que absorve toda a radiação incidente sobre ele e emite radiação em todos os comprimentos de onda.**

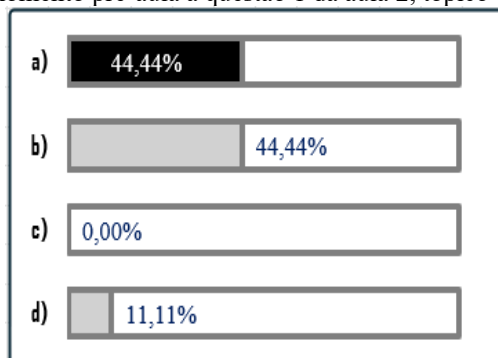
b) É um corpo que reflete toda a radiação incidente sobre ele.

c) É um corpo que não emite nenhum tipo de radiação.

d) É um corpo que só emite luz visível.

O item 1 da aula 2 é uma situação-problema sobre a conceituação de um corpo negro. De acordo com o gráfico 10, no momento pré-aula não houve demonstração de compreensão conceitual e o distrator mais atrativo aos alunos foi a alternativa b), o que indica que os alunos entenderam um corpo negro como um corpo que reflete toda a luz e essa não compreensão conceitual pode ser atribuída a uma das propriedades desse corpo idealizado, a capacidade de absorção ser igual a capacidade de emissão.

Gráfico 10 - Votação no momento pré-aula à questão 1 da aula 2, tópico de radiação do corpo negro.



Fonte: Autoria Própria (2025)

A fim de resolvermos essa dificuldade de aprendizagem relavada previamente, devido as orientações metodológicas da PI, adotamos como estratégias a utilização do experimento denominado de “simulação de um modelo de corpo negro”, conforme as imagens 8, 9 e 10, que ilustram a construção, o funcionamento e o momento de implementação em sala de aula. Durante sua utilização enfatizávamos o fato dele reter e absorver a toda a radiação que chegava até ele e que o fato dele emitir não estava associado ao fato de refletir e sim de absorver, afirmação que era corroborada a partir das medidas feitas com um termômetro infravermelho que media a temperatura da fonte e do corpo negro idealizado na experiência.

Imagem 8- Processo de construção do experimento radiação do Corpo Negro



Fonte: Autoria própria (2025).

Imagem 9 - Experimento radiação do corpo negro em funcionamento.



Fonte: Autoria própria (2025).

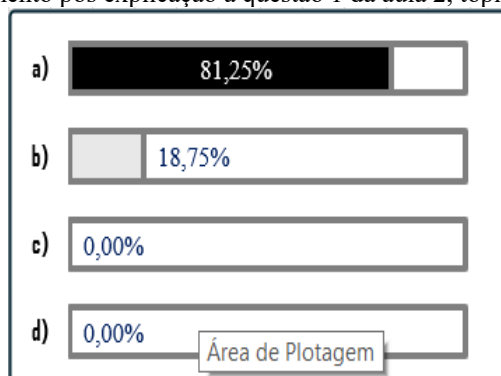
Imagem 10 - Momento de aplicação em sala de aula do experimento de radiação do corpo negro



Fonte: Autoria própria (2025).

Com o intuito de elucidar as dúvidas remanescentes e promover uma compreensão mais profunda do conceito de corpo negro, foi apresentado aos alunos o experimento "Simulação de um Modelo de Corpo Negro" (imagens 8, 9 e 10). Após a explicação com o experimento, os estudantes votaram no item 1 da aula 2 (gráfico 11). O resultado revelou um ganho de aprendizagem de 0,67, considerado médio segundo a métrica de Hake. Esse ganho indica que os alunos estão prontos para aprofundar seus conhecimentos sobre o tópico de forma autônoma, um dos preceitos da metodologia PI.

Gráfico 11 - Votação no momento pós explicação à questão 1 da aula 2, tópico de radiação do corpo negro.



Fonte: Autoria própria (2025)

O item 3 da aula 2 apresentada aos alunos, trata-se de um problema que apresenta um alto nível de complexidade, pois envolve os conceitos e as propriedades da radiação eletromagnética, dos fenômenos relacionados a elas e o corpo negro. Esse problema proposto tem por objetivo verificar se eles estavam conseguindo integralizar as habilidades e desenvolver competências e se a metodologia PI poderia promover essa integralização.

Aula 2: Item 3) Habilidades trabalhadas (EM13CNT103) e (EM13CNT101). Um corpo negro é um objeto ideal que:

a) Absorve todas as frequências de radiação eletromagnética incidente e emite radiação em apenas uma frequência específica.

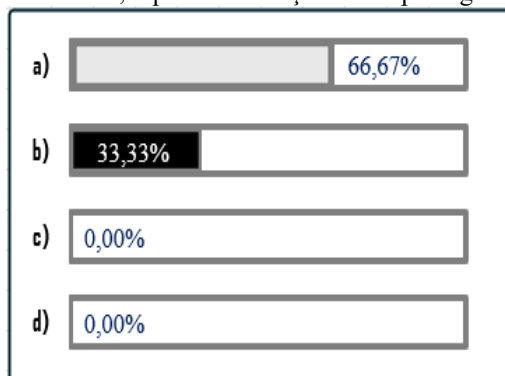
b) Absorve todas as frequências de radiação eletromagnética incidente e emite radiação em todas as frequências, com uma distribuição característica dependente da temperatura.

c) Reflete todas as frequências de radiação eletromagnética incidente e não emite radiação.

d) Absorve apenas uma frequência específica de radiação eletromagnética incidente e emite radiação em todas as frequências

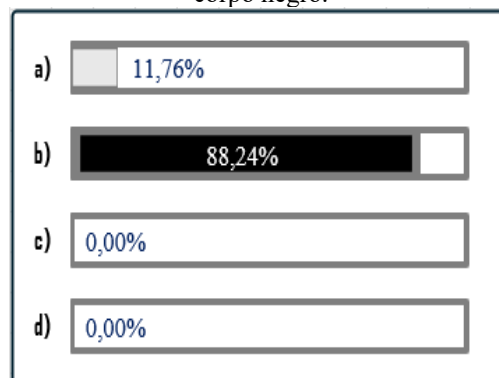
A análise do item 3 revela que, inicialmente, à maioria dos alunos (gráfico 12) não demonstrou entendimento sobre o espectro de emissão da radiação de um corpo negro, (alternativa a). Essa resposta sugere uma possível confusão com o conceito de átomo, que, diferentemente de um corpo negro, absorve e emite radiação em frequências específicas. No entanto, após a discussão em grupos, os alunos demonstraram compreensão do conceito, alcançando um índice de acerto superior a 70% (gráfico 13). Esse resultado, evidenciado pelo ganho de aprendizagem de 0,82, indica que a interação entre os alunos foi eficaz na construção do conhecimento sobre o espectro contínuo de frequências emitidas por um corpo negro.

Gráfico 12 – Votação no momento pós exp. ao item 3 da aula 2, tópico de radiação do corpo negro



Fonte: Autoria própria (2025)

Gráfico 13 – Votação no momento pós disc. em grupos ao item 3 da aula 2, tópico de radiação do corpo negro.



Fonte: Autoria própria (2025)

Após a análise do item 3, que avaliou a compreensão do espectro de emissão da radiação de um corpo negro, o foco da pesquisa se voltou para a Lei de Stefan-Boltzmann. Essa lei descreve a energia total emitida por um corpo negro em função de sua temperatura, sendo um conceito fundamental para a compreensão da radiação térmica. O tópico em pauta inicia a descrição da Física Clássica para a radiação do corpo negro. Para avaliarmos a compreensão conceitual dos alunos em relação a este tópico, no momento de pré aula os alunos responderam ao item 5 da aula 2.

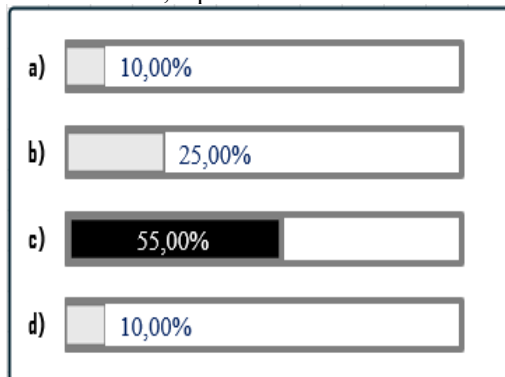
Aula 2: item 5) Habilidades (EM13CNT301) e (EM13CNT308). A Lei de Stefan-Boltzmann relaciona a quantidade de energia radiante emitida por um corpo com:

- a) A massa do corpo
- b) O volume do corpo
- c) A temperatura do corpo**
- d) A cor do corpo

O gráfico 14, mostrou que mais da metade da turma havia compreendido do que se tratava a Lei de Steffan- Boltzmann e que o distrator mais atrativo aos alunos era o distrator b), isso indica que os alunos confundiram emissão de radiação térmica por unidade de área com propriedades geométricas do corpo, ou seja, o erro de assimilação ocorre porque o volume do corpo não influencia diretamente a taxa de emissão de radiação térmica por unidade de área. A Lei de Stefan-Boltzmann considera a área superficial e a temperatura, não o volume. No intuito de melhorar a apreensão conceitual e de maximizar a utilização do tempo em sala de aula, conforme as instruções da PI, propôs-se uma discussão em grupo para averiguar se ela traria ganho de aprendizagem ou não. Conforme o gráfico 15, ocorreu uma melhora no percentual de acerto de 74%, acima do mínimo sugerido pela PI para que prossigamos para o próximo tópico, além disso, na perspectiva de Hake, houve um ganho de aprendizagem de 0,44, um ganho médio

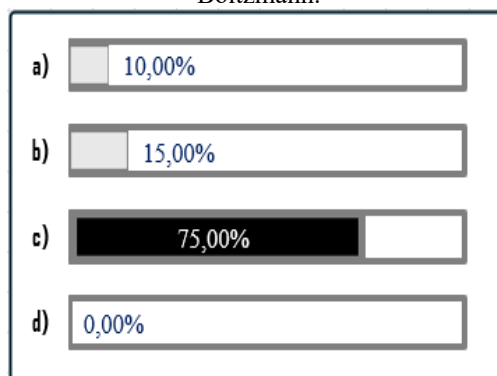
que era o que precisávamos para melhorar a compreensão da turma com um todo em relação a este conceito.

Gráfico 14 - Votação no momento pós explicação ao item 5 da aula 2, tópico Lei de Stefan-Boltzmann.



Fonte: Autoria própria (2025)

Gráfico 15 - Votação no momento pós disc. em grupos ao item 5 da aula 2, tópico Lei de Stefan-Boltzmann.



Fonte: Autoria própria (2025)

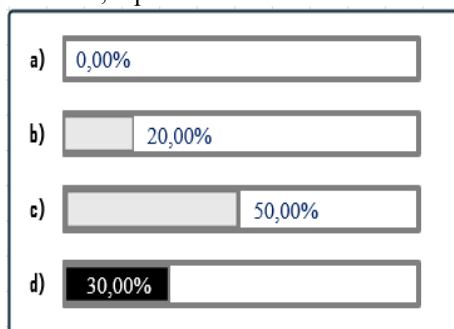
Precisávamos agora averiguar a habilidade dos alunos em relação a aplicabilidade deste conteúdo. Para isso analisamos as respostas dos alunos ao item 6 da aula 2.

Aula 2: Habilidades (EM13CNT201): Questão 6) De acordo com a lei de Stefan-Boltzmann, a potência irradiada por um corpo depende das características/ propriedades do mesmo, como da constituição e da área. Compreendendo isso, Joãozinho aquece dois corpos, A e B, que possuem a mesma área e são feitos do mesmo material. Se a temperatura do corpo A for maior que a do corpo B, podemos afirmar que a potência irradiada por A será:

- a) Não há informações suficientes para chegar a uma conclusão.
- b) Muito menor que a potência irradiada.
- c) Igual a potência irradiada por B.
- d) Muito maior que a potência irradiada por B.**

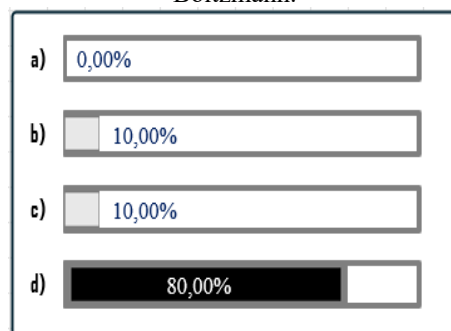
Este item é uma situação-problema que envolve as noções de dependência entre as propriedades físicas utilizadas na Lei de Stefan-Boltzmann para mensurar a potência irradiada por um corpo. Fez durante a aula uma breve explicação sobre o tópico e solicitou-se aos alunos que votassem, o resultado (gráfico 16) revelou que a compreensão não foi a adequada, os alunos não perceberão a influência da temperatura para a potência irradiada. Propôs-se uma discussão em grupos e uma nova votação (gráfico 17) onde constatamos que os melhoraram seus resultados para além do mínimo exigido pela metodologia PI, salientando mais uma vez a importância da discussão aos pares entre os alunos que possibilitou um ganho de aprendizagem alto, acima de 0,7.

Gráfico 16 - Votação no momento pós exp. ao item 6 da aula 2, tópico Lei de Stefan-Boltzmann.



Fonte: Autoria própria (2025).

Gráfico 17 - Votação no momento pós-disc. em grupos ao item 6 da aula 2, tópico Lei de Stefan-Boltzmann.



Fonte: Autoria própria

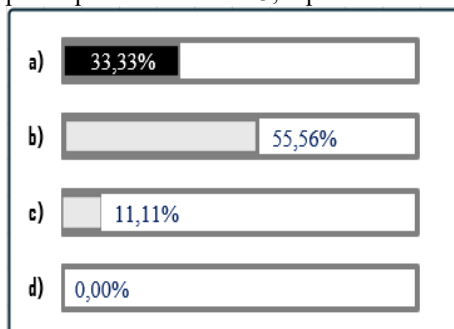
O penúltimo conteúdo apresentado foi a lei do deslocamento de Wien. A explicação desse tópico foi realizada com o auxílio do simulador do Phet Colorado denominado de “Espectro do corpo negro” como recurso didático. Após a apresentação os alunos votaram no item 1 da aula 3.

Aula 3: Item 1) Habilidades (EM13CNT301). A Lei de Wien pode ser aplicada para:

- a) **Determinar a temperatura de estrelas.**
- b) Calcular a potência total irradiada por um corpo negro
- c) Explicar o efeito fotoelétrico.
- d) Calcular a energia de um fóton

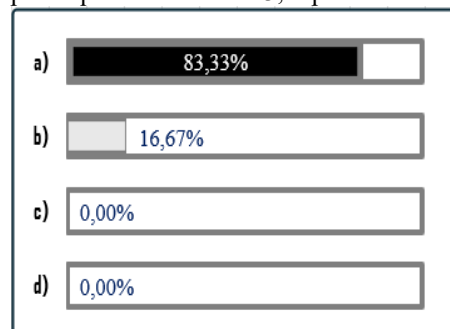
Essa questão trata de uma das aplicações da Lei de Wien trata no momento de explicação, após a explicação os alunos votaram (gráfico 18) e não demonstraram a habilidade necessária para aplicar este conceito. O distrator mais atrativo aos alunos foi a alternativa b), ou seja, os alunos estavam confundindo a Lei de Wien com a Lei de Plank, e acreditamos, em conformidade com a PI, que a discussão em grupos poderia resolver essa dificuldade de aprendizagem. Após a discussão os alunos votaram novamente (gráfico 19) e mais uma vez a interação mostrou um impacto positivo para o desenvolvimento da habilidade de aplicação do conceito para a turma, evidenciando um ganho de aprendizagem alto (NASCIMENTO, 2020).

Gráfico 18– Votação no momento pós explicação em grupos à questão 1 da aula 3, tópico Lei de Wien.



Fonte: Autoria própria (2025)

Gráfico 19 - Votação no momento pós discussão em grupos à questão 1 da aula 3, tópico Lei de Wien.



Fonte: Autoria própria (2025)

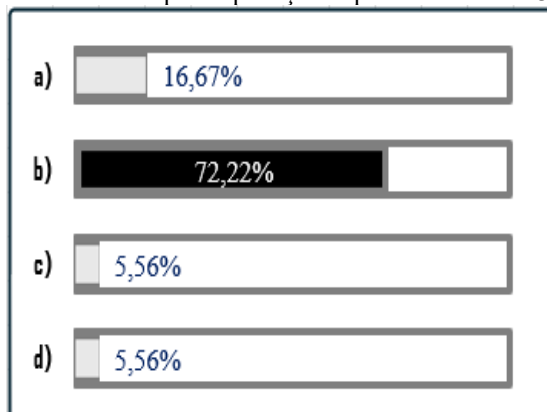
Posteriormente, buscamos detectar mais um indício de aprendizagem individual a partir do impacto positivo causado pela interação entre os pares, para tal observando a votação individual ao item 2 da aula 3.

Aula 3: Item 2) Habilidade trabalhada (EM13CNT301). Se a temperatura de um corpo negro aumentar, o comprimento de onda da radiação emitida com maior intensidade:

- a) Aumenta
- b) Diminui**
- c) Permanece constante
- d) Não pode ser determinada

Esse problema tratava da relação entre as duas principais propriedades das ondas eletromagnéticas e como elas se relacionavam de acordo com a Lei, isto é, tratava-se da habilidade de perceber uma aplicação desse conceito. De acordo com o gráfico 20, os alunos demonstraram a habilidade de aplicação do conceito, fato que permitiu avançar para o próximo tópico.

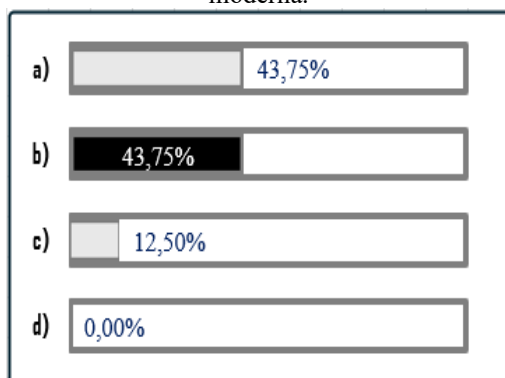
Gráfico 20 - Votação no momento pós explicação à questão 2 da aula 3, tópico Lei de Wien.



Fonte: Autoria própria (2025)

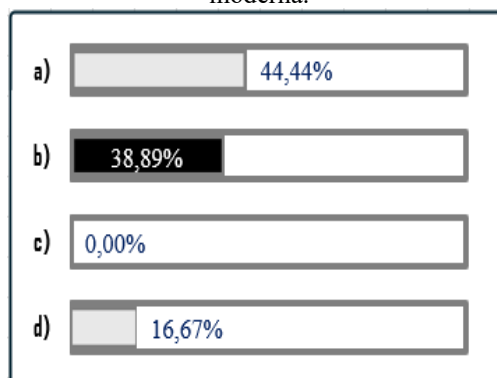
No memento pré aula buscamos verificar se os alunos apresentavam entendimento sobre aspectos relacionados a transição entre a física clássica e a moderna, para isso analisamos a resposta dos alunos ao item 3) que era uma questão para verificar se eles lembravam das leis da física clássica que descreviam a radiação do corpo negro e ao item 4) que era uma situação-problema que tratava sobre os fenômenos que a física moderna é capaz de descrever e a clássica não, além de analisar a dimensão dos corpos envolvidos nos fenômenos que a mesma descreve. Conforme o gráfico 21 e 22 os alunos não demonstraram entendimento sobre os conceitos que analisávamos.

Gráfico 21 - Votação no momento pré aula ao item 3 da aula 3, tópico transição entre a física clássica e a moderna.



Fonte: Autoria própria (2025)

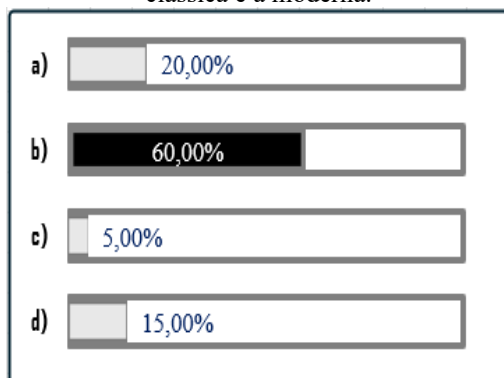
Gráfico 22 - Votação no momento pré aula ao item 4 da aula 3, tópico transição entre a física clássica e a moderna.



Fonte: Autoria própria (2025)

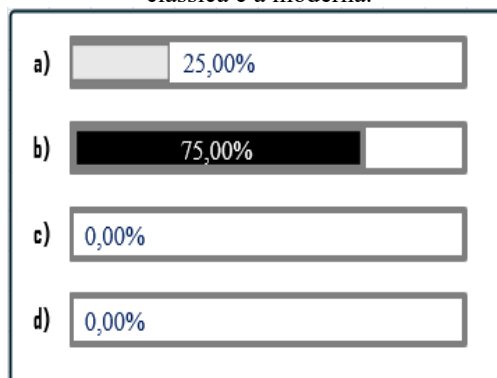
Os distratores mais atrativos aos alunos em cada uma das questões tratavam indicaram que os alunos confundiram as áreas mais conhecidas da física clássica com as que descrevem a radiação do corpo negro e não se atentaram ao fato de que a física moderna só descreve o movimento e a interação entre corpos microscópicos e que apesar dos corpos poderem ser entendidos com um aglomerado de corpos microscópicos as leis que descrevem suas interações e movimentos não são as mesmas. Seguindo as orientações da metodologia PI preparamos a aula centrada nessas dificuldades e após a apresentação para os alunos e notamos que após a nova votação, os mesmos demonstraram entendimento sobre os conceitos (gráfico 23 e 24).

Gráfico 23 - Votação no momento pós explicação ao item 3 da aula 3, tópico transição entre a física clássica e a moderna.



Fonte: Autoria própria (2025)

Gráfico 24 - Votação no momento pós explicação ao item 4 da aula 3, tópico transição entre a física clássica e a moderna.



Fonte: Autoria própria (2025)

Após os alunos demonstrarem ter desenvolvido entendimento e habilidade de aplicação de conceitos da física clássica consonantes a radiação do corpo negro, buscamos investigar se o mesmo ocorreria em relação a Lei de Planck, a descrição da física moderna ao mesmo.

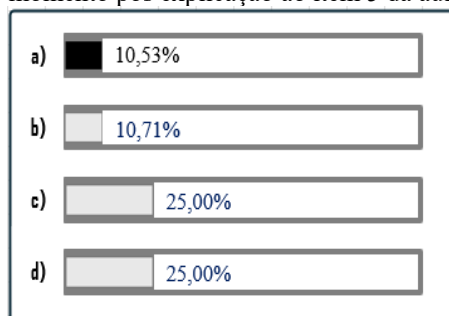
Após a exposição do tema aos alunos, a fim de verificarmos se eles demonstrariam entendimento, propomos que eles respondessem ao item 5 da aula 3.

Aula 3: Item 5) Habilidades trabalhadas (EM13CNT103), (EM13CNT301) e (EM13CNT308). Segundo a Lei de Planck, a energia de um fóton é:

- a) **Diretamente proporcional à sua frequência.**
- b) Inversamente proporcional à sua frequência
- c) Independe da frequência
- d) Diretamente proporcional ao seu comprimento de onda.

Com o propósito de dar continuidade à análise da compreensão dos alunos sobre a Lei de Planck, introduziu-se o item 5 da aula 3, uma questão conceitual que explora a relação entre a energia de um fóton e sua frequência. O gráfico 25 apresenta o percentual de acerto dos alunos em relação a esta questão conceitual.

Gráfico 25 - Votação no momento pós explicação ao item 5 da aula 3, tópico Lei de Planck.



Fonte: Autoria própria (2025)

Analisando o percentual de acerto concluímos que eles não demonstraram entendimento sobre o tema. O distrator c), o mais atrativo a 25% dos alunos, revela que a concepção clássica sobre energia era predominante, a energia depende apenas da intensidade da luz (brilho), para outros 25% a alternativa d) foi a mais atrativa, erro associado a utilização a relação inversa entre frequência e comprimento de onda ($c = f\lambda$) e a relação direta entre energia e frequência ($E = hf$) para inferir, erroneamente, uma relação direta entre energia e comprimento de onda.

Reapresentamos a Lei de Planck focando nos principais erros cometidos pelos alunos e apresentamos o item 6 para a votação.

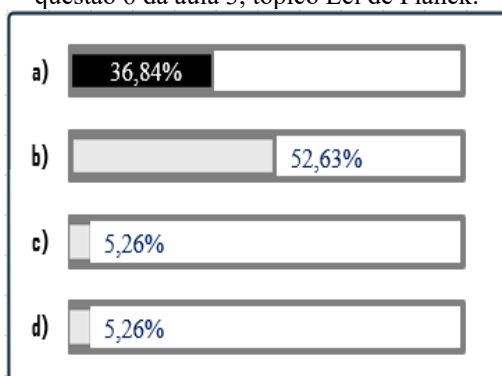
Aula 3: Item 6) Habilidades (EM13CNT301), (EM13CNT308) e (EM13CNT103).

A Lei de Planck descreve:

- a) A distribuição de energia da radiação emitida por um corpo negro em função da frequência.**
- b) A relação entre a energia de um fóton e sua frequência.
- c) A velocidade da luz no vácuo.
- d) A relação entre a temperatura de um corpo negro e o comprimento de onda da radiação emitida com maior intensidade.

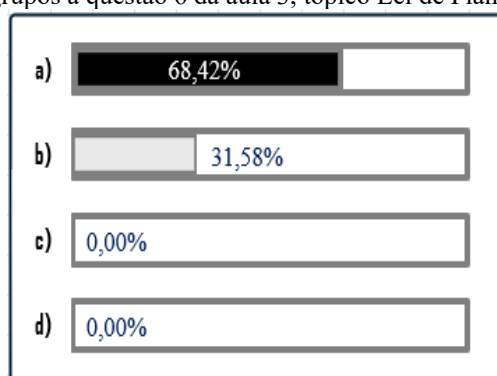
Uma questão conceitual sobre a Lei de Planck, na qual os alunos não demonstraram ter entendimento conceitual (Gráfico 26). Mas, após propormos uma discussão entre os pares os alunos votaram novamente (gráfico 27), ainda não demonstrando ter entendimento e o impacto da interação foi menor do que o esperado. Entretanto, notou-se um ganho de aprendizagem 0,5, um ganho médio.

Gráfico 26 - Votação no momento pós explicação à questão 6 da aula 3, tópico Lei de Planck.



Fonte: Autoria própria (2025)

Gráfico 27 - Votação no momento pós discussão em grupos à questão 6 da aula 3, tópico Lei de Planck.



Fonte: Autoria própria (2025)

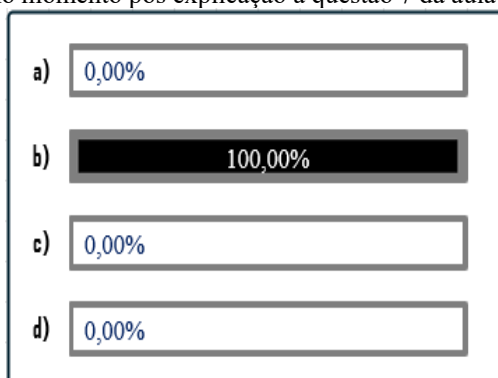
Mas notamos nas explicações que os alunos apresentaram oralmente indícios de compreensão que buscamos refinar no momento de feedback do item 6. Logo, decidimos apresentar o item 7 para a votação.

Aula 3: Item 7) Habilidades trabalhadas (EM13CNT301) e (EM13CNT308). A quantização da energia na teoria de Planck significa que:

- a) A energia pode assumir qualquer valor.
- b) A energia é emitida ou absorvida em pacotes discretos chamados fótons.**
- c) A energia de um fóton é contínua.
- d) A energia de um elétron é quantizada.

Essa questão trabalhava o conceito da Lei de Planck. O resultado da votação (gráfico 28) demonstra que os alunos tiveram entendimento sobre a lei de Planck.

Gráfico 28 - Votação no momento pós explicação à questão 7 da aula 3, tópico Lei de Planck.



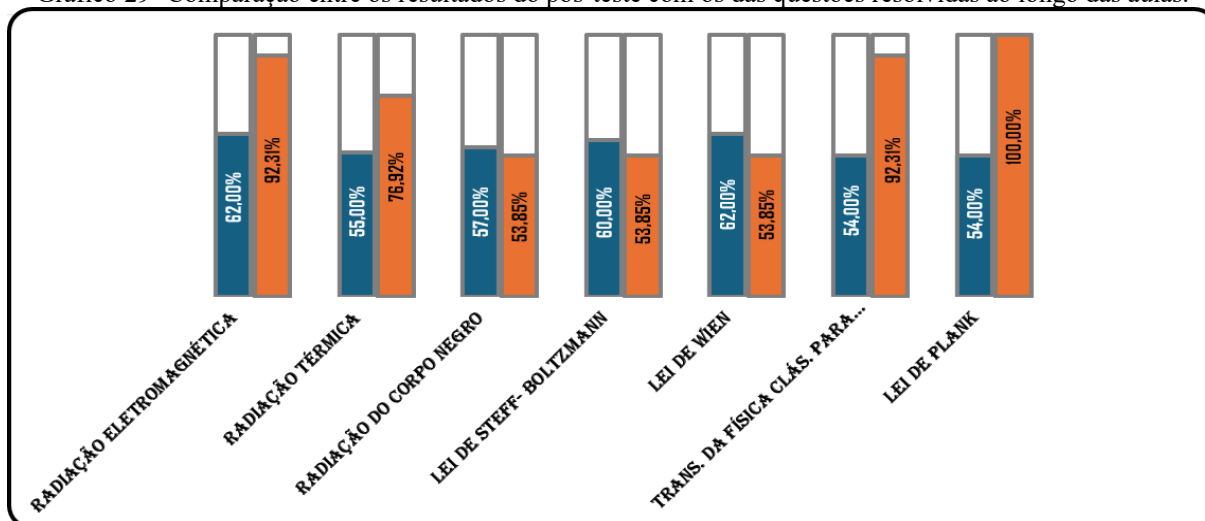
Fonte: Autoria própria (2025)

Por fim iremos comparar os resultados obtidos pelos alunos ao longo das aulas para cada tópico com o desempenho deles nos pós teste ao final da intervenção pedagógica para avaliarmos se houve o final do processo trouxe ganhos em relação ao período de implementação.

É preciso enfatizar que, segundo a metodologia *Peer Instruction*, o professor deve propor, após a aula, questões mais desafiadoras, que exijam dos alunos uma análise mais profunda ou a aplicação do conhecimento em diferentes contextos. Esse momento visa aprofundar a compreensão do tema e aprimorar a habilidade de aplicação dos alunos. Todavia, considerando o contexto educacional em que a pesquisa se insere, com alunos dispondo de pouco tempo para dedicar-se ao momento pré-aula, optamos por utilizar a aula 4 para esse fim. Essa estratégia permitiu maximizar a participação dos alunos e controlar o ambiente de coleta de dados, garantindo que não houvesse interferências externas que pudessem influenciar seus desempenhos.

O gráfico 29 estabelecer uma comparação entre o percentual de acerto aos tópicos no pós-teste com o percentual de acerto a cada um dos tópicos trabalhados ao longo das aulas, denominado de pré-teste, para efeitos de comparação.

Gráfico 29 -Comparação entre os resultados do pós-teste com os das questões resolvidas ao longo das aulas.



Fonte: Autoria própria (2025)

É importante destacar que, em conformidade com a metodologia PI, as questões que integraram o pós-teste foram elaboradas com um nível de complexidade maior que as do pré-teste. As questões do pós-teste exigiam, por exemplo, a aplicação dos conceitos em diferentes contextos e a análise de situações-problema mais elaboradas. Essa estratégia visou verificar se as atividades propostas forneceram os subsídios necessários para que os alunos aprofundassem seus conhecimentos e desenvolvessem uma aprendizagem mais autônoma, um dos objetivos da metodologia em pauta.

Ao compararmos o pós-teste com o pré-teste, observamos que os alunos demonstraram um entendimento parcial em relação aos tópicos sobre a radiação do corpo negro e uma boa compreensão dos conceitos de radiação e da Física Moderna. É importante ponderar, contudo, que uma análise superficial dos resultados pode levar a uma interpretação equivocada sobre a efetividade da aprendizagem, uma vez que as questões do pós-teste foram elaboradas com um nível de complexidade maior, exigindo, por exemplo, a aplicação dos conceitos em situações-problema mais elaboradas. Diante disso, concluímos que o entendimento parcial demonstrado em relação aos temas Radiação do Corpo Negro, Stefan-Boltzmann e Wien é um excelente indicador de aprendizagem, tendo em vista o grau de dificuldade das questões propostas.

Para finalizar a análise da aplicação da metodologia *Peer Instruction*, avaliamos o ganho de aprendizagem em cada um dos temas abordados (radiação, corpo negro, leis da termodinâmica etc.), utilizando a métrica de Hake. Essa métrica, que mede a efetividade da aprendizagem em relação ao potencial máximo de ganho, permite uma análise quantitativa do impacto da metodologia. Os resultados dessa análise estão apresentados na tabela 8.

Tabela 8 - Ganho normalizado de Hake em relação aos tópicos na comparação entre o pré-teste e o pós-teste

	RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA	RADIAÇÃO TÉRMICA	RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO	LEI DE STEFF- BOLTZMANN	LEI DE WIEN	TRANS. DA FÍSICA CLÁS. PARA MODERNA	LEI DE PLANK	MÉDIA
GANHO NORMALIZADO DE HAKE	0,80	0,49	-0,07	-0,15	-0,21	0,83	1,00	0,40
TIPO DE GANHO	ALTO	MÉDIO	PERDA	PERDA	PERDA	ALTO	ALTO	MÉDIO

Fonte: Autoria própria (2025).

Apesar dos alunos terem tidos ganhos excelentes em relação a radiação eletromagnética e térmica, transição entre a clássica e moderna e em relação a Lei de Planck o mesmo não se repetiu para a Radiação do corpo e as Leis de Stefan -Boltzmann e Wien.

Entretanto, utilizando a métrica da Hake podemos concluir que os alunos tiveram um ganho médio de aprendizagem, pois considerando a média geral do pré-teste e do pós-teste, o ganho normalizado é de 0,4.

8 CONCLUSÃO

Considerando os resultados obtidos, a metodologia *Peer Instruction* se mostra uma ferramenta poderosa para aprimorar o processo de ensino-aprendizagem. Respondendo à questão "Como a metodologia *Peer Instruction* contribui para a aprendizagem dos conceitos físicos da descrição clássica e moderna da radiação do corpo negro para estudantes da EJA?" Sua contribuição se manifesta em três momentos distintos:

1. Preparação para a aula: Ao iniciar o processo com atividades que estimulam o pensamento e a investigação, os alunos são conduzidos de um estado inicial de "não demonstrando entendimento" ou "não demonstrando habilidade de aplicação" para um estágio intermediário de "entendimento parcial" ou "habilidade de aplicação em desenvolvimento".

2. Otimização do tempo em sala de aula: Os exercícios pré-aula fornecem aos professores informações valiosas sobre as dificuldades e dúvidas dos alunos, permitindo que o tempo em sala seja usado de forma mais eficiente. Com isso, o professor pode direcionar seus esforços para promover a transição do "entendimento parcial" para o "demonstrar entendimento", e da "habilidade de aplicação em desenvolvimento" para a "demonstrar habilidade de aplicação".

3. Interação entre pares: Caso a explicação inicial do professor não seja suficiente para que todos os alunos atinjam o nível de domínio desejado, a interação entre pares entra em cena como um recurso valioso. A colaboração entre os estudantes, comprovadamente eficaz, promove a troca de conhecimentos, diferentes perspectivas e o aprendizado colaborativo, facilitando a compreensão dos conceitos e o desenvolvimento das habilidades.

Além disso, a pesquisa observou um aumento no engajamento dos alunos, evidenciado pela maior participação nas atividades de pré-aula e pela maior frequência nas aulas. A interação entre pares se mostrou eficaz na promoção da compreensão conceitual e no desenvolvimento da habilidade de aplicação do conhecimento.

9 REFERÊNCIAS

- ARAGÃO, H. M. C. A.; ARAGÃO, P. H. A. **Física- Ensino Médio - 1ª Serie**. Brasília- DF: Cisbrasil - Cib, 2005. (Coleção Rse - Ensino Fundamental - 5ª a 8ª Serie).
- ARAUJO, A. V. R. D. *et al.* Uma associação do método Peer Instruction com circuitos elétricos em contextos de aprendizagem ativa. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [s. l.], v. 39, n. 2, 2016. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172017000200501&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 14 mar. 2025.
- ARAUJO, I. S.; MAZUR, E. Instrução pelos colegas e ensino sob medida: uma proposta para o engajamento dos alunos no processo de ensino-aprendizagem de Física. **Caderno brasileiro de ensino de física. Florianópolis. Vol. 30, n. 2 (ago. 2013), p. 362-384**, 2013.
- ARAÚJO, M. S. T. D.; ABIB, M. L. V. D. S. Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. [s. l.], v. 25, n. 2, p. 176–194, 2003.
- BARROS, M. V.; BARROS, M. A. IMPLEMENTAÇÃO DE UMA METODOLOGIA ATIVA PARA O ENSINO DA DUALIDADE ONDA PARTÍCULA NO ENSINO MÉDIO. **Caminhos da Educação Matemática em Revista (Online)**, [s. l.], v. 11, n. 4, p. 163–189, 2021.
- BASTOS, K. D. L. **Uma sequência didática para o estudo do Modelo Padrão**. Manaus, AM: Ifam, 2023.
- BERBEL, N. A. N. As metodologias ativas e a promoção da autonomia de estudantes. **Semina: Ciências Sociais e Humanas**, [s. l.], v. 32, n. 1, p. 25, 2011.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Conselho Nacional de Saúde. Resolução nº 510, de 7 de abril de 2016. Dispõe sobre as normas aplicáveis a pesquisas em Ciências Humanas e Sociais. Diário Oficial da União, Brasília, DF, ed. 97, seção 1, p. 44-46, 24 maio 2016.
- BRASIL, M. D. E. **Base Nacional Comum Curricular**. [S. l.: s. n.], 2018. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518-versaofinal_site.pdf.
- BRASIL, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Linguagens, códigos e suas tecnologias. Brasília: Ministério da Educação/Secretaria de Educação Média e Tecnológica, 1998.
- BRASIL, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Linguagens, códigos e suas tecnologias. Brasília: Ministério da Educação/Secretaria de Educação Média e Tecnológica, 2002. 84p.
- CACHAPUZ, A. *et al.* A emergência da didática das ciências como campo específico de conhecimento. **Revista Portuguesa de Educação**, [s. l.], v. 14, n. 1, p. 155–195, 2001.
- CAMILLO, C. M.; GRAFFUNDER, K. G. Contribuições do Peer Instruction para o ensino de Ciências: uma revisão sistemática da literatura. **Revista Pesquisa e Debate em Educação**, [s. l.], v. 12, n. 2, p. 1–20, 2022.

COLLECTIVE, T. D.-B. R. Design-Based Research: An Emerging Paradigm for Educational Inquiry. **Educational Researcher**, [s. l.], v. 32, n. 1, p. 5–8, 2003.

DANTE, L. R. **Didática Da Resolução De Problemas De Matemática**. 12. ed. São Paulo (SP): Editora Ática, 2021.

CARUSO, F. E OGURI V., Física Moderna – Origens Clássicas e Fundamentos Quânticos, Ed. Campus, Rio de Janeiro, 2006.

CAVALCANTE, Marisa Almeida; HAAG, Rafael. Corpo negro e determinação experimental da constante de Planck. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 27, p. 343-348, 2005.

CATARINA, Jaraguá do Sul, 2022. Disponível em: https://repositorio.ifsc.edu.br/bitstream/handle/123456789/2795/TCC_LIC-2022-BrunoAntonioEmmerich.pdf?sequence=1.

DE OLIVEIRA, Cristiano Lessa. Um apanhado teórico-conceitual sobre a pesquisa qualitativa: tipos, técnicas e características. **Travessias**, v. 2, n. 3, 2008.

EMMERICH, B. A. **Radiação Térmica da Física Clássica à Física Moderna: Uma proposta de abordagem da Física Moderna no Ensino Médio**. 2022. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso - INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA.

GUIMARÃES, F. F. **PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ESTUDO DA RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO NO ENSINO MÉDIO**. 2018. Dissertação - UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ CAMPUS CAMPO MOURÃO, CAMPO MOURÃO, 2018. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3240/1/sequenciadidaticaensinoradiacao.pdf>.

HALLIDAY, D., RESNICK, R., KRANE, K.S., Física. v. 3, Rio de Janeiro: LTC Ltda, 2009.

HATTIE, J. **Aprendizagem visível para professores: como maximizar o impacto da aprendizagem**. Porto Alegre: Penso, 2017.

LASRY, Nathaniel; MAZUR, Eric; WATKINS, Jessica. Instrução entre pares: de Harvard à faculdade de dois anos. **American Journal of Physics**, v. 76, n. 11, p. 1066-1069, 2008.

Lei do deslocamento de Viena. Disponível em: <https://scienceworld.wolfram.com/physics/WiensDisplacementLaw.html>. Acesso em: 10/03/2024.

MAZUR, E. **Peer instruction: a revolução da aprendizagem ativa**. Tradução: LASCHUCK ANATÓLIO. PORTO ALEGRE - RS: Penso, 2015.

MÉHEUT, M.; PSILLOS, D. Teaching–learning sequences: aims and tools for science education research. **International Journal of Science Education**, [s. l.], v. 26, n. 5, p. 515–535, 2009.

MELO, A. J. C. **Metodologias ativas na educação básica: possibilidades do uso da Instrução por Pares em aulas de Biologia no Ensino Médio**. 2021. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal do Pará, Belém- PA, 2021. Disponível em: https://www.bdm.ufpa.br/bitstream/prefix/4468/1/TCC_MetodologiasAtivasEducacao.pdf.

MENDES, R. M.; MISKULIN, R. G. S. A análise de conteúdo como uma metodologia. *Cadernos de pesquisa*, v. 47, n. 165, p. 1044-1066, 2017.

MORAES, L. D. D. M.; CARVALHO, R. S.; NEVES, Á. J. M. O PEER INSTRUCTION COMO PROPOSTA DE METODOLOGIA ATIVA NO ENSINO DE QUÍMICA. *Journal of Chemical Engineering and Chemistry*, [s. l.], v. 2, n. 3, p. 107–131, 2016.

MÜLLER, M. G. *et al.* Uma revisão da literatura acerca da implementação da metodologia interativa de ensino Peer Instruction (1991 a 2015). [s. l.], 2017. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/163917>. Acesso em: 14 mar. 2025.

NAVE, DR. ROD. "Wien's Displacement Law and Other Ways to Characterize the Peak of Blackbody Radiation". HyperPhysics. Provides 5 variations of Wien's displacement law. Disponível em: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/quantum/wien3.html#c1>. Acesso em: 10/03/2024.

NUNES, D. S. **Comunidades Investigativas no Ensino de Física: Uma Abordagem Interdisciplinar da Radiação do Corpo Negro**. 2019. 134 f. Dissertação - Universidade de Brasília, Brasília- DF, 2019. Disponível em: <https://educapes.capes.gov.br/browse?type=author&value=Nunes,%20Daniel%20Sampaio>. Acesso em: 14 mar. 2025.

OLIVEIRA, C. L. D. UM APANHADO TEÓRICO-CONCEITUAL SOBRE A PESQUISA QUALITATIVA: TIPOS, TÉCNICAS E CARACTERÍSTICAS. *Travessias*, [s. l.], v. 2, n. 3, p. e3122, 2010.

OLIVEIRA, F. F. D.; VIANNA, D. M.; GERBASSI, R. S. Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, [s. l.], v. 29, n. 3, p. 447–454, 2007.

PEREIRA, Celice Cordeiro de Souza Bergh; AFONSO, Rosana Telma Lopes. Percepção discente sobre aprendizagem baseada em equipes (TBL) e instrução em pares (PI). *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 1, p. 4057-4065, 2020.

SANTOS, Fernanda Marsaro dos. **Análise de conteúdo: A visão de Laurence Bardin**. *Revista Eletrônica de Educação*. s/l, v. 6, n.1, p. 383-387, mai. 2012. Referência a: BARDIN, Laurence. *Análise de conteúdo*.

SILVA, A. L.; MATIAS, J. C.; BARROS, J. A. B. Pesquisa em Educação por meio da pesquisa-ação. *Revista Eletrônica Pesquiseduca*, [s. l.], v. 13, n. 30, p. 490–508, 2021.

WIDGER, W. K. and Woodall, M. P., Integration of the Planck blackbody radiation function, *Bulletin of the Am. Meteorological Society*, 57, 10, 1217-1219, Oct. 1976.

10 APÊNDICES A: QUESTÕES DO MOMENTO PRÉ-AULA E EM SALA DE AULA DA AULA 1

Aula 1: Habilidade (EM13CNT201): Questão 1) Imagine que você está em uma praia ensolarada. Você sente o calor do sol na sua pele, mesmo sem tocar nele. Esse calor chega até você através de um processo chamado radiação. Agora, pense em outros exemplos: a luz de uma lâmpada, as ondas do rádio. Todos eles envolvem o conceito de radiação. Você saberia dizer o que é uma radiação?

- a) É a propagação de energia por meio de partículas com massa.
- b) É a transferência de energia por meio de ondas eletromagnéticas ou partículas.**
- c) É o fluxo de calor que ocorre somente em meios materiais.
- d) É um tipo de energia que se propaga apenas no vácuo.

Aula 1: Habilidade (EM13CNT201): Questão 2) Quais das alternativas contém um exemplo de radiação?

- a) O calor que sentimos de uma fogueira.**
- b) O som de um trovão.
- c) A água corrente de um rio.
- d) O movimento de um carro.

Aula 1: Habilidades (EM13CNT103) e (EM13CNT201): Questão 3) É correto afirmar que a radiação térmica é uma radiação eletromagnética, qual alternativa justifica adequadamente sua resposta?

- a) Porque ela se propaga através de ondas mecânicas.
- b) Porque ela é emitida por corpos aquecidos e se propaga na forma de ondas eletromagnéticas, incluindo a luz infravermelha.**
- c) Porque ela precisa de um meio material para se propagar.
- d) Porque ela é um tipo de energia que não se propaga no vácuo.

Aula 1: Habilidade EM13CNT103: Questão 4) A luz visível é uma radiação eletromagnética. Levando em consideração a cor branca e a cor preta em uma roupa ou em um objeto qualquer, qual das duas cores absorve mais energia térmica “calor”?

- a) A cor branca, pois reflete mais luz.
- b) A cor preta, pois absorve mais luz.**
- c) Ambas absorvem a mesma quantidade de “calor.”
- d) Nenhuma das duas absorve “calor.”

Aula 1: Habilidade (EM13CNT201): Questão 5) Após aprender sobre radiação térmica, Pedro fica intrigado e se pergunta se um cubo de gelo, que está a uma temperatura muito baixa, também emite radiação térmica. É verdade que todo corpo independente da sua temperatura emite radiação térmica?

- a) Sim, todo corpo emite radiação térmica, independente da sua temperatura. (Correta)
- b) Não, somente corpos com temperaturas muito altas emitem radiação térmica.
- c) Não, a emissão de radiação térmica depende da cor do objeto.
- d) Não, a emissão de radiação térmica depende do material do objeto.

Aula 1: Habilidade (EF09CI04): Questão 6) As garrafas térmicas são projetadas para manter a temperatura de líquidos por longos períodos. Qual característica da garrafa térmica impede a propagação de calor por radiação?

- a) Vácuo entre as paredes.
- b) Paredes espelhadas.**
- c) Tampa de vedação hermética.
- d) Material isolante na camada externa.

Aula 1: Questão 7) Em dias ensolarados, sentimos nossa pele aquecer ao ficarmos expostos à luz solar. Qual o principal processo de propagação de calor responsável por esse aquecimento?

- a) Condução
- b) Convecção
- c) Radiação**
- d) Evaporação

11 APÊNDICES B: QUESTÕES DO MOMENTO PRÉ-AULA E EM SALA DE AULA DA AULA 2

Aula 2: Habilidades (EM13CNT103): Questão 1) Em um documentário sobre astronomia, Júlia ouviu falar sobre "corpos negros" e como eles ajudam os cientistas a entenderem a temperatura das estrelas. Você saberia definir o que é um corpo negro?

a) É um corpo que absorve toda a radiação incidente sobre ele e emite radiação em todos os comprimentos de onda.

b) É um corpo que reflete toda a radiação incidente sobre ele.

c) É um corpo que não emite nenhum tipo de radiação.

d) É um corpo que só emite luz visível.

Aula 2: Habilidades (EM13CNT101): Questão 8) Você saberia dizer quais foram os fenômenos que a física clássica não foi capaz de descrever e deram origem à Física Moderna?

a) A queda dos corpos e o movimento dos planetas.

b) A radiação do corpo negro.

c) A reflexão e a refração da luz.

d) O som e as ondas do mar.

Aula 2: Habilidades (EM13CNT103), (EM13CNT101) e (EM13CNT201): Questão 3) Um corpo negro é um objeto ideal que:

a) Absorve todas as frequências de radiação eletromagnética incidente e emite radiação em apenas uma frequência específica.

b) Absorve todas as frequências de radiação eletromagnética incidente e emite radiação em todas as frequências, com uma distribuição característica dependente da temperatura.

c) Reflete todas as frequências de radiação eletromagnética incidente e não emite radiação.

d) Absorve apenas uma frequência específica de radiação eletromagnética incidente e emite radiação em todas as frequências

Aula 2: Habilidades (EM13CNT201): Questão 4) A radiação emitida por um corpo negro depende principalmente de:

- a) A radiação emitida por um corpo negro depende principalmente de:
- b) Do tamanho do corpo
- c) Da temperatura do corpo
- d) Da forma do corpo

Aula 2: item 5). A Lei de Stefan-Boltzmann relaciona a quantidade de energia radiante emitida por um corpo com:

- a) A massa do corpo
- b) O volume do corpo
- c) A temperatura do corpo**
- d) A cor do corpo

Aula 2: Habilidades (EM13CNT201): Questão 6) De acordo com a lei de Steff-Boltzmann, a potência irradiada por um corpo depende das características/ propriedades do mesmo, como da constituição e da área. Compreendendo isso, Joãozinho aquece dois corpos, A e B, que possuem a mesma área e são feitos do mesmo material. Se a temperatura do corpo A for maior que a do corpo B, podemos afirmar que a potência irradiada por A será:

- a) Não há informações suficientes para chegar a uma conclusão.
- b) Muito menor que a potência irradiada.
- c) Igual a potência irradiada por B.
- d) Muito maior que a potência irradiada por B.**

12 APÊNDICES C: QUESTÕES DO MOMENTO PRÉ-AULA E EM SALA DE AULA DA AULA 3

Aula 3: Questão 1) A Lei de Wien pode ser aplicada para:

- a) Determinar a temperatura de estrelas.**
- b) Calcular a potência total irradiada por um corpo negro
- c) Explicar o efeito fotoelétrico.
- d) Calcular a energia de um fóton

Aula 3: Questão 2) Se a temperatura de um corpo negro aumentar, o comprimento de onda da radiação emitida com maior intensidade:

- a) Aumenta
- b) Diminui**
- c) Permanece constante
- d) Não pode ser determinada

Aula 3: Questão 3) As leis da física que descrevem a radiação do corpo negro?

- a) Lei da Gravidade e Leis de Newton.
- b) Lei de Wien e Lei de Stefan-Boltzmann.**
- c) Lei de Snell e Lei de Coulomb.
- d) Lei de Ohm e Lei de Faraday.

Aula 3: Habilidades EM13CNT101: Questão 4) Após assistir a um filme de ficção científica que abordava viagens no tempo e buracos negros, Roberto se interessa por Física Moderna. Você saberia dizer sobre o que trata a Física Moderna?

- a) Do estudo do movimento dos corpos e das forças que atuam sobre eles.
- b) Do estudo dos fenômenos que ocorrem em escalas atômicas e subatômicas, como a radioatividade, o efeito fotoelétrico e a dualidade onda-partícula.**
- c) Do estudo da luz e das cores.
- d) Do estudo do calor e da temperatura.

Aula 3: Habilidades (EM13CNT103): Questão 5) Segundo a Lei de Planck, a energia de um fóton é:

- a) Diretamente proporcional à sua frequência.
- b) Inversamente proporcional à sua frequência
- c) Independe da frequência
- d) Diretamente proporcional ao seu comprimento de onda.

Aula 3: Habilidades (EM13CNT103): Questão 6) A Lei de Planck descreve:

a) A distribuição de energia da radiação emitida por um corpo negro em função da frequência.

b) A relação entre a energia de um fóton e sua frequência.

c) A velocidade da luz no vácuo.

d) A relação entre a temperatura de um corpo negro e o comprimento de onda da radiação emitida com maior intensidade.

Aula 3: Questão 7) A quantização da energia na teoria de Planck significa que:

a) A energia pode assumir qualquer valor.

b) A energia é emitida ou absorvida em pacotes discretos chamados fótons.

c) A energia de um fóton é contínua.

d) A energia de um elétron é quantizada.

13 APÊNDICES D: PÓS-TESTE

AGRADECEMOS SUA PARTICIPAÇÃO NESSA PESQUISA ATÉ AQUI!

Após a implementação de 3 aulas sobre a radiação do corpo negro a luz da metodologia Peer Instruction, com base em seus conhecimentos adquiridos o convidamos a responder esse pós-teste para que possamos avaliar seu nível de aprendizagem e aprimorarmos o produto educacional que você ajudará a desenvolvermos.

Suas respostas são muito importantes para aprimorarmos nossas práticas de ensino.

INSTRUÇÕES

- 1 Leia atentamente cada questão e responda da forma mais completa possível.
- 2 Utilize seu conhecimento sobre a Radiação do Corpo Negro para fundamentar suas respostas.
- 3 Não se preocupe se não souber todas as respostas. O objetivo deste teste é avaliar seu atual nível de conhecimento sobre o tema em estudo.
- 4 Esse teste é composto de 10 questões de múltipla escolha e cada questão contém apenas uma alternativa correta.
- 5 Na última folha haverá um gabarito, passe suas respostas para ele.
- 6 Você terá 30 minutos para concluir o teste.

BOA SORTE! 😊

Professor Pesquisador Responsável

Ludimilson Mota Marinho

Secretária de Educação do Estado do Amazonas

ludimilson.mota@gmail.com

Octávio Daniel Rodriguez Salmon

Instituto Federal do Amazonas

octavio@ifam.edu.br

CARTÃO-RESPOSTA MARQUE ASSIM: ●

Questão	A	B	C	D
01	O	O	O	O
02	O	O	O	O
03	O	O	O	O
04	O	O	O	O
05	O	O	O	O
06	O	O	O	O
07	O	O	O	O

Pesquisa apoiada e incentivada por:

PÓS-TESTE AVALIATIVO DE CONHECIMENTOS PRÉVIOS SOBRE A RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO

Questão 1. Quais das alternativas contém um exemplo de radiação?

- O calor que sentimos de uma fogueira.
- O som de um trovão.
- A água corrente de um rio.
- O movimento de um carro.

Questão 2. Os astronautas no espaço precisam de trajes especiais para protegê-los do frio extremo e do calor intenso. Sabendo que no espaço não há ar para propagar o calor, qual o principal processo de transferência de calor que esses trajes precisam bloquear ou controlar?

- Radiação térmica.
- Condução.
- Convecção.
- Evaporação.

Questão 3. Qual a relação entre a temperatura de um corpo negro e a frequência da radiação que ele emite?

- a) () Quanto maior a temperatura, menor a frequência da radiação emitida.
- b) () Quanto maior a temperatura, maior a frequência da radiação emitida.
- c) () A temperatura não afeta a frequência da radiação emitida.
- d) () A frequência da radiação emitida é sempre a mesma, independentemente da temperatura.

Questão 4. A Lei de Stefan-Boltzmann relaciona a potência total irradiada por um corpo negro com:

- a) () a sua massa.
- b) () a sua temperatura.
- c) () a sua cor.
- d) () a sua composição química.

Questão 5. A Lei de Wien descreve a relação entre: É um corpo que absorve toda a radiação incidente sobre ele e emite radiação em todos os comprimentos de onda.

- a) () a temperatura de um corpo negro e o comprimento de onda de máxima emissão.
- b) () a intensidade da radiação emitida e a frequência.
- c) () a energia de um fóton e sua frequência.
- d) () a potência total irradiada e a temperatura.



Questão 6. Qual das seguintes afirmações melhor descreve a principal diferença entre a física clássica e a física moderna no contexto da radiação do corpo negro?

A física clássica previa corretamente a distribuição de energia da radiação do corpo negro em todas as frequências, enquanto a física moderna falhou em explicar o fenômeno.

A física clássica assumia que a energia da radiação era contínua, enquanto a física moderna introduziu a ideia de que a energia era quantizada.

A física clássica previa que a radiação do corpo negro era independente da temperatura, enquanto a física moderna mostrou que a temperatura era um fator crucial.

A física clássica e a física moderna concordavam completamente na explicação da radiação do corpo negro.

Questão 7. No início do século XX, os cientistas tentavam entender como a energia era emitida pelos objetos quentes. Max Planck propôs uma ideia revolucionária que mudou a física para sempre. Qual foi essa ideia?

- a) () A energia só pode ser emitida em quantidades discretas, chamadas "quanta".
- b) () A energia flui continuamente como um líquido.
- c) () A energia não pode ser criada nem destruída, apenas transformada.
- d) () A energia é sempre constante no universo.

Pesquisa apoiada e incentivada por:



14 APÊNDICES E: CARTA DE ANUÊNCIA DA ESCOLA



AMAZONAS

GOVERNO DO ESTADO



ESCOLA ESTADUAL ANTÔNIO DA ENCARNÇÃO FILHO
ATO DE CRIAÇÃO, DECRETO Nº 9289 DE 19 DE MARÇO DE 1986.

CARTA DE ANUÊNCIA DO LOCAL DA COLETA DE DADOS E IMPLEMENTAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Manaus, 29 de outubro de 2024.

Prezado Ludimilson Mota Marinho, mestrando do Mestrado Profissional no Ensino de Física-MNPEF, polo 04, cediado pelo IFAM Campus Centro e UFAM campus Manaus.

Em atenção ao seu pedido de autorização para a coleta de dados e/ou implementação de um produto educacional, como parte da elaboração de sua dissertação de mestrado, vem por meio deste, declarar que tenho conhecimento e autorizo a realização da coleta de dados para o desenvolvimento do produto educacional e dissertação, para a realização das atividades descritas em seu plano de trabalho.

DETALHAMENTO DA PESQUISA

TÍTULO: Explorando os conceitos físicos da Radiação do corpo negro por meio da Metodologia "Peer Instruction."

OBJETIVO: Explorar os conceitos físicos da radiação do corpo negro por meio da Metodologia "Peer Instruction" para estudantes da Educação de Jovens e Adultos (EJA).

IMPLEMENTAÇÃO E DE COLETA DE DADOS: As aulas serão ministradas a luz da metodologia Peer Struction que por conseguinte fornecem a coleta de dados em relação as questões discutidas em sala de aula e aos questionários aplicados no período pós aula.

PÚBLICO ALVO: Alunos da 11ª etapa da Educação de Jovens e Adultos na disciplina Física.

DATA DE INÍCIO E TÉRMINO: Com início previsto para o dia 05/11/2024 e encerramento para o dia 15/11/2024.

A EEAEF se compromete a apoiar esta pesquisa, respeitando todas as normas e diretrizes estabelecidas para garantir a integridade e a confidencialidade dos dados coletados. É importante que todas as atividades sejam realizadas de acordo com as regulamentações e com o devido cuidado para minimizar qualquer impacto sobre o ambiente escolar e seus participantes.

Por favor, certifique-se de que todos os participantes e partes interessadas sejam devidamente informados sobre o projeto e obtenham o consentimento necessário, conforme exigido pela MNPEF e pelas leis aplicáveis.

www.amazonas.am.gov.br
twitter.com/GovernodoAM
youtube.com/governodoamazonas
facebook.com/governodoamazonas

EE Antônio Encarnação Filho
eeaencarnacao@educ.net
Fone: (92) 99355-4977/99382-4171
Avenida Desembargador João
Machado, 211, Lirio do Vale
Manaus - AM

**SECRETARIA DE
EDUCAÇÃO E
DESPORTO**



AMAZONAS
GOVERNO DO ESTADO

Estamos à disposição para colaborar e apoiar o desenvolvimento do seu projeto. Caso haja necessidade de ajustes ou informações adicionais, não hesite em entrar em contato conosco.

Atenciosamente,

ROSILANE DA SILVA
PORT GS304/2024
Diretora do EEAEF

Rosilane da Silva

Gestora

Portaria GS304/2024 - SEDUC
E. F. Antônio da Encarnação Filho

www.amazonas.am.gov.br
twitter.com/GovernodoAM
youtube.com/governodoamazonas
facebook.com/governodoamazonas

EE Antônio Encarnação Filho
eeaencarnacao@seduc.net
Fone: (92) 99355-4977/99382-4171
Avenida Desembargador João
Machado, 211, Lírio do Vale
Manaus - AM

**SECRETARIA DE
EDUCAÇÃO E
DESPORTO**

15 APÊNCIE D: TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

IDENTIFICAÇÃO DO PROJETO DE PESQUISA

Título do projeto: Explorando os conceitos físicos da Radiação do corpo negro por meio da Metodologia "Peer Instruction"				
ÁREA DO CONHECIMENTO: Ensino e Aprendizagem em Ciências e Matemática			NÚMERO DE PARTICIPANTES: 15	
CURSO: Mestrado Profissional em Ensino de Física			UNIDADE: POLO 04- UFAM E IFAM	
PROJETO MULTICÊNTRICO	(X) Sim () Não	(X) Nacional () Internacional	Cooperação Estrangeira	() Sim (X) Não
PATROCINADOR DA PESQUISA: Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)				
INSTITUIÇÃO ONDE SERÁ REALIZADO: Escola Estadual Antônio da Encarnação Filho (EEAEF)				
NOME DOS PESQUISADORES: Prof. Ludimilson Mota Marinho ¹ Prof. Dr. Octávio Rodriguez Salmon ²				

Você está sendo convidado (a) para participar do projeto de pesquisa acima identificado. O documento abaixo contém todas as informações necessárias sobre a pesquisa que estamos fazendo. Sua colaboração neste estudo será de muita importância para nós, mas, se desistir, a qualquer momento, isso não causará nenhum prejuízo para você

IDENTIFICAÇÃO DO PARTICIPANTE DA PESQUISA

Nome:		Nacionalidade:
Data de nascimento:		Profissão:
RG:	Telefone: ()	
E-mail:		
Endereço:		

IDENTIFICAÇÃO DO PESQUISADOR RESPONSÁVEL

NOME: Ludimilson Mota Marinho	TELEFONE: (92) 98172-8241
PROFISSÃO: Professor	E-MAIL: ludimilson.mota@gmail.com
ENDEREÇO: Travessa Lajes, n. 8, Liro do Vale, CEP 69.038-280, Manaus-AM.	

¹Professor na Secretária de Educação do Estado do Amazonas (SEDUC-AM), lotado no EEAEF, Av. Laguna, 211 - Lírio do Vale, Manaus - AM, 69038-010. Mestrando no Mestrado Profissional no Ensino de Física da Sociedade Brasileira de Física (SBF), polo 04. Bolsista CAPES.

² Professor Associado 3 da Universidade Federal do Amazonas, Av. Rodrigo Otávio, nº 6.200, Campus Universitário Senador Arthur Virgílio Filho, Setor Norte, Coroado I, CEP: 69.077- 000. Manaus - Am.

Eu, participante da pesquisa, abaixo assinado(a), após receber informações e esclarecimento sobre o projeto de pesquisa, acima identificado, concordo de livre e espontânea vontade em participar como voluntário(a) e estou ciente:

DA JUSTIFICATIVA E DOS OBJETIVOS PARA REALIZAÇÃO DESTA PESQUISA

Nesta pesquisa pretendemos determinar o ganho de aprendizagem oriundo do uso da metodologia peer instruction no processo de ensino aprendizagem de conceitos físicos sobre a radiação do corpo negro para alunos da 11ª etapa da educação de jovens e adultos. Os alunos participantes dessa pesquisa terão uma série de benefícios, pois esta metodologia transforma a dinâmica da sala de aula e promove uma aprendizagem mais ativa.

DO OBJETIVO DE MINHA PARTICIPAÇÃO

Minha participação é de suma importância para essa pesquisa, pois os resultados encontrados ao término da mesma poderão contribuir no melhor entendimento dos conteúdos e conceitos abordados em cinemática, para o 9º ano do ensino fundamental II, bem como na análise do uso da teoria dos registros de representação semiótica no ensino de física.

DO PROCEDIMENTO PARA COLETA DE DADOS

A coleta de dados será feita através de dois testes, sendo um pré-teste realizado antes da aplicação do produto educacional e outro realizado após as aulas que serão fundamentadas de acordo com metodologia de ensino peer instruction desenvolvida por Eric Mazur na Universidade de Harvard. A pesquisa será feita na própria instituição de ensino, em sala de aula, no horário das aulas onde os participantes estudam, sem comprometer o horário escolar.

DA UTILIZAÇÃO, ARMAZENAMENTO E DESCARTE DAS AMOSTRAS

Os dados coletados serão exclusivamente utilizados para fins desta pesquisa, que serão publicados no trabalho de conclusão do curso de mestrado do pesquisador bem como em artigos científicos e comunicações em congresso, mas sem identificar os alunos que participaram, podendo ser usados em pesquisas futuras. Os dados coletados nesta pesquisa (testes) ficarão armazenados em pastas de arquivo em computador pessoal, sob a responsabilidade do pesquisador e do orientador, nos endereços (acima informados), pelo período de 5 anos.

DOS DESCONFORTOS E DOS RISCOS

Os testes embora simples de serem aplicados, é um instrumento que pode eventualmente causar algum tipo de constrangimento ou até mesmo cansaço da pessoa respondente a ele. No entanto ressaltamos que o participante tem toda liberdade de parar de respondê-lo, e até mesmo, se não quiser, interromper sua participação na pesquisa, se assim se sentir melhor. Há a possibilidade, também, de quebra accidental de confidencialidade.

DOS BENEFÍCIOS.

Como benefícios aos estudantes participantes, prevemos: Aprendizagem Ativa; Desenvolvimento de Habilidades; Aumento da Compreensão e; Feedback Imediato. Além de proporcionar a participação em atividades lúdicas (apresentação de experimento) em sala de aula. Para a Instituição de ensino, prevemos como principais benefícios, a promoção de estratégias de aprendizagem inovadoras e um ganho na aprendizagem para os alunos da mesma. De maneira geral, os dados que serão obtidos poderão ser utilizados para implementar novas formas de ensinar física, assim como, contribuirão para demonstrar se o ensino de física, via metodologia peer instruction, pode ser ou não um caminho interessante a ser seguido.

DA FORMA DE ACOMPANHAMENTO E ASSISTÊNCIA

A pesquisa poderá gerar um desconforto eventual ao responder as questões. Se esse for o caso, os participantes poderão responder as questões em momento e/ou local mais apropriado.

DA LIBERDADE DE RECUSAR, DESISTIR OU RETIRAR MEU CONSENTIMENTO

Tenho a liberdade de recusar, desistir ou de interromper a colaboração nesta pesquisa no momento em que desejar, sem necessidade de qualquer explicação. A minha desistência não causará nenhum prejuízo a mim.

DA GARANTIA DE SIGILO E DE PRIVACIDADE

Os resultados obtidos durante este estudo serão mantidos em sigilo, mas concordo que sejam divulgados em publicações científicas, congressos e dissertação, desde que meus dados pessoais não sejam mencionados.

DA GARANTIA DE ESCLARECIMENTO E INFORMAÇÕES A QUALQUER TEMPO

Tenho a garantia de tomar conhecimento e obter informações, a qualquer tempo, dos procedimentos e métodos utilizados neste estudo, bem como dos resultados finais desta pesquisa. Para tanto, poderei consultar os **pesquisadores responsáveis: Ludmilson Mota Marinho, pelo e-mail: ludimilson.mota@gmail.com** ou **Octávio Rodriguez Salmon, pelo e-mail octaviodrs@ufam.edu.br**.

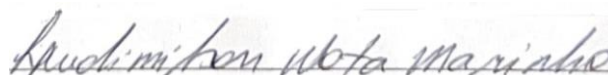
Declaro que obtive todas as informações necessárias e esclarecimento quanto às dúvidas por mim apresentadas e, por estar de acordo, assino o presente documento em duas vias de igual conteúdo e forma, ficando uma em minha posse.

Manaus-AM, ____ de novembro de 2024.



Participante da pesquisa

Pesquisador Responsável



Pesquisador Responsável