

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS - UFGD
FACULDADE DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA - FACET

CAMILA LEITE DE OLIVEIRA

PROPOSTA DIDÁTICA PARA O ENSINO DO ESPECTRO
ELETROMAGNÉTICO:
APRENDIZAGEM COLABORATIVA NA PERSPECTIVA DE VYGOTSKY COM
JIGSAW E GAMIFICAÇÃO.

DOURADOS (MS)
Março - 2026

CAMILA LEITE DE OLIVEIRA

PROPOSTA DIDÁTICA PARA O ENSINO DO ESPECTRO
ELETROMAGNÉTICO:
APRENDIZAGEM COLABORATIVA NA PERSPECTIVA DE VYGOTSKY COM
JIGSAW E GAMIFICAÇÃO.

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

Orientador: Prof. Dr. Eduardo André Flach Basso

DOURADOS (MS)

Março - 2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

O48p Oliveira, Camila Leite De

Proposta didática para o ensino do Espectro Eletromagnético: Aprendizagem colaborativa na perspectiva de Vygotsky com Jigsaw e gamificação [recurso eletrônico] / Camila Leite De Oliveira. -- 2026.

Arquivo em formato pdf.

Orientador: Eduardo André Flach Basso.

Dissertação (Mestrado em Ensino de Física)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2026.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:

<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Ensino de Física. 2. Espectro Eletromagnético. 3. Jogos didáticos. 4. Jigsaw. 5. Vygotsky. I. Basso, Eduardo André Flach. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.



CAMILA LEITE DE OLIVEIRA

PROPOSTA DIDÁTICA PARA O ENSINO DO ESPECTRO
ELETROMAGNÉTICO:
APRENDIZAGEM COLABORATIVA NA PERSPECTIVA DE VYGOTSKY COM
JIGSAW E GAMIFICAÇÃO.

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

DOURADOS-MS, 03 DE MARÇO DE 2026

Prof. Dr. Eduardo André Flach Basso (Orientador) – FACET - UFGD

Prof. Dr. Fábio Alencar dos Santos – FACET - UFGD

Prof. Dr. Ademir de Souza Pereira – FACET - UFGD

DOURADOS (MS)

2026

Com todo meu carinho, dedico este trabalho à minha mãe, ao meu pai, meu filho e amigos, em reconhecimento pelo apoio e paciência. Sem vocês, esta conquista não seria possível.

Agradecimentos

É com profunda gratidão que dedico estas palavras a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho e para a minha jornada acadêmica. Esta dissertação é o reflexo de um esforço coletivo e do apoio incondicional que recebi.

Ao meu orientador, Professor Doutor Eduardo André Flach Basso, expresso meu mais sincero agradecimento. Sua paciência, sabedoria e orientação foram essenciais para a conclusão dessa etapa. Sua dedicação em compartilhar conhecimento e sua disponibilidade foram essenciais para superar as dificuldades. Muito obrigado por guiar-me com tanta maestria.

À minha amada mãe, Luciana, por seu amor incondicional, incentivo constante e por ser a minha maior inspiração. Sua força e resiliência são exemplos que me impulsionam a seguir em frente. Ao meu pai, Walmir, que, embora não esteja mais fisicamente presente, vive eternamente em minhas memórias e em cada conquista.

Ao meu filho, César Augusto, a razão maior de todo o meu empenho. Que este trabalho seja um exemplo de dedicação e que ele possa sempre buscar seus sonhos com a mesma paixão e determinação.

Aos meus queridos amigos de mestrado, Jacquecélia, Everton, Ivan, Kléber e Luan, pela parceria, pelas discussões enriquecedoras, pelos momentos de descontração e pelo apoio. A jornada foi mais leve e significativa com a companhia de vocês.

Aos professores do programa de mestrado, por compartilharem seus vastos conhecimentos e por desafiarem-me a pensar criticamente.

A Deus, pela força, pela fé e pelas oportunidades concedidas. Por iluminar meu caminho e por me permitir chegar até aqui.

Resumo

PROPOSTA DIDÁTICA PARA O ENSINO DO ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO:

APRENDIZAGEM COLABORATIVA NA PERSPECTIVA DE VYGOTSKY COM JIGSAW E GAMIFICAÇÃO.

CAMILA LEITE DE OLIVEIRA

Orientador: Prof. Dr. Eduardo André Flach Basso

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

A internalização e a retenção do conhecimento representam um desafio particularmente grande no ensino de Física na educação básica. Nesse contexto, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) estabelece orientações que visam assegurar as aprendizagens essenciais. Dentre suas diretrizes, destacam-se a contextualização dos conteúdos, o uso de estratégias dinâmicas e colaborativas, a aplicação de metodologias diversificadas, engajamento estudantil e o emprego de recursos didáticos e tecnológicos. Por isso é essencial que os métodos de ensino estimulem o aluno a construir ativamente o conhecimento. Diante disso, o presente estudo teve como objetivo desenvolver um produto educacional que promova o estudo do espectro eletromagnético por meio das diretrizes elencadas na BNCC. O trabalho fundamenta-se teoricamente na perspectiva sociointeracionista de Lev Vygotsky, utilizando metodologia ativa e gamificação como catalisadores para o processo de aprendizagem. A pesquisa foi realizada em uma Escola Estadual localizada em Dourados, Mato Grosso do Sul, com uma turma do 3º ano do Ensino Médio. A metodologia utilizada consistiu na aplicação da metodologia Jigsaw (Aprendizagem Cooperativa) para o estudo aprofundado das propriedades de diferentes faixas do espectro eletromagnético e na consolidação do conhecimento por meio de jogos de memória e quizzes. O objetivo principal foi promover uma melhor compreensão das radiações eletromagnéticas, incentivando a resolução de problemas em equipe e a aplicação prática dos conceitos teóricos. Os resultados indicam uma possível melhoria na internalização e retenção do conhecimento, evidenciando o potencial dos jogos como um recurso pedagógico valioso para superar as barreiras de abstração no aprendizado de conceitos da Física.

Palavras-chave: Ensino de Física; Espectro Eletromagnético; Jogos Didáticos; Jigsaw; Vygotsky.

Abstract

DIDACTIC PROPOSAL FOR TEACHING THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM: COLLABORATIVE LEARNING FROM VYGOTSKYS PERSPECTIVE USING JIGSAW AND GAMIFICATION.

CAMILA LEITE DE OLIVEIRA

Supervisor: Prof. Dr. Eduardo André Flach Basso

Masters thesis submitted to Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), in partial fulfillment of the requirements for the degree Mestre em Ensino de Física.

The internalization and retention of knowledge represent a particularly great challenge in Physics teaching in middle and high schools. In this context, the National Common Curricular Base (BNCC) establishes guidelines aimed at ensuring essential learning. Among its directives, the contextualization of content, the use of dynamic and collaborative strategies, the application of diversified methodologies, student engagement, and the use of didactic and technological resources stand out. Therefore, it is essential that teaching methods encourage students to actively construct knowledge. Given this, the present study aimed to develop an educational product that promotes the study of the electromagnetic spectrum through the BNCC's directives. The work is theoretically based on Lev Vygotsky's socio-interactionist perspective, using active methodology and gamification as catalysts for learning. The research was conducted in a State School located in Dourados, Mato Grosso do Sul, with a class of the 3rd year of High School. The methodology used consisted of applying the Jigsaw technique (Cooperative Learning) for the in-depth study of the different spectrum bands properties and the consolidation of knowledge through memory games and quizzes. The main objective was to promote a better understanding of electromagnetic radiation, encouraging critical thinking, team problem-solving, and the practical application of theoretical concepts. The results indicating a possible improvement in the internalization and retention of knowledge, highlighting the potential of games as a valuable pedagogical tool to overcome the abstraction barriers in the learning of physics concepts.

Keywords: Physics teaching, Electromagnetic spectrum; Gamification; Jigsaw; Vygotsky.

Lista de Figuras

2.1	Sequência de passos da metodologia Jigsaw	17
3.1	Onda em uma corda	23
3.2	Representação de uma onda progressiva	24
3.3	Caracterização de ondas harmônicas em função de x	25
3.4	Caracterização de ondas harmônicas em função de t	26
3.5	Ondas longitudinais.	28
3.6	Ondas transversais.	29
3.7	Espectro eletromagnético	37
4.1	Atividade de avaliação diagnóstica	43
4.2	Respostas dos alunos das questões 1 e 3 da Avaliação Diagnóstica - (A) . .	44
4.3	Respostas dos alunos das questões 1 e 3 da Avaliação Diagnóstica - (B) . .	45
4.4	Respostas dos alunos da questão 2 da Avaliação Diagnóstica.	46
4.5	Respostas dos alunos das questões 4 e 5 da Avaliação Diagnóstica	46
4.6	Respostas dos alunos das questões 6 e 7 da Avaliação Diagnóstica.	47
4.7	Respostas dos alunos da questão 8 da Avaliação Diagnóstica.	48
4.8	Respostas dos alunos da questão 9 da Avaliação Diagnóstica.	49
4.9	Formação dos grupos-bases.	50
4.10	Reunião dos especialistas	52
4.11	Retorno dos especialistas aos grupos-bases	55
4.12	Grupos-base respondendo a cruzadinha	58
4.13	Respostas do Grupo 1 para a atividade de cruzadinha	59
4.14	Respostas do Grupo 2 para a atividade de cruzadinha.	60
4.15	Respostas do Grupo 3 para a atividade de cruzadinha	61

4.16	Respostas do Grupo 4 para a atividade de cruzadinha	61
4.17	Cartas do Jogo 1	64
4.18	Cartas do Jogo 2	65
4.19	Cartas do Jogo 3	65
4.20	Alunos durante o jogo de memória.	66
4.21	Sequência das disputa dos jogos	66
4.22	Alunos durante a disputa do quiz.	67
B.1	Apresentação.	73
B.2	Conceito de radiação.	73
B.3	Tipos de radiação.	74
B.4	Diferenças entre os tipos de radiações.	74
B.5	Radiação não ionizante.	74
B.6	Radiação ionizante.	75
B.7	Espectro eletromagnético.	75
B.8	Descrição do espectro eletromagnético em termos de variáveis físicas	75
B.9	Ondas de rádio.	76
B.10	Breve história das ondas de rádio.	76
B.11	Diferença entre transmissor e receptor.	76
B.12	Diferença entre AM e FM.	77
B.13	Uso das ondas de rádio.	77
B.14	Radioastronomia.	77
B.15	Questionamento e textos.	78
B.16	Micro-ondas.	78
B.17	Características das micro-ondas.	78

B.18 Wi-Fi: Entenda o funcionamento	79
B.19 Tecnologia 5G, Wi-fi e o câncer.	79
B.20 Aplicações terapêuticas das micro-ondas.	79
B.21 Funcionamento do forno micro-ondas.	80
B.22 Radiação de micro-ondas no universo.	80
B.23 Infravermelho.	80
B.24 Descoberta do infravermelho.	81
B.25 Aplicações do infravermelho - I.	81
B.26 Aplicações do infravermelho - II.	81
B.27 O infravermelho no universo e links	82
B.28 Visível.	82
B.29 Espectro de luz.	82
B.30 Luz visível e o olho humano.	83
B.31 Tipos de visão.	83
B.32 Aplicações da luz visível - I.	83
B.33 Aplicações da luz visível - II.	84
B.34 Ultravioleta.	84
B.35 Diferenças entre UVA, UVB e UVC.	84
B.36 Efeitos da radiação ultravioleta sobre a pele.	85
B.37 Raio X	85
B.38 Descoberta do Raio X	85
B.39 Como são feitos os Raio X	86
B.40 Aplicações do Raio X - I	86
B.41 Aplicações do Raio X - II	86
B.42 Raio gama.	87

B.43 Características da radiação gama.	87
B.44 Fontes da radiação gama - I.	87
B.45 Fontes da radiação gama - II.	88
B.46 Fontes da radiação gama - III.	88
B.47 Efeitos da radiação gama no corpo humano - I	88
B.48 Efeitos da radiação gama no corpo humano - II	89
B.49 Efeitos da radiação gama nas células.	89
B.50 Efeitos da radiação gama no corpo humano - III	89
B.51 Níveis de radiação.	90
C.1 Cruzadinha	91
D.1 Pares das cartas ondas de rádio e micro-ondas do jogo 1.	94
D.2 Pares das cartas infravermelho e visível do jogo 1.	94
D.3 Pares das cartas ultravioleta e raio-x do jogo 1.	94
D.4 Par da carta raio gama do jogo 1.	95
D.5 Pares das cartas ondas de rádio, micro-ondas, infravermelho e visível do jogo 2.	95
D.6 Pares das cartas ultravioleta, raio X e raio gama do jogo 2.	95
D.7 Par de cartas da faixa de rádio do jogo 3.	96
D.8 Par de cartas da faixa de micro-ondas do jogo 3.	96
D.9 Par de cartas da faixa infravermelho do jogo 3.	96
D.10 Par de cartas da faixa do visível do jogo 3.	96
D.11 Par de cartas da faixa ultravioleta do jogo 3.	97
D.12 Par de cartas da faixa raio X do jogo 3.	97
D.13 Par de cartas da faixa raio gama do jogo 3.	97

Lista de Tabelas

3.1	Classificação do espectro eletromagnético	36
4.1	Etapas da sequência didática	41

Lista de Abreviaturas

AC Aprendizagem Cooperativa

BNCC Base Nacional Comum Curricular

RMN Ressonância Magnética Nuclear

SI Sistema Internacional de unidades

TDICs Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação

ZDP Zona de Desenvolvimento Proximal

Sumário

Agradecimentos	iv
Resumo	v
Abstract	vi
Lista de Figuras	vii
Lista de Tabelas	viii
Lista de Abreviaturas	ix
1 Introdução	1
1.1 Objetivo Geral	7
1.1.1 Objetivos específicos	7
1.2 Revisão bibliográfica	7
2 Fundamentação Teórica	11
2.1 O construtivismo social de Lev Vygotsky	11
2.2 A metodologia Jigsaw	15
2.3 O uso de jogos no ensino de física	19
3 Conceitos de ondulatória e espectro eletromagnético	23
3.1 Ondas em uma dimensão	23
3.2 Classificação de ondas	27
3.2.1 Ondas longitudinais	28
3.2.2 Ondas transversais	28
3.2.3 Ondas mecânicas	29
3.2.4 Ondas eletromagnéticas	30

4	Aplicação do produto educacional	41
4.1	Caracterização do público e do local de aplicação	42
4.2	Análise da aplicação do produto	42
4.2.1	Etapa 1 – Avaliação diagnóstica	42
4.2.2	Etapa 2 – Organização	50
4.2.3	Etapa 3 – Encontro dos especialistas	52
4.2.4	Etapa 4 – Retorno dos especialistas	54
4.2.5	Etapa 5 – Cruzadinha	57
4.2.6	Etapa 6 – Intervenção	62
4.2.7	Etapa 7 – Jogos	63
	Considerações finais	70
	Referências	72
A	Avaliação diagnóstica	72
B	Material de apoio	73
C	Cruzadinha	91
D	Jogos	94
D.1	Jogo 1	94
D.2	Jogo 2	95
D.3	Jogo 3	96
D.4	Quiz	96

1 Introdução

Conteúdo

1.1	Objetivo Geral	7
1.1.1	Objetivos específicos	7
1.2	Revisão bibliográfica	7

O modelo de ensino-aprendizagem tradicional, predominante nas escolas brasileiras até a década de 1950, era fundamentado na transmissão e assimilação de informações. Particularmente no ensino de Física, essa concepção pedagógica se manifestava por meio de aulas predominantemente expositivas, memorização mecânica de fórmulas, resolução de exercícios, lousa e giz. A teoria era apresentada aos estudantes de forma oral e/ou escrita, e as raras atividades práticas ou experimentais nas disciplinas de Ciências tinham caráter demonstrativo, sem a participação ativa dos alunos. A função do professor, nesse contexto, era a de repassar o conhecimento historicamente construído, exigindo dos estudantes a assimilação e a reprodução literal dos conteúdos ensinados (Rosa; Rosa, 2012).

O resultado desse modelo de ensino é que, em vez de resultar na apropriação dos conceitos de Física, os estudantes desenvolvem uma aversão pela disciplina, considerando-a como repleta de conceitos abstratos, descontextualizados de situações reais e de difícil compreensão. Essa realidade ainda persiste em muitas escolas públicas. Conforme apontam Beatriz e Koga (2023), as aulas de ciências nas escolas públicas ainda são predominantemente expositivas, centradas na figura do professor e fortemente dependentes do livro didático. A persistência desse modelo tradicional pode ser justificada por uma combinação de fatores estruturais e pedagógicos: a tendência dos professores replicarem os métodos de sua própria formação, uma capacitação docente que não incentiva reflexão crítica sobre as práticas pedagógicas, a carência de professores licenciados, a complexidade dos conceitos abstratos envolvidos, e as limitações impostas pelas condições de trabalho e infraestrutura escolar.

Contrastando com essa realidade, o ideal pedagógico aponta para um ambiente dinâmico e interativo, em que os estudantes participem ativamente a partir de experimentos, atividades práticas, debates e discussões, promovendo um aprendizado mais significativo e contextualizado. Diante desse cenário, "o professor precisa utilizar recursos e metodologias de ensino diferentes para tentar alcançar o máximo de alunos" (Pereira; Fusinato; Gianotto, 2017), as quais podem criar um ambiente de maior compreensão. Estratégias bem estruturadas podem transformar aulas monótonas em espaços de mediação e interação social, nos quais os estudantes desenvolvam as funções psicológicas superiores necessárias para a apropriação dos conceitos científicos. Nesse sentido, adotar abordagens pedagógi-

cas motivadoras que tragam questões problematizadoras contextualizadas e promovam a construção do conhecimento apresenta-se como um caminho promissor para revitalizar o ensino dessa disciplina (Silva; Barros, 2024).

Nesse contexto de transformação, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) estabelece orientações para a construção dos currículos escolares, visando assegurar as aprendizagens essenciais. Dentre suas diretrizes, destacam-se a contextualização dos conteúdos com a realidade local; a organização interdisciplinar do conhecimento por meio de estratégias dinâmicas e colaborativas; o uso de metodologias diversificadas; o engajamento estudantil; o emprego de recursos didáticos e tecnológicos; e a disponibilização de materiais de orientação para os professores (Brasil, 2018). Morán (2015) complementa essa perspectiva, argumentando sobre a necessidade dos alunos assumirem um papel mais ativo no ambiente de aprendizado, transcendendo a postura de meros ouvintes. Paralelamente, o professor é desafiado a criar situações que fomentem a participação efetiva em sala de aula, visto que a aprendizagem eficaz exige determinação, atenção, envolvimento e responsabilidade dos estudantes.

Nesse cenário de busca por uma educação mais alinhada às diretrizes da BNCC, que preconiza a contextualização, a interdisciplinaridade e o protagonismo estudantil, as metodologias ativas surgem como um caminho natural e promissor para superar os desafios do ensino tradicional de Física e promover uma aprendizagem mais efetiva e participativa. Essas abordagens inovadoras diferem das estratégias convencionais ao colocar o estudante no centro do processo de aprendizagem, promovendo maior autonomia e a aplicação prática do conhecimento em situações do mundo real. Além disso, as metodologias ativas potencializam o engajamento dos alunos, favorecendo uma compreensão mais profunda dos conceitos de Física (Rodrigues; Santos, 2024).

Contudo, a realidade atual das salas de aula frequentemente revela alunos desinteressados e desmotivados. Este fenômeno é potencializado pelo fato de que, para os estudantes, o universo dinâmico e interativo proporcionado pela internet, jogos e redes sociais muitas vezes supera o interesse pelo conteúdo transmitido pelas leituras e pelo professor (Sobrinho *et al.*, 2024). Essa competição pela atenção dos jovens é agravada quando, em muitas ocasiões, a aula ocorre de maneira mecânica e repetitiva, uma abordagem que, segundo Goulart (2022), está na contramão das expectativas da juventude contemporânea e contribui diretamente para o desinteresse. Diante desse panorama, torna-se necessário aplicar novas metodologias de ensino capazes de capturar a atenção e o engajamento dos alunos, despertando neles a vontade intrínseca de aprender. A participação ativa no processo de ensino e aprendizagem possibilita uma formação mais crítica, criativa e engajada. A utilização de diferentes metodologias no ensino representa um caminho promissor para fomentar uma aprendizagem mais significativa. Sande e Sande (2018, p. 178) corroboram

essa ideia ao afirmar que:

A aprendizagem é um processo diferente entre os alunos. Por isso, o uso de diversas estratégias durante as aulas é imprescindível para que o máximo de alunos consigam compreender os conteúdos abordados. (Sande; Sande, 2018).

As metodologias ativas de ensino, ao colocarem o aluno no centro do processo de construção do conhecimento, estimulam um comportamento ativo, responsável e autônomo, visando a obtenção de uma aprendizagem que faça sentido para ele. Tais abordagens, conforme discutido por Bacich e Moran (2018), são projetadas para promover a interação entre alunos e professores, criando um ambiente educacional colaborativo e cooperativo.

O eletromagnetismo, por sua vez, se destaca como uma das áreas mais fascinantes da física, descrevendo a interação fundamental entre cargas elétricas e seus campos elétrico e magnético associados. Esse conhecimento nos permite compreender uma vasta gama de fenômenos, desde a luz e o magnetismo até a eletricidade que alimenta nosso dia a dia e o funcionamento de aparelhos eletrônicos e sistemas de comunicação sem fio. O espectro eletromagnético, além de um conceito da Física, é a base para muitas tecnologias essenciais que usamos diariamente. As ondas de rádio, por exemplo, são essenciais não apenas nas comunicações, como nas transmissões de rádio AM/FM e redes de telefonia celular, mas também desempenham um papel crucial na medicina. Na Ressonância Magnética Nuclear (RMN), essas ondas de rádio são usadas para alinhar os núcleos dos átomos de hidrogênio do corpo humano, o que possibilita a geração de imagens detalhadas que auxiliam nos diagnósticos. As micro-ondas vão além de simplesmente aquecer alimentos, sendo fundamentais para o funcionamento de tecnologias de transmissão de informações sem fio, como o *Wi-Fi* e o *bluetooth*, que interligam nossos dispositivos cotidianamente. O infravermelho está presente em sistemas de segurança com visão noturna. Até mesmo as faixas de maior energia, como a luz ultravioleta, têm seu papel, sendo usadas para esterilizar equipamentos, enquanto os raios X são indispensáveis na medicina para diagnósticos por imagem, como radiografias. Esses exemplos mostram como o espectro eletromagnético é fundamental para a vida moderna e como precisamos entendê-lo como um todo, sabendo diferenciar e utilizar as diversas faixas de frequência que o compõe.

A compreensão desse tema é essencial para entender como funciona o mundo ao nosso redor. O eletromagnetismo está presente em praticamente tudo: na energia que alimenta nossas casas, nos motores que movem máquinas, nos geradores que produzem eletricidade, e em toda a eletrônica que usamos diariamente. Além disso, ele é fundamental para explicar algumas das leis mais importantes da física, como a relatividade e a mecânica quântica. Na medicina, permite que médicos façam diagnósticos sem necessidade de cirurgias invasivas. Na biologia, ajuda cientistas a estudar como funciona o sistema nervoso dos seres vivos. Por isso, aprender sobre eletromagnetismo não é apenas importante para cientistas e especialistas. Compreender esses princípios permite que estudantes, profissio-

nais e cidadãos entendam como o universo funciona e desenvolvam soluções que melhoram nossas vidas (Santos, 2024).

A ausência de um conhecimento aprofundado sobre a natureza e as interações dessas ondas limita a capacidade dos indivíduos de analisar criticamente as inovações tecnológicas, distinguir entre benefícios e riscos associados, e participar ativamente do discurso sobre o desenvolvimento científico e tecnológico. Sua aplicação é crucial em diversas áreas aplicadas: na medicina, possibilita exames de imagem como a ressonância magnética; nas ciências biológicas, é usado para estudar o sistema nervoso; e na engenharia, é a base para inúmeras inovações tecnológicas.

Apesar de sua importância, o ensino de Eletromagnetismo no Ensino Médio enfrenta vários desafios interligados que dificultam uma aprendizagem efetiva, conforme aponta a pesquisa de Silva (2025). Um dos principais obstáculos reside na natureza abstrata dos conceitos, que envolvem fenômenos invisíveis e exigem um raciocínio físico-matemático sofisticado para sua compreensão (Dori; Belcher, 2005). Essa dificuldade é agravada pela alta demanda de formalismo matemático, incluindo o domínio de vetores, cálculo diferencial e integral, e habilidades de visualização tridimensional, competências que frequentemente não estão consolidadas nos estudantes (Bollen; Van Kampen; De Cock, 2015). Na prática docente, predomina uma abordagem tradicional, que se mostra ineficaz para promover uma compreensão conceitual profunda. Essa prática é agravada pela escassez de atividades experimentais, desarticulação entre teoria e prática e por problemas estruturais nas escolas (Silva, 2025).

Para enfrentar esses desafios, diversas pesquisas têm proposto estratégias inovadoras que buscam romper com o ensino descontextualizado. (Silva, 2024) propõe uma sequência didática para o ensino de eletromagnetismo no ensino médio, ancorada na teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, explorando a integração de atividades experimentais e laboratórios de baixo custo para superar dificuldades conceituais e aprimorar a motivação dos alunos. Os resultados evidenciaram uma melhoria significativa na compreensão e no engajamento dos estudantes, demonstrando a importância de abordagens pedagógicas ativas e acessíveis. Além disso, (Rodrigues *et al.*, 2021) destacam que o Eletromagnetismo, por ser um ramo com forte desenvolvimento histórico-experimental, torna-se mais acessível quando a teoria é associada à prática. Eles demonstram isso por meio da construção de um "motor de Indução de Faraday", transformando alunos em agentes ativos que observam, debatem e compreendem a aplicação de leis físicas em tecnologias cotidianas, como geradores em usinas hidrelétricas e comunicações sem fio.

A inclusão e a acessibilidade também são dimensões exploradas na literatura recente. (Silva, 2023) contribui significativamente para essa área ao apresentar um material didático focado no ensino das radiações ionizantes e não ionizantes do espectro eletromag-

nético para alunos com deficiência visual. Fundamentada na teoria histórico-cultural de Vygotsky, a pesquisa utilizou uma sequência didática e artefatos pedagógicos, como modelos tridimensionais e materiais de áudio, para promover a compreensão desses conceitos. A eficácia da metodologia ativa *Peer Instruction* e dos recursos acessíveis na promoção da aprendizagem colaborativa e na inclusão reforça a premissa de que o ensino do eletromagnetismo pode e deve ser adaptado para atender às diversas necessidades dos alunos, garantindo o acesso equitativo ao conhecimento científico. De forma complementar, (Gonzaga, 2022) utiliza a aprendizagem criativa e a plataforma Arduino para mediar o ensino da radiação infravermelha, demonstrando que a integração entre tecnologia e criatividade favorece o desenvolvimento conceitual e a motivação dos estudantes.

Outras abordagens investigativas e tecnológicas têm se mostrado eficazes em diferentes níveis de ensino. (Simões, 2023) aborda o tema das ondas eletromagnéticas no ensino fundamental, utilizando uma “Caixa de cores” como objeto educacional e baseando-se na metodologia do ensino por investigação. O estudo destaca a importância de tecnologias educacionais para tornar o conteúdo mais acessível e significativo, permitindo aos estudantes reconhecer as ondas eletromagnéticas no cotidiano e compreender suas aplicações. Já (Stalliviere, 2024) propõe uma sequência didática para o ensino médio que integra a História da Ciência com a produção de podcasts. Baseado na Teoria Sociointeracionista de Vygotsky, o trabalho enfatiza o letramento científico e o uso de podcasts como ferramenta pedagógica para dinamizar o processo de ensino-aprendizagem. Ao pesquisar, roteirizar e produzir podcasts, os estudantes tornam-se agentes ativos na construção do conhecimento, evidenciando como mídias digitais e contextualização histórica podem dinamizar o processo de ensino-aprendizagem e aprofundar a compreensão dos conceitos eletromagnéticos.

Diante desse cenário de desafios no ensino do Eletromagnetismo e da necessidade de abordagens pedagógicas inovadoras que promovam uma aprendizagem mais participativa, o presente trabalho propõe uma sequência didática fundamentada na teoria socioconstrutivista de Lev Vygotsky. Essa abordagem teórica se mostra particularmente apropriada, pois enfatiza o papel da interação social e da mediação na construção do conhecimento. Para Vygotsky, a aprendizagem não é um processo puramente individual, mas ocorre na relação com o outro e com a cultura. Um conceito central de sua teoria é a Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP), definida como a distância entre o que o aluno consegue realizar de forma autônoma e o que é capaz de fazer com o auxílio de um colega mais experiente ou do professor. É nesse espaço de colaboração que a aprendizagem é potencializada, permitindo que o estudante internalize novos conhecimentos e desenvolva funções psicológicas superiores. A aprendizagem, portanto, estimula o desenvolvimento, e a mediação pedagógica, seja pelo professor, por colegas ou por ferramentas culturais e tecnológicas, é o motor desse processo.

Deve-se notar ainda que a ascensão do computador, o desenvolvimento da internet e a popularização dos celulares são marcos tecnológicos que definem a realidade da maioria dos estudantes contemporâneos, para os quais a informática e as tecnologias digitais representam um ambiente nativo. No contexto educacional, essas ferramentas emergem como elementos auxiliares à prática pedagógica, atuando como instrumentos mediadores capazes de potencializar os processos de ensino e aprendizagem, alinhando-se à perspectiva vygotskiana. No cenário educacional brasileiro, o uso das Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDICs) associadas às metodologias ativas tem ganhado espaço, destacando-se o *Peer Instruction* seguida pela Aprendizagem Baseada em Problemas e pela Aprendizagem Baseada em Projetos (Rosa; Kalhil, 2020) e o método Jigsaw. Este último, desenvolvido por Elliot Aronson (Aronson, 2021), viabiliza a construção coletiva do conhecimento ao estruturar o conteúdo em partes que cada aluno domina e compartilha, funcionando como um quebra-cabeça cuja a contribuição de cada membro é essencial para a compreensão do todo (Silva; Cantanhede; Cantanhede, 2020).

Ao discorrer sobre os procedimentos de aprendizagem, Araújo *et al.* (2024) postulam que “o ideal é articular as diferentes abordagens de acordo com a situação de ensino”. Essa articulação torna-se particularmente poderosa ao combinar metodologias ativas com tecnologias emergentes. Assim, a aplicação estratégica e planejada de abordagens pode conduzir a uma aprendizagem mais profunda, interativa e personalizada. Nesse contexto, a metodologia de ensino empregada em sala de aula pode ser compreendida como uma engenharia pedagógica que, em vez de se limitar a uma única teoria, permite a utilização de uma abordagem específica ou a combinação de múltiplas, sempre com o objetivo de elevar a qualidade do aprendizado (Barros; Santos, 2003). A integração dessas abordagens transforma o ambiente educacional, tornando as aulas mais atrativas e dinâmicas, estimulando a curiosidade e promovendo o desenvolvimento de habilidades críticas e colaborativas.

Diante desse cenário de desafios no ensino do Eletromagnetismo, torna-se essencial explorar novas estratégias pedagógicas e recursos didáticos para superar as barreiras de abstração e desinteresse. Nesse contexto, metodologias ativas, como o método Jigsaw e a Gamificação, destacam-se como soluções viáveis para uma aprendizagem mais participativa. A escolha pela combinação dessas duas estratégias não é arbitrária. O método Jigsaw, ao estruturar a aprendizagem cooperativa, promove a responsabilidade individual e coletiva, criando a interdependência necessária para a ZDP de Vygotsky. Contudo, a complexidade do eletromagnetismo pode ser um fator de desengajamento. É aqui que a Gamificação atua de forma integrada, combatendo o desinteresse ao contextualizar o conhecimento de forma lúdica e interativa, oferecendo a motivação necessária para sustentar a colaboração estruturada do Jigsaw. A combinação da aprendizagem cooperativa estruturada do Jigsaw com o caráter motivador dos jogos oferece uma resposta teórica aos desafios identificados: enquanto o Jigsaw desmembra a complexidade do espectro

eletromagnético em partes interdependentes, promovendo colaboração e responsabilidade mútua, a Gamificação combate o desinteresse ao contextualizar o conhecimento de forma lúdica e interativa, permitindo que os alunos visualizem fenômenos invisíveis de maneira prática.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um produto educacional para tornar o aluno protagonista de sua própria aprendizagem, incentivando o trabalho em equipe. A abordagem inicial adotada para isso é a aplicação da Aprendizagem Cooperativa (AC) via método Jigsaw e posteriormente o uso de jogos. O tema escolhido para essa aplicação é o estudo e a compreensão das faixas que compõem o espectro eletromagnético, cuja relevância reside na influência das ondas eletromagnéticas em nosso cotidiano, afetando nossa saúde, o meio ambiente e moldando a sociedade ao transformarem a forma como nos comunicamos, trabalhamos, aprendemos e nos relacionamos.

1.1 Objetivo Geral

Elaborar um produto educacional, na forma de sequência didática de forma a promover mediação pedagógica e o desenvolvimento cognitivo de estudantes do Ensino Médio de escolas públicas, atuando de forma intencional na Zona de Desenvolvimento Proximal ZDP. Buscando promover a aprendizagem do Eletromagnetismo e do Espectro Eletromagnético, utilizando a metodologia Jigsaw e elementos de gamificação como instrumentos e signos mediadores, favorecendo a compreensão dos seus impactos na tecnologia, na saúde, no meio ambiente e na sociedade.

1.1.1 Objetivos específicos

- Promover apropriação dos conceitos do espectro eletromagnético por meio de estratégias que favoreçam a interação social e a colaboração entre pares, explorando a Zona de Desenvolvimento Proximal ZDP como espaço privilegiado para a construção do conhecimento.
- Investigar o impacto do uso de metodologias ativas e diversificadas (Jigsaw e gamificação) no interesse e na participação dos alunos em relação ao estudo da Física.
- Avaliar a eficácia da metodologia Jigsaw, associada a elementos de gamificação, como ferramentas de mediação pedagógica, verificando sua contribuição como elemento facilitador para a internalização dos conceitos e para o desenvolvimento de habilidades colaborativas.

1.2 Revisão bibliográfica

A presente revisão de literatura tem como objetivo investigar as produções acadêmicas que abordam a influência da teoria de Vygotsky, o emprego de metodologias ativas, como o método Jigsaw, e a aplicação de jogos no ensino de Física e Ciências. Para tanto, foram examinadas teses e dissertações nacionais, publicadas entre 2017 e 2025, disponíveis nos bancos de dados da Capes e do Google Acadêmico. Este estudo busca evidenciar como a articulação desses três pilares pode promover uma aprendizagem mais consistente, motivadora e colaborativa, incorporando a perspectiva de Vygotsky em práticas educacionais inovadoras para promover a internalização e o desenvolvimento aprofundado dos conceitos científicos, por meio da mediação social e cultural.

A Teoria Histórico-Cultural de Lev Vygotsky oferece uma base sólida para repensar as práticas pedagógicas no ensino de Física, ao enfatizar o papel da interação social e da mediação na construção do conhecimento. Diversos pesquisadores têm explorado a aplicação desses conceitos para superar os desafios do ensino tradicional. Um levantamento de Milani, Stoltz e Higa (2020) em publicações sobre o Ensino Médio revelou que a interação social é o conceito vygotskiano de maior impacto nas pesquisas, superando até mesmo a Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP). Isso sugere que o diálogo e a colaboração são vistos como o principal motor para o desenvolvimento das habilidades mentais complexas dos alunos, permitindo que o professor atue como um mediador eficaz na aprendizagem de conceitos científicos.

A importância da interação social é confirmada por estudos que aplicam a teoria de Vygotsky em contextos práticos. Batista *et al.* (2025), por exemplo, investigaram a aprendizagem de Física Quântica por meio de problemas abertos e constataram que a necessidade de formular hipóteses e negociar significados entre pares impulsiona o avanço dos estudantes na ZDP. A linguagem e o diálogo, nesse cenário, funcionam como instrumentos cognitivos que permitem aos alunos construir sentidos próprios para os fenômenos, transcendendo a mera resolução mecânica de exercícios. De forma semelhante, Nicolodi, Rosa e Darroz (2024) verificaram que a proximidade de linguagem entre os pares, em uma abordagem baseada no Learning by Teaching, facilita o desenvolvimento cognitivo e a assimilação de conceitos de terminologia. Esses estudos reforçam que a aprendizagem, na perspectiva vygotskiana, é um processo social, mediado pela cultura e pela linguagem.

Alinhada à ênfase vygotskiana na colaboração, a metodologia Jigsaw tem se destacado como uma estratégia pedagógica eficaz para estruturar a aprendizagem cooperativa no ensino de Física. Ao dividir o conteúdo e atribuir responsabilidades a cada membro

do grupo, o método cria uma interdependência positiva que potencializa a interação e participação. Pesquisas demonstram sua eficácia em diversos contextos e com diferentes públicos.

No ensino de temas complexos da Física Contemporânea, como Raios Cósmicos e Espectroscopia, o Jigsaw tem se mostrado promissor. Souza (2017) combinou o método com atividades experimentais e verificou que os alunos não apenas aprenderam os conceitos, mas também valorizaram a estratégia como fundamental para a compreensão. Da mesma forma, Lima *et al.* (2021) utilizaram o Jigsaw em uma abordagem investigativa sobre Espectroscopia, concluindo que a aprendizagem colaborativa estimulou o interesse e a curiosidade dos estudantes. A astronomia também serviu como um contexto motivador para Santos (2018), que usou o Jigsaw para abordar conceitos de óptica e ondulatória, observando uma melhora significativa tanto no desempenho quanto na interação entre os alunos.

Khan e Choudhry (2024), em um estudo com alunas no Paquistão, compararam o Jigsaw com o ensino tradicional e constataram que o grupo submetido à técnica cooperativa apresentou não apenas um desempenho acadêmico superior, mas também uma melhora na motivação e na autoconfiança. Em Gana, Acquah (2025) investigou a aplicação do método no estudo de circuitos elétricos e, além do ganho cognitivo, observou melhorias nas habilidades de comunicação e resolução de problemas. Esses resultados convergem com a proposta de Godoi (2023), que combinou Jigsaw, mapas conceituais e gamificação para o ensino de Física Térmica, concluindo que a abordagem integrada aumentou a proficiência e a autonomia dos alunos.

Tendo a interação social como base e o Jigsaw como metodologia, a ludicidade surge como o componente vital que impulsiona e motiva a construção do conhecimento. A utilização de jogos didáticos no ensino de Física surge como uma estratégia poderosa para aumentar a motivação e a contextualização dos conteúdos. A gamificação e os jogos de tabuleiro ou digitais transformam a sala de aula em um ambiente dinâmico, no qual o erro é visto como parte do processo e a colaboração estimula a participação.

Diversos trabalhos, fundamentados na teoria de Vygotsky, demonstram o potencial dos jogos como instrumentos de mediação. Fernandes Júnior (2021) desenvolveu um jogo de tabuleiro para o ensino de termodinâmica e relatou que a competição saudável e a interação em grupo foram fatores motivadores que tornaram os conteúdos mais próximos da realidade dos alunos. Da mesma forma, Silva (2021), com o jogo "Eletrogame" para o estudo de Eletrodinâmica, e Neves (2021), com um jogo de trilha sobre Física de Partículas, evidenciaram que a ludicidade desperta a curiosidade e promove o desenvolvimento de habilidades como o diálogo e a autorreflexão.

As abordagens lúdicas não se limitam a jogos de tabuleiro. Lima *et al.* (2021) aplicaram uma sequência didática gamificada para o ensino de Óptica Geométrica, utilizando quizzes e simulações virtuais, e observaram um maior envolvimento e participação dos estudantes. A versatilidade dos jogos também é destacada por Santos, Araújo e Silva (2023), que criaram jogos de cartas para o ensino de radiações, e por Alves, Bargas e Romão (2024), que desenvolveram jogos para o ensino de Termologia no ensino fundamental. Em todos esses casos, a conclusão é semelhante, a ludicidade, quando bem planejada, facilita a compreensão de conceitos abstratos, promove a inclusão e torna a Física mais interessante e acessível.

A literatura analisada demonstra que a teoria de Vygotsky, a metodologia Jigsaw e a utilização de jogos didáticos, embora possam ser aplicadas de forma independente, oferecem um potencial ainda maior quando articuladas. A perspectiva vygotskiana oferece o alicerce teórico, enfatizando a aprendizagem como um processo social. O método Jigsaw fornece a estrutura prática para a aprendizagem cooperativa, garantindo a interdependência e a responsabilidade mútua. Por fim, os jogos e a gamificação atuam como o catalisador motivacional, combatendo o desinteresse e tornando a experiência de aprendizagem mais atraente.

A originalidade deste trabalho reside em sua proposta de articular os benefícios desses três pilares, criando uma sequência didática coesa e eficaz para o ensino do espectro eletromagnético.

2 Fundamentação Teórica

Conteúdo

2.1	O construtivismo social de Lev Vygotsky	11
2.2	A metodologia Jigsaw	15
2.3	O uso de jogos no ensino de física	19

Os referenciais teóricos que fundamentam a proposta desta dissertação são ancorados nos conceitos construtivistas. Inicialmente, discute-se a teoria de Lev Vygotsky, com ênfase em conceitos como mediação, internalização e ZDP, ressaltando o papel das interações sociais e do contexto cultural no processo de desenvolvimento cognitivo.

Em seguida, apresenta-se a metodologia Jigsaw, uma estratégia de aprendizagem cooperativa que concretiza os pressupostos de Vygotsky ao estimular a interdependência e a colaboração entre os estudantes, constituindo-se como base para a proposta de ensino desenvolvida nesta pesquisa.

Por fim, examina-se o potencial pedagógico dos jogos no ensino de Física, evidenciando de que modo sua utilização se articula aos princípios vygotskianos ao favorecer a participação, a resolução de problemas e a construção de uma ZDP, tornando a aprendizagem mais lúdica e interativa.

2.1 O construtivismo social de Lev Vygotsky

Lev Vygotsky (1896-1934), um psicólogo bielo-russo, desenvolveu o Socioconstrutivismo, uma corrente de pensamento que destaca a importância das relações sociais e da interação no processo de aprendizagem e desenvolvimento humano.

Vygotsky dedicou-se ao estudo das chamadas funções psicológicas superiores, que representam a forma como os seres humanos pensam, agem e interagem com o mundo. Em termos simples, elas são as habilidades mentais complexas que nos tornam singularmente humanos, como a capacidade de planejar, ter uma memória voluntária (aquela que acessamos intencionalmente, e não apenas por associação) e a imaginação. Vygotsky argumenta que essas funções não são inatas, mas sim construídas e desenvolvidas por meio das relações interpessoais e da internalização de formas culturais de comportamento, refletindo a intrínseca ligação entre o desenvolvimento cognitivo e o contexto sociocultural. Conforme sua teoria, a interação social é essencial para que o aprendizado aconteça, visto que a formação de significados é intrínseca ao ambiente no qual o sujeito está inserido (Moreira,

1999). A constituição desses processos mentais superiores, como o pensamento, a linguagem e o comportamento volitivo, que é a capacidade de fazer escolhas e agir de forma intencional, é viabilizada pela mediação, pela internalização do conhecimento e pela Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) (Vigotski, 2001).

Na teoria de Vygotsky, a mediação é o processo fundamental no desenvolvimento do pensamento, caracterizado pela atuação de instrumentos e signos que transformam as atividades psíquicas humanas. Um instrumento, nesse contexto, é uma ferramenta que se interpõe entre o indivíduo e o mundo, permitindo a modificação do ambiente e a concretização de tarefas. As grandes transformações na natureza e a própria edificação da sociedade humana são produtos do esforço, tanto individual quanto coletivo, mediados pelo uso dessas ferramentas. A capacidade de empregar instrumentos de forma intencional para mediar a relação com o mundo é uma característica intrínseca ao ser humano, diferenciando-nos de outros animais, que podem até utilizá-los de modo rudimentar, mas não os criam com propósitos específicos nem os conservam para uso futuro. Um telescópio que amplia nossa capacidade de observar o universo e, assim, transformar nossa compreensão do cosmos, bem como um arado que revoluciona a agricultura e a maneira como produzimos alimentos, são exemplos de tal capacidade.

Já os signos, que Vygotsky também chamava de instrumentos psicológicos, têm uma orientação interna, voltados para o controle das próprias funções psicológicas do sujeito. Dentre eles, a linguagem se destaca como um sistema de signos primordial, responsável por organizar o pensamento e estruturar a compreensão da realidade (Gaspar, 2014). Eles servem como auxiliares em situações que demandam memória, atenção ou planejamento. Por exemplo, utilizar um calendário para organizar compromissos, o que nos ajuda a gerenciar o tempo, ou o emprego de símbolos matemáticos para resolver problemas abstratos. Essa mediação simbólica possibilita um comportamento e ações mais deliberadas e menos impulsivas, culminando no desenvolvimento de funções psicológicas mais sofisticadas.

A compreensão humana da realidade e a interação com ela são mediadas por sistemas simbólicos que não são inatos, mas de origem intrinsecamente social (Vygotsky, 2007). Dessa forma, é por meio da cultura que o indivíduo assimila o repertório de símbolos que representam o mundo. Esses símbolos, por sua vez, formam o universo de significados que possibilita a interpretação dos dados da realidade. No decorrer de seu desenvolvimento, o indivíduo internaliza progressivamente padrões de comportamento e conhecimento que foram transmitidos culturalmente, em um processo contínuo no qual as interações e práticas sociais inicialmente manifestadas externamente são pouco a pouco convertidas em operações mentais internas (Vygotsky, 2007; Gaspar, 2014). Os processos mentais superiores não nascem prontos no indivíduo, mas são moldados e edificados de fora para dentro. A internalização, nesse sentido, revela-se um mecanismo central para a evolução

psicológica do ser humano, funcionando como o elo que transforma a mediação social em desenvolvimento cognitivo individual (Gaspar, 2014).

Para Vygotsky, a aprendizagem efetiva não se limita ao que um indivíduo já domina, mas ocorre em um espaço dinâmico de crescimento (Vygotsky, 2007). Ele postula que o aprendizado é mais significativo quando o conteúdo ensinado se situa em um limiar entre aquilo que o aluno consegue realizar de forma independente e o que é capaz de alcançar com o apoio de um parceiro mais experiente. É justamente nesse espaço que a mediação por instrumentos e signos se torna mais eficaz, permitindo que o aprendiz ultrapasse os limites do seu desenvolvimento atual (Gaspar, 2014). É necessária a interação entre duas ou mais pessoas, cooperando em uma atividade interpessoal e possibilitando a reelaboração intrapessoal do conhecimento (Vygotsky, 2007).

Vygotsky define a Zona de Desenvolvimento Proximal ZDP como a distância entre o nível de desenvolvimento real, as habilidades que o indivíduo já domina e pode executar sozinho, e o nível de desenvolvimento potencial, que representa o que ele é capaz de realizar com a orientação ou colaboração de alguém mais experiente, a exemplo de um professor, um colega ou um adulto (Vygotskii; Leontiev; Luria, 2010). É nesse espaço de colaboração e desafio assistido que a mediação social se converte em desenvolvimento cognitivo individual, por meio do processo de internalização. Isso resulta em uma aprendizagem efetiva, com grande chance de ser internalizada, o que, por sua vez, permite a aquisição de novas competências e a construção de sistemas conceituais mais complexos.

No ensino de Física, a dificuldade em associar conceitos abstratos com o mundo real frequentemente resulta em desinteresse e baixa compreensão por parte dos alunos. Essa situação, quando analisada sob a ótica da teoria de Vygotsky, sugere que o ensino tradicional, focado na memorização de definições e fórmulas, muitas vezes falha em gerar ou expandir a Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP). Segundo Vygotsky (2007), o aprendizado ocorre quando há mediação por meio de interações sociais, instrumentos e sistemas simbólicos, como a linguagem, que organiza e estrutura o pensamento. Contudo, muitas práticas pedagógicas tradicionais tendem a desconsiderar esses elementos, dificultando assim uma aprendizagem efetiva. Sem a mediação adequada, o ensino tradicional frequentemente exige dos estudantes altos níveis de abstração, não fornecendo o suporte necessário para que o conhecimento seja construído de forma contextualizada.

Dessa forma, o ensino de Física se beneficia de abordagens que colocam a mediação, por meio de instrumentos, signos e, principalmente, da linguagem, no centro do processo de aprendizagem. A ZDP se manifesta de maneira crucial quando, por exemplo, um aluno não consegue sozinho resolver um problema de eletromagnetismo (nível de desenvolvimento real), mas, com o auxílio de um professor ou colega mais experiente, é capaz de identificar os princípios e aplicá-los (nível de desenvolvimento potencial). A mediação,

nesse contexto, atua como a ponte que permite ao aluno internalizar o novo conhecimento, transformando a compreensão externa (compartilhada com o mediador) em compreensão interna (própria do aluno) (Gaspar, 2014). A teoria de Vygotsky, portanto, valida a importância de práticas pedagógicas que incentivam a interação, o diálogo e a experimentação, transformando o professor em um facilitador que guia o estudante por meio da ZDP.

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) fundamenta-se de maneira expressiva nos pressupostos da teoria socioconstrutivista de Lev Vygotsky, ao conceber o desenvolvimento humano e a aprendizagem como processos ligados às interações sociais e ao contexto social em que o indivíduo está inserido (Silva; Bispo, 2022; Cabral; Cabral; Oliveira, 2020). De acordo com essa perceptiva, o conhecimento é construído por meio da internalização de conceitos gerados na interação social. O documento curricular reflete a visão vygotskyana ao destacar o papel do professor como um mediador experiente, cuja função é intervir deliberadamente no processo de ensino para criar Zonas de Desenvolvimento Proximal, promovendo avanços no aprendizado que não ocorreriam de forma espontânea (Silva; Bispo, 2022).

Além disso, a BNCC define competência como a “mobilização de conhecimentos [...], habilidades [...], atitudes e valores para resolver demandas complexas da vida cotidiana” ((Brasil, 2018), p.8). Essa abordagem reflete diretamente a ênfase de Vygotsky na aplicação do conhecimento em contextos sociais, nos quais a linguagem atua como ferramenta de mediação central para a aprendizagem e o desenvolvimento.

A convergência entre BNCC e a teoria vygotskyana torna-se um instrumento na promoção de metodologias ativas e colaborativas. Tais práticas pedagógicas, que encontram forte sustentação na teoria vygotskyana, são fundamentais para o desenvolvimento das competências gerais previstas pela BNCC. Ao posicionar o estudante como agente central na construção do conhecimento, essas metodologias criam um ambiente que valoriza a interação entre pares e a mediação docente.

Nesse contexto, o processo educativo transcende a mera aquisição de conteúdo, focando na formação integral do aluno. O estímulo à investigação, à comunicação, à colaboração e à resolução de problemas capacita o estudantes a atuar com autonomia e criticidade na sociedade, alinhando a prática em sala de aula aos objetivos mais amplos da educação contemporânea.

Conectando-se aos conceitos vygotskyanos já explorados, a avaliação da aprendizagem emerge como um processo crucial e contínuo no ambiente escolar. Conforme Vygotsky (2007), essa avaliação transcende a mera verificação do que o aluno já domina, focando também nos processos de maturação e desenvolvimento que estão em curso, ou seja, nas

potencialidades que estão florescendo dentro da ZDP. Dessa forma, ela se torna uma ferramenta diagnóstica valiosa, permitindo ao professor refletir sobre a qualidade da relação entre a atividade de ensino e a aprendizagem do aluno. É essa perspectiva qualitativa que alicerça a atuação do docente como mediador, impulsionando o desenvolvimento do estudante ao intervir diretamente em sua ZDP.

Para que essa mediação seja efetiva, a tarefa primordial do educador, segundo Vygotsky, é discernir o nível de desenvolvimento real de seus alunos e, a partir daí, estruturar as atividades de forma a promover a formação de conceitos, premissa fundamental para a aprendizagem. Nesse sentido, a linguagem e o contexto cultural são os instrumentos mais poderosos à disposição do docente para otimizar a ZDP e facilitar a internalização do conhecimento. Além de atuar diretamente como mediador entre o aluno e o conhecimento, o professor pode também fomentar a aprendizagem colaborativa, organizando grupos com alunos em diferentes níveis de proficiência, mas com capacidades próximas para a realização das tarefas (Ferreira, 2021).

Essa estratégia de colaboração entre pares, com a participação de alunos mais capazes como mediadores, cria uma rica janela de oportunidade para o desenvolvimento. Ao engajar-se em atividades conjuntas e mutuamente assistidas, os estudantes são estimulados a internalizar novos conhecimentos e habilidades, transformando o que antes era um processo interpessoal em uma capacidade intrapessoal. Assim, os pressupostos vygotskianos não apenas fornecem um referencial teórico robusto para a compreensão do desenvolvimento cognitivo, mas também subsidiam a organização de práticas pedagógicas que promovam uma aprendizagem ativa e profundamente enraizada nas interações sociais e culturais.

Considerando que a aprendizagem emerge das interações sociais e da mediação por instrumentos e signos, o ensino bem estruturado, conforme (Vygotsky, 2007), conduz à aprendizagem, que, por sua vez, estimula o desenvolvimento de funções psicológicas superiores antes latentes. Esse processo ocorre quando o ensino é orientado pela ZDP, permitindo que a mediação social seja internalizada. Baseado nessa premissa, o presente produto emprega a técnica de aprendizagem cooperativa Jigsaw, explorando ferramentas acessíveis aos alunos, como celulares e computadores, que funcionam como instrumentos de mediação, combinadas com o engajamento proporcionado pelos jogos.

2.2 A metodologia Jigsaw

Em 1971, após a dessegregação das escolas em Austin, Texas, conflitos e brigas entre estudantes afro-americanos, brancos e mexicano-americanos surgiram rapidamente. O

superintendente escolar solicitou a Elliot Aronson, professor da Universidade do Texas, que encontrasse uma solução para promover um ambiente mais harmonioso. Observando as dinâmicas das salas de aula, Aronson e seus alunos de pós-graduação se lembraram de um experimento de Sherif *et al.* (1961). Inspirados por essa pesquisa, eles desenvolveram uma técnica chamada Jigsaw (Aronson *et al.*, 1978). Essa técnica criava um ambiente de interdependência, no qual estudantes de diferentes grupos raciais e étnicos precisavam trabalhar juntos para alcançar objetivos em comum, assim como as peças de um quebra-cabeça se encaixam (Aronson; Patnoe, 2011; Aronson *et al.*, 1978).

Na visão dos alunos, existe apenas um especialista na sala de aula: o professor, considerado o único detentor do conhecimento. No entanto, Aronson modificou essa estrutura de um único especialista e vários ouvintes. Ele organizou grupos de cinco ou seis alunos de modo que eles passassem a ser o principal recurso para o grupo, alterando o papel do professor no processo de ensino-aprendizagem, que agora se tornaria um recurso facilitador. Dessa forma, para Aronson e Patnoe (2011), os alunos deveriam considerar uns aos outros como fonte de conhecimento. Isso foi alcançado de três maneiras:

- A estrutura da aprendizagem foi planejada para que o sucesso do grupo dependesse da colaboração, e não da disputa individual.
- O sucesso do grupo só era possível se houvesse cooperação entre seus membros.
- Todos os alunos tinham um conhecimento único e importante para compartilhar com o grupo.

Na sala de aula tradicional, o professor detém todo o conhecimento, e os alunos competem pela sua validação, vendo os colegas como concorrentes. Já no método Jigsaw, o aluno assume um papel ativo e se torna um valioso recurso de informação. Estes sentem-se assim validados ao ajudarem uns aos outros e, para alcançar o sucesso, a cooperação entre eles é essencial. A competição é, então, substituída pela cooperação.

Conforme aponta Matias, Masulck e Schneider (2020), essa metodologia se apresenta como um recurso eficaz para a assimilação de um grande volume de informações em um período relativamente breve. A técnica visa aprimorar a capacidade de escuta, o envolvimento ativo, a interação colaborativa e a cooperação, atribuindo a cada integrante do grupo uma função crucial para o sucesso da tarefa.

Inúmeros temas podem ser ajustados para a estrutura do Jigsaw. O material deve ser planejado com antecedência pelo professor, podendo ser composto por capítulos de livros, páginas da internet, histórias ou outras unidades. O importante é que o material possa ser dividido em várias partes coerentes, a fim de que sejam lidas independentemente sem

comprometer o entendimento de cada uma delas. Em geral, materiais que enfatizam a leitura e compreensão são mais fáceis de serem trabalhados em grupo.

Como ilustra a Figura 2.1, a metodologia Jigsaw é dividida em três etapas distintas: a formação dos **Grupos-base**, o encontro do **Especialista** e o retorno dos especialistas aos grupos originais. Na primeira etapa, conforme proposto por Aronson (2021), formam-se Grupos-base heterogêneos, nos quais a quantidade de alunos pode variar conforme a natureza do material disponibilizado pelo professor. Dessa forma, o material é fragmentado em subtópicos correspondentes ao número de membros do grupo. Cada estudante assume a responsabilidade de realizar a leitura e estudo aprofundado de um subtópico específico, tornando-se o especialista naquele tema.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

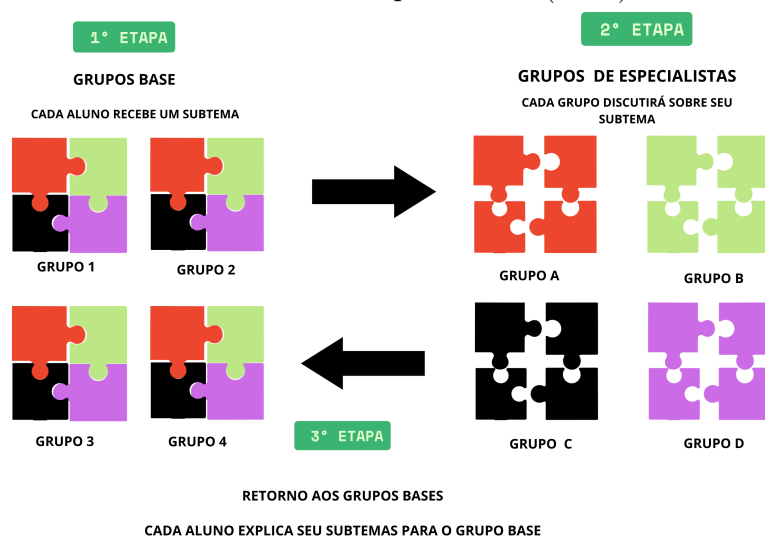


Figura 2.1: Estrutura sequencial da metodologia Jigsaw, apresentada em três etapas: formação dos Grupos-base, encontro dos especialistas e retorno dos mesmos aos grupos-base.

Na segunda etapa do processo, acontece o encontro dos especialistas, momento em que os estudantes responsáveis pelo mesmo subtópico se reúnem para formar os **Grupos de especialistas**. Nesses novos agrupamentos, eles debatem o conteúdo de sua área de conhecimento, aprofundam sua compreensão e aprendem uns com os outros de maneira colaborativa. O objetivo central é que cada especialista domine seu subtópico e, coletivamente, o grupo elabore as melhores estratégias para compartilhar essa informação com os demais colegas do Grupo-base. Durante o trabalho dos grupos de especialistas, o professor auxilia cada grupo, esclarecendo dúvidas e atuando como um facilitador. Suas intervenções têm a função de auxiliar os alunos a aprender o conteúdo de forma mais eficaz, acompanhando as atividades e incentivando-os a procurar as respostas por si mesmos.

Na terceira etapa, após a conclusão dos estudos nos Grupos de especialistas, os alunos retornam aos seus Grupos-bases. Cada especialista, então, transmite aos seus colegas o

conteúdo da melhor maneira possível. Os estudantes do grupo devem ser incentivados a prestar atenção às apresentações, pois dependem uns dos outros para compreender o material completo. Após a apresentação individual de cada especialista em seu grupo, os estudantes de cada grupo podem revisar todos os tópicos, de seu grupo e dos outros grupos-base.¹ Deste modo, todos os estudantes na sala de aula tem a oportunidade de ter contato com todos os tópicos em estudo. Para consolidar o aprendizado e reforçar a importância da colaboração, um teste sobre o material pode ser aplicado ao final da metodologia.

Segundo Teodoro, Cabral e Queiroz (2015), a participação de cada membro é indispensável, pois o método de ensino se assemelha a um quebra-cabeça. Nessa analogia, o trabalho somente é finalizado quando todas as peças se conectam, o que representa a plena compreensão do conteúdo por parte de todos os alunos.

As metodologias ativas constituem uma abordagem pedagógica promissora que, fundamentalmente, vai além do simples desenvolvimento de competências cognitivas, promovendo também mudança conceitual e estimulando o desenvolvimento da afetividade pela mediação da linguagem e cognição. Neste contexto, a técnica Jigsaw surge como uma estratégia de aprendizagem cooperativa que se alinha perfeitamente aos pressupostos vygotskianos. Ela envolve os alunos ativamente em seu processo de aprendizagem, estimulando reflexão, interação, trabalho colaborativo e autonomia, contribuindo assim para um ambiente de aprendizagem mais produtivo e inclusivo. A conexão entre as metodologias ativas e a teoria sociocultural de Vygotsky é intrinsecamente pedagógica, pois ambas compartilham a compreensão de que as interações sociais e a linguagem são fundamentais na formação de conceitos e no desenvolvimento cognitivo dos alunos. Vygotsky, como teórico do desenvolvimento sociointeracionista, enfatiza o papel das interações sociais e da linguagem na construção do conhecimento. As metodologias ativas, particularmente a técnica Jigsaw, operacionalizam a partir da organização de grupos heterogêneos em que a mediação entre pares favorece a internalização de novos conhecimentos (Moura *et al.*, 2024).

Dessa forma, quando a técnica Jigsaw é implementada com base nos fundamentos vygotskianos, ela se torna um instrumento poderoso para promover não apenas a mudança conceitual, mas também o desenvolvimento contínuo da cognição e linguagem dos alunos. Isso permite que o processo de aprendizagem seja significativo, enraizado nas interações sociais e culturais, e orientado pela Zona de Desenvolvimento Proximal, na qual a mediação do professor e dos pares mais capazes catalisa o desenvolvimento de funções psicológicas superiores.

¹O material é o mesmo para todos os grupos-base. Os estudantes terão contato com todos os subtópicos durante a explicação de cada especialista .

A eficácia de tais abordagens ativas, que deslocam o aluno para o centro do processo de aprendizagem, abre portas para a exploração de outras estratégias que compartilham do mesmo princípio de engajamento. Nesse sentido, a incorporação de elementos lúdicos, como os jogos didáticos, surge como um complementar, buscando potencializar a motivação e a participação dos alunos no ensino de Física por meio de metodologias mais dinâmicas.

2.3 O uso de jogos no ensino de física

O jogo, segundo Huizinga (1990), "é fato mais antigo que a cultura, pois esta, mesmo em suas definições mais rigorosas, pressupõe sempre a sociedade humana". Historicamente, essa tese se confirma: desde a antiguidade, gregos, romanos e culturas indígenas utilizavam jogos não apenas para entretenimento, mas como ferramentas pedagógicas para o ensino da matemática, estratégia militar, filosofia e valores culturais. Mais do que uma atividade prática, o jogo é um instrumento de interação cultural. É por meio dele que os indivíduos vivenciam processos de socialização, aprendendo a equilibrar o desejo individual com as normas aceitas pela coletividade. Essa dinâmica entre liberdade e regras constitui o alicerce da civilização, pois permite que os sujeitos internalizem e valores fundamentais para a vida em sociedade.

Assim como no passado, os jogos permanecem essenciais para a educação atual ao estimular o ganho de capacidades cognitivas importantes, como:

- Resolução de problemas: os jogadores precisam pensar para resolver os desafios, o que auxilia no desenvolvimento do raciocínio.
- Tomada de decisões: ao escolher entre diferentes opções, os jogadores desenvolvem a capacidade de analisar as consequências de suas ações.
- Trabalho em equipe: muitos jogos exigem cooperação e comunicação, promovendo a colaboração e o respeito mútuo.
- Motivação: como os jogos são divertidos, os alunos se interessam mais e aprendem melhor.

Nesse contexto, o jogo, enquanto recurso pedagógico, se torna eficaz quando a diversão se torna aprendizagem, o que segundo Lopes (1999):

É muito mais eficiente aprender por meio de jogos e isso é válido para todas as idades, desde o maternal até a fase adulta. O jogo, em si, possui componentes

do cotidiano e o envolvimento desperta o interesse do aprendiz, que se torna sujeito ativo do processo, e a confecção dos próprios jogos é ainda muito mais emocionante do que apenas jogar (Lopes, 1999, p. 23).

A gamificação consiste na integração de elementos de design de jogos em contextos que não possuem uma natureza intrinsecamente recreativa. Distinguindo-se dos "jogos sérios", esta metodologia não se baseia na concepção de um jogo completo, mas sim na aplicação de componentes ou mecânicas de jogo de forma isolada, com o objetivo de intensificar o envolvimento e a motivação dos participantes. (Deterding *et al.*, 2011)

Atualmente, as metodologias ativas são reconhecidas como soluções eficientes para fomentar a construção colaborativa do conhecimento. Tais abordagens posicionam o aluno como protagonista, estimulando-o a produzir conhecimento mediante atividades práticas, interativas e coletivas (Bacich; Moran, 2018). Nesse contexto, os jogos educativos surgem como uma ferramenta pedagógica eficaz para a construção de um ambiente de aprendizagem mais estimulante e envolvente, permitindo que ideias abstratas sejam compreendidas de forma dinâmica e agradável (Filho *et al.*, 2025).

A aplicação de jogos no ambiente educacional brasileiro enfrenta obstáculos estruturais e pedagógicos significativos que limitam sua eficácia. Primeiramente, destaca-se a carência de infraestrutura tecnológica e de recursos materiais, como laboratórios e acesso estável à internet, o que restringe o uso de ferramentas digitais, especialmente em escolas públicas ((Sales, 2025); (Vasconcelos, 2025)). Essa limitação material é agravada por uma deficiência crítica na formação docente, uma vez que a grande maioria dos professores relata não ter recebido treinamento específico ou contato com a gamificação durante sua graduação ((Vasconcelos, 2025); (Silva, 2024); (Pinto; Silva; Reis, 2026)) . Além disso, a rigidez de currículos conteudistas e a falta de tempo para planejamento impedem que os docentes integrem atividades lúdicas de forma contínua, tornando-as intervenções muitas vezes isoladas (Pinto; Silva; Reis, 2026). Outro desafio reside na incompatibilidade dos sistemas de avaliação tradicionais, focados em provas mecânicas, com as dinâmicas de engajamento dos jogos, o que dificulta a mensuração precisa dos ganhos reais de aprendizagem. A eficácia dessas ferramentas também depende fortemente da mediação intencional do professor, sem a qual o jogo pode perder seu propósito educativo ((Pinto; Silva; Reis, 2026); (Sales, 2025)).

A utilização de jogos como ferramenta didática requer uma análise cuidadosa, pois sua eficácia depende da estratégia adotada. O lúdico deve estar integrado à prática docente de maneira contextualizada, exigindo mediação do professor para fomentar a troca entre os estudantes. Ao diversificar as metodologias de ensino, rompe-se a dinâmica tradicional, exigindo novas posturas e gerando maior participação (Hornes *et al.*, 2009).

Particularmente no ensino de Física, essa abordagem se mostra especialmente rele-

vante. Os conhecimentos produzidos pela Física podem ser transmitidos aos estudantes por meio de uma comunicação mais clara e acessível, utilizando estratégias pedagógicas lúdicas. Torna-se necessário adaptar as estratégias de ensino ao contexto vivenciado pelos alunos, permitindo que o aprendizado ocorra de forma mais efetiva (Lima *et al.*, 2021). O uso de jogos no ensino de Física é um recurso metodológico capaz de proporcionar uma aprendizagem espontânea, podendo estimular a sociabilização, a criatividade e a busca por conhecimento, enriquecendo o processo de ensino-aprendizagem, além de permitir aos estudantes e professores novas formas de construir conhecimento.

A Teoria Sociocultural de Vygotsky fornece fundamentação teórica sólida para a legitimação de jogos como instrumento pedagógico. Segundo ele, a construção do conhecimento ocorre mediante processos de interação social e mediação de ferramentas culturais, particularmente a linguagem e os símbolos (Vygotsky, 2007). Dessa forma, os jogos educativos criam um espaço onde o aluno pode interagir com seus colegas, aproveitando o que já sabe e utilizando materiais didáticos para resolver problemas e aprender novos conceitos.

Vygotsky destaca ainda o papel das interações e das atividades lúdicas, como os jogos, no processo de aprendizagem, favorecendo o desenvolvimento e estimulando o crescimento cognitivo. O jogo ultrapassa a mera reprodução de experiências vividas, possibilitando a construção de novas percepções que originam uma realidade distinta. Ele funciona como instrumento para promover o desenvolvimento social, emocional e intelectual dos educandos. Nessa perspectiva, o docente assume papel fundamental ao estabelecer objetivos pedagógicos claros, definir as normas de funcionamento e orientar o uso de recursos educacionais, atuando como mediador e potencializando o desenvolvimento integral do aluno (Vigotski, 2003).

A Zona de desenvolvimento Proximal ZDP, já discutida na seção 2.1, representa a distância entre o que o aluno já consegue realizar de forma autônoma (desenvolvimento real) e o que ele é capaz de alcançar com a orientação de um mediador (desenvolvimento potencial). Os jogos são ferramentas pedagógicas que podem ser utilizadas para promover desafios lúdicos e adaptados, os jogos permitem que os alunos avancem em sua compreensão de maneira colaborativa, transformando a ZDP em um espaço dinâmico de construção conjunta do saber.

Partindo do princípio de que a aprendizagem ocorre por meio da interação social com alguém mais experiente, podemos entender por que o uso de jogos cria uma ZDP, podendo impulsionar o desenvolvimento e aumentar a motivação dos alunos para a aprendizagem de Física. Nesse contexto, os jogos funcionam como mediadores entre o conhecimento que o aluno já possui e aquele que pode adquirir com orientação, criando um ambiente propício para a participação.

Sobre a motivação dos alunos para o ensino de Física, Pereira (2008) afirma que:

os jogos apresentam grande potencial para despertar o interesse dos alunos pelos conteúdos, principalmente porque os jogos abordam esses conteúdos em um ambiente lúdico, propício a uma melhor aprendizagem, muito diferente das salas de aula nas escolas, que geralmente são expositivas, tornando o ambiente um espaço de anti-criação, o que impede uma maior participação dos alunos nas aulas.

A utilização de jogos no ambiente escolar é uma importante ferramenta de ensino, uma vez que une os aspectos cognitivos aos lúdicos. Além disso, os jogos mobilizam esquemas mentais, estimulam o pensamento, a ordenação espacial, e unem várias dimensões da personalidade, como a afetiva, social, motora e cognitiva. Ao jogar, os alunos são incentivados a trabalhar em equipe, resolver problemas e tomar decisões conjuntas, o que contribui para o desenvolvimento de habilidades e a construção de conhecimento de forma colaborativa.

Essa abordagem responde às demandas atuais, em que o desenvolvimento cognitivo e a aplicação prática do conhecimento são fundamentais para o sucesso acadêmico e profissional dos alunos. Para que essa integração seja efetiva, é importante escolher assuntos que despertem o interesse dos alunos, conectando o que a ciência descobre, as tecnologias que criamos e como isso tudo afeta a vida das pessoas. Assim, os jogos educativos não apenas ensinam conteúdos específicos, mas também desenvolvem competências essenciais para o século XXI, preparando os alunos para um mundo em constante transformação.

3 Conceitos de ondulatória e espectro eletromagnético

Conteúdo

3.1 Ondas em uma dimensão	23
3.2 Classificação de ondas	27
3.2.1 Ondas longitudinais	28
3.2.2 Ondas transversais	28
3.2.3 Ondas mecânicas	29
3.2.4 Ondas eletromagnéticas	30

A temática física do presente produto educacional está ancorada na ondulatória, em especial sua conexão com o espectro eletromagnético e aplicações do mesmo no cotidiano dos estudantes. Antes de prosseguir com a descrição do produto, faremos uma breve revisão do conceito de onda, suas características e as diversas formas de classificação, fornecendo uma base sólida para a compreensão de fenômenos físicos.

3.1 Ondas em uma dimensão

Ao amarrarmos a extremidade de uma corda, como na figura 3.1, pegarmos na outra extremidade e provocarmos uma perturbação, sacudindo a corda para cima e para baixo, surgirá um pulso que se movimentará ao longo da corda. A perturbação provocada é denominada como pulso e a propagação deste constitui uma onda progressiva. Logo, se provocarmos perturbações contínuas na corda, com uma mesma frequência, teremos uma onda periódica, que é constituída de diversos pulsos que se propagam ao longo da corda.

Dessa forma onda é qualquer efeito (perturbação) que se transmite de um ponto a outro de um meio, que, no exemplo acima, é a corda. Em geral, fala-se de onda quando a transmissão do efeito entre dois pontos distantes ocorre sem que haja transporte direto de matéria de um desses pontos ao outro. Vamos considerar a função $f(x)$ representada na Figura 3.2(A). O deslocamento desta função por um valor a na direção positiva do eixo x resulta na função $f(x - a)$ (via transformada de Galileu), a qual é representada na Figura 3.2(B). O pulso inicia-se com o valor $f(x) = 0$. No primeiro caso (Figura 3.2(A)) isso ocorre para $x = 0$, e $f(0) = 0$. No segundo caso (Figura 3.2(B)) isso ocorre para $x = a$, e $f(a - a) = f(0) = 0$.

Se esta função representar um pulso que se propaga na direção positiva do eixo x , com velocidade constante v , teremos que a posição do pulso será $a = vt$ e a descrição do

Fonte: (Halliday; Resnick; Walker, 2016).

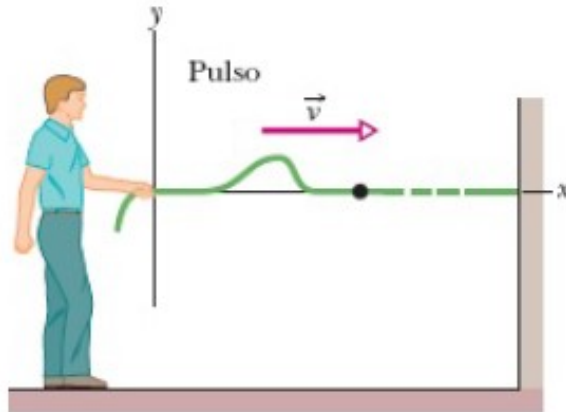


Figura 3.1: Onda em uma corda

pulso em movimento será dada pela função $f(x - vt)$. Assim, se, em $t = 0$, uma função tem forma $f(x)$, a substituição $x \rightarrow (x - vt)$ representará um pulso cuja a forma não se modifica propagando-se na direção positiva do eixo x com velocidade v . Caso a função $f(x)$ seja periódica a substituição $x \rightarrow (x - vt)$ representará uma onda propagando-se com velocidade v no sentido positivo do eixo x . ((Montenegro, 2023))

Fonte: (Montenegro, 2023).

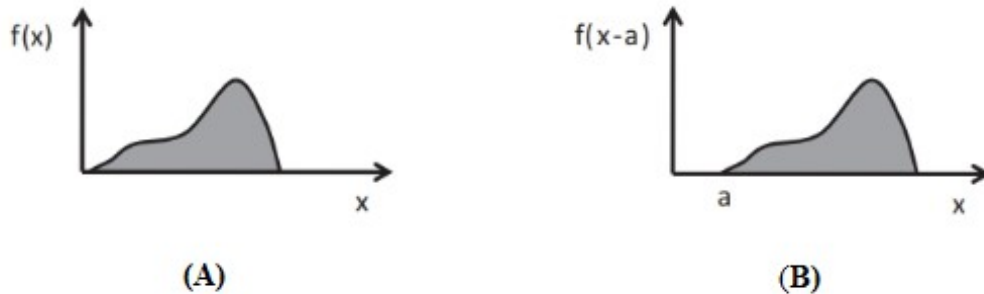


Figura 3.2: (A) Função $f(x)$ genérica representando a extensão espacial de um pulso. (B) Pulso representado na figura (A) deslocado da quantidade a no sentido positivo do eixo x .

Se $f(x)$ for uma função periódica do tipo seno ou cosseno, a onda resultante denomina-se onda harmônica. A Figura 3.3 ilustra a função $f(x) = A\cos(kx - \omega t + \varphi)$ que representa uma onda harmônica no instante $t = 0$ e constante de fase $\varphi = 0$. Essa função possui amplitude A e um comprimento de onda λ (distância entre dois máximos consecutivos) (Montenegro, 2023). Por se tratar de uma medida de distância, o comprimento de onda é medido em metros ou em suas subunidades, sendo frequentemente encontrados comprimentos de onda medidos em nanômetros ($\text{nm} = 10^{-9} \text{ m}$) ou angström ($\text{\AA} = 10^{-10} \text{ m}$), ou seja, da ordem de tamanho de um átomo (Medeiros; Medina; Lauxen, 2020).

Ao contar o número de segundos entre a chegada de duas cristas adjacentes em dado

Fonte: (Montenegro, 2023).

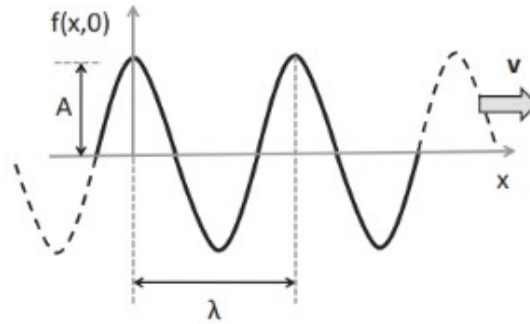


Figura 3.3: Parâmetros que caracterizam uma onda harmônica em função da coordenada espacial x , representada no instante $t = 0$.

ponto no espaço, conseguira medir o período T das ondas. Em geral, o período e o intervalo de tempo necessário para dois pontos idênticos de ondas adjacentes passarem por um ponto, como mostrado na Figura 3.4.

A mesma informação é mais frequentemente dada pelo inverso do período, que é chamado de frequência f . Em geral, a frequência de uma onda periódica é o número de cristas (ou vales, ou qualquer outro ponto na curva) que passa em determinado ponto em uma unidade de intervalo de tempo. A frequência da onda é dada pela frequência da fonte. Por exemplo, a frequência de uma onda gerada pela mão de uma pessoa em uma corda é dada pela frequência de oscilação da mão dessa pessoa como na Figura 3.1. Quanto mais rápido a pessoa movimentar para cima e para baixo a extremidade livre da corda, maior a frequência da fonte e, conseqüentemente, a da onda. A unidade da frequência no Sistema Internacional de unidades (Sistema Internacional de unidades (SI)) é o hertz (Hz). A frequência de uma onda senoidal é relacionada com o período na expressão

$$f = 1/T \quad (3.1)$$

Uma onda é um tipo de interação que se move de uma extremidade a outra em determinado meio. A velocidade com que um objeto qualquer que perfaz um deslocamento δs em determinado intervalo de tempo Δt é definida como:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}, \quad \text{ou} \quad v = \frac{ds}{dt} \quad (3.2)$$

no limite infinitesimal (velocidade instantânea).

No caso de uma onda periódica, o deslocamento do pulso ao percorrer um ciclo de onda completo é o que chamamos comprimento de onda ($\Delta S = \lambda$), sendo que o período descreve o intervalo de tempo necessário para que esse ciclo se complete ($\Delta t = T$). Assim,

Fonte: (Serway; Jewett Jr., 2014).

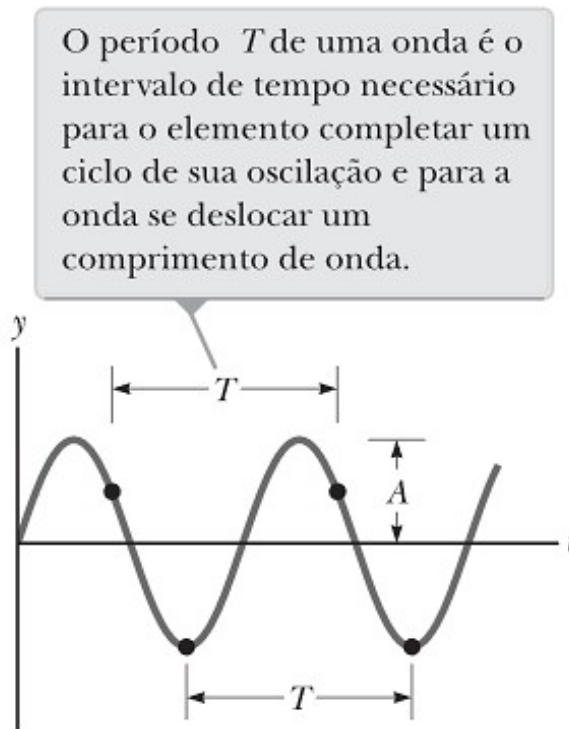


Figura 3.4: Parâmetros que caracterizam uma onda harmônica em função da coordenada temporal t .

é possível concluir que a velocidade de uma onda periódica pode ser escrita como:

$$v = \frac{\lambda}{T} \quad (3.3)$$

e, usando (3.1),

$$v = \lambda f. \quad (3.4)$$

A partir dessa equação, podemos calcular a velocidade de qualquer tipo de onda, mecânica ou eletromagnética. Para uma fonte que gere ondas constantes, a velocidade dependerá apenas do meio pelo qual a onda se propaga; se o meio for isotrópico, isto é, tiver as mesmas propriedades físicas em todas as direções, a velocidade da onda é constante. Essa equação também torna mais clara a relação entre o comprimento de onda de uma onda e a sua frequência. Quando a frequência da frente de onda aumenta, o comprimento de onda diminui.

A velocidade de uma onda está relacionada com o comprimento de onda e à frequência pela equação (3.4), mas é determinada pelas propriedades do meio. Se uma onda se propaga em um meio como a água, o ar, o aço, ou uma corda esticada, a passagem da onda faz com que as partículas do meio oscilem. Para que isso aconteça, o meio deve

possuir massa (para que possa haver energia cinética) e elasticidade (para que possa haver energia potencial). São as propriedades de massa e de elasticidade que determinam a velocidade com a qual a onda pode se propagar no meio. Assim, é possível expressar a velocidade da onda em um meio a partir dessas propriedades (Halliday; Resnick; Walker, 2016).

Considerando uma corda de massa por unidade de comprimento μ (densidade linear), a qual é mantida esticada por uma tensão T , sua velocidade será dada por:

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (3.5)$$

3.2 Classificação de ondas

As ondas podem ser classificadas de acordo com sua direção de vibração e sua natureza.

A direção das vibrações (perturbações ou informações) pode ser no mesmo sentido de propagação das ondas, no sentido perpendicular a tal propagação, ou mesmo uma combinação de ambas. O primeiro caso descreve as ondas longitudinais, o segundo caso as ondas transversais e o último caso é o que ocorre, por exemplo, em ondas sísmicas.

A natureza das ondas diz respeito ao modo como as perturbações são geradas e suas propagações em diferentes meios. Ondas mecânicas são perturbações mecânicas em um meio material, que necessariamente precisa estar presente. No caso das ondas eletromagnéticas, as perturbações são geradas por campos vetoriais, cuja propagação pode ocorrer tanto na presença de meios materiais como no vácuo. Podemos citar outros tipos de ondas de acordo com suas naturezas, como no caso das ondas de matéria (de de Broglie), associadas com o movimento ondulatório de toda partícula fundamental e descrita pelas leis da Mecânica Quântica, bem como no caso das ondas gravitacionais descobertas na última década, as quais são manifestadas pela propagação de perturbações na própria estrutura do espaço-tempo, de acordo com a Relatividade Geral de Einstein.

A classificação das ondas também pode ser feita com base no seu comportamento em relação ao transporte de energia no meio. As ondas progressivas são caracterizadas pelo transporte contínuo de energia de um ponto a outro, pois a perturbação avança no espaço, transferindo energia progressivamente ao longo da direção de propagação. As ondas estacionárias resultam da superposição de duas ondas progressivas idênticas que se movem em sentidos opostos, criando um padrão fixo de oscilação com nós e antinodos. Embora sejam formadas por ondas que transportam energia individualmente, o resultado

dessa superposição é um padrão que não apresenta transporte líquido de energia ao longo do meio, ou seja, o fluxo de energia em uma direção é exatamente cancelado pelo fluxo na direção oposta, fazendo com que a energia fique confinada e oscile localmente entre os nós, sem que haja um movimento resultante através do meio.

A seguir descreveremos brevemente as ondas longitudinais e transversais, bem como as ondas mecânica e eletromagnéticas, as quais tem relação maior com o produto educacional aqui proposto.

3.2.1 Ondas longitudinais

Conforme indicado acima, as ondas longitudinais são aquelas onde a perturbação do meio se dá na mesma direção de propagação das ondas. Uma analogia interessante para estudar as mesmas é por meio do estudo de ondas em molas.

A Figura 3.5 ilustra a propagação de uma onda de compressão ao longo de uma mola, que está em equilíbrio em (a), e que tem a extremidade subitamente comprimida em (b). Note que, logo após as espiras serem comprimidas, há algumas delas que são rarefeitas, ou seja, com espaçamento maior do que na posição de equilíbrio. Assim, a onda de compressão é seguida por outra de rarefação. Se acompanharmos o movimento de uma dada espira (por exemplo, a primeira), vemos que ela se desloca para a direita e depois para a esquerda, retornando à posição de equilíbrio. O brinquedo conhecido como “mola maluca” é ideal para observar esse tipo de onda na prática.

Fonte: (Nussenzveig, 2014).

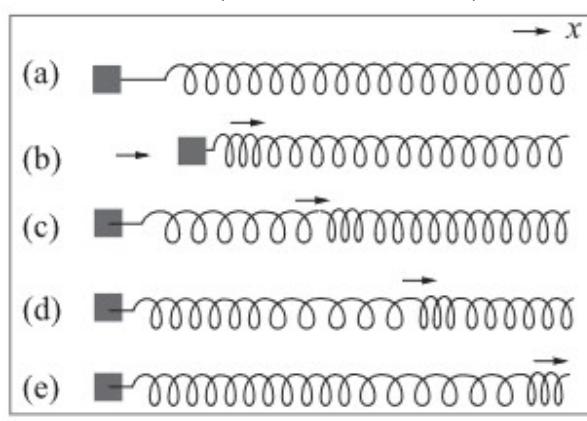


Figura 3.5: Descrição da produção e propagação de ondas longitudinais em uma mola.

Este é um exemplo de uma onda longitudinal, em que a perturbação transmitida pela onda (compressão ou rarefação) ocorre ao longo da direção de propagação (x) da onda. As ondas sonoras na atmosfera, que estudaremos mais adiante, são ondas longitudinais

desse tipo, em que a perturbação consiste em compressões e rarefações da densidade da atmosfera (Nussenzveig, 2014).

3.2.2 Ondas transversais

Quando a perturbação do meio ocorre perpendicularmente à direção de propagação da onda no mesmo, temos o que chamamos de ondas transversais, cujo exemplo mais simples de estudo são as ondas em uma corda.

Na Figura 3.6 está representada uma corda esticada em (a), sobre a qual se aplica um impulso em uma das extremidades, sacudindo-a para cima e para baixo (b). O pulso gerado se propaga como uma onda ao longo da corda, na direção x , como vistos na figura 3.6 (b), (c) e (d). Cada ponto da corda oscila para cima e para baixo, ou seja, de modo que a perturbação é um deslocamento na direção y , perpendicular à direção de propagação da onda, de modo que o perfil da onda é dado por uma função $y(x, t)$ (Nussenzveig, 2014).

Fonte: (Nussenzveig, 2014).

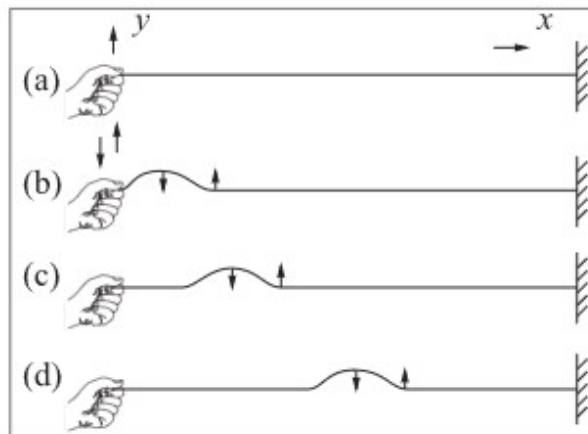


Figura 3.6: Descrição da produção e propagação de ondas transversais em uma corda.

3.2.3 Ondas mecânicas

Tratam-se daquelas produzidas por estímulos mecânicos e que exigem um meio material para se propagarem, por exemplo, um pulso que se propaga por uma corda ou o som se propagando pelo ar. A partir dessa definição, é importante saber conceituar o meio material. Um meio pode ser entendido como a substância ou material que transporta a onda desde a sua fonte (que fornece energia para o início do movimento) até determinado ponto, propagação possível pela elasticidade do meio. Note que o meio, por si só, não é capaz de gerar a onda, mas apenas de transportá-la – o ar, a água e a madeira compreendem alguns exemplos de meios de propagação de uma onda. O entendimento completo

da natureza da onda pode ser alcançado considerando o meio uma coleção de partículas que interagem entre si, interação entre partículas adjacentes que permite que a energia seja transmitida pelo meio, em um movimento semelhante ao conhecido efeito dominó: nesse processo, tendo em vista a mão humana como a fonte do movimento, as peças do dominó caindo transferem energia de uma para outra. Com base nessa definição, podemos concluir que ondas mecânicas, e, portanto, o som, não podem se propagar no vácuo (espaço vazio), já que nesse caso não existe um meio material que permita a transferência de energia entre as partículas.

3.2.4 Ondas eletromagnéticas

Todos os fenômenos da eletricidade e do magnetismo podem ser completamente descritos por um conjunto de apenas cinco equações fundamentais: as quatro equações de Maxwell e a equação da força de Lorentz. A seguir, apresentaremos e discutiremos brevemente essas equações no vácuo, com o intuito de utilizá-las para explicar a geração e a propagação das ondas eletromagnéticas através do espaço. A primeira equação de Maxwell não é nada mais do que a generalização da lei de Gauss

$$\oiint_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A}_S = \frac{Q_{\text{enc}}}{\varepsilon_0}, \quad (3.6)$$

a qual pode ser entendida da seguinte forma: o fluxo do campo elétrico $\mathbf{E}$ através de qualquer superfície fechada S , com área $\mathbf{A}_S$, é igual a razão entre a carga elétrica Q_{enc} confinada dentro da superfície e a permissividade de vácuo ε_0 . Observe que a carga elétrica contida na superfície de área $A\mathbf{A}_S$ é fonte do campo elétrico $\vec{E}$ (Rego, 2010).

A segunda equação de Maxwell é a lei de Gauss para o magnetismo,

$$\oiint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A}_S = 0, \quad (3.7)$$

a qual indica que qualquer que seja superfície fechada S escolhida, e qualquer que seja conteúdo dentro do volume cercado por essa superfície – o fluxo de campo magnético $\mathbf{B}$ através dessa superfície de área $\mathbf{A}_S$ será zero. Isso significa que o número de linhas do campo magnético que entra e sai do volume é sempre igual, isto é, os monopolos magnéticos não podem existir de acordo com o eletromagnetismo clássico.

Já a terceira lei de Maxwell é a lei de indução de Faraday,

$$\oint_{\partial S} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\frac{d}{dt} \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A}_S = -\frac{\Phi_B}{dt}, \quad (3.8)$$

que é interpretada da seguinte forma: a integral de linha do campo elétrico $\mathbf{E}$ em torno de qualquer trajetória fechada é igual a taxa de variação de fluxo magnético $\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\mathbf{A}_S$ através de qualquer superfície limitada por esta trajetória.

Note que $\mathbf{B}$ não é zero pela segunda lei de Maxwell porque a superfície pela qual a integral é feita não é uma superfície fechada. A conclusão mais importante que segue da terceira equação do Maxwell é que o campo magnético variável cria o campo elétrico! Vejamos, se o campo $\mathbf{B}$ não depender do tempo, então a taxa de variação de fluxo magnético será zero (lado direito de (3.8) e o campo elétrico ao longo da trajetória $\mathbf{l}$ não existirá!

Quarta equação de Maxwell expressa lei de Ampère generalizado, ou lei de Ampère-Maxwell,

$$\oint_C \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 \left(\int_S \mathbf{J} \cdot d\mathbf{S} + \varepsilon_0 \frac{d}{dt} \int_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} \right), \quad (3.9)$$

a qual pode ser escrita como

$$\oint_C \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 I + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt}, \quad (3.10)$$

onde μ_0 é permeabilidade do vácuo, $I = \int_S \mathbf{J} \cdot d\mathbf{A}_S$ é a chamada corrente de deslocamento (de Maxwell) e $\Phi_E = \int_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A}_S$ denota o fluxo de campo elétrico $\mathbf{E}$. A conclusão mais importante decorrente dessa equação é que a corrente elétrica (de deslocamento) I , ou um campo elétrico variável (no tempo) $\mathbf{E}$, criam um campo magnético.

As quatro equações de Maxwell, na forma integral, podem ser agrupadas como:

$$\begin{aligned} \oint_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} &= \frac{Q_{\text{enc}}}{\varepsilon_0} \quad (\text{Lei de Gauss}) \\ \oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} &= 0 \quad (\text{Lei de Gauss para o Magnetismo}) \\ \oint_C \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} &= -\frac{d}{dt} \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} \quad (\text{Lei de Faraday}) \\ \oint_C \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} &= \mu_0 I_{\text{enc}} + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{d}{dt} \int_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} \quad (\text{Lei de Ampère-Maxwell}) \end{aligned} \quad (3.11)$$

Equações de Maxwell também podem ser escritas na forma diferencial, ou seja, por meio de operadores diferenciais ao invés dos operadores integrais usados acima. Nesse caso elas tomam a forma:

$$\begin{aligned}
\nabla \cdot \mathbf{E} &= \frac{\rho}{\varepsilon_0} \quad (\text{Lei de Gauss}) \\
\nabla \cdot \mathbf{B} &= 0 \quad (\text{Lei de Gauss para o Magnetismo}) \\
\nabla \times \mathbf{E} &= -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (\text{Lei de Faraday}) \\
\nabla \times \mathbf{B} &= \mu_0 \mathbf{J} + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \quad (\text{Lei de Ampère-Maxwell})
\end{aligned} \tag{3.12}$$

As quatro equações de Maxwell permitem analisar a inter-relação entre o movimento de cargas e a criação de correspondentes campos elétricos e magnéticos. Com uma análise desse tipo chega-se às seguintes conclusões:

- Carga em repouso produz/gera campo elétrico $\mathbf{E}$ estático (que não varia com tempo) e não produz campo magnético $\mathbf{B}$.
- Carga em movimento uniforme produz $\mathbf{E}$ e $\mathbf{B}$ estáticos.
- Carga em movimento acelerado produz $\mathbf{E}$ e $\mathbf{B}$ que variam no tempo.

Analisando o último caso em mais detalhes, considere uma carga elétrica oscilando verticalmente em um circuito. Essa oscilação implica um movimento acelerado da carga, o que, conseqüentemente, gera um campo elétrico variável. De acordo com a quarta equação de Ampère-Maxwell (3.10), esse campo elétrico variável induzirá um campo magnético também variável. Por sua vez, esse campo magnético variável atuará como fonte para um novo campo elétrico, conforme descrito pela Lei de Faraday (3.8). Esse novo campo elétrico, por sua vez, gerará outro campo magnético, e esse processo se repetirá continuamente. Essa interação sequencial entre campos elétricos e magnéticos, onde um alimenta o outro, resulta na formação de uma perturbação eletromagnética. Essa perturbação se propaga pelo espaço de maneira autônoma e independente da fonte que a originou, dispensando a necessidade de um meio material para sua propagação.

As características da propagação dessa perturbação podem ser determinadas através das equações de Maxwell. Para satisfazer as duas primeiras, a saber as equações (3.6) e (3.7), mostra-se que os campos $\mathbf{E}$ e $\mathbf{B}$ devem ser perpendiculares entre si, e ao mesmo tempo ambos têm que ser perpendiculares em relação à direção de propagação da perturbação.

Consideremos uma onda plana se propagando na direção z . Os campos $\mathbf{E}$ e $\mathbf{B}$ dependem apenas de z e do tempo t , ou seja, $\mathbf{E} = \mathbf{E}(z, t)$ e $\mathbf{B} = \mathbf{B}(z, t)$. A Lei de Gauss para o campo elétrico no vácuo é $\nabla \cdot \mathbf{E} = 0$. Expandindo o divergente:

$$\frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} + \frac{\partial E_z}{\partial z} = 0 \quad (3.13)$$

Como $\mathbf{E}$ depende apenas de z e t , as derivadas em relação a x e y são zero.

$$0 + 0 + \frac{\partial E_z}{\partial z} = 0 \implies \frac{\partial E_z}{\partial z} = 0 \quad (3.14)$$

Isso significa que a componente do campo elétrico na direção de propagação (E_z) é constante no espaço. Como a onda é uma perturbação que se propaga, a única constante fisicamente significativa é zero.

$$E_z = 0$$

Portanto, o campo elétrico $\mathbf{E}$ não tem componente na direção de propagação (z), o que significa que $\mathbf{E}$ é perpendicular à direção de propagação.

De forma análoga, a Lei de Gauss para o Campo Magnético no vácuo é $\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$. Expandindo o divergente:

$$\frac{\partial B_x}{\partial x} + \frac{\partial B_y}{\partial y} + \frac{\partial B_z}{\partial z} = 0 \quad (3.15)$$

Pela mesma razão, as derivadas em relação a x e y são zero:

$$0 + 0 + \frac{\partial B_z}{\partial z} = 0 \implies \frac{\partial B_z}{\partial z} = 0 \quad (3.16)$$

Isso implica que a componente do campo magnético na direção de propagação (B_z) é zero.

$$B_z = 0$$

Portanto, o campo magnético $\mathbf{B}$ também é perpendicular à direção de propagação.

A perpendicularidade entre $\mathbf{E}$ e $\mathbf{B}$ é demonstrada pela análise das Leis de Faraday e Ampère-Maxwell. Consideremos a onda se propagando em z , com $\mathbf{E}$ polarizado na direção x e $\mathbf{B}$ polarizado na direção y :

$$\mathbf{E} = E_x(z, t)\hat{\mathbf{i}}$$

$$\mathbf{B} = B_y(z, t)\hat{\mathbf{j}}$$

Pela Lei de Faraday, $\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$, a componente y do rotacional de $\mathbf{E}$ é:

$$(\nabla \times \mathbf{E})_y = \frac{\partial E_x}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial x}$$

Como $E_z = 0$ e $\mathbf{E}$ depende apenas de z , temos:

$$(\nabla \times \mathbf{E})_y = \frac{\partial E_x}{\partial z}$$

Substituindo na Lei de Faraday:

$$\frac{\partial E_x}{\partial z} = -\frac{\partial B_y}{\partial t} \quad (3.17)$$

A Lei de Ampère-Maxwell, no vácuo, é $\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$, uma vez que a densidade de corrente é nula no vácuo, de modo que o termo de corrente $\mu_0 J$ se anula. A componente x do rotacional de $\mathbf{B}$ é:

$$(\nabla \times \mathbf{B})_x = \frac{\partial B_z}{\partial y} - \frac{\partial B_y}{\partial z}$$

Como $B_z = 0$ e $\mathbf{B}$ depende apenas de z , temos:

$$(\nabla \times \mathbf{B})_x = -\frac{\partial B_y}{\partial z}$$

Substituindo na Lei de Ampère-Maxwell, resulta:

$$-\frac{\partial B_y}{\partial z} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial E_x}{\partial t} \quad (3.18)$$

As Equações (3.17) e (3.18) mostram que a variação espacial de $\mathbf{E}$ está ligada à variação temporal de $\mathbf{B}$, e a variação espacial de $\mathbf{B}$ está ligada à variação temporal de $\mathbf{E}$. Se $\mathbf{E}$ e $\mathbf{B}$ fossem paralelos, as equações seriam inconsistentes. A única solução não trivial que satisfaz as Equações de Maxwell é aquela em que $\mathbf{E}$ e $\mathbf{B}$ são perpendiculares entre si e ambos perpendiculares à direção de propagação.

A relação entre as magnitudes dos campos é obtida combinando as equações (3.17) e (3.18) e introduzindo a velocidade de propagação da onda.

Inicialmente derivando a equação (3.17) em relação a z :

$$\begin{aligned}\frac{\partial^2 E_x}{\partial z^2} &= -\frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial B_y}{\partial t} \right) \\ &= -\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial B_y}{\partial z} \right)\end{aligned}$$

Da equação (3.18), temos $\frac{\partial B_y}{\partial z} = -\mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial E_x}{\partial t}$. Substituindo na equação acima, resulta que:

$$\begin{aligned}\frac{\partial^2 E_x}{\partial z^2} &= -\frac{\partial}{\partial t} \left(-\mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial E_x}{\partial t} \right) \\ &= \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 E_x}{\partial t^2}\end{aligned}$$

Esta é a equação de onda para o campo elétrico, que tem a forma geral

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2},$$

onde v é a velocidade de propagação da onda. Comparando as duas equações, vemos que:

$$\frac{1}{v^2} = \mu_0 \epsilon_0 \implies v = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$$

Maxwell calculou o valor de v usando os valores experimentais da permissividade do vácuo ($\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}^2$) e da permeabilidade do vácuo ($\mu_0 = 1,26 \times 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-2}$), e descobriu que v era igual à velocidade da luz no vácuo (c), tal que a velocidade de propagação das perturbações eletromagnéticas assume o valor

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = 2,995 \times 10^8 \text{ m/s} \approx 3.0 \times 10^8 \text{ m/s}, \quad (3.19)$$

que é o valor conhecido para a velocidade da luz no vácuo, o qual foi determinado experimentalmente, por distintas técnicas, desde o século XVII (pelo astrônomo dinamarquês Ole Rømer). Em meados de 1860, após unificar a eletricidade e o magnetismo, Maxwell usou o formalismo teórico análogo ao descrito brevemente acima para determinar o valor para a velocidade da luz no vácuo, o qual concordava com as predições de Rømer, bem como de Bradley (1728) e de Fizeau (1849). Posteriormente, a partir de 1878 Michelson e colaboradores realizaram uma série de medidas, baseadas em interferometria, determinando um valor muito preciso e parecido com o valor de (3.19). Para uma revisão da história das medidas da velocidade da luz, veja, *e.g.*, (Ferraro, 2007). Os cálculos de Maxwell foram a primeira evidência da natureza eletromagnética da luz.

As ondas eletromagnéticas constituem uma das formas fundamentais de interação e troca de energia entre sistemas físicos, sendo responsáveis por uma série de fenômenos bem conhecidos de todas as pessoas, como a visão, as cores dos objetos, o aquecimento produzido pelo Sol e outros irradiadores *etc.* As ondas eletromagnéticas também constituem a base de funcionamento de muitos sistemas e equipamentos modernos, como os sistemas de telecomunicações, os fornos de micro-ondas, os equipamentos ópticos e assim por diante.

Uma vez emitida, a onda eletromagnética não depende mais da fonte que a produziu. As ondas eletromagnéticas se propagam em alta velocidade e transportam energia na direção de propagação. Objetos interceptados pelas ondas eletromagnéticas, por via de regra, absorvem uma parte da energia transportada, ao mesmo tempo que espalham o restante da energia disponível em várias direções do espaço.

Todas as ondas eletromagnéticas, que formam o que chamamos de Espectro Eletromagnético, compartilham a mesma natureza. No entanto, suas particularidades, como frequência, comprimento de onda e energia, conforme detalhado na Tabela 3.1, são o que as diferenciam e permitem suas variadas aplicações em nosso dia a dia. A distinção entre as diferentes faixas de radiação apresentadas na tabela é baseada no processo de emissão. Por exemplo, enquanto a radiação ultravioleta origina-se de transições eletrônicas nas camadas atômicas externas, os raios X associam-se a processos mais energéticos que envolvem elétrons internos. Tal sobreposição evidencia a natureza contínua do espectro eletromagnético, no qual as fronteiras classificatórias são estabelecidas por critérios de origem e finalidade.

A Figura 3.7 mostra o espectro eletromagnético conhecido, dividido e classificado de acordo com o uso principal de cada intervalo de frequências.

Até cerca de 300 GHz, é mais usual a especificação da onda eletromagnética por sua frequência. A partir disso até o final da faixa de luz visível, é mais comum especificar o comprimento de onda. Do ultravioleta em diante, é mais usual especificar o sinal eletromagnético pela energia de fóton (Ramos, 2016).

De acordo com Ramos (2016), as ondas na faixa de 3 kHz a 3 GHz são denominadas genericamente ondas de rádio e, no intervalo de 3 GHz até 300 GHz, usa-se a designação geral micro-ondas.

As ondas de rádio possuem grandes comprimentos de onda e, conseqüentemente, baixas frequências, o que lhes permite propagar-se por longas distâncias e atravessar diversos materiais de construção e obstáculos naturais. Essas faixas são especialmente utilizadas em aplicações como radiodifusão comercial, telecomunicações (incluindo telefonia móvel), sensoriamento por radar, e tecnologias industriais e militares. Para sua propagação, as

Fonte: Elaborado pelo autor, baseado em ((Ramos, 2016)).

Classificação	Faixa de frequências f (Hz)	Intervalo de comprimento de onda λ (m)	energia do fóton $E = hf = hc/\lambda$ (eV)
Raios γ	$> 5 \times 10^{19}$	$< 6 \times 10^{-12}$	$> 200 \times 10^3$
Raios X	3×10^{16} 5×10^{19}	1×10^{-8} 6×10^{-12}	124 200×10^3
Ultravioleta	$7,9 \times 10^{14}$ 3×10^{16}	380×10^{-9} 1×10^{-8}	3,26 124
Luz visível	$4,2 \times 10^{14}$ $7,9 \times 10^{14}$	$0,72 \times 10^{-6}$ 380×10^{-9}	1,72 3,26
Infravermelho	3×10^{12} $4,2 \times 10^{14}$	100×10^{-6} $0,72 \times 10^{-6}$	$1,24 \times 10^{-2}$ 1,72
Ondas milimétricas (microondas)	$0,3 \times 10^{12}$ 3×10^{12}	1×10^{-3} $0,1 \times 10^{-3}$	$1,24 \times 10^{-4}$ $1,24 \times 10^{-3}$
EHF (microondas)	30×10^9 300×10^9	1×10^{-2} $0,1 \times 10^{-2}$	$1,24 \times 10^{-4}$ $1,24 \times 10^{-3}$
SHF (microondas)	3×10^9 30×10^9	10×10^{-2} 1×10^{-2}	$1,24 \times 10^{-5}$ $1,24 \times 10^{-4}$
UHF (rádio)	$0,3 \times 10^9$ 3×10^9	1 0,1	$1,24 \times 10^{-6}$ $1,24 \times 10^{-5}$
VHF (rádio)	30×10^6 300×10^6	10 1	$1,24 \times 10^{-7}$ $1,24 \times 10^{-6}$
HF (rádio)	3×10^6 30×10^6	10^2 10	$1,24 \times 10^{-8}$ $1,24 \times 10^{-7}$
MF (rádio)	$0,3 \times 10^6$ 3×10^6	10^3 10^2	$1,24 \times 10^{-9}$ $1,24 \times 10^{-8}$
LF (rádio)	30×10^3 300×10^3	10^4 10^3	$1,24 \times 10^{-10}$ $1,24 \times 10^{-9}$
VLF (rádio)	3×10^3 30×10^3	10^5 10^4	$1,24 \times 10^{-11}$ $1,24 \times 10^{-10}$
ULF (rádio)	$0,3 \times 10^3$ 3×10^3	10^6 10^5	$1,24 \times 10^{-12}$ $1,24 \times 10^{-11}$
SLF (rádio)	30 300	10^7 10^6	$1,24 \times 10^{-13}$ $1,24 \times 10^{-12}$
ELF (rádio)	3 30	10^8 10^7	$1,24 \times 10^{-14}$ $1,24 \times 10^{-13}$

Tabela 3.1: Classificação do espectro eletromagnético de acordo com suas propriedades.

ondas de rádio necessitam de uma antena para enviar o sinal e de um receptor para captá-lo, sendo transmitidas em diferentes formatos, como AM e FM.

Na faixa de micro-ondas, as altas frequências possibilitam o transporte de um grande volume de informações, uma vez que a quantidade de dados transmitidos é proporcional à frequência. Por essa razão, as micro-ondas têm vastas aplicações na vida moderna, incluindo telefonia móvel, televisão, radares e satélites de comunicação.

Além disso, um importante mecanismo de dissipação de energia nessa faixa é a relaxa-

Fonte: (Halliday; Resnick; Walker, 2023).

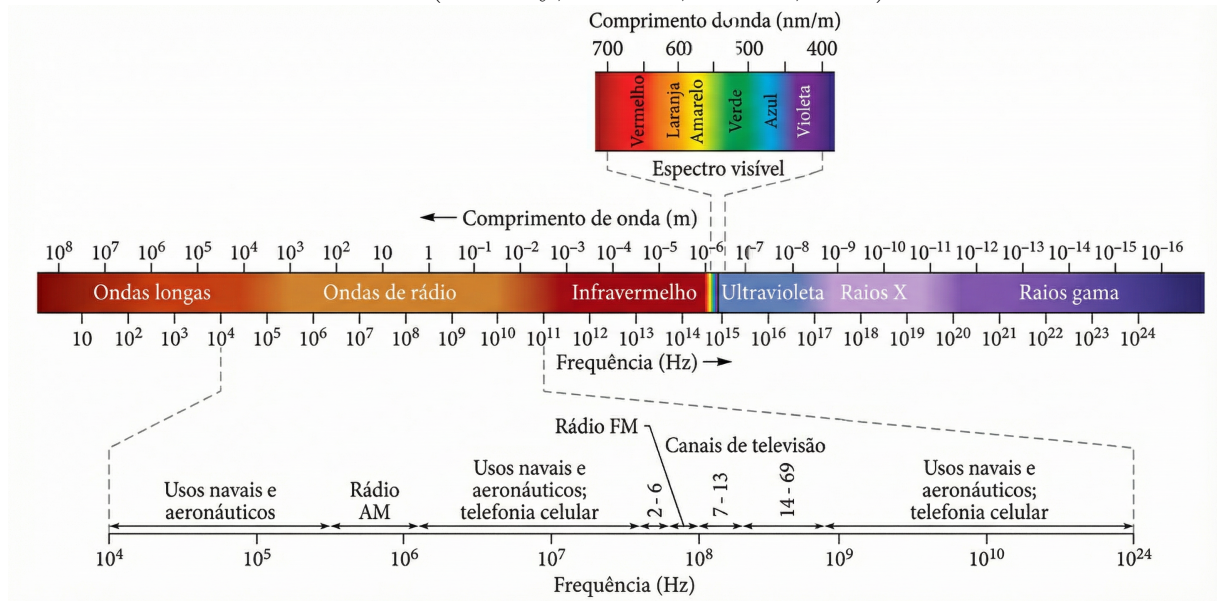


Figura 3.7: Espectro eletromagnético.

ção dipolar, que ocorre nas transições entre estados rotacionais de moléculas polares. Por serem facilmente absorvidas pelas moléculas de água, as micro-ondas também são amplamente utilizadas para aquecer e cozinhar alimentos em fornos de micro-ondas domésticos. Elas são ainda empregadas em processos químicos industriais e na secagem de materiais.

A radiação infravermelha teve sua descoberta creditada ao astrônomo inglês William Herschel em 1800, quando, ao realizar experimentos com o calor radiante do Sol, observou a existência de "raios invisíveis" além da região vermelha do espectro visível. Herschel demonstrou que esse calor radiante possuía propriedades análogas às da luz, como reflexão e refração. Essa radiação eletromagnética é caracterizada por possuir uma frequência menor do que a da luz visível (Oliveira; Silva, 2014). É gerada pelas vibrações moleculares com oscilações em cargas elétricas que constituem o átomo, por isso é também conhecida como onda de calor. Essa radiação é empregada em equipamentos de visão noturna, controles remotos e sensores de segurança, entre outras aplicações. Curiosamente, animais de hábitos noturnos, como cobras, gambás, mosquitos e mariposas, possuem olhos sensíveis aos raios infravermelhos, o que lhes permite localizar presas no escuro. Foi a partir da observação dessas habilidades que pesquisas sobre sistemas de detecção infravermelha têm avançado significativamente.

A luz visível corresponde a um estreito intervalo de comprimentos de onda de $0,38 \mu\text{m}$ a $0,72 \mu\text{m}$ no vácuo. A radiação nessa faixa de frequências é produzida, em geral, por alterações nos estados eletrônicos em átomos e moléculas. Moléculas de gases excitados por calor ou corrente elétrica e átomos em metais aquecidos a altas temperaturas são as fontes mais comuns de luz visível. As cores são o resultado da percepção humana

da radiação no espectro visível captado pelo sistema visual. O espectro visível pode ser dividido nas seguintes cores (Ramos, 2016):

- vermelho, de 622 nm a 720 nm;
- laranja, de 597 nm a 622 nm;
- amarelo, de 577 nm a 597 nm;
- verde, de 492 nm a 577 nm;
- azul, de 455 nm a 492 nm; e
- violeta, de 380 nm a 455 nm.

Ela possui variadas aplicações, incluindo a eliminação de bactérias em ambientes como salas cirúrgicas e áreas de armazenamento de produtos esterilizados. Ela é utilizada na fabricação de lâmpadas de luz negra, amplamente empregada em experimentos físicos e em efeitos visuais em boates e shows, onde causa a percepção de mudança de cores em roupas e objetos. Esse efeito é produzido por lâmpadas fluorescentes que não contêm fósforo, um material normalmente utilizado para bloquear a transmissão da radiação ultravioleta gerada pela lâmpada e convertê-la em luz branca.

A radiação ultravioleta (UV) foi descoberta em 1801 pelo físico alemão Johann Wilhelm Ritter (1776-1810). Inspirado pela descoberta do infravermelho por William Herschel no ano anterior, Ritter decidiu investigar se existia radiação além da extremidade violeta do espectro visível. Em seus experimentos, ele observou que a região do espectro situada logo após a borda violeta da luz visível era extremamente eficaz em escurecer o cloreto de prata. Ele concluiu que existia uma forma invisível de luz além do violeta, à qual denominou inicialmente "raios desoxidantes", para enfatizar sua reatividade química e diferenciá-los dos "raios caloríficos" (infravermelho) de Herschel (Ball, 2007). Essa radiação é caracterizada por energias de fóton que variam de 3,3 eV a 124 eV¹. Essa radiação possui uma alta capacidade de ionizar átomos e moléculas. A radiação solar, que contém uma parcela significativa de UV, seria letal à vida em nosso planeta se não fosse pela camada de ozônio na atmosfera, que atua como um escudo protetor, absorvendo intensamente a energia solar nessa faixa espectral. A radiação ultravioleta é subdividida em UVA, UVB e UVC, classificação baseada principalmente nos efeitos biológicos que seus diferentes comprimentos de onda provocam nos organismos vivos.

¹O elétron-volt (eV) é uma unidade de energia igual a quantidade de energia que um elétron ganha (ou perde) quando se move entre uma diferença de potencial de um volt, que equivale a aproximadamente 1.602×10^{-19} Joules (J).

A radiação UVA tem maior incidência na superfície terrestre, pois não é absorvida pela camada de ozônio. Ao atingir os seres humanos, penetra as camadas mais profundas da pele, sendo um importante causador do foto envelhecimento e predispondo ao surgimento do câncer de pele. Esse tipo de radiação está presente em doses mais elevadas nas câmaras de bronzeamento artificial do que na radiação solar natural.

A radiação UVB possui menor intensidade ao chegar à Terra, já que grande parte dela é absorvida pela camada de ozônio. A exposição a este tipo de radiação causa vermelhidão e queimaduras, pois não penetra tão profundamente na pele quanto a radiação UVA.

A radiação UVC não atinge a superfície terrestre, sendo totalmente absorvida pelo oxigênio e ozônio presentes na atmosfera. Apesar de seu alto poder de penetração, o que a torna muito nociva aos seres vivos, sua completa absorção atmosférica impede que nos afete diretamente.

Em termos de sua origem, a radiação ultravioleta é produzida em transições eletrônicas em átomos que envolvem grande variação de energia. Isso ocorre, por exemplo, quando um elétron fortemente ligado é excitado para níveis de energia maiores e depois retorna ao nível original, ou quando há recombinação entre íons e elétrons (Ramos, 2016).

Com energias de fóton que variam de 124 eV a cerca de 200 keV, os raios X são gerados principalmente pelo bombardeamento de alvos metálicos com elétrons energéticos (radiação de frenagem), comum em tubos de raios X. Sua emissão também ocorre na recombinação de átomos ionizados que envolvem elétrons fortemente ligados ao núcleo (Ramos, 2016). Possuindo um alto poder de penetração, essa radiação consegue atravessar tecidos de baixa densidade, como a carne humana, o que é fundamental para suas aplicações. Na medicina, são cruciais para o diagnóstico de fraturas e tumores por meio de radiografias e tomografias, e também são utilizados em tratamentos. No setor industrial, os raios X permitem a observação e verificação de falhas estruturais internas em objetos, além de serem essenciais na inspeção de bagagens em terminais de transporte.

Os raios gama, localizados no topo do espectro eletromagnético, destacam-se por suas energias de fóton extremas, sendo originados de transições entre estados de energia das partículas no núcleo atômico durante reações nucleares (Ramos, 2016). Essa radiação ionizante de alta energia possui elevado poder de penetração, o que, embora possa danificar células, a torna valiosa em diversas aplicações. Na medicina, é empregada na esterilização de equipamentos e no tratamento de células doentes com dosagens precisas. Na indústria, sua capacidade de aniquilar microrganismos é fundamental para a descontaminação de produtos alimentícios.

4 Aplicação do produto educacional

Conteúdo

4.1	Caracterização do público e do local de aplicação	42
4.2	Análise da aplicação do produto	42
4.2.1	Etapa 1 – Avaliação diagnóstica	42
4.2.2	Etapa 2 – Organização	50
4.2.3	Etapa 3 – Encontro dos especialistas	52
4.2.4	Etapa 4 – Retorno dos especialistas	54
4.2.5	Etapa 5 – Cruzadinha	57
4.2.6	Etapa 6 – Intervenção	62
4.2.7	Etapa 7 – Jogos	63

O produto educacional descrito no presente estudo trata de uma sequência didática, fundamentada na abordagem socioconstrutivista de Vygotsky, que integra a metodologia Jigsaw e elementos de gamificação. O objetivo da proposta é promover a compreensão do espectro eletromagnético, capacitando os alunos a compreenderem criticamente seus impactos na tecnologia, na saúde, no meio ambiente e na sociedade. A estrutura da sequência didática compreende sete aulas distribuídas em seis etapas: as cinco primeiras etapas ocupam uma aula cada, enquanto a etapa final estende-se por duas aulas, conforme detalhado na tabela 4.1.

4.1 Caracterização do público e do local de aplicação

O produto educacional foi implementado na Escola Estadual Floriano Viegas Machado, localizada em Dourados, no interior do Mato Grosso do Sul. A instituição atende aproximadamente 1300 alunos, oferecendo educação desde o sexto ano do ensino fundamental até o terceiro ano do ensino médio.

Para a aplicação do produto, foi selecionada uma turma do 3º ano do ensino médio, especificamente a turma D do turno matutino. Essa turma era composta por 27 alunos, sendo 9 meninos e 18 meninas.

4.2 Análise da aplicação do produto

A presente análise será conduzida com base nas etapas descritas na Tabela 4.1, as quais foram concebidas para promover a aprendizagem ativa e colaborativa sobre o espectro eletromagnético. A metodologia adotada fundamenta-se no referencial teórico de Vygotsky,

Etapa	Descrição das atividades
1. Avaliação diagnóstica	Os alunos respondem nove questões abertas sobre "ondas e espectro eletromagnético", com o objetivo de avaliar os conhecimentos prévios, o potencial de aprendizado e identificar lacunas conceituais para direcionar a mediação pedagógica de forma eficaz.
2. Organização	Organização dos os grupos-base, que serão compostos por sete alunos cada. Estes alunos passam a ser denominados especialistas, responsáveis por uma faixa específica (subtópico) do espectro eletromagnético. Em seguida, os especialistas iniciam o estudo individual aprofundado com diversos recursos pedagógicos e apoio do professor.
3. Encontro dos especialistas	Grupos de especialistas se reúnem para aprofundar o aprendizado por meio de discussão, levantamento de dúvidas e debates. Ao final, cada grupo produz um documento de apoio que sintetiza o conhecimento construído coletivamente para a próxima aula.
4. Retorno dos especialistas	Os especialistas retornam aos seus grupos-base para ensinar seus subtópicos aos colegas, utilizando material de apoio e com o professor atuando como mediador para garantir a compreensão integral do tema central por todos.
5. Cruzadinha	Os integrantes dos grupos-base respondem de forma colaborativa a cruzadinha.
6. Intervenção	Mediação e reconstrução de conhecimentos por meio da de revisão colaborativa em roda. A professora identifica as dificuldades da turma e conduz uma discussão orientada para responder coletivamente às questões em branco ou respondidas erradamente na cruzadinha, sanando as dúvidas do processo.
7. Jogos	Aplicação dos jogos de memória e quiz.

Tabela 4.1: Descrição das atividades desenvolvidas em cada etapa da sequência didática.

utilizando conceitos como a interação social e a ZDP para a interpretação dos resultados observados. A análise seguirá a estrutura da sequência didática. Inicialmente, será apresentada a análise das respostas da avaliação diagnóstica. Em seguida, será examinada a reunião dos grupos de especialistas, responsáveis por estudar e aprofundar conhecimentos sobre faixas específicas do espectro. Logo após, será analisado o retorno desses especialistas aos seus grupos-base. Posteriormente, serão discutidas as lacunas de conhecimento identificadas na aplicação da atividade da cruzadinha, bem como a intervenção pedagógica realizada em sala de aula. Por fim, será analisada a aplicação dos jogos como ferramenta de consolidação. Cada uma dessas etapas será examinada em detalhe, com o

objetivo de analisar a participação dos alunos, a eficácia da mediação docente e o impacto da metodologia na construção do conhecimento.

4.2.1 Etapa 1 – Avaliação diagnóstica

Na perspectiva de Vygotsky, o processo de construção do conhecimento ocorre em diferentes níveis de consciência, tendo como bases desse desenvolvimento o conceito espontâneo e o conceito científico. O conceito espontâneo, característico de um estágio não consciente, é aquele em que o indivíduo utiliza ideias e palavras de seu cotidiano, provenientes de experiências concretas. Em contraste, o conceito científico está associado ao pensamento consciente e ao domínio deliberado, constituindo um sistema hierárquico de conexões que leva o sujeito a tomar consciência de seus próprios processos mentais.

Segundo Vigotski (2001, p. 347), “o desenvolvimento dos conceitos espontâneos da criança deve atingir certo nível para que ela possa apreender os conceitos científicos” O autor esclarece a dinâmica entre esses conceitos da seguinte forma:

Para efeito de clareza, poderíamos conceber esquematicamente o caminho do desenvolvimento dos conceitos espontâneos e científicos da criança sob a forma de duas linhas de sentidos opostos, uma das quais se projetando de cima para baixo, atingindo um determinado nível no ponto em que a outra se aproxima ao fazer o movimento de baixo para cima. Se designássemos convencionalmente como inferiores as propriedades do conceito mais simples, mais elementares, que amadurecem mais cedo, designando como superiores aquelas propriedades mais complexas, vinculadas à tomada de consciência e à arbitrariedade e que se desenvolvem mais tarde, poderíamos dizer convencionalmente que o conceito espontâneo da criança se desenvolve de baixo para cima, das propriedades mais elementares e inferiores às superiores, ao passo que os conceitos científicos se desenvolvem de cima para baixo, das propriedades mais complexas e superiores para as mais elementares e inferiores. Esta diferença está vinculada à referida relação distinta dos conceitos científico e espontâneo com o objeto. (Vigotski, 2001, p. 347).

A transição entre esses dois conceitos ocorre na Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) e depende do amadurecimento dos conceitos espontâneos. É nesse espaço que a colaboração sistemática entre o aluno e um mediador mais experiente permite que os conceitos científicos se conectem aos espontâneos, impulsionando o desenvolvimento cognitivo (Castro, 2019). Sem essa mediação, o ensino formal pode resultar em uma “assimilação vazia de palavras, um verbalismo puro e simples que esconde o vazio” (Vigotski, 2001, p. 247).

As teorias de Vygotsky, portanto, oferecem um caminho para que os professores promovam o desenvolvimento intelectual dos alunos. Ao reconhecer e trabalhar os conceitos espontâneos que os estudantes trazem de suas vivências, o educador pode mediar a transição do conhecimento cotidiano para o pensamento científico, que é mais estruturado e

sistemático.

Na escola estadual onde o produto educacional foi implementado, o conteúdo de ondas é ministrado no início do 1º bimestre nas turmas de 3º ano do Ensino Médio. A avaliação diagnóstica, composta por nove questões abertas, foi aplicada em 14 de março de 2024, com duração de uma aula, momento registrado na Figura 4.1.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.



Figura 4.1: Estudantes realizando a avaliação diagnóstica.

O objetivo principal dessa avaliação foi mapear e compreender as concepções espontâneas dos alunos a respeito do tema antes da exposição formal dos conteúdos em sala de aula, além de identificar as lacunas e as zonas de desenvolvimento em que a mediação pedagógica poderia ser mais eficaz. Especificamente, buscou-se identificar os conhecimentos dos estudantes sobre: (i) a definição, tipologia, propriedades físicas, aplicações e contextos de manifestação das ondas; (ii) o conceito, a origem e os efeitos da radiação no cotidiano; e (iii) as noções que possuíam sobre o espectro eletromagnético, tema central do produto educacional desenvolvido.

A análise das respostas oferece elementos para que o professor reflita sobre os conhecimentos prévios dos alunos, fornecendo subsídios para a elaboração de estratégias pedagógicas direcionadas. Tais estratégias foram planejadas com o objetivo de promover o avanço dos alunos em sua ZDP, partindo de seus conceitos espontâneos para a construção do conhecimento científico.

Q1: O que é uma onda? e Q3: Quais tipos de ondas você conhece?

As respostas iniciais, apresentadas na Figura 4.2, evidenciam alguns conceitos espontâneos, nos quais os estudantes associam o fenômeno ondulatório quase que exclusivamente ao mar e a experiências sensoriais diretas. O uso de termos como “agitação”, “mar” e “movimentos de sobe e desce”, acompanhados de representações visuais de ondas do mar, evidencia que o conhecimento prévio da turma está ancorado em contextos cotidianos. Essa verificação demonstra a necessidade de uma mediação pedagógica intencional, que atue na ZDP do aluno, levando-o do nível de desenvolvimento real (o que ele já sabe sobre o mar) para o nível de desenvolvimento potencial (o conceito físico de onda).

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

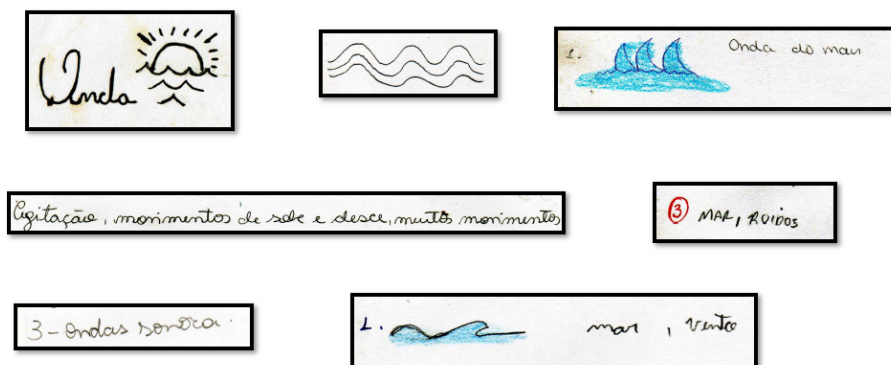


Figura 4.2: Respostas dos alunos das questões 1 e 3 da Avaliação Diagnóstica - (A)

Como mostra a Figura 4.3 algumas respostas já indicavam uma transição para conceitos mais formais e um potencial de desenvolvimento para a compreensão científica. Termos como “linhas oscilantes”, “Perturbações oscilantes que se propagam... não transporta massa, só energia”, “vibrações”, “frequência” e a menção a “ondas magnéticas”, “eletromagnéticas” e “luminosa”, mesmo que de forma isolada ou por familiaridade com o termo, sinalizam um início de sistematização. Esse discernimento entre o que já é conhecido e o que está em formação é essencial para o objetivo de compreender o conceito de onda e diferenciar ondas mecânicas e eletromagnéticas, permitindo que a mediação pedagógica parta da vivência para a abstração científica.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

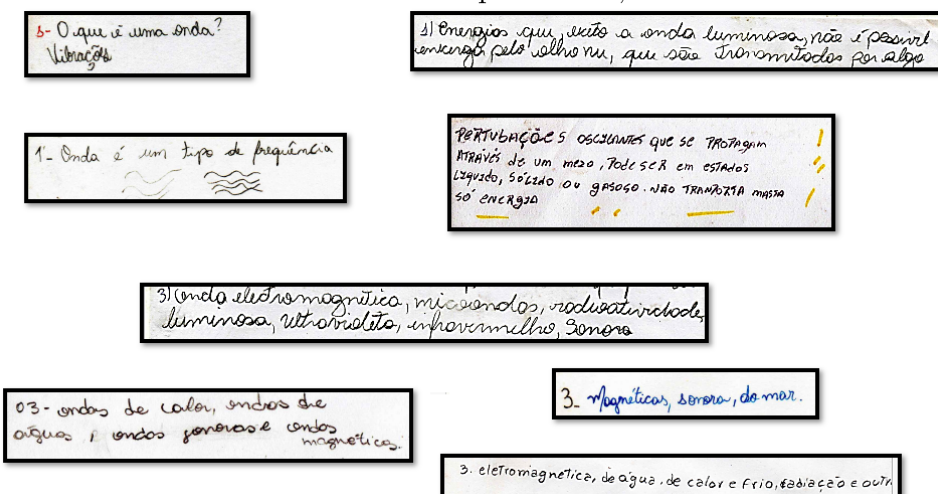


Figura 4.3: Respostas dos alunos das questões 1 e 3 da Avaliação Diagnóstica - (B)

Q2: Que características ela deve ter?

Como mostra a Figura 4.4, ao serem questionados sobre as características das ondas, as respostas evidenciaram a dificuldade de muitos alunos em desvincular o conceito de onda do seu meio de propagação mais familiar, o mar. Respostas como “é molhada, é sal-

gada” e “Maré, azul, mar, salgado” reforçam essa ligação com o elemento água. Contudo, a presença de termos como “oscilações”, “comprimento e frequência” e “altura, comprimento”, verificada nas respostas de três alunos, revela um nível de desenvolvimento real em que alguns alunos já conseguem identificar propriedades físicas abstratas associadas às ondas.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

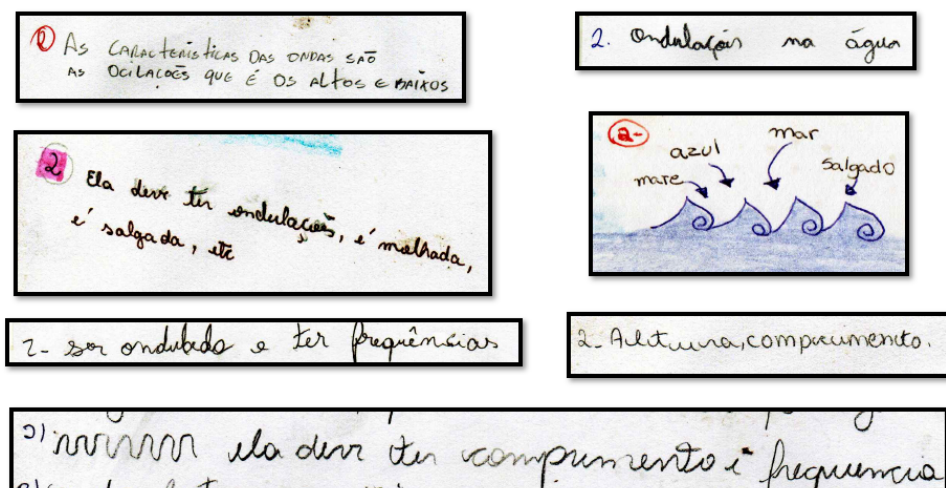


Figura 4.4: Respostas dos alunos da questão 2 da Avaliação Diagnóstica.

Esse resultado é fundamental para o objetivo de compreender grandezas físicas associadas às ondas, como: o comprimento, a frequência, a amplitude e o período de uma onda. A ZDP, nesse caso, residiria em auxiliar os alunos a generalizar essas características para além das ondas aquáticas, aplicando-as a diversos tipos de ondas por meio da mediação linguística e simbólica.

Q4: Cite lugares e situações nos quais você tenha visto algo ligado a ondas. e

Q5: Cite aplicações tecnológicas que você já tenha visto que tenha relação com ondas.

A Figura 4.5 mostra as respostas às questões sobre “lugares e situações” e “aplicações tecnológicas” relacionadas a ondas são ricas em exemplos do cotidiano, demonstrando a forte influência do contexto social e cultural no conhecimento dos alunos. Foram citados desde fenômenos naturais como “praia” e “rio”, até tecnologias amplamente utilizadas como “celular”, “rádio”, “micro-ondas”, “Wi-fi”, “TV” e “raios X” em “hospital”. A diversidade dessas menções sublinha a premissa vygotskyana de que a aprendizagem e o desenvolvimento emergem das interações sociais (Vygotsky, 2007).

Essas respostas indicam os conceitos espontâneos sobre a presença das ondas no ambiente, fornecendo um ponto de partida valioso para a mediação pedagógica. A conexão entre essas experiências práticas, como o uso do micro-ondas ou do celular, e os conceitos científicos permite uma apropriação mais efetiva do conhecimento. A ZDP é ativada

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

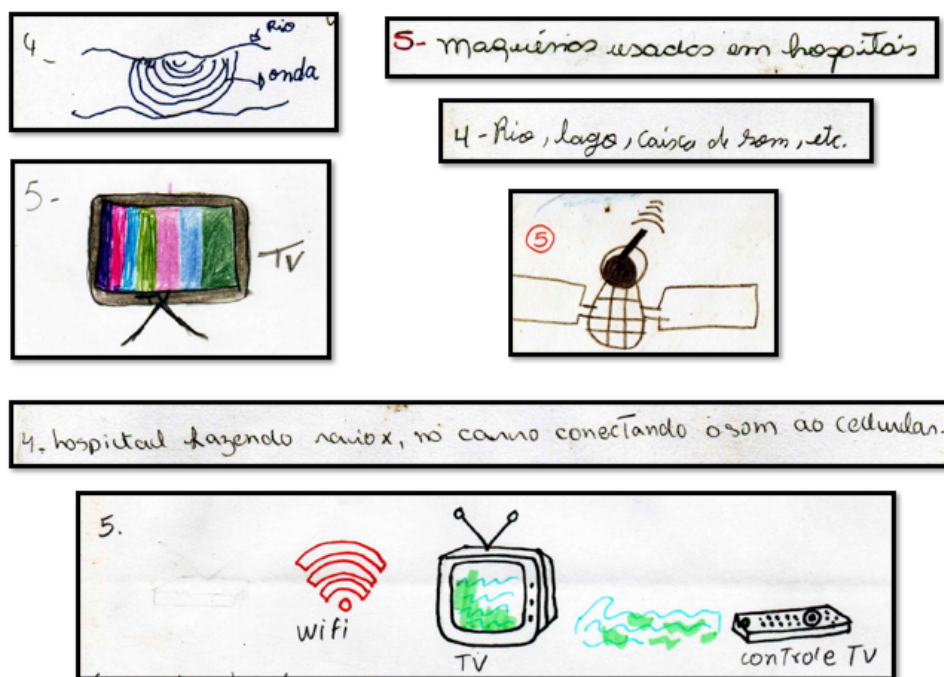


Figura 4.5: Respostas dos alunos das questões 4 e 5 da Avaliação Diagnóstica.

quando o professor utiliza esses exemplos familiares como pontes para introduzir a terminologia e as propriedades das diferentes faixas do espectro eletromagnético, transformando o conhecimento cotidiano em compreensão científica estruturada sobre como as radiações eletromagnéticas se distribuem e se comportam no espectro.

Q6: O que é radiação? e Q7: De onde a radiação se origina?

Conforme ilustrado na Figura 4.6, as respostas sobre “radiação” e sua “origem” revelaram um conhecimento marcadamente influenciado por informações do senso comum e da mídia, frequentemente associando o termo a “Perigo”, “tóxico”, “Chernobyl” e “câncer”. Esse caráter emocional e socialmente mediado do conhecimento sobre radiação exemplifica os conceitos cotidianos dos alunos. Contudo, algumas respostas indicaram um início de compreensão mais científica, mencionando “Energia que o átomo instável libera”, “elementos químicos”, “Núcleo do átomo” e fontes como “Radiação solar” e “Raios gama”.

Esses indícios de conceitos científicos demonstram o desenvolvimento real dos estudantes e representam um ponto de partida para a ZDP. Para a compreensão das diferentes fontes de radiações, incluindo radiações ionizantes e não ionizantes, a mediação será crucial. A partir dessas concepções pré-existentes, por vezes carregadas de medo, foi necessário introduzir uma visão mais fundamentada cientificamente sobre o tema, promovendo a distinção entre os tipos e fontes de radiação, bem como os mecanismos pelos quais elas interagem com a matéria.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

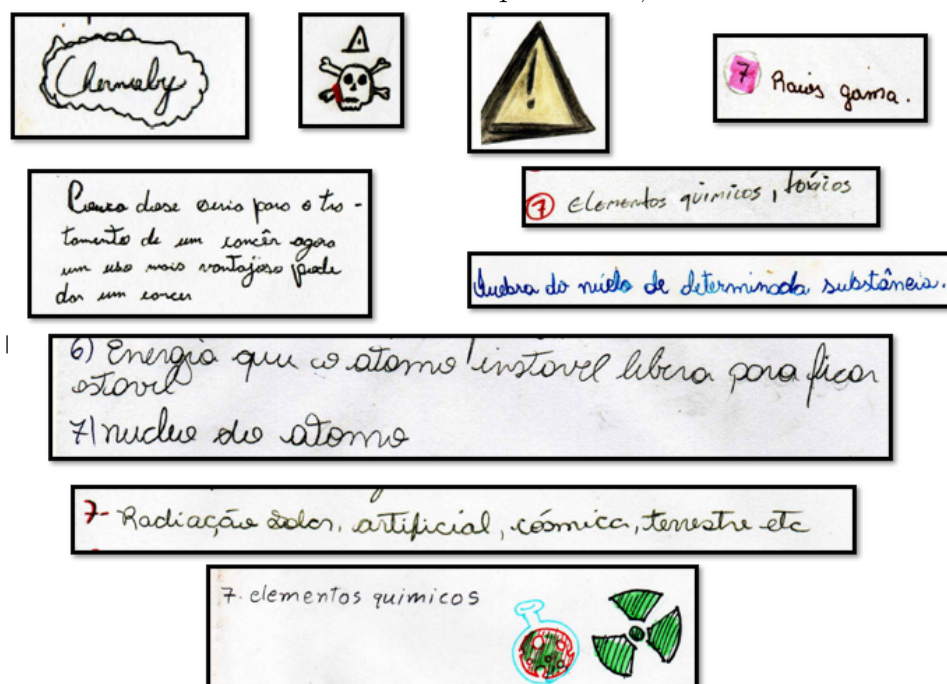


Figura 4.6: Respostas dos alunos das questões 6 e 7 da Avaliação Diagnóstica

Q8: Ela é benéfica ou prejudicial para os seres humanos?

As respostas a essa pergunta mostraram que os alunos têm uma visão mais completa, percebendo que ela pode ter vários efeitos nas pessoas. A maioria dos alunos, conforme mostra a Figura 4.7, indicou que a radiação “pode ser ambas, boa e ruim dependendo do objetivo” ou “Depende da quantidade”. Exemplos como o uso em “tratamento de câncer” (quimioterapia, raio X) e em “aparelhos médicos” foram frequentemente citados como benéficos, enquanto a “grande quantidade” e a associação a “Chernobyl” foram ligadas a efeitos prejudiciais. A menção de “banana tem radiação” por dois alunos sugere um conhecimento mais aprofundado, que pode ser explorado como um ponto de conexão para o conceito de radiação natural.

Sob a ótica vygotskyana, essas respostas indicam que, com a devida mediação, os alunos estão prontos para aprofundar a compreensão sobre os diferentes tipos de radiação, seus níveis de energia e as interações específicas com a matéria (objetivo de compreender de que forma as radiações interagem com a matéria). O professor pode utilizar essas concepções para construir uma visão mais completa, diferenciando radiações ionizantes e não ionizantes e discutindo seus usos seguros e riscos associados.

Q9: O que você sabe sobre espectro eletromagnético?

As respostas da questão “O que você sabe sobre espectro eletromagnético?”, como mostra a Figura 4.8, revelaram ser o conceito mais distante do nível de desenvolvimento

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

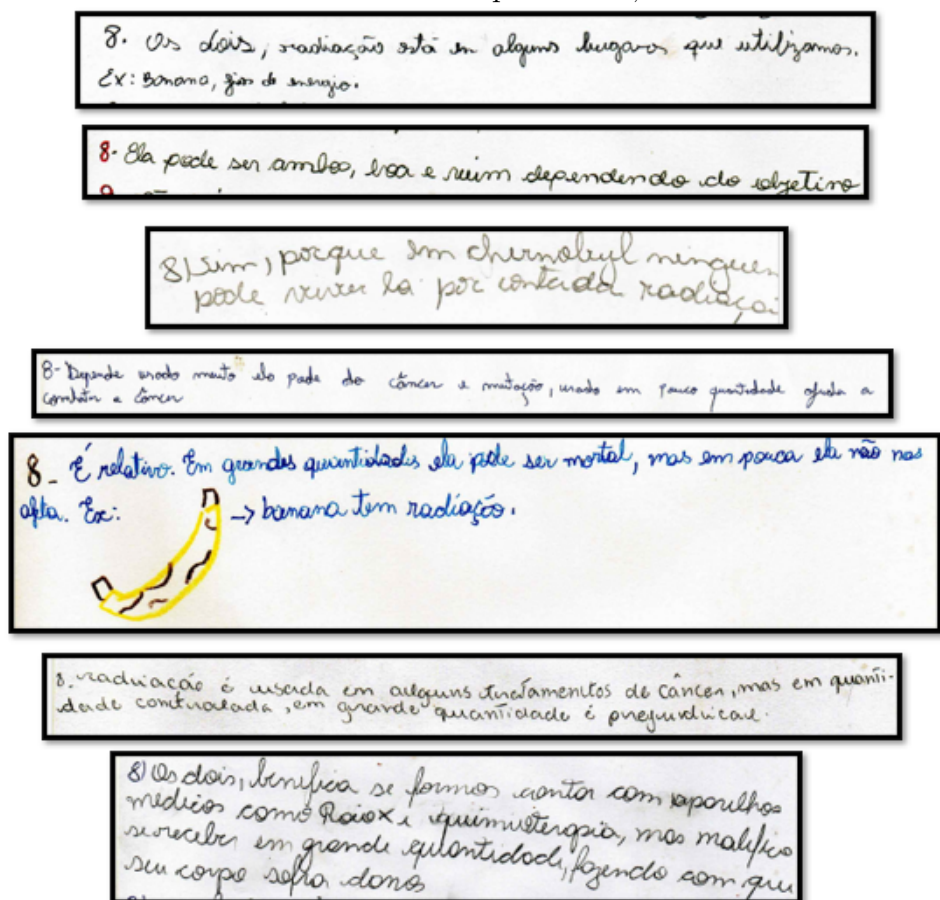


Figura 4.7: Respostas dos alunos da questão 8 da Avaliação Diagnóstica.

real dos alunos. Cerca de 15 alunos responderam “Não sei” ou “Nunca ouvi falar”. Das respostas fornecidas, 13 alunos tentaram construir alguma associação, ligando o termo a “imã”, “campos eletromagnéticos”, “eletricidade e energia”, indicando uma fragmentação ou intuição sobre componentes, mas não sobre o conceito abrangente.

Nesta área, os indícios de uma ZDP mais ampla sugerem que a mediação pedagógica assume um papel central. Considerando que os estudantes demonstram um conhecimento isolado sobre tecnologias como Wi-Fi, luz e micro-ondas, conforme identificado nas respostas a Q4 e Q5, esta dissertação tem como um dos objetivos estruturar esse conhecimento de forma sistemática. Para isso, propõe-se uma sequência didática baseada em atividades colaborativas e jogos, que visa ir além da simples identificação e classificação das radiações. Ela busca desenvolver nos alunos a capacidade de compreender a interação das ondas eletromagnéticas com a matéria e de analisar criticamente sua influência em contextos relevantes como a saúde, o meio ambiente e a sociedade.

Após a aplicação da Avaliação Diagnóstica, o conteúdo de ondas foi ministrado de forma expositiva e dialogada, abordando seu conceito, as propriedades físicas e características. Contudo, a organização semestral, estabelecida pela Secretaria de Estado de

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

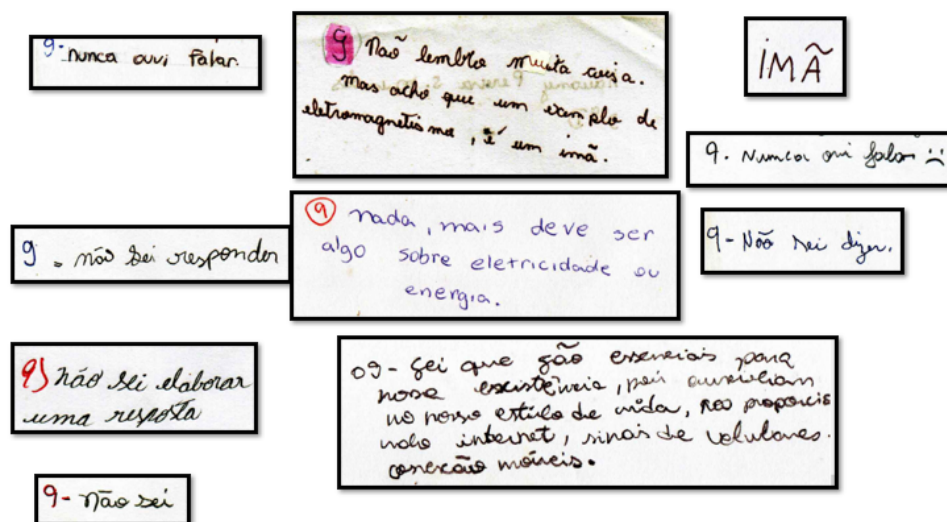


Figura 4.8: Respostas dos alunos da questão 9 da Avaliação Disgnóstica.

Educação e escola, inviabilizou a aplicação do produto educacional no mesmo período. Dessa forma, sua implementação ocorreu apenas no início do segundo semestre.

Como houve um intervalo de tempo entre o estudo inicial da ondulatória e a aplicação do produto, tornou-se necessário revisar os conceitos fundamentais de ondas, assegurando a compreensão dos tópicos subsequente do espectro eletromagnético. Essa etapa incluiu a exploração detalhada das definições primárias, das diversas classificações (como ondas mecânicas e eletromagnéticas, transversais e longitudinais), e das características essenciais que as descrevem (como velocidade, amplitude, frequência, comprimento de onda e período). A professora conduziu essa revisão utilizando uma combinação de meios de apoio visuais e dinâmicos, empregando slides para apresentar o conteúdo, simulações e o quadro branco para ilustrar exemplos, resolver questões e facilitar a interação com os alunos, garantindo a assimilação dos elementos teóricos fundamentais.

4.2.2 Etapa 2 – Organização

A Etapa 2 foi organizada em duas fases sucessivas. Na primeira, ocorreu a organização da turma, que foi dividida em quatro Grupos-base (G1, G2, G3 e G4), cada um composto de 7 alunos, conforme ilustra Figura 4.9. Cada integrante do grupo-base passou a ser denominado Especialista. O tema Espectro Eletromagnético foi dividido em sete subtópicos: ondas de rádio (Especialista 1); micro-ondas (Especialista 2); infravermelho (Especialista 3); espectro visível (Especialista 4); ultravioleta (Especialista 5); raio X (Especialista 6) e raio gama (Especialista 7).

Na segunda fase, os especialistas dedicaram-se ao aprofundamento individual de seu

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

Grupos-bases

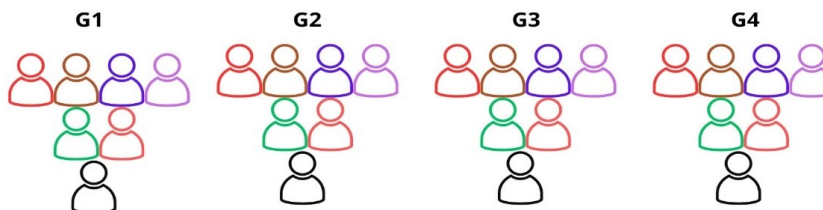


Figura 4.9: Formação dos grupos-bases

subtópico, contando com diversos recursos pedagógicos e tecnológicos, como livro didático, material complementar elaborado pela professora e disponibilizado no drive da turma, além de internet e dispositivos móveis, sempre sob orientação contínua da professora. O material encontra-se no disponível em [Material complementar](#).

A construção dos materiais dos especialistas é uma etapa fundamental para o desenvolvimento das interações no método Jigsaw. Esses materiais não devem apenas apresentar informações superficiais ou “curiosidades”, esses recursos visam potencializar a explicitação do raciocínio e o confronto de dados pelo estudante, buscando criar condições para a construção do conhecimento e evitando a fragmentação do conteúdo ou a dependência improdutiva entre os pares. Nesse sentido, a qualidade das trocas no grupo-base pode ser significativamente influenciada pelo planejamento dessas fontes, embora o sucesso da estratégia dependa da mediação contínua e da natureza das tarefas propostas. (De Oliveira, 2026).

É importante destacar que o material complementar utilizado pelos especialistas nesta sequência didática foi elaborado levando em consideração as respostas dos alunos na avaliação diagnóstica. Esse material funciona como um instrumento de mediação, pois foi pensado a partir de alguns conceitos espontâneos que os estudantes possuíam e, por meio da mediação entre pares e do professor, busca transformá-los gradualmente em conceitos científicos, atuando diretamente na Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP), conforme proposto por Vygotsky.

O material está organizado de forma lógica e progressiva. Inicia-se com uma introdução geral que define radiação e diferencia seus tipos, estabelecendo sua classificação dentro do espectro eletromagnético e mostrando a relação entre frequência, comprimento de onda e energia nas diferentes faixas do espectro eletromagnético, bem como a explicação de cada faixa. Sendo elaborado com linguagem acessível e direta, facilitando a compreensão por parte dos alunos. Buscou-se explorar as especificidades de cada tipo de

radiação, permitindo uma construção sistemática do conhecimento. Cada tipo de radiação é contextualizado por meio de suas aplicações no cotidiano do aluno, abrangendo áreas como tecnologia, saúde, segurança e astronomia, o que mostra como a teoria funciona na prática. Os recursos pedagógicos são variados e complementares, incluindo fotografias, esquemas, tabelas informativas, gráficos, links e simulações que potencializam a compreensão visual e interativa do conteúdo.

A avaliação desta fase foi estruturada como um processo de observação qualitativa, buscando não apenas verificar o cumprimento de tarefas, mas compreender como os estudantes se apropriam dos novos conceitos de Física. Ao circular pela sala e atuar como mediadora, a análise se concentrou em dois eixos que refletem a evolução cognitiva e a participação dos alunos.

No primeiro eixo, observou-se como cada estudante assumiu seu papel de especialista. A análise foi além da simples leitura do material, focando na proatividade em buscar informações complementares e na capacidade de formular perguntas pertinentes. Essa observação é fundamental para identificar se o aluno apenas recebe informações ou se age como protagonista de sua aprendizagem, utilizando os recursos tecnológicos e o material complementar para construir sua base de conhecimento.

Em segundo lugar, analisou-se a capacidade de organização do conteúdo por parte dos especialistas. Verificou-se se eles conseguiam sintetizar as informações e preparar uma estrutura lógica de pensamento, o que é um indicativo do amadurecimento das funções psicológicas superiores e da preparação necessária para a fase de colaboração entre pares.

4.2.3 Etapa 3 – Encontro dos especialistas

As etapas 3 e 4 da sequência didática foram implementadas em dias de aula não consecutivos. Devido à grade horária da disciplina de Física na escola onde o produto educacional foi aplicado, que estabelecia aulas às terças e quintas-feiras, não foi possível a aplicação da metodologia em um único dia.

Nesta aula, como mostra a figura 4.10, os grupos de especialistas se reuniram para trocar informações e debater os subtópicos. Essa interação social, fundamentada na teoria de Vygotsky, é essencial para construção do conhecimento. Ao trocarem informações, os alunos utilizam a linguagem como ferramenta de mediação para atuar na ZDP uns dos outros, alcançando uma compreensão mais ampla de seu subtópico do que conseguiriam individualmente. O objetivo era preparar os alunos para que pudessem compartilhar o conhecimento de forma eficaz com seus colegas nos grupos-base, além de promover o

desenvolvimento de funções psicológicas superiores, como planejamento e a organização do conteúdo a ser ensinado.

Durante a etapa, a professora circulou entre os grupos, questionando e esclarecendo dúvidas, assumindo o papel de mediadora e facilitando a internalização dos conceitos discutidos. Conforme apontado por Pereira (2020), cabe ao professor intervir de maneira a potencializar a aprendizagem, incentivando o diálogo e a interação entre os estudantes para promover a troca de conhecimentos. Com essa mediação, ideias antes não expressas podem surgir e ser socializadas no momento em que os alunos colaboram entre si.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.



Figura 4.10: Reunião dos especialistas.

A ausência de alguns alunos nesse dia provocou um impacto na dinâmica dos grupos de especialistas, levando a uma redução drástica no número de participantes em certas equipes. Por exemplo, o grupo responsável pelo subtópico “Raio Gama” contava com apenas dois alunos, enquanto o do “Espectro Visível” tinha somente um. Essa diminuição de participantes afetou diretamente o potencial de interação social, pilar fundamental da teoria de Vygotsky. Para ele, a aprendizagem ocorre de forma mais eficaz dentro da ZDP, espaço onde o aluno, com a ajuda de um “mais experiente”, consegue realizar tarefas que sozinho não conseguiria. Grupos muito pequenos limitam consideravelmente as oportunidades de trocas de ideias, questionamento mútuo e construção conjunta de significado, elementos essenciais para que os alunos auxiliem uns aos outros a transpor suas ZDPs.

No primeiro aspecto dessa análise qualitativa, observou-se a colaboração entre os pares e a qualidade das discussões, verificando se os alunos estavam ativamente engajados na trocas de ideias e na construção conjunta do conhecimento. Esse processo colaborativo é essencial para identificar se os estudantes operam dentro de sua ZDP, onde o aprendizado é otimizado mediante a interação com colegas mais experiente, aprofundando a compreensão do tema. Em segundo lugar, analisou-se se os alunos estava apenas reproduzindo informações mecanicamente ou se estavam reelaborando o conhecimento, utilizando a linguagem como ferramenta para articular ideias e construir significados científicos. A

capacidade de internalizar e reestruturar o conteúdo em conjunto reflete a eficiência da mediação social, indicando uma compreensão do conteúdo.

Observou-se também que alguns alunos não estavam ativamente envolvidos na discussão do tema entre si, direcionando sua atenção apenas quando a professora passava pelos grupos. A menor participação observada em alguns momentos pode ter limitado as oportunidades de troca, interferindo na dinâmica de internalização que a interação social proporciona. Esse processo, segundo Vygotsky, é construído essencialmente por meio da fala social e da troca de ideias entre os alunos. A aprendizagem ocorre dentro da ZDP e, para que o aluno avance, a interação é essencial.

A dependência da presença da professora para que a atenção e, conseqüentemente, a atividade cognitiva se manifestassem, indica que a autonomia e a capacidade de autorregulação dos grupos, mediadas pelos próprios pares, não estavam plenamente desenvolvidas. Em vez de construírem o conhecimento de forma autônoma e proativa, os grupos só davam continuidade ao aprendizado com a aproximação da professora. Diante desse contexto, a intervenção da professora durante o desenvolvimento da etapa foi fundamental, pois se alinha com o papel do “mais experiente” ou “mediador” na teoria de Vygotsky, fornecendo suporte necessário para alavancar a atividade cognitiva, transformando a dependência inicial em um processo de internalização. Ao questionar e sanar dúvidas, ela estava fornecendo o suporte necessário para que os alunos navegassem pela ZDP. Sua presença e perguntas impulsionaram a discussão e a reflexão, evidenciando que, mesmo em uma metodologia que visa a autonomia do aluno, a mediação qualificada do professor é indispensável para guiar a construção do conhecimento e garantir que os objetivos de aprendizagem sejam atingidos.

Ao final da aula, foi solicitado aos grupos de especialistas que elaborassem um material de apoio sobre a faixa do espectro eletromagnético estudada, abordando suas principais características, fontes emissoras, aplicações tecnológicas e de que forma ela interage com a matéria. A qualidade do planejamento e organização do conteúdo neste material de apoio produzido pelo grupo foi avaliada, pois este material é uma ferramenta de mediação que os especialistas utilizarão para transmitir o conhecimento aos grupos-base, e sua qualidade reflete a compreensão coletiva e a capacidade de transformar informações complexas em algo acessível aos seus colegas.

Na perspectiva de Vygotsky, essa tarefa exigiu que os alunos mobilizassem de forma intencional o planejamento e a organização do conteúdo para sintetizar a discussão, além de possibilitar a criação de seus próprios instrumentos e signos (textos, esquemas, diagramas) para organizar e registrar o conhecimento construído em conjunto. Este material serviu como instrumento mediador que auxiliou na consolidação do saber dos próprios especialistas e se tornou uma ferramenta para a socialização e mediação do conhecimento

nos grupos-base. Estas observações permitiram identificar as necessidades de intervenção, oferecendo suporte imediato aos grupos estavam enfrentando dificuldades de compreensão ou de dinâmica.

4.2.4 Etapa 4 – Retorno dos especialistas

Nessa aula, após estudos, leitura e discussões nos grupos de especialistas, os alunos retornam aos seus respectivos grupos-base. Esse retorno marcou uma nova fase no processo de mediação, na qual cada especialista, portando uma cópia do material de apoio elaborado na etapa anterior, assumiu o papel "parceiro mais experiente" e mediador do conhecimento para seus colegas, conforme registrado na Figura 4.11.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.



Figura 4.11: Retorno dos especialistas aos grupos-bases.

Ao explorarem os conhecimentos adquiridos, eles criam uma Zona de Desenvolvimento Proximal ZDP. Nesse espaço de colaboração e interação social, o conhecimento é compartilhado, permitindo que os demais membros do grupo-base internalizem o mesmo pela própria mediação, transformando-o em desenvolvimento cognitivo.

A avaliação dessa etapa foi estruturada como um processo qualitativo, centrado na análise das mediações que ocorreram dentro da ZDP. Durante essa fase, observou-se se os especialistas estavam desempenhando efetivamente o papel de parceiro mais experiente, utilizando o material de apoio elaborado anteriormente para socializar o conhecimento com seus colegas. O foco da observação recaiu sobre a capacidade do especialista em compartilhar seu subtópico de forma que o grupo construísse uma visão sistêmica e integral de todo o espectro eletromagnético, o que caracterizou a interdependência positiva e a responsabilidade individual e coletiva. Um critério utilizado nesse acompanhamento foi

a verificação da qualidade da linguagem utilizada pelos alunos, buscando identificar se eles estavam reelaborando os conceitos científicos ou apenas reproduzindo informações de forma mecânica. Essa distinção permitiu ao professor avaliar o nível de internalização do conteúdo e como a mediação social estava sendo transformada em desenvolvimento cognitivo. Além disso, a avaliação contemplou a autonomia e a autorregulação do grupo, observando se os estudantes mantiveram o foco nas discussões de maneira proativa ou se ainda apresentaram uma dependência excessiva da presença do professor para iniciar e manter a troca de ideias.

A implementação da metodologia Jigsaw não está isenta de desafios práticos em contextos educacionais reais. Na rede pública estadual de Mato Grosso do Sul, por exemplo, a disciplina de Física conta com apenas duas aulas semanais, frequentemente distribuídas em dias diferentes, como observado na turma onde a metodologia foi implementada. Essa fragmentação da carga horária pode ocasionar a ausência de alunos, o que, por sua vez, agrava um dos principais obstáculos inerentes ao método Jigsaw: a potencial fragmentação do conteúdo. Conforme apontado por de Oliveira (2026), a não integração adequada das informações divididas entre os grupos, ao retornarem ao grupo original, pode resultar em uma compreensão superficial ou desconexa do tema, exigindo um planejamento pedagógico detalhado para mitigar tais dificuldades.

No âmbito social, a dinâmica pode ser comprometida pela desigualdade na participação. Isso se manifesta no “efeito carona”, por meio do qual alguns alunos se beneficiam do esforço alheio sem contribuir ativamente, ou pela emergência de líderes dominantes que monopolizam a atividade e inibem a expressão dos colegas. Além disso, a timidez e o receio de cometer erros persistem como barreiras para certos estudantes, dificultando a interação entre pares e a exposição de suas ideias (Miranda, 2025).

Do ponto de vista do docente, o método demanda um elevado investimento em planejamento e a elaboração de materiais de apoio extremamente bem estruturados. Além disso, o tempo de aula necessário para sua aplicação frequentemente colide com a rigidez do sistema escolar tradicional e a extensão dos currículos. Por fim, a resistência à mudança e a familiaridade de alunos e professores com o modelo de ensino expositivo podem levar os estudantes a encarar a atividade como mero “passatempo”, o que reduz o engajamento cognitivo essencial para a construção efetiva do conhecimento (Miranda, 2025; De Oliveira, 2026; Gama; Santos; Queiroz, 2020).

Essa falta de assiduidade comprometeu o desenvolvimento do trabalho. Na fase de reagrupamento dos grupos-base, os Grupos G1 e G2 mantiveram sua composição de 7 alunos cada, enquanto o Grupo G3 contava com quatro participantes e o Grupo G4 com cinco. É importante ressaltar que alguns especialistas do Grupo G3 já não haviam participado das discussões da Etapa 3, o que comprometeu a situação desse grupo em

particular.

A composição reduzida de um grupo impacta diretamente a Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP). Menos participantes significam menos "pares mais experientes" para mediar a aprendizagem e, conseqüentemente, menos oportunidades para trocas de ideias, questionamento mútuo e a construção conjunta de significado. Esses elementos são essenciais para que os alunos consigam auxiliar uns aos outros a avançar em suas ZDPs.

Durante o desenvolvimento da aula, as diferenças de participação dos grupos foram notáveis. Os Grupos G1 e G2 demonstraram alto envolvimento, com cada especialista explicando ativamente o conteúdo aos colegas e sendo os que mais buscaram esclarecimentos com a professora. Esse comportamento reflete o princípio de Vygotsky de que a linguagem e a interação social são ferramentas essenciais para a internalização do conhecimento (Moura *et al.*, 2024). A capacidade desses grupos de formular perguntas e buscar refinar o entendimento indica que estavam operando ativamente em suas ZDPs. Em contrapartida, percebeu-se que os integrantes do Grupo G3 apresentavam um conhecimento superficial sobre os conteúdos. Essa lacuna é uma consequência da inconsistência na participação e da possível falta de uma mediação efetiva entre os membros.

Diante desse problema, a atuação da professora tornou-se fundamental. A ausência de um membro do grupo Jigsaw representa uma lacuna que pode comprometer a construção coletiva do conhecimento. Para superá-la, professora posicionou-se como especialista substituta nos grupos desfalcados, preenchendo a lacuna de conhecimento deixada pelo aluno ausente e oferecendo suporte para guiar os alunos em suas ZDPs, conforme conceituado por Vygotsky. Essa mediação pedagógica permitiu que os grupos, mesmo incompletos, pudessem progredir na construção do conhecimento, transformando um potencial obstáculo em uma oportunidade de aprendizagem mediada.

Apesar da ausência de alguns alunos e da participação reduzida de certos especialistas, conforme observado pela professora durante a aula, ao analisar as explicações que os especialistas forneciam aos seus grupos-base, notaram-se indícios de que a dinâmica colaborativa favoreceu processos de interação e construção de significados que se diferenciam dos modelos tradicionais. Tais observações sobre as potencialidades da mediação entre pares dialogam com o estudo de Nduji *et al.* (2020), que analisou como o uso da estratégia de aprendizagem cooperativa baseada no método Jigsaw pode contribuir para o interesse acadêmico e para o desenvolvimento dos alunos de física em comparação com o modelo de aula expositiva

4.2.5 Etapa 5 – Cruzadinha

As palavras cruzadas representam uma ferramenta de apoio didático valiosa no contexto educacional, uma vez que promovem o estímulo cognitivo e facilitam a compreensão e a articulação dos conceitos estudados (Correia, 2016).

Trata-se de uma abordagem de aprendizagem lúdica, aplicável tanto em sala de aula quanto em outros ambientes.

A avaliação do processo de aprendizagem é uma ferramenta essencial para analisar o desenvolvimento do aluno, estabelecendo uma relação qualitativa entre o ensino do professor e a aprendizagem do estudante em sala de aula. Dessa forma, a aplicação da cruzadinha permite ao professor avaliar os conhecimentos internalizados pelos estudantes, funcionando como um instrumento diagnóstico que possibilita não apenas a verificação da consolidação do aprendizado, mas também a identificação, tanto pelo professor quanto pelos próprios alunos, de lacunas ou áreas específicas que necessitam de reforço e revisão. Essa estratégia está em consonância com as orientações de Aronson (2021), que sugere a aplicação de um teste ao final da metodologia Jigsaw, de modo a verificar a aprendizagem.

Nesta aula, os grupos-bases responderam a cruzadinha sobre o espectro eletromagnético. Na Figura 4.12, é possível observar os estudantes durante a realização da atividade. A organização dos estudantes em grupos, por sua vez, otimiza a mediação do professor no processo de gamificação, possibilitando a observação, a avaliação da atividade e o diagnóstico de eventuais dificuldades de aprendizagem (Lima *et al.*, 2021).

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.



Figura 4.12: Grupos-base respondendo a cruzadinha.

As perguntas da cruzadinha, a qual é disponível no Apêndice C, cobrem de forma abrangente o tema do espectro eletromagnético. Elas abordam desde os conceitos básicos até as diversas aplicações e efeitos das ondas eletromagnéticas, incluindo seus impactos biológicos. Ela foi elaborada abordando alguns conceitos:

- Tipos de Ondas Eletromagnéticas: questões com objetivo a apresentar a vasta gama o espectro eletromagnético, raios X (1 horizontal), micro-ondas (5 horizontal), ondas de rádio (1 vertical), luz visível (2 vertical), infravermelho (3 vertical), e raios ultravioleta (4 vertical). Isso indica que o objetivo foi apresentar a vasta gama do espectro.
- Propriedades das Ondas: questões que abordam propriedades fundamentais como frequência e energia (8 horizontal), e características gerais de ondas (17 horizontal).
- Fenômenos Ondulatórios: O efeito Doppler (7 horizontal).
- Interação com o Corpo Humano e o Meio Ambiente: A cruzadinha questiona sobre a interação dos raios X com os ossos (11 horizontal), o papel da camada de ozônio (12 horizontal) na proteção contra raios UV, e os efeitos negativos dos raios UV, como queimaduras solares e câncer de pele (4 vertical).
- Aplicações Tecnológicas: As perguntas mencionam o uso de raios X em imagens médicas, micro-ondas em fornos e comunicação (telefones celulares e Wi-Fi), ondas de rádio para transmitir música e notícias, infravermelho em controles remotos e câmeras térmicas, e raios gama no tratamento do câncer. Isso mostra a relevância prática do conhecimento.
- Visão Humana: Questões sobre as células fotorreceptoras (bastonetes - 14 horizontal e cones - 10 vertical) são importantes para entender como percebemos a luz e as cores.
- Radiação e Energia: O conceito de radiação ionizante (6 vertical) e a fissão nuclear (15 horizontal) com liberação de energia e radiação gama indicam um aprofundamento nos aspectos energéticos e potenciais riscos da radiação. A definição geral de radiação (16 horizontal) também está presente.

Conforme a Figura 4.13, o Grupo 1 se destacou por responder à atividade sem dificuldades. Esse resultado pode ser atribuído ao fato de que tal grupo foi o que mais se empenhou nas etapas 3 e 4. Nessa etapa o G1 demonstrou um alto nível de interdependência positiva, com os membros compartilhando ativamente seus conhecimentos, facilitando a assimilação do conteúdo por todos.

Na figura 4.14 observa-se que o Grupo 2 respondeu quase sem dificuldades, mas não soube responder as perguntas 6 e 14. Embora o envolvimento desse grupo tenha sido um pouco menor que o do Grupo 1, a maioria dos alunos demonstrou ter compreendido quase a totalidade dos conceitos abordados. A ausência de resposta aponta para a necessidade de novas estratégias de mediação ou para um tempo maior de maturação dos conceitos. A

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

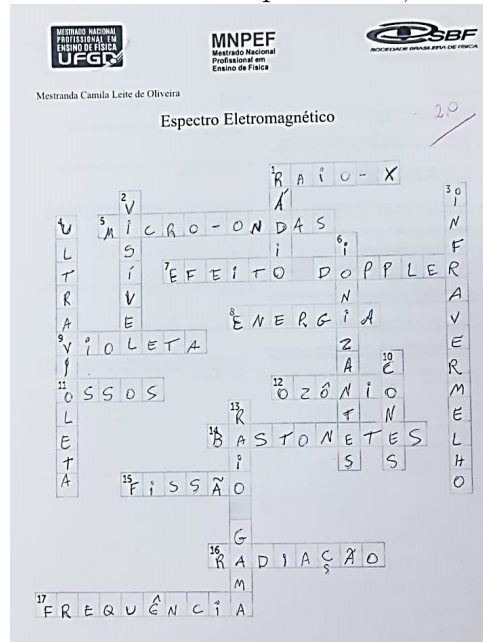


Figura 4.13: Respostas do Grupo 1 para a atividade de cruzadinha.

questão 6, que abordava um conceito apresentado no início do material didático fornecido aos estudantes, sugere a possibilidade de que nenhum componente do grupo tenha se dedicado ao estudo prévio do material. Já a questão 14, relacionada a faixa do espectro visível, pode ter gerado dificuldade devido à complexidade da terminologia específica, o que impediu a correta mobilização do conhecimento por parte do grupo.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

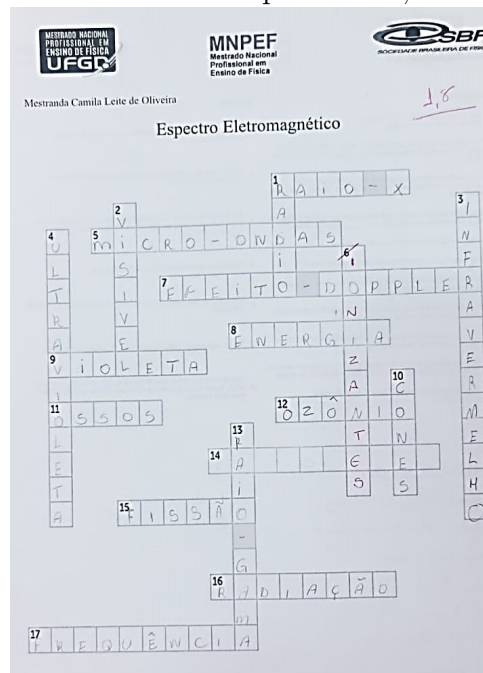


Figura 4.14: Respostas do Grupo 2 para a atividade de cruzadinha.

Ao analisar a Figura 4.15, observa-se que o Grupo 3 errou a questão 11 e não soube responder às questões 7 e 17. A ausência de alguns alunos na Etapa 3 (reunião dos especialistas) gerou lacunas no conhecimento que deveriam dominar, comprometendo a Etapa 4, uma vez que esse grupo-base não consolidou o conhecimento por completo. Alguns alunos desse grupo procuraram a professora para tirar dúvidas, indicando uma tentativa de preencher essas lacunas.

A falta de resposta na questão 17 pode atribuída a falta de leitura do material, uma vez que o conceito foi abordado do início do material didático. Isso sugere os especialistas se limitaram a estudar apenas a faixa do espectro de sua responsabilidade. A questão 11, que tratava da faixa de raio X, pode ser explicada pela ausência do especialista na etapa de retorno ao grupo-base, o que resultou na falta de mediação desse conteúdo. Por fim, a questão 7, embora tenha sido abordada pela professora antes da aplicação do produto educacional, foi contextualizada dentro da faixa do infravermelho, ao explicar o efeito *redshift*. A dificuldade em responder essa questão indica que, o fenômeno ondulatório não foi totalmente compreendido ou que o especialista não conseguiu transmitir o conceito nesse contexto.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

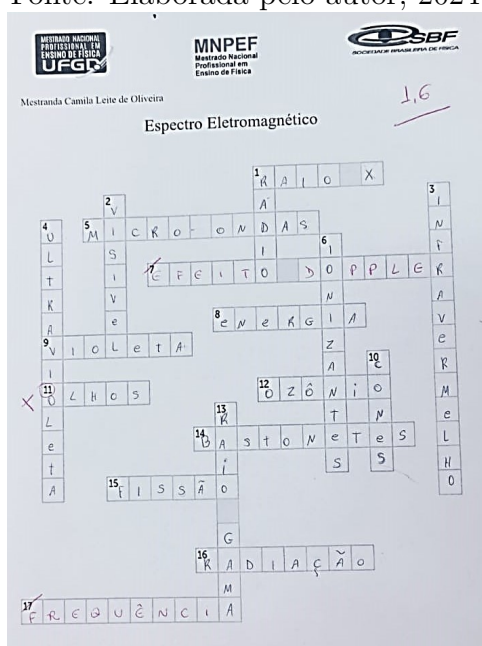


Figura 4.15: Respostas do Grupo 3 para a atividade de cruzadinha.

Na figura 4.16 estão ilustradas as repostas do Grupo 4 para a atividade. Tal grupo apresentou dificuldades significativas, não conseguindo responder às questões 6, 7, 10, 12, 13, 14, 15 e 16. Este foi um grupo marcado por muitas ausências nas Etapas 3 e 4. Além disso, mesmo os alunos presentes não demonstraram empenho em compreender os conceitos apresentados e não buscaram tirar dúvidas com a professora.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

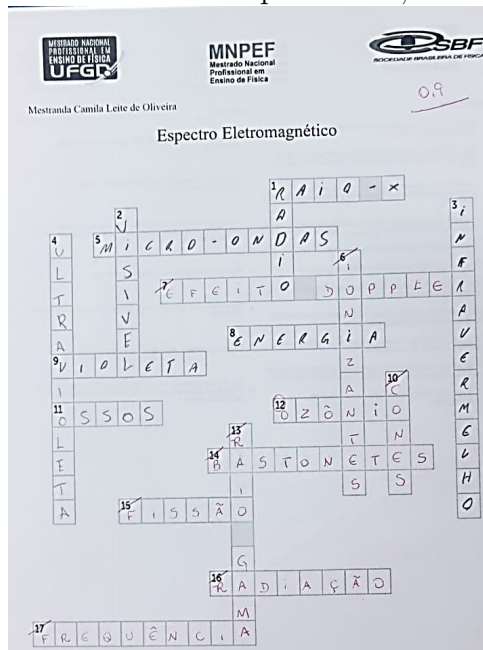


Figura 4.16: Respostas do Grupo 4 para a atividade de cruzadinha.

Embora a professora tenha atuado como especialista substituta nas etapas 3 e 4, a mediação por ela realizada não foi suficiente para garantir a aprendizagem esperada nos grupos com alunos ausentes. Diante desses resultados, foi necessária uma intervenção pedagógica para esclarecer as dúvidas e superar as lacunas de conhecimento identificadas.

4.2.6 Etapa 6 – Intervenção

Em uma cruzadinha, as respostas erradas ou em branco são mais do que meros indicadores de falhas; elas funcionam como valiosas ferramentas diagnósticas no processo de aprendizagem, especialmente quando aplicadas após uma metodologia ativa. Sua estrutura permite também que os próprios alunos identifiquem seus erros, pois a existência de lacunas indica falhas na grafia ou no preenchimento. Essas lacunas no preenchimento não apontam apenas para a ausência de conhecimento, mas para pontos específicos nos quais se observa que o desenvolvimento do estudante ainda não se consolidou, permitindo uma compreensão aprofundada de suas dificuldades e, essencialmente, da Zona de Desenvolvimento Proximal ZDP do mesmo.

Ao identificar as lacunas no conhecimento dos estudantes e reconhecer que essas representavam pontos dentro da (ZDP), em que o saber ainda não estava totalmente consolidado de forma autônoma, a professora realizou uma intervenção pedagógica direcionada. Para auxiliar nessa reconstrução do conhecimento, ela assumiu seu papel de mediadora, permitindo um processo de ensino aprendizagem de qualidade. Dessa forma, o professor

observa o desenvolvimento do aluno na medida em que os conceitos necessários para a aprendizagem vão sendo construídos (Ferreira, 2021, p. 59).

Nesse contexto, foi organizada uma roda de conversa, criando um ambiente social de aprendizado. Nesse espaço colaborativo, a professora iniciou a aula solicitando um feedback da turma sobre os pontos de maior dificuldade e dúvidas encontrados durante a atividade da cruzadinha e, de modo mais amplo, nas trocas realizadas com a metodologia Jigsaw. Com base nesse diagnóstico rápido e na análise das respostas da cruzadinha, conduziu-se uma revisão colaborativa, registrando no quadro os conceitos-chave ou termos que geraram dúvida. Contudo, em vez de apenas fornecer as definições, guiou-se a discussão para que a própria turma contribuísse com as respostas. Os alunos foram incentivados a responder às perguntas de forma conjunta, engajando-se em interações que lhes permitiram externalizar seus pensamentos, confrontar ideias e receber o suporte necessário tanto da professora quanto dos colegas, a fim de internalizar os conceitos de maior dificuldade.

Essa interação culminou na criação de um resumo visual no quadro, estabelecendo conexões lógicas e hierarquizando a informação, garantindo que o conteúdo fosse reconstruído coletivamente. Conforme destaca Ferreira (2021), ao utilizar-se dos instrumentos da linguagem e do contexto cultural, o docente pode potencializar a ZDP, pois são ferramentas importantes para a aprendizagem e o desenvolvimento.

A avaliação da sexta etapa foi planejada como uma observação sistemática e qualitativa, com foco não apenas o nível de participação dos estudantes, mas na qualidade de suas interações e na profundidade de suas contribuições. Um dos objetivos desse processo foi avaliar a capacidade dos alunos de expressarem seus pensamentos, articularem seus raciocínios e confrontarem ideias de forma construtiva durante a roda de conversa, permitindo assim verificar se os alunos estavam conseguindo externalizar o conhecimento de maneira lógica, utilizando a linguagem como ferramenta de mediação para, dessa forma, sanar as dúvidas que persistiram após as etapas anteriores.

4.2.7 Etapa 7 – Jogos

A dimensão lúdica dos jogos educativos motiva os alunos a investigarem e solucionarem desafios, tornando-os protagonistas do próprio aprendizado (Adams; Tavares Nunes, 2019). Essas ferramentas pedagógicas promovem aprendizagem colaborativa, estimulam o desenvolvimento de capacidades cognitivas e socioemocionais, como a resolução de problemas, a tomada de decisões e o trabalho em equipe, enriquecendo a experiência de aprendizagem.

Contudo, para alcancem seu potencial, é fundamental manter a elaboração e aplicação equilíbrio entre a função lúdica e a função. Esse equilíbrio garante que a atividade seja tanto prazerosa quanto pedagogicamente efetiva (Kishimoto, 1998). Com base nesses fundamentos, foram desenvolvidas atividades práticas para os alunos, utilizando jogos como instrumentos de mediação pedagógica conforme a teoria de Vygotsky.

Os jogos utilizados na sequência didática foram estruturados em níveis de dificuldade progressiva, de forma que cada desafio subsequente exija um novo nível de desenvolvimento cognitivo e de habilidades por parte do aluno. Essa concepção, conforme aponta Neri (2023), é fundamental para a experiência do estudante, pois o jogo atua como um guia em uma trajetória que permite a "construção das competências necessárias para superar aquele desafio". Nesse contexto, o papel do criador de jogos é manter o jogador em uma "zona de desequilíbrio", evitando tanto a frustração de uma tarefa que esteja fora de sua ZDP quanto o tédio de uma atividade que não oferece mais evolução. Dessa forma, foram elaborados três jogos de memória e um quiz, estruturados de forma a aliar o desafio cognitivo a participação, promovendo a interação social e o desenvolvimento da zona de desenvolvimento proximal.

O primeiro jogo de memória, ou Jogo 1, foi elaborado para apresentar os diversos tipos de ondas eletromagnéticas – Infravermelho, Micro-ondas, Ultravioleta, Ondas de Rádio, Visível, Raio Gama e Raio X, em associação com suas representações visuais ou aplicações práticas, conforme 4.17. As imagens empregadas foram diretamente extraídas do material de apoio fornecido pela professora durante as Etapas 1 e 2, garantindo a coerência com o conteúdo abordado nas atividades. É importante notar que, o foco principal do jogo está no reconhecimento e na associação das faixas que compõem o espectro eletromagnético, ele não se aprofunda nas propriedades físicas detalhadas de cada onda (como comprimento de onda, frequência e energia), tampouco em seus perigos ou benefícios específicos.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

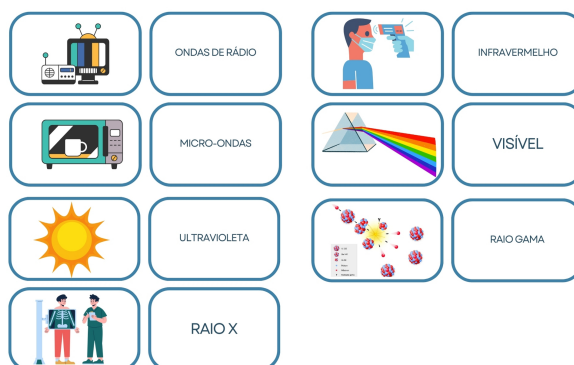


Figura 4.17: Cartas do jogo 1.

O Jogo 2 representa uma demanda cognitiva em relação ao seu antecessor, o Jogo 1,

no ensino do Espectro Eletromagnético. Como mostra a Figura 4.18, ao invés de uma simples associação entre termo e imagem, ele foi elaborado com uma complexidade maior, na qual os pares são formados por descrições textuais detalhadas de um tipo de onda eletromagnética e sua representação visual. Cada carta descritiva é rica em informações, abordando características físicas, aplicações cotidianas, potenciais perigos ou benefícios, mecanismos de geração e até a forma como são percebidas pelos seres humanos, cobrindo as faixas do espectro eletromagnético.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.



Figura 4.18: Cartas do jogo 2.

O Jogo 3, conforme mostra a Figura 4.19 apresenta um nível mais elevado de complexidade e contextualização, exigindo uma análise mais aprofundada das informações nas cartas. Suas descrições são ricas e diversificadas, abordando: aplicações específicas, mecanismos de geração/propagação, efeitos biológicos/impactos e propriedades físicas. Desse modo, o jogo exige que o aluno não apenas associe um termo a uma descrição, mas que compreenda a relação específica e contextualizada de cada faixa do espectro com suas aplicações, geração ou impactos. As descrições aumentam a demanda cognitiva para leitura e interpretação, tornando o jogo potencialmente mais desafiador.

Os jogos ocorreram na sala de tecnologia, um ambiente equipado com computadores e acesso à internet, foram necessárias duas aulas consecutivas. Inicialmente, os alunos foram orientados a formar duplas, sendo-lhes permitido escolher seus parceiros. Observou-se que a maioria das duplas foi composta por alunos que já pertenciam ao mesmo grupo-base na metodologia Jigsaw. Em seguida, após o sorteio dos confrontos, as duplas ocuparam seus computadores, nos quais os jogos já haviam sido previamente organizados em abas

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.



Figura 4.19: Cartas do jogo 3.

pela professora. Antes de iniciar, a professora forneceu instruções sobre a dinâmica dos jogos e esclareceu que todas as cartas estavam relacionadas aos temas abordados nas aulas anteriores dando início a etapa dos jogos, como mostra a Figura 4.20.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.



Figura 4.20: Alunos durante o jogo de memória.

A atividade adotou um formato eliminatório, no qual todas as duplas participaram no Jogo 1 e apenas os vencedores de cada confronto avançaram para o Jogo 2. O mesmo critério será aplicado para a classificação ao Jogo 3, conforme ilustra a Figura 4.21. Foi considerada vencedora a dupla que completou o jogo em menor tempo.

As duplas que venceram a terceira rodada classificaram-se para quiz. A atividade, composta por 12 questões objetivas com três alternativas (A, B e C), tinha como finalidade avaliar a compreensão e a aplicação de conhecimentos sobre o espectro eletromagnético, suas propriedades, suas manifestações no cotidiano e na tecnologia. Para indicar suas respostas, os alunos utilizaram três plaquinhas correspondentes a cada uma das opções,

- Fontes de radiação: conexão entre conceitos científicos e suas origens naturais.

No sistema de pontuação, cada resposta correta do quiz valia 2,0 pontos. As duplas finalistas tinham a opção de solicitar auxílio aos integrantes de seus respectivos grupos-base; no entanto, essa ajuda resultava na perda de 1,0 ponto. As duplas finalistas eram formadas por alunos dos grupos 1 e 2. Nenhuma dessas duplas precisou de auxílio nas respostas.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.



Figura 4.22: Alunos durante a disputa do quiz.

A avaliação desta etapa foi concebida como um processo dinâmico, no qual a participação dos estudantes se revelou a principal ferramenta para verificar a efetiva internalização dos conceitos e o nível de autonomia desenvolvido ao longo da sequência didática. Neste contexto, observou-se a forma como os alunos empregavam a linguagem para externalizar o pensamento e para a tomada de decisões estratégicas durante as partidas.

Durante a aplicação da atividade, notou-se um elevado nível de motivação e participação por parte dos alunos. Segundo Pereira (2008), os jogos possuem um grande potencial para despertar o interesse dos alunos, pois integram os conteúdos a um ambiente lúdico que favorece a aprendizagem. Ao longo das aulas, foram ouvidas exclamações de entusiasmo, como "Ai!", "Ufa, mano!" e "Que legal!", além de gritos de incentivo como "Vai!" e "Bora!" em diversos momentos. Tais manifestações demonstraram o envolvimento dos estudantes com os jogos e o prazer em participar deles. Até mesmo os momentos de frustração, evidenciados por repetidos "Não!" ou exclamações como "Eu perdi!", foram interpretados como indícios de participação, evidenciando que os jogos conseguiram capturar o interesse dos alunos (Pereira, 2008; Lopes, 1999), ao converter conceitos abstratos em uma experiência prazerosa, promovendo assim uma aprendizagem estimulante (Filho *et al.*, 2025; Pereira, 2008).

Além do forte componente motivacional, a atividade funcionou como um instrumento para o desenvolvimento de funções psicológicas superiores, conforme conceituadas por

Vygotsky. Os jogos estimularam a resolução de problemas, pois exigiam que os alunos pensassem estrategicamente para superar os desafios e desenvolvessem a capacidade de tomar decisões ao escolher entre diferentes opções de cartas. O trabalho em equipe também foi fundamental, já que a interação social permitiu que a colaboração entre pares se convertesse em desenvolvimento cognitivo. As duplas precisaram memorizar a localização das cartas e relacioná-las aos conteúdos estudados anteriormente, um processo que envolveu tanto a memória voluntária quanto a internalização do conhecimento. Ao discutir qual era a melhor jogada e decidir qual par tentar formar, os alunos externalizavam seu pensamento por meio da linguagem, que, conforme Vygotsky, funciona como sistema de signos responsável por organizar o pensamento e estruturar a compreensão da realidade. Por meio da interação entre os pares, o conhecimento compartilhado se transformava em aprendizado individual, mostrando como a colaboração se converte em desenvolvimento cognitivo pessoal. Nesse contexto, a dinâmica colaborativa das duplas criou uma Zona de Desenvolvimento Proximal em que a mediação social se converteu em desenvolvimento cognitivo individual, permitindo que os alunos alcançassem, juntos, um nível de compreensão que não atingiriam sozinhos.

A professora, ao longo da atividade, movimentou-se pela sala, assumindo um papel de mediadora. Suas intervenções, como "A dupla ajuda o outro. Vamos lá" e "Um ajuda o outro, porque é mais fácil", foram fundamentais para criar as condições para que a ZDP se desenvolvesse entre os pares. Segundo Vygotsky (2007), a aprendizagem efetiva ocorre em um espaço dinâmico de crescimento, onde a mediação social se converte em desenvolvimento cognitivo individual por meio do processo de internalização, resultando na apropriação do conhecimento.

A atividade demonstra que um ambiente de aprendizado estruturado, mediado pela professora e potencializado pelo uso de jogos, cria um espaço em que a colaboração e os desafios atuam em conjunto para impulsionar a construção do conhecimento. Essa integração de elementos pedagógicos alinha-se às metodologias ativas e colaborativas essenciais para o desenvolvimento das competências gerais previstas pela BNCC, posicionando o estudante como agente central na construção do conhecimento em um ambiente que valoriza a interação entre pares e a mediação docente.

Considerações finais

O presente produto educacional investigou a aplicação de metodologias ativas, como a técnica Jigsaw e o uso de jogos, no ensino de Física para o tema de espectro eletromagnético. Os resultados observados em sala de aula sugerem que o uso dessas práticas pedagógicas favorecem significativamente a troca de experiências e a colaboração entre os alunos. A dinâmica de "Grupos de Especialistas" e o subsequente retorno aos "Grupos Base" criaram um ambiente no qual os alunos atuaram como mediadores um dos outros. Essa estrutura pedagógica dialoga com a perspectiva de Vygotsky, especialmente no que diz respeito às potencialidades da Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP), na qual as trocas entre pares favorecem a construção coletiva de significados.

Contudo, a aplicação também revelou desafios. A ausência de alguns alunos impactou em alguns grupos a efetividade da ZDP, limitando as oportunidades de troca de ideias e a construção conjunta de significado. Essa observação reitera a importância da participação ativa para o sucesso das metodologias colaborativas. Além disso, a variação no nível de participação dos alunos evidenciou a necessidade de fomentar a autonomia do estudante. A dependência da presença do professor para a participação de alguns estudantes compromete a internalização do conhecimento. Isso ocorre porque a internalização bem-sucedida requer que o aluno se aproprie do conhecimento, o que é facilitado pelo diálogo ativo e autônomo entre os pares, e não pela supervisão constante do professor. Nesse sentido, o papel do professor deve ser o de mediador que oferece o suporte necessário, visando a autonomia do aluno.

O uso de jogos complementou a metodologia Jigsaw, introduzindo um elemento lúdico e motivador. Essa abordagem transformou o aprendizado em uma experiência divertida, estimulando, a socialização e a criatividade. Ao mobilizar esquemas mentais e a resolução de problemas em equipe, os jogos contribuíram diretamente para o desenvolvimento das funções psicológicas superiores.

A integração dessas metodologias também evidenciou uma transformação no papel do professor. De mero transmissor de conteúdo, tornou-se um facilitador e mediador do conhecimento. Essa mudança de papel exigiu uma preparação cuidadosa do material didático, a organização dos grupos e o acompanhamento constante das necessidades de mediação em cada etapa.

Em síntese, a articulação entre o método Jigsaw e os jogos no ensino de Física apresenta-se como um caminho promissor para favorecer a compreensão de conceitos complexos. Mais do que buscar resultados imediatos, essa abordagem abre caminhos para o exercício de habilidades e a comunicação colaborativa, essenciais para a formação integral do estudante contemporâneo. A experiência relatada indica que, ao centralizar o processo

na interação social, é possível despertar novos interesses e capacidades de construção do conhecimento.

Para futuras aplicações, e visando otimizar a fase de estudo dos especialistas, sugere-se que o professor elabore um roteiro de estudos, contendo perguntas-chave que guiem a pesquisa e o aprofundamento do tema por parte dos alunos na etapa de estudo dos especialistas.

Além disso, a flexibilidade na aplicação dos jogos pode ser ampliada, permitindo que as atividades lúdicas sejam utilizadas em formato impresso, facilitando o acesso e a manipulação por todos os estudantes, especialmente em contextos em que não se dispõe de internet nem de computadores.

Por fim, para promover uma maior participação e avaliação do conhecimento adquirido, recomenda-se a seguinte estrutura dos desafios: todas as duplas devem realizar os jogos de memória e as duas duplas com o menor tempo de realização avançarão para a fase final do quiz, garantindo um fechamento dinâmico e avaliativo do processo de aprendizagem.

A aplicação da sequência didática indicou um impacto significativo e qualitativo na apropriação dos conceitos de Física, conforme evidenciado pela avaliação bimestral realizada após finalizadas as atividades deste produto educacional. Os alunos demonstraram a capacidade de ir além da memorização das faixas do espectro isoladamente; eles construíram uma visão completa, entendendo que o espectro é um contínuo onde frequência, comprimento de onda e energia estão todos conectados. Eles também se apropriaram de termos científicos, como amplitude e frequência, além de conseguirem aplicar esse conhecimento em situações reais, como entender o funcionamento de termômetros infravermelhos, raios X e até as queimaduras de sol. Por fim, as notas mais altas foram obtidas pelos grupos que apresentaram maior comprometimento com a metodologia, indicando uma relação direta entre a participação na abordagem Jigsaw e o sucesso na avaliação.

Referências

ACQUAH, I. K. Enhancing Conceptual Understanding of Electric Circuit Analysis through the Jigsaw Method: A Quasi-Experimental Study in Senior High Schools. **Schrödinger: Journal of Physics Education**, v. 6, n. 1, p. 9–18, 2025. DOI: 10.37251/sjpe.v6i1.1348.

ADAMS, F. W.; TAVARES NUNES, S. M. O jogo didático na trilha dos combustíveis: em foco a termoquímica e a energia. **Revista Eletrônica Ludus Scientiae**, v. 2, n. 2, 2019. DOI: 10.30691/relus.v2i2.1482. Disponível em: <https://revistas.unila.edu.br/relus/article/view/1482>.

ALVES, A. F. F. P.; BARGOS, F. F.; ROMÃO, E. C. Desenvolvimento de jogos para apoio no ensino de Termologia e Termodinâmica no Ensino fundamental. **European Journal of Special Education Research**, v. 10, n. 7, p. 143–159, 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.46827/ejse.v10i7.5644>.

ARAÚJO, F. J. d. *et al.* Tecnologia e metodologias ativas: uma combinação para o futuro da educação. **Revista Ilustração**, v. 5, n. 9, p. 191–203, 2024.

ARONSON, E.; PATNOE, S. **Cooperation in the classroom: The jigsaw method**. 2011.

ARONSON, E. *et al.* **The Jigsaw Classroom**. Beverly Hills: Sage, 1978.

ARONSON, E. The Jigsaw Classroom: A Personal Odyssey Into A Systemic National Problem. *In*: PIONEERING Perspectives in Cooperative Learning: Theory, Research, and Classroom Practice for Diverse Approaches to CL. New York: Routledge, 2021. cap. 6, p. 87–111.

BACICH, L.; MORAN, J. **Metodologias ativas para uma educação inovadora: uma abordagem teórico-prática**. Porto Alegre: Penso, 2018.

BALL, D. W. The Electromagnetic Spectrum: A History. **Spectroscopy Online**, v. 22, n. 3, p. 14–20, 2007. Disponível em: <https://www.spectroscopyonline.com/view/electromagnetic-spectrum-history>.

BARROS, N.; SANTOS, N. d. Engenharia pedagógica: a convergência tecnológica da engenharia com a pedagogia. *In*: COBENGE - Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia). [S. l.: s. n.], 2003.

BATISTA, G. E. *et al.* Problemas Abertos e Mediação Sociocultural no Ensino de Física Quântica no Ensino Médio. **Revista ERR01**, São José dos Pinhais, v. 10, n. 6, p. 1–23, 2025. ISSN 2595-1378. DOI: 10.56238/ERR01v10n6-027. Disponível em: <https://doi.org/10.56238/ERR01v10n6-027>.

BEATRIZ, F. S.; KOGA, V. T. Práticas Pedagógicas em Aulas de Ciências e Biologia: Um Estudo em Escolas Públicas. **Revista de Ensino, Educação e Ciências Humanas**, v. 24, n. 3, p. 372–380, 2023.

BOLLEN, L.; VAN KAMPEN, P.; DE COCK, M. Students' difficulties with vector calculus in electrodynamics. **Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.**, American Physical Society, v. 11, p. 020129, 2 nov. 2015. DOI: 10.1103/PhysRevSTPER.11.020129. Disponível em: <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevSTPER.11.020129>.

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular**. 2018. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf. Acesso em: 10 nov. 2025.

CABRAL, J. J. S.; CABRAL, R. d. L. S.; OLIVEIRA, S. F. A. d. BASE NACIONAL COMUM CURRICULAR: Relação com as abordagens das teorias da aprendizagem de Piaget e Vygotsky. **Revista Saberes da UNIJIPA**, v. 16, n. 1, p. 67–74, 2020.

CASTRO, N. N. Vigotski: os conceitos espontâneos e científicos. **RELACult - Revista Latino-Americana de Estudos em Cultura e Sociedade**, v. 5, n. 4, 2019. DOI: 10.23899/relacult.v5i4.1137. Disponível em: <https://periodicos.claec.org/index.php/relacult/article/view/1137>.

CORREIA, R. F. M. **As Palavras Cruzadas como Ferramenta de Transposição Didática no Ensino de Física**. 2016. Dissertação de Mestrado – Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) – Universidade Regional do Cariri, Juazeiro do Norte, PI.

DE OLIVEIRA, L. C. F. Química em Peças: Jigsaw como Engenharia da Cooperação na Aprendizagem de Conceitos. **Revista FESA**, v. 3, n. 34, jan. 2026. ISSN 2676-0428. DOI: 10.56069/2676-0428.2025.746.

DETERDING, S. *et al.* From Game Design Elements to Gamefulness: Defining "Gamification". In: PROCEEDINGS of the 15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments. Tampere, Finland: ACM, 2011. p. 9–15. DOI: 10.1145/2181037.2181040.

DORI, Y.; BELCHER, J. Learning Electromagnetism with Visualizations and Active Learning. In: [s. l.: s. n.], jan. 2005. p. 187–216. ISBN 978-1-4020-3612-5. DOI: 10.1007/1-4020-3613-2_11.

FERNANDES JÚNIOR, N. d. S. **Uso do jogo de tabuleiro FISGRAN para complementação do Estudo das grandezas físicas**. 2021. Dissertação de Mestrado – Mestrado em Ensino de Física – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, RN. Disponível em: <https://mnpes.ufersa.edu.br/wp-content/uploads/sites/94/2021/05/DISSERTACAO-NEILSON-JUNIOR.pdf>. Acesso em: 6 jan. 2026.

FERRARO, R. **Einstein's Space-Time: An Introduction to Special and General Relativity**. New York: Springer New York, 2007. ISBN 9780387699479.

FERREIRA, D. F. M. Avaliação da aprendizagem prática pedagógica segundo Vygotsky. *In*: [s. l.]: Editora Atena, 2021. cap. 4, p. 56. DOI: 10.22533/at.ed.5022106124.

FILHO, F. B. A. *et al.* Jogos lúdicos no ensino de Física: desenvolvendo competências colaborativas e cognitivas no ensino de Física de partículas elementares. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 20, n. 2, 2025.

GAMA, T. V.; SANTOS, A. R. d.; QUEIROZ, S. L. Estudo de caso e aprendizagem cooperativa: contribuições para o desenvolvimento do pensamento crítico na educação básica. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 15, n. 2, p. 19–35, 2020. Acessado em: 28 mar. 2026. Disponível em: <https://fisica.ufmt.br/eenciojs/index.php/eenci/article/view/712>.

GASPAR, A. **Atividades experimentais no ensino de física: uma nova visão baseada na teoria de Vigotski**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2014.

GODOI, I. A. d. C. **Física Térmica no Novo Ensino Médio: Uma proposta para a sala de aula através de Metodologias Ativas**. 2023. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física (MNPEF) - Universidade Federal Fluminense.

GONZAGA, K. **Radiação Infravermelha e Suas Aplicações: Uma Proposta Didática de Mediação Baseada na Aprendizagem Criativa com Utilização de Arduino**. 2022. Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Universidade Federal do Espírito Santo. Disponível em: https://sappg.ufes.br/tese_drupal/tese_16812_Disserta%E7%E3o%20final%20%281%29%20-%20Karoline%20Gonzaga.pdf.

GOULART, J. L. Desistesse escolar: em busca de uma compreensão. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 4, p. 89–110, 2022.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física, volume 2 : gravitação, ondas e termodinâmica**. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física, volume 4: Óptica e Física Moderna**. 12. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2023.

HORNES, A. *et al.* Os jogos computacionais no ensino de física. *In*: VII ENPEC - Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. [S. l.: s. n.], 2009.

HUIZINGA, J. **Homo ludens: o jogo como elemento da cultura**. Tradução: João Paulo Monteiro. 2. ed. São Paulo: Perspectiva, 1990.

KHAN, M.; CHOUDHRY, F. R. Teaching Physics Through Jigsaw Technique of Cooperative Learning. **Iranian Journal of Educational Research**, v. 3, n. 4, p. 87–104, 2024. DOI: 10.22034/3.4.87.

KISHIMOTO, T. M. **Jogo e a Educação infantil**. 2. ed. São Paulo: Pioneira, 1998.

LIMA, M. M. *et al.* Uma sequência didática gamificada aplicada ao ensino de óptica geométrica. **Conexões - Ciência e Tecnologia**, v. 15, e021029, 2021. DOI: 10.21439/conexoes.v15i0.2088.

LOPES, M. d. G. **Jogos na Educação: Criar, Fazer, Jogar**. São Paulo: Cortez, 1999.

MATIAS, M. A. d. F. B.; MASULCK, R. D.; SCHNEIDER, S. G. Método Jigsaw Classroom: aprendizagem cooperativa no ensino superior tecnológico. **Revista CBTEcLE**, v. 4, n. 1, p. 209–223, 2020. Acesso em: 26 maio 2025.

MEDEIROS, E. C. d.; MEDINA, M. S.; LAUXEN, R. **Oscilações, ondas e mecânica dos fluidos**. Porto Alegre: Sagah, 2020.

MILANI, I. G.; STOLTZ, T.; HIGA, I. Vygotsky e o Ensino de Física: um olhar a partir do Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. **Arquivos do Mudi**, v. 24, n. 3, p. 204–215, 2020. DOI: 10.4025/arqmudi.v24i3.55468. Disponível em: <http://www.periodicos.uem.br/ojs/index.php/ArqMudi>.

MIRANDA, V. d. C. **A aprendizagem cooperativa como contributo para o envolvimento do aluno na sua própria aprendizagem: O caso específico da dinâmica de Jigsaw**. 2025. Mestrado em Ensino de Português e de Língua Estrangeira – Universidade do Porto, Universidade do Porto. Disponível em: <https://hdl.handle.net/10216/171480>.

MONTENEGRO, E. C. **Ondas eletromagnéticas; conceitos básicos**. São Paulo: Blucher, 2023.

MORÁN, J. Mudando a educação com metodologias ativas. *In*: DE SOUZA, C. A.; (ORGS.), O. E. T. M. (ed.). **Coleção Mídias Contemporâneas. Convergências Midiáticas, Educação e Cidadania: aproximações jovens, Vol II**. Ponta Grossa: UEPG/PROEX, 2015. p. 15–33.

MOREIRA, M. A. **Teorias da Aprendizagem**. São Paulo: EPU, 1999.

MOURA, T. M. *et al.* Linguagem, cognição e formação de conceitos no ensino de física: conexões pedagógicas entre as metodologias ativas e a teoria sociocultural de Vygotsky. **Caderno Pedagógico**, v. 21, n. 6, e5077, 2024. DOI: 10.54033/cadpedv21n6-196.

NDUJI, C. *et al.* Effect of Jigsaw-Based Cooperative Learning Strategy (JBCLS) on Senior Secondary School Students' Interest and Achievement in Physics. **International Journal of Studies in Education**, v. 16, n. 1, p. 164–176, 2020.

NERI, M. F. M. d. **Gamificação no ensino da Física: o uso de jogos eletrônicos no processo de ensino-aprendizagem na Educação Básica**. 2023. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física (MNPEF) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE. Disponível em: <http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/handle/tede2/9204>.

NEVES, F. G. M. d. **Na trilha das partículas: o ensino de física de partículas a partir de um jogo de tabuleiro**. 2021. Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Universidade Regional do Cariri (URCA), Juazeiro do Norte, CE.

NICOLODI, J. C.; ROSA, C. T. W. d.; DARROZ, L. M. Aprender ensinando como estratégia didática para abordar conceitos de Física Térmica. **Revista Ciências & Ideias**, v. 15, 2024. ISSN 2176-1477. DOI: 10.22407/2176-1477/2024.v15.2513. Disponível em: <https://doi.org/10.22407/2176-1477/2024.v15.2513>.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso De Fisica Basica: Fluidos, oscilações e ondas, calor, (vol. 2)**. 5. ed. São Paulo: Blucher, 2014. ISBN 9788521207474.

OLIVEIRA, R. A. d.; SILVA, A. P. B. d. William Herschel, os raios invisíveis e as primeiras ideias sobre radiação infravermelha. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 4, 2014. DOI: 10.1590/S1806-11172014000400022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/ggtW67HmNkyy8zGRJXPypvP/?format=html&lang=pt>.

PEREIRA, R. F. **Desenvolvendo jogos educativos para o ensino de física: um material didático alternativo de apoio ao binômio ensino-aprendizagem**. 2008. Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual de Maringá.

PEREIRA, R. F.; FUSINATO, P. A.; GIANOTTO, D. E. P. A prática pluralista na formação inicial de professores de física. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, v. 19, e2682, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21172017190126>.

PEREIRA, W. M. **A física das estrelas: a astronomia e a astrofísica como caminhos para ensinar física moderna e contemporânea na educação básica**. 2020. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ensino na Educação Básica – Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus, ES. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/81018>. Acesso em: 6 jan. 2026.

PINTO, J. E. L.; SILVA, M. V. D.; REIS, C. A. M. Uso de jogos e gamificação no ensino de física: tendências e contribuições recentes. **Revista DELOS**, v. 19, n. 77, p. 01–20, 2026. ISSN 1988-5245. DOI: 10.55905/rdelosv19.n77-087.

RAMOS, A. **Eletromagnetismo**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2016.

REGO, R. A. d. **Eletromagnetismo Básico**. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

RODRIGUES, I. L. *et al.* Uma proposta de sequência didática com o uso de experimentação para a construção de conceitos de eletromagnetismo no Ensino Médio. **Conexões - Ciência e Tecnologia**, v. 15, p. 1–9, 2021. DOI: 10.21439/conexoes.v15i0.2123.

RODRIGUES, R. M.; SANTOS, N. d. L. d. S. Metodologias ativas: metodologias ativas como ferramenta pedagógica. **Revista Gênero e Interdisciplinaridade**, v. 5, n. 1, p. 395–412, 2024.

ROSA, C. W. d.; ROSA, Á. B. d. O ensino de ciências (Física) no Brasil: da história às novas orientações educacionais. **Revista Iberoamericana De Educación**, v. 58, n. 2, p. 1–24, 2012. DOI: 10.35362/rie5821446.

ROSA, J. E. B. d.; KALHIL, J. B. Metodologias ativas no ensino de Física: um panorama da pesquisa stricto sensu brasileira. **Colloquium Humanarum**, v. 16, n. 4, p. 121–136, 2020.

SALES, A. M. F. **Análise de trabalhos sobre o uso de gamificação no ensino de Física**. 2025. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física)) – Universidade Federal do Ceará.

SANDE, D.; SANDE, D. Uso do Kahoot como ferramenta de avaliação e ensino aprendizagem no ensino de microbiologia industrial. **HOLOS**, v. 1, p. 170–179, 2018. DOI: 10.15628/holos.2018.6300.

SANTOS, B. M.; ARAÚJO, L. M.; SILVA, K. W. A. d. Jogo de cartas sobre espectro eletromagnético e suas aplicações: relato de experiência na formação inicial de professores. **Revista de Enseñanza de la Física**, v. 35, n. 1, p. 95–103, 2023. DOI: 10.55767/2451.6007.v35.n1.41393.

SANTOS, J. P. **Aprendizagem cooperativa: estudando conceitos físicos de cor e espectro através da astronomia**. 2018. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física (MNPEF) – Universidade Federal de Sergipe, Aracaju, SE.

SANTOS, J. W. F. d. Como melhorar o aprendizado de eletromagnetismo no ensino médio? **Revista FT**, v. 28, n. 133, abr. 2024. DOI: 10.5281/zenodo.11073529. Disponível em: <https://revistaft.com.br/como-melhorar-o-aprendizado-de-eletromagnetismo-no-ensino-umedio/>.

SERWAY, R. A.; JEWETT JR., J. W. **Princípios de Física - vol. 2**. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

SHERIF, M. *et al.* **Intergroup Conflict and Cooperation. The Robbers Cave Experiment [1954]**. Norman: University of Oklahoma Book Exchange, 1961.

SILVA, C. C. **Proposta de Sequência Didática para Eletromagnetismo com Foco em Aprendizagem Significativa Utilizando Laboratório de Baixo Custo**. 2024. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/263333>.

SILVA, D. P. d. **Espectro Eletromagnético: Um Material Didático para o Ensino das Radiações Ionizantes e Não Ionizantes para Prática Inclusiva de Alunos com Deficiência Visual**. 2023. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências) – Instituto Federal do Rio de Janeiro, Campus Nilópolis. Disponível em: <https://repositorio.ifrj.edu.br/xmlui/bitstream/handle/20.500.12083/722/Daniele%20Pereira%20da%20Silva%20dissertacao%20pdfA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

SILVA, F. R. d. **Metodologias ativas e sequência didática como ferramenta no processo de aprendizagem de eletromagnetismo**. 2025. Tese de Doutorado em Ensino de Ciências e Matemática – Programa de Pós-Graduação em Ensino da Rede Nordeste de Ensino, Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

SILVA, L. M. d.; BARROS, K. C. T. F. d. R. **Estratégias didáticas para o Ensino de Física: uma análise das tendências em duas intuições do Ensino Médio**. 2024. Dissertação de Mestrado – Instituto Federal de Pernambuco, campus Pesqueira.

SILVA, M. A. d.; CANTANHEDE, L. B.; CANTANHEDE, S. C. d. S. Aprendizagem cooperativa: método jigsaw, como facilitador de aprendizagem do conteúdo químico separação de misturas. **ACTIO: Docência em Ciências**, v. 5, n. 1, p. 1–17, 2020.

SILVA, M. A. S. d. **Eletrogame, o jogo: uma maneira didática e divertida de estudar a eletrodinâmica**. 2021. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física (MNPEF) – Universidade Federal do Pará, Belém, PA. Disponível em: https://sucupira-legado.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=11333153. Acesso em: 6 jan. 2026.

SILVA, S. d.; BISPO, M. L. S. F. As teorias da aprendizagem na Base Nacional Comum Curricular (BNCC): contribuições para o ensino da Língua Portuguesa no Ensino Fundamental anos finais. *In: ANAIS do Colóquio Internacional Educação e Contemporaneidade*. [S. l.: s. n.], 2022. Acesso em: 26 dez. 2025.

- SIMÕES, A. F. C. V. **Ondas Eletromagnéticas nos Anos Finais do Ensino Fundamental Utilizando uma Caixa de Cores**. 2023. Mestrado em Docência para a Educação Básica – Universidade Estadual Paulista (UNESP) - Campus de Bauru.
- SOBRINHO, B. B. *et al.* Impacto da redes sociais na educação: como as mídias sociais influenciam o aprendizado. **Revista Foco**, v. 17, n. 1, p. 1–14, 2024. DOI: 10.54751/revistafoco.v17n1-057.
- SOUZA, M. d. S. **Abordando os raios cósmicos no ensino médio: uma proposta de sequência de ensino investigativa**. 2017. Dissertação de Mestrado – Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), Dourados, MS. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física (MNPEF) / Sociedade Brasileira de Física (SBF).
- STALLIVIERE, R. E. d. M. **Ensino e Aprendizagem de Eletromagnetismo Através da História da Ciência e Produção de Podcasts**. 2024. Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- TEODORO, D. L.; CABRAL, P. F. d. O.; QUEIROZ, S. L. Atividade cooperativa no formato jigsaw: um estudo no ensino superior de química. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 8, n. 1, p. 21–51, 2015. Acesso em: 19 maio 2025.
- VASCONCELOS, A. M. **O uso de jogos como ferramenta no processo de aprendizagem de Física**. 2025. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física)) – Universidade Federal do Ceará.
- VIGOTSKI, L. S. **A construção do pensamento e da linguagem**. Tradução: Paulo Bezerra. São Paulo: Martins Fontes, 2001.
- VIGOTSKI, L. S. **Psicologia Pedagógica**. Edição: Guillermo Blanck. Tradução: Claudia Schilling. Porto Alegre: Artmed, 2003.
- VIGOTSKII, L. S.; LEONTIEV, A. N.; LURIA, A. R. **Linguagem, Desenvolvimento e Aprendizagem**. Tradução: Maria da Pena Villalobos. 11 ed. São Paulo: Ícone, 2010.
- VYGOTSKY, L. S. **A formação social da mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores**. 7 ed. São Paulo: Martins Fontes, 2007.

A Avaliação diagnóstica

Questão 1.

O que é uma onda?

Questão 2.

Que características ela deve ter?

Questão 3.

Quais tipos de ondas você conhece?

Questão 4.

Cite lugares e situações nos quais você tenha visto algo ligado a ondas.

Questão 5.

Cite aplicações tecnológicas que você já tenha visto que tenha relação com ondas.

Questão 6.

O que é radiação?

Questão 7.

De onde a radiação se origina?

Questão 8.

Ela é benéfica ou prejudicial para os seres humanos?

Questão 9.

O que você sabe sobre espectro eletromagnético?

B Material de apoio

A seguir, disponibilizamos imagens do material complementar utilizado pelos especialistas nas Etapas 1 e 2 da aplicação do produto educacional. Na Etapa 1 ocorreu o estudo individual dos especialistas, na Etapa 2 ocorreu o encontro dos especialistas.

O material está disponível em [Material complementar](#). Link para [Download](#)



Figura B.1: Apresentação.



Figura B.2: Conceito de radiação.



Figura B.3: Tipos de radiação.

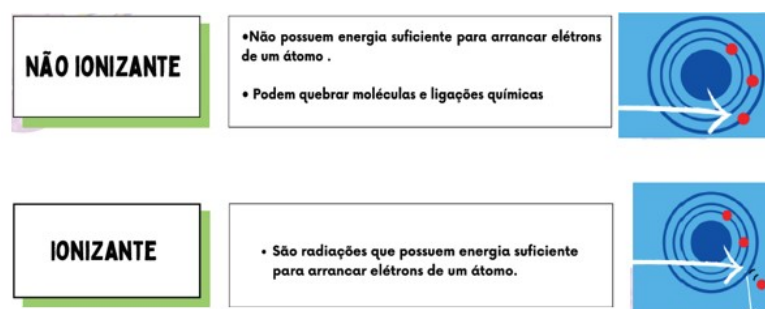


Figura B.4: Diferenças entre os tipos de radiações.



Figura B.5: Radiação não ionizante.

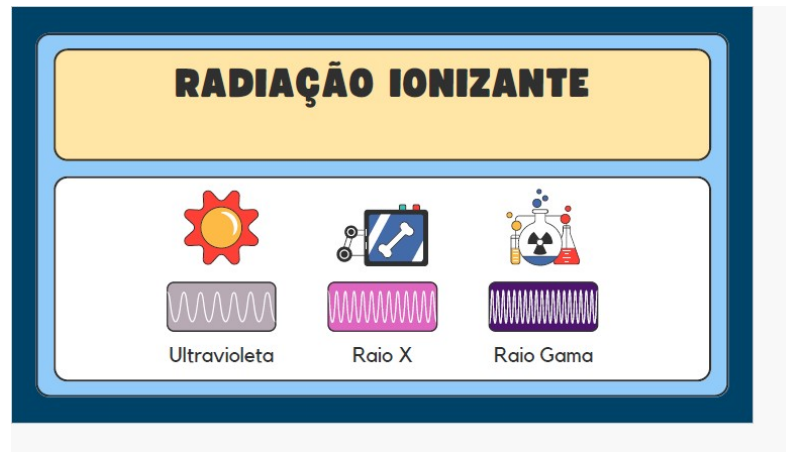


Figura B.6: Radiação ionizante.



Figura B.7: Espectro eletromagnético.

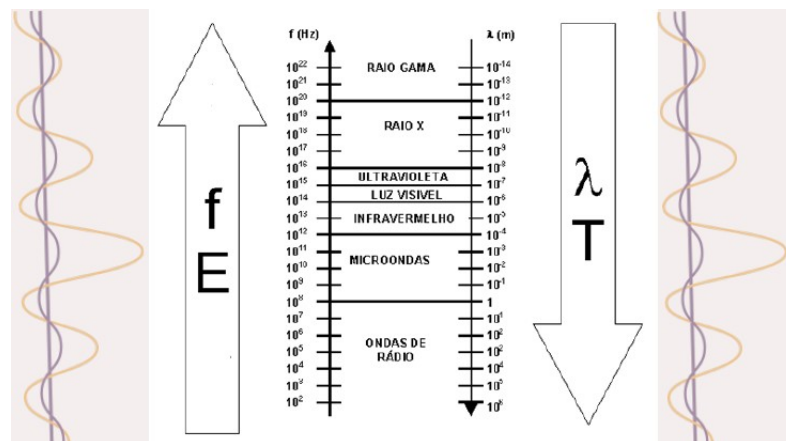


Figura B.8: Relação entre frequência, energia, comprimento de onda no espectro eletromagnético.

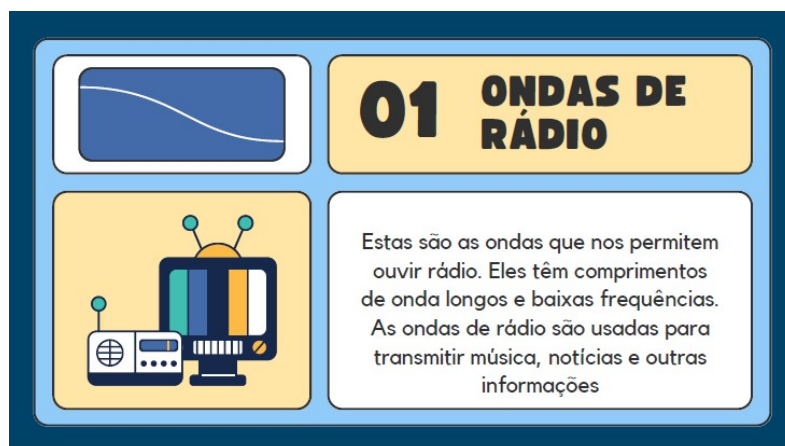


Figura B.9: Ondas de rádio.



Figura B.10: Breve história das ondas de rádio.

Para produzir ondas de rádio, um dispositivo chamado **transmissor** é usado. No transmissor, uma corrente elétrica é forçada a oscilar para cima e para baixo em uma antena, produzindo ondas eletromagnéticas. Quando essas ondas são transmitidas no espaço, elas viajam em todas as direções até que sejam recebidas por um dispositivo receptor.

Existem várias subdivisões das ondas de rádio como **AM** e **FM**, que representam formas diferentes de se enviar o sinal, porém todas podem se propagar a grandes distâncias na atmosfera sendo por isso usadas em sistemas de comunicações.

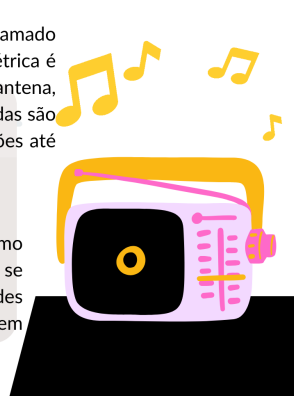
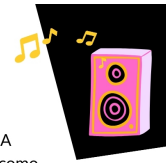


Figura B.11: Diferença entre transmissor e receptor.

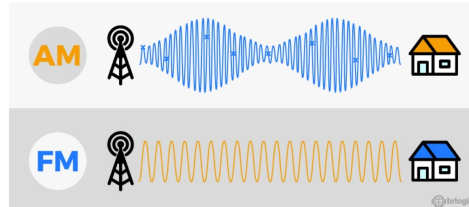
Para enviar INFORMAÇÃO

SIMULAÇÃO



Para enviar informações através de ondas de rádio, é necessário modulá-las. A modulação é o processo de variação de alguma propriedade da onda portadora (como sua amplitude ou frequência) com base na informação a ser transmitida.

Amplitude modulada
Maior alcance
Mais interferência
Frequência menor



Frequência modulada
Menor alcance
Menos interferência
Frequência maior

Figura B.12: Diferença entre AM e FM. **Simulação.**

Uso das

ondas de rádio

Quem pensa que as ondas de rádio são usadas apenas para escutar as transmissões das emissoras, está enganado. As ondas de rádio são utilizadas para diversas finalidades, como transmissões militares, comunicações via satélite, rádioamador, televisão, entre outros. Confira algumas faixas de onda e seus usos:

VLF (Very Low Frequency): conhecida por sua capacidade de propagar sinais de longa distância, sendo utilizada em diversas aplicações, como comunicações submarinas, estudos geofísicos e sistemas de navegação.

LF (baixa frequência): propaga-se muito bem na água e razoavelmente no ar. Muito usadas em comunicações marítimas. Requer altíssima potência para se propagar através do ar.

MF (média frequência): não são desviadas para o solo, e tendem a propagar-se através do ar diretamente para a antena de recepção.

HF (alta frequência): é composto de ondas terrestres; logo, os sistemas de comunicação de HF são usados para transmissões de rádio de longa distância.

Very High Frequency (VHF): usada para comunicações de curta e média distância, como rádio de aviação, comunicações de emergência, rádio FM e televisão.

Ultra High Frequency (UHF): A faixa UHF é usada para comunicações de curta distância, como rádio de dois sentidos, telefonia celular, televisão digital e comunicações militares.

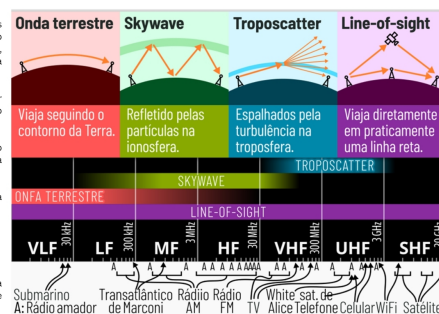


Figura B.13: Uso das ondas de rádio.

Melodias de rádio tecidas nos confins do universo.

Objetos astronômicos com matéria na forma de plasma, feito de elétrons e prótons, podem emitir poderosas ondas de rádio. Isso porque, assim como qualquer outro tipo de radiação eletromagnética, o rádio é gerado por partículas carregadas aceleradas.

Campos magnéticos são muito úteis para acelerar essas partículas, pois eles as conduzem por filamentos tão grandes que podem percorrer distâncias interestelares, ou até mesmo intergalácticas.

Em objetos astronômicos extremos como estrelas de nêutrons, os campos magnéticos são de proporções cósmicas. Por isso, esses corpos estão entre as maiores fontes de rádio do universo.

Graças à radioastronomia, os cientistas descobriram muitas características desses corpos que, de outro modo, não poderiam ser identificadas. No geral, eles usam as frequências de 300 MHz a 300 GHz para encontrar os emissores de rádio do cosmos.



Figura B.14: Radioastronomia.

QUESTINAMENTOS

Ondas de rádio fazem mal à saúde?
Justifique sua resposta.

Como as ondas de rádio se relacionam com a
teoria do Big Band?

TEXTOS COMPLEMENTARES

O que as ondas de rádio nos ensinam
sobre o universo?

Nas ondas do rádio.

Ondas de rádio - Vídeo

Figura B.15: Questionamento e textos. **O que as ondas de rádio nos ensinam sobre o universo?**, **Nas ondas do rádio.** e **Vídeo.**

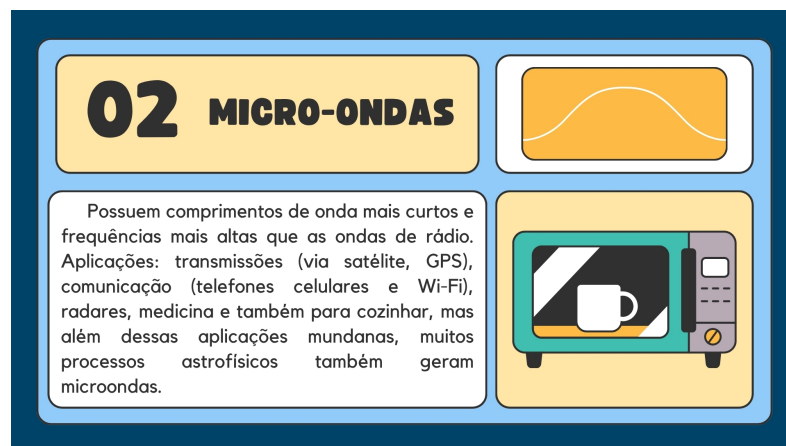


Figura B.16: Micro-ondas.

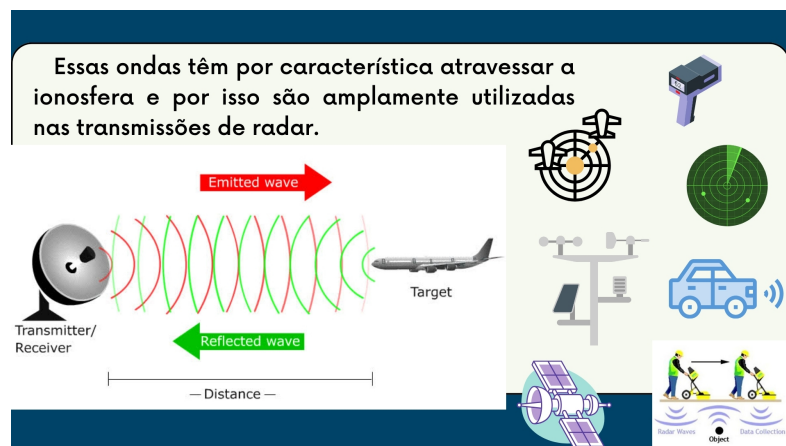


Figura B.17: Características das micro-ondas.



Wi-Fi

A troca de informações acontece em uma das duas frequências disponíveis pelos governos, a de 2.4 GHz ou a de 5GHz. Quanto mais alta a frequência, maior também a capacidade do sinal carregar um alto número de informações

A chamada rede Wi-Fi é uma rede sem fio (também chamada de wireless) na qual podemos ter acesso à internet apenas por sinal de ondas de rádio, assim como as televisões e os celulares, não sendo necessária a utilização de fios conectores.

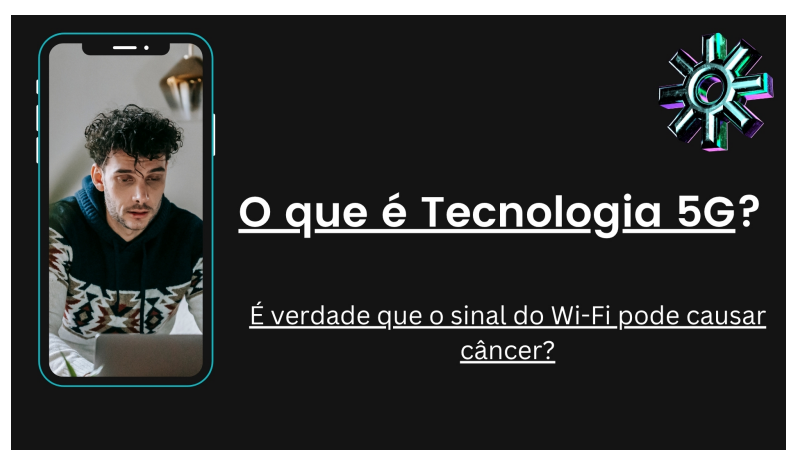
Vídeo - [Entenda o wi-Fi](#)

Você sabe a diferença das tecnologias de telecomunicação?

1G	2G	3G	4G	5G
Celular 1G utilizado em ondas de 800 MHz. Transmissão de voz via rádio analógico por ondas.	Totalmente digital. Possibilidade de enviar mensagens de texto (SMS).	Permite acesso à internet para a navegação em sites, envio de e-mails e acesso à TV via rede móvel.	Possibilidade de enviar vídeos de alta definição, jogar online e fazer transmissões.	Internet das Coisas. Aparelhos eletrônicos conectados à internet.

Pináculo

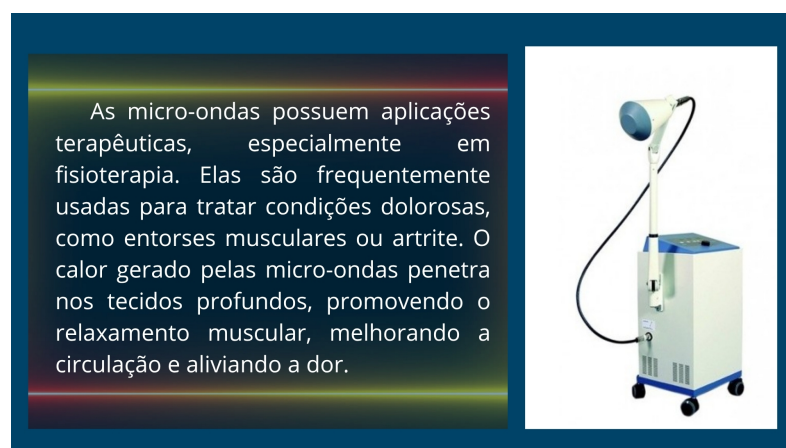
Figura B.18: Wi-Fi. **Entenda o wi-fi.**



O que é Tecnologia 5G?

É verdade que o sinal do Wi-Fi pode causar câncer?

Figura B.19: Tecnologia 5G, Wi-fi e o câncer. **O que é Tecnologia 5G?** e **É verdade que o sinal do Wi-Fi pode causar câncer?**



As micro-ondas possuem aplicações terapêuticas, especialmente em fisioterapia. Elas são frequentemente usadas para tratar condições dolorosas, como entorses musculares ou artrite. O calor gerado pelas micro-ondas penetra nos tecidos profundos, promovendo o relaxamento muscular, melhorando a circulação e aliviando a dor.



Figura B.20: Aplicações terapêuticas das micro-ondas.

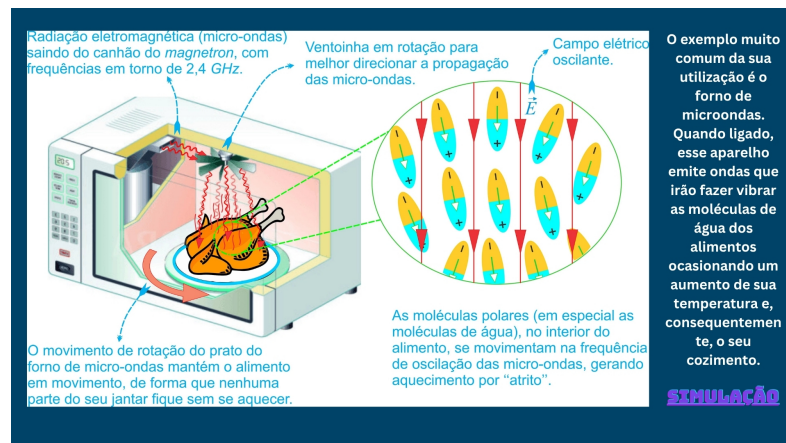


Figura B.21: Funcionamento do forno micro-ondas. **Simulação.**

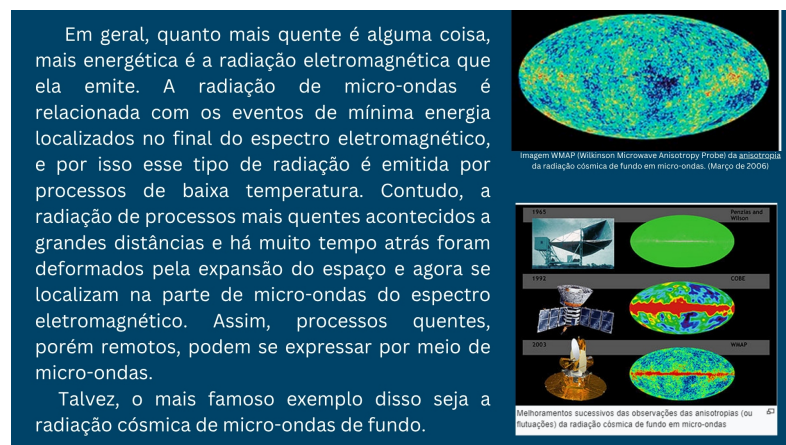


Figura B.22: Radiação de micro-ondas no universo.

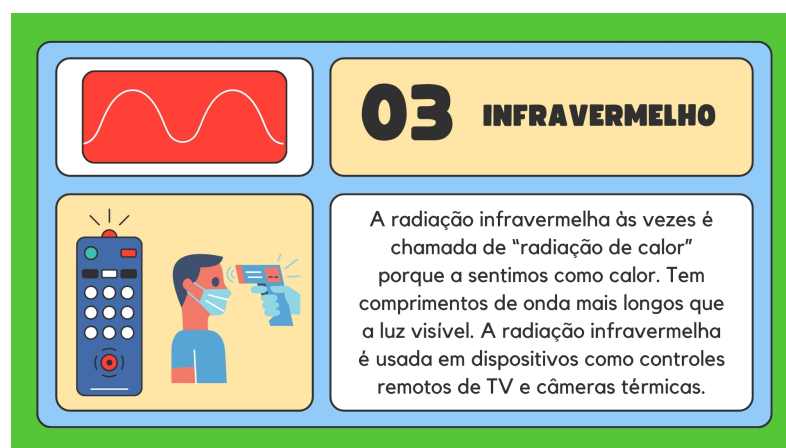


Figura B.23: Infravermelho.

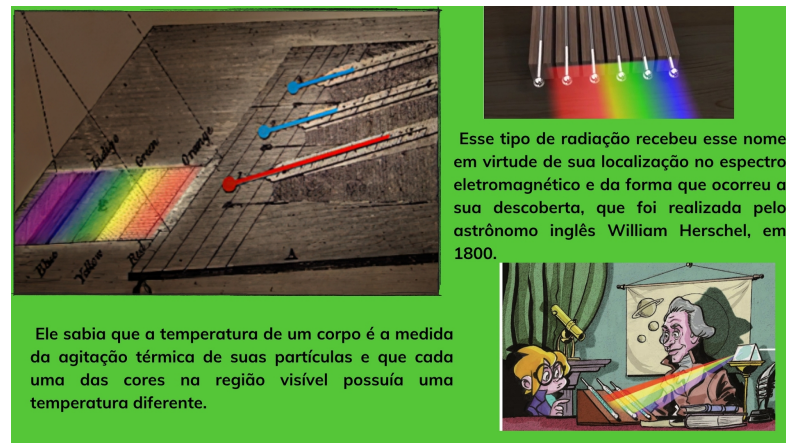


Figura B.24: Descoberta do infravermelho.



Figura B.25: Aplicações do infravermelho - I.



Figura B.26: Aplicações do infravermelho - II.

Para estudar o Universo, os astrônomos analisam a radiação eletromagnética que os objetos celestes emitem. Os telescópios coletam luz, e os dados coletados pelos telescópios permitem que os astrônomos aprendam sobre objetos celestes específicos e desenvolvam melhores teorias sobre o passado, presente e futuro do Universo.

Uma primeira coisa importante é que como o universo está em expansão acelerada, os objetos mais distantes do universo se afastam de nós mais rapidamente, e isso, devido ao conhecido **Efeito Doppler** faz com que ao observarmos esses objetos seu espectro esteja deslocado para o vermelho.

Esse efeito é chamado de redshift.

Isso significa que, mesmo que um processo de uma galáxia distante emita em comprimentos de onda azuis, até que essa luz chegue aos nossos telescópios, ela vai ser deslocada para o vermelho.

[VÍDEO](#)

Telescópio Espacial James Webb (JWST)

Figura B.27: O infravermelho no universo. Links relacionados: [Efeito Doppler.](#), [Vídeo.](#) e [Telescópio James Webb.](#)

04 VISÍVEL

Este é o tipo de radiação eletromagnética que nos permite ver o mundo que nos rodeia. A luz visível vem em cores diferentes, como vermelho, laranja, amarelo, verde, azul, índigo e violeta. Cada cor tem um comprimento de onda diferente.

Diagrama da luz visível mostrando o espectro de cores e uma onda eletromagnética.

Figura B.28: Visível.

O espectro de luz é a faixa de radiação eletromagnética que é visível ao olho humano. Ele é composto por diferentes cores, que vão do vermelho ao violeta, e cada cor corresponde a uma determinada frequência de onda.

É formado pela combinação de diferentes comprimentos de onda, que são emitidos por fontes de luz como o Sol, as estrelas e as lâmpadas. Cada comprimento de onda corresponde a uma cor específica, e quando essas cores se combinam, formam o espectro de luz visível.

O espectro de luz desempenha um papel fundamental na natureza, sendo essencial para a fotossíntese das plantas, por exemplo. A luz solar, que é composta por diferentes cores do espectro visível, é absorvida pelas plantas e transformada em energia, que é utilizada no processo de produção de alimentos. Além disso, o espectro de luz também é responsável pela regulação do ciclo circadiano dos seres vivos.

Espectro de luz com uma barra colorida e uma tabela de dados.

Frequência (Hz)	Comprimento de onda (m)
$7,6 \cdot 10^{14}$	$3,9 \cdot 10^{-7}$
$7,5 \cdot 10^{14}$	$4,1 \cdot 10^{-7}$
$6,8 \cdot 10^{14}$	$4,4 \cdot 10^{-7}$
$6,2 \cdot 10^{14}$	$4,8 \cdot 10^{-7}$
$5,7 \cdot 10^{14}$	$5,2 \cdot 10^{-7}$
$5,1 \cdot 10^{14}$	$5,9 \cdot 10^{-7}$
$4,6 \cdot 10^{14}$	$6,5 \cdot 10^{-7}$
$4,0 \cdot 10^{14}$	$7,5 \cdot 10^{-7}$

Figura B.29: Espectro de luz.



Figura B.30: Luz visível e o olho humano.

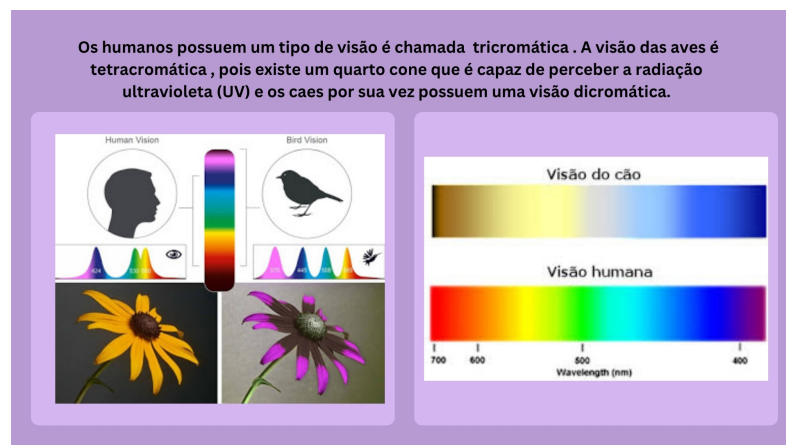


Figura B.31: Tipos de visão..



Figura B.32: Aplicações da luz visível - I.

COMUNICAÇÃO
Usada em sistemas de comunicação óptica, como redes de fibra óptica, que transmitem dados através de pulsos de luz em altas velocidades.

ENERGIA SOLAR
A luz visível do sol é aproveitada para a produção de energia solar através de células fotovoltaicas, que convertem a luz solar em eletricidade.

MEDICINA
Utilizada em várias aplicações médicas, como terapia com luz para tratar certas condições da pele e transtornos de humor, e em procedimentos cirúrgicos que usam lasers ou outras tecnologias baseadas em luz.

Aplicações da luz visível

Figura B.33: Aplicações da luz visível - II.

05 ULTRAVIOLETA

A radiação UV tem comprimentos de onda mais curtos e frequências mais altas que a luz visível. Vem do sol e é responsável por causar queimaduras solares. Não podemos ver a radiação UV, mas ela pode ser prejudicial à pele e aos olhos.

ULTRAVIOLETA

Figura B.34: Ultravioleta.

Raios
Comprimento de onda (nm)

UVC (100-280)
UVB (280-320)
UVA (320-400)
Luz visível (400-700)
Radiação infravermelha (700-1000)

Camada de ozônio
Vidro
Epiderme
Derme
Hipoderme
Tecido subcutâneo

A radiação ultravioleta pode ser classificada de acordo com suas faixas de energia em UVA, UVB e UVC. A seguir, podemos ver a representação da capacidade de penetração dos raios ultravioletas, luz visível e raios infravermelhos na camada de ozônio, no vidro e na pele humana:

Radiação UVA: conhecida como onda longa ou luz negra, apresenta um comprimento de onda entre 320 nanômetros e 400 nanômetros e é a radiação menos energética. É a menos prejudicial entre as radiações ultravioletas, contudo, por apresentar um alto poder de penetração cutânea, a exposição prolongada a ela pode ocasionar sérios efeitos.

Radiação UVB: também denominada onda média, apresenta um comprimento de onda entre 290 nanômetros e 320 nanômetros e é a segunda radiação mais energética. Ela é parcialmente bloqueada pela camada de ozônio, apresentando maior incidência no verão nas regiões de elevadas altitudes e próximas à linha do Equador. Ela é capaz de provocar vermelhidão e alguns tipos de câncer.

Radiação UVC: também nomeada UV curta ou germicida, apresenta um comprimento de onda entre 200 e 290 nanômetros e é a radiação mais energética. Trata-se da radiação mais prejudicial aos seres humanos, mas que felizmente é totalmente bloqueada pela camada de ozônio.

Figura B.35: Diferenças entre UVA, UVB e UVC.

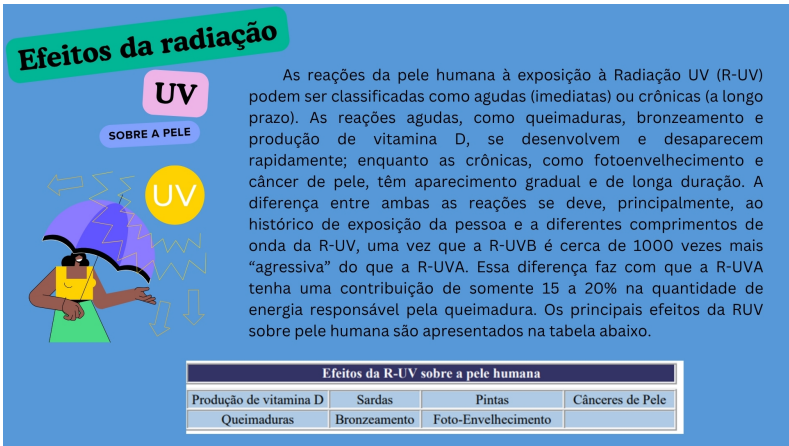


Figura B.36: Efeitos da radiação ultravioleta sobre a pele.

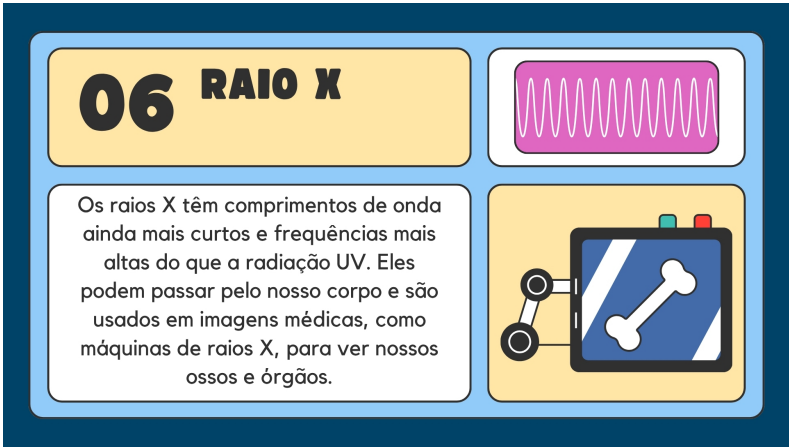


Figura B.37: Raio X.

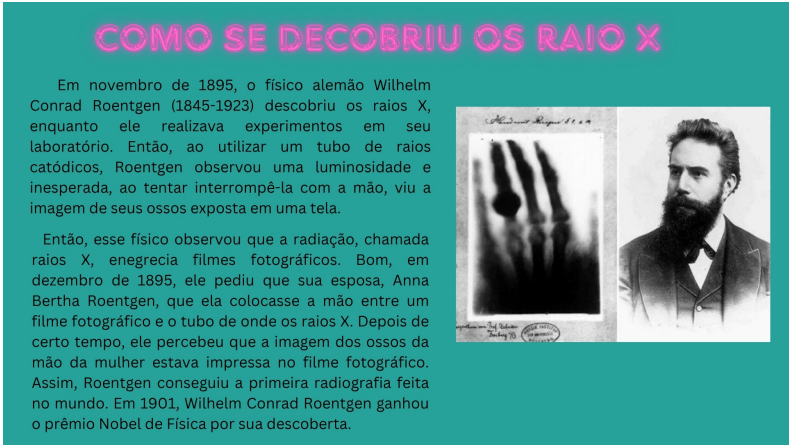


Figura B.38: Descoberta do Raio X.

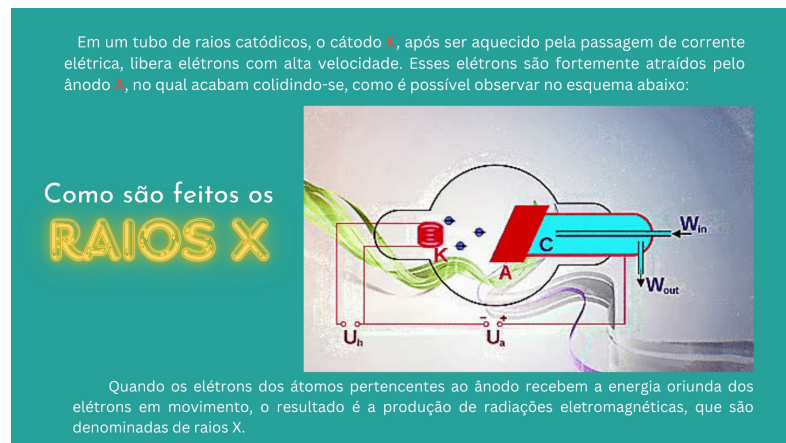


Figura B.39: Como são feitos os Raio X.



Figura B.40: Aplicações do Raio X - I.



Figura B.41: Aplicações do Raio X -II.

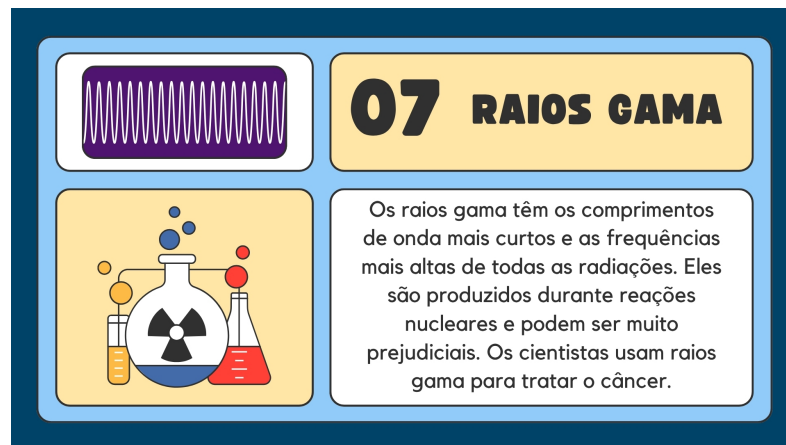


Figura B.42: Raio gama.

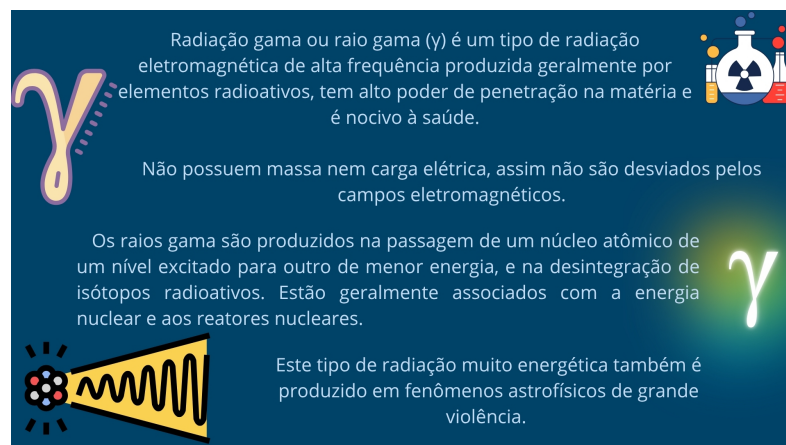


Figura B.43: Características da radiação gama.



Figura B.44: Fontes da radiação gama - I



Figura B.45: Fontes da radiação gama - II

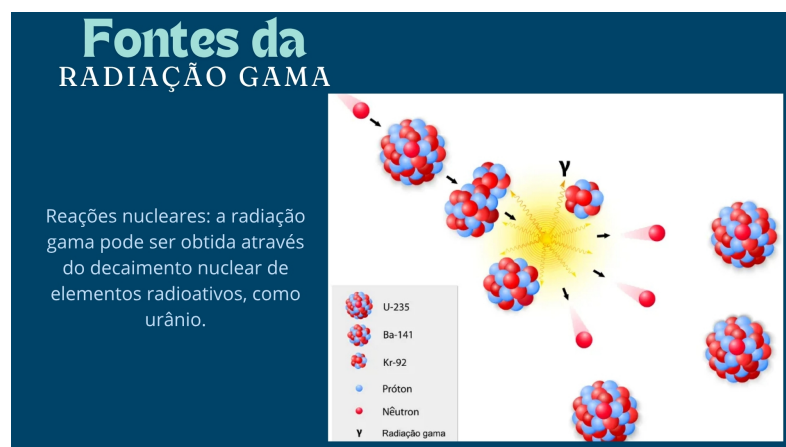


Figura B.46: Fontes da radiação gama - III



Figura B.47: Efeitos da radiação gama no corpo humano - I.



Figura B.48: Efeitos da radiação gama no corpo humano - II.

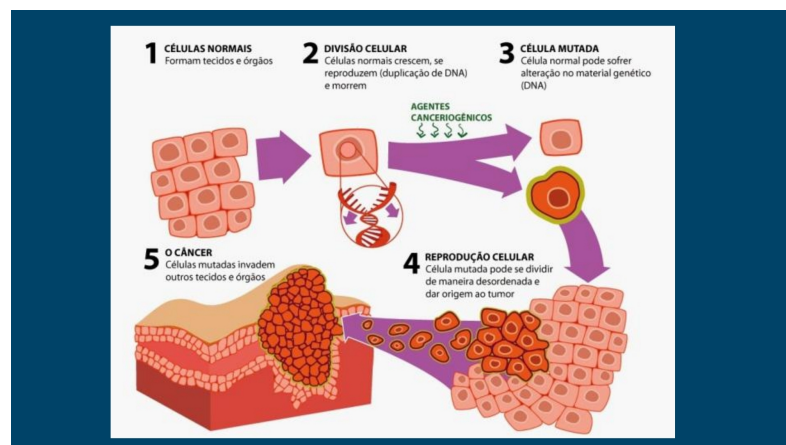


Figura B.49: Efeitos da radiação gama nas células.

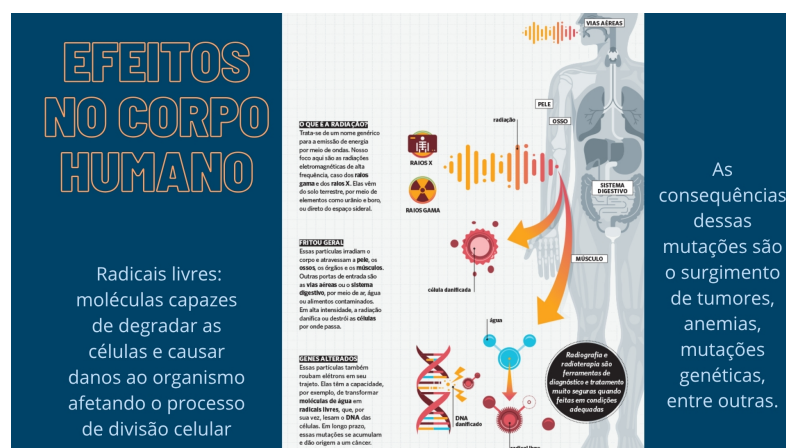


Figura B.50: Efeitos da radiação gama no corpo humano - III.



Figura B.51: Níveis de radiação.

C Cruzadinha

Fonte: Elaborada pelo autor (2025).

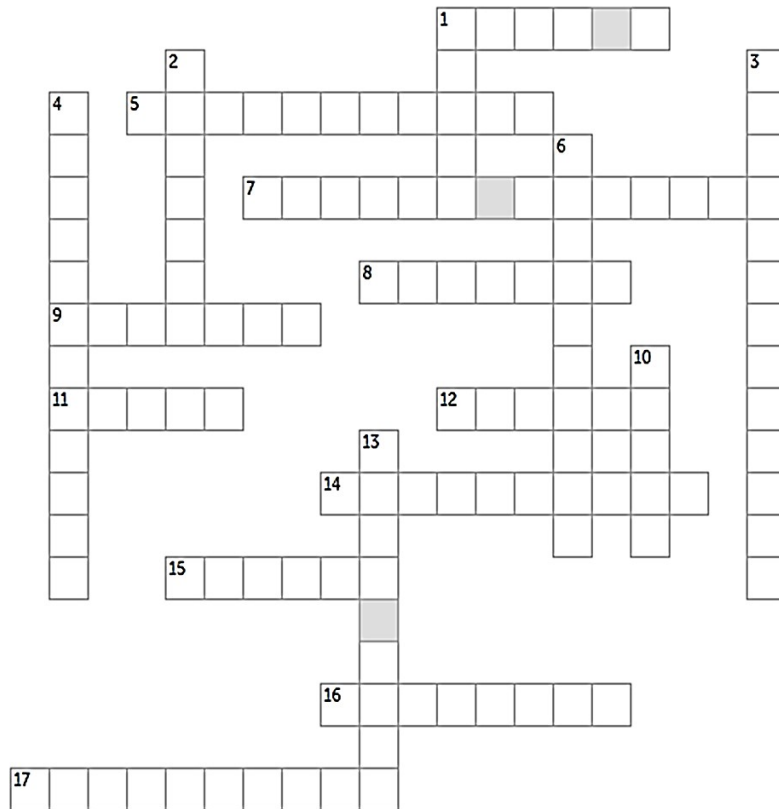


Figura C.1: Atividade de cruzadinha.

HORIZONTAL

1. Eles podem passar pelo nosso corpo e são usados em imagens médicas para ver nossos ossos e órgãos.
5. São utilizados em fornos para cozinhar e aquecer alimentos. Além disso, são empregados em comunicação, como telefones celulares e Wi-Fi.
7. É um fenômeno físico ondulatório que ocorre quando existe aproximação ou afastamento relativo entre uma fonte de ondas e um observador.
8. Analisando o espectro eletromagnético, podemos verificar que quanto maior a frequência, maior será a _____ associada à radiação.
9. Dentro do espectro visível é a cor mais energética.

11. Qual estrutura do corpo barra mais a passagem dos raios X?
12. Camada considerada um escudo da atmosfera da Terra, que impede a entrada dos raios ultravioletas do Sol.
14. São células fotorreceptoras responsáveis pela visão de preto e branco, visão no escuro (noite) e visão periférica (lateral).
15. A _____ nuclear tem como consequência a liberação de energia térmica e a emissão de radiação gama.
16. É um processo físico de emissão e propagação de energia por meios de partículas ou de ondas eletromagnéticas que se deslocam no espaço.
17. É uma grandeza Física que caracteriza as faixas de ondas eletromagnéticas.

VERTICAL

1. As ondas que podem para transmitir música, notícias e outras informações.
2. Este é o tipo de radiação eletromagnética que nos permite ver o mundo que nos rodeia.
3. Às vezes é chamada de radiação de calor porque a sentimos como calor, também é usada em dispositivos como controles remotos de TV e câmeras térmicas.
4. Pode causar queimaduras solares e câncer de pele.
6. São radiações que possuem energia suficiente para arrancar elétrons de um átomo.
10. Células responsáveis pela visão diurna e pela percepção das cores.
13. Tipo de radiação com as maiores frequências e com energia capaz de ionizar quase todos os átomos e moléculas. Os cientistas os utilizam para tratar o câncer.

RESPOSTAS

HORIZONTAL

1. Raio X.
5. Micro-ondas.
7. Efeito Doppler.
8. Energia.
9. Violeta.
11. Ossos.
12. Ozônio.
14. Bastonetes.
15. Fissão.
16. Radiação.
17. Frequência.

VERTICAL

1. Rádio.
2. Visível.
3. Infravermelho.
4. Ultravioleta.
6. Ionizantes.
10. Cones.
13. Raio gama.

D Jogos

A seguir, disponibilizamos imagens das cartas utilizadas no jogos de memória e as questões do quiz. Ambos os materiais foram utilizados na Etapa 7 da execução do produto educacional.

D.1 Jogo 1

Disponível em Jogo 1

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.



Figura D.1: Pares das cartas ondas de rádio e micro-ondas do jogo 1.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.



Figura D.2: Pares das cartas infravermelho e visível do jogo 1.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.



Figura D.3: Pares das cartas ultravioleta e raio-x do jogo 1.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.



Figura D.4: Par da carta raio gama do jogo 1.

D.2 Jogo 2

Disponível em Jogo 2

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

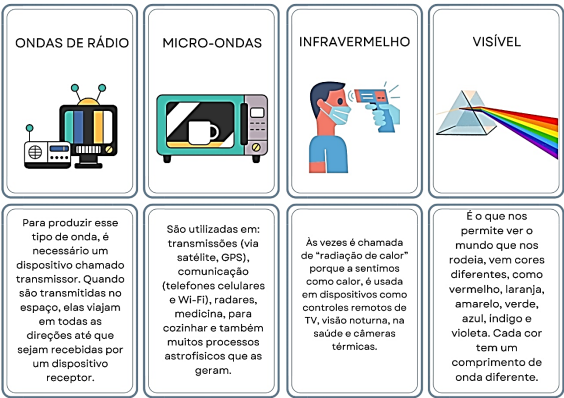


Figura D.5: Pares das cartas ondas de rádio, micro-ondas, infravermelho e visível do jogo 2.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.



Figura D.6: Pares das cartas ultravioleta, raio X e raio gama do jogo 2.

D.3 Jogo 3

Disponível em Jogo 3

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.



Figura D.7: Par de cartas da faixa de rádio do jogo 3.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

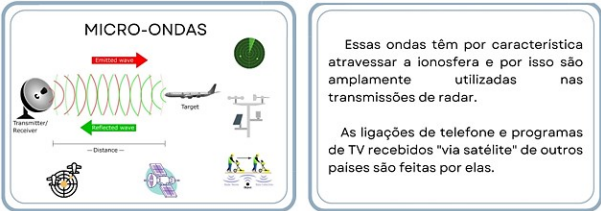


Figura D.8: Par de cartas da faixa de micro-ondas do jogo 3.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

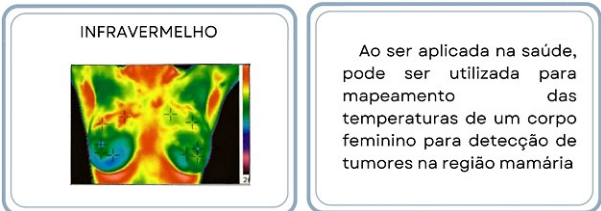


Figura D.9: Par de cartas da faixa infravermelho do jogo 3.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

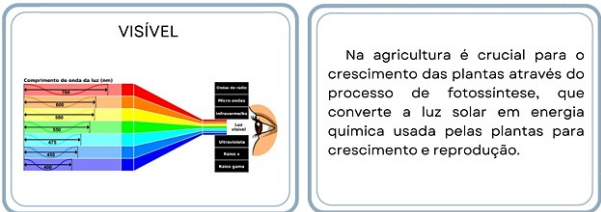


Figura D.10: Par de cartas da faixa do visível do jogo 3.

D.4 Quiz

Disponível em Quiz

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

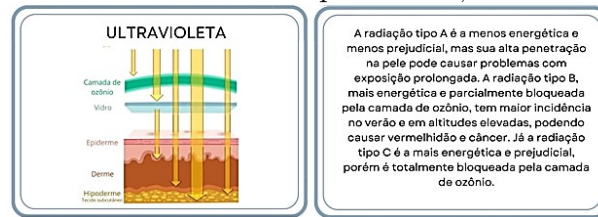


Figura D.11: Par de cartas da faixa ultravioleta do jogo 3.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

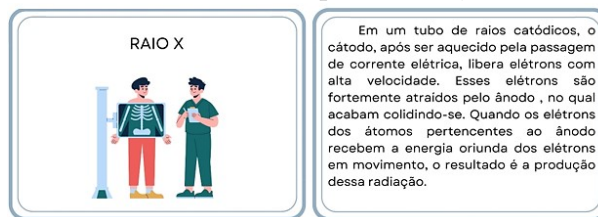


Figura D.12: Par de cartas da faixa raio X do jogo 3.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

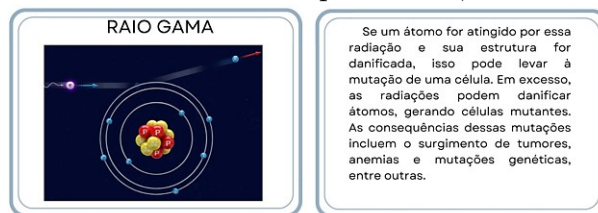


Figura D.13: Par de cartas da faixa raio gama do jogo 3.

Questão 1.

Nossa pele possui células que reagem à incidência de luz ultravioleta e produzem uma substância chamada melanina, responsável pela pigmentação da pele. Pensando em se bronzear, uma garota vestiu um biquíni, acendeu a luz de seu quarto e deitou-se exatamente abaixo da lâmpada incandescente. Após várias horas, ela percebeu que não conseguiu resultado algum. O bronzeamento não ocorreu porque a luz emitida pela lâmpada incandescente é de:

- (a) Baixa intensidade (b) Baixa frequência (c) Um espectro contínuo

Questão 2.

Quais propriedades físicas são utilizadas para distinguir os diferentes tipos de ondas eletromagnéticas?

- (a) Intensidade, velocidade, área, comprimento, força (b) Amplitude, perturbação, propagação, direção, sentido (c) Amplitude, velocidade, frequência, comprimento de onda

Questão 3.

Alguns sistemas de segurança incluem detectores de movimento. Nesses sensores, existe uma substância que se polariza na presença de radiação eletromagnética de certa região de frequência, gerando uma tensão que pode ser amplificada e empregada para efeito de controle. Quando uma pessoa se aproxima do sistema, a radiação emitida por seu corpo é detectada por qual tipo de sensor?

- (a) da luz visível (b) do ultravioleta (c) do infravermelho

Questão 4.

Ondas eletromagnéticas produzidas por reações nucleares e caracterizadas por alto poder de ionização. Essa definição refere-se a:

- (a) raio gama (b) raio x (c) ultravioleta

Questão 5.

Em qual das situações a luz visível é utilizada?

- (a) Comunicar por celular (b) Ver nossa imagem no espelho (c) Bronzeamento

Questão 6.

Qual das seguintes radiações eletromagnéticas possuem frequência superior à da luz visível?

- (a) infravermelho (b) micro-ondas (c) raio x

Questão 7.

São ondas eletromagnéticas de menor energia, maior comprimento de onda e menor frequência:

- (a) raio gama (b) ondas de rádio (c) infravermelha

Questão 8.

Quando maior a frequência de uma onda maior será o valor:

- (a) do comprimento de onda (b) da energia (c) da amplitude

Questão 9.

As redes de comunicação sem fio (Wi-fi) utilizam ondas eletromagnéticas para transmitir as informações dados. O Wi-fi é uma onda que pertence a qual faixa do espectro eletromagnético?

- (a) rádio (b) ultravioleta (c) micro-onda

Questão 10.

Qual das cores abaixo possui maior frequência?

- (a) azul (b) vermelho (c) violeta

Questão 11.

Qual das opções a seguir é uma fonte de radiação ultravioleta?

- (a) sol (b) lâmpadas incandescentes (c) aniquilação de pares de partículas

Questão 12.

O fenômeno físico caracterizado pela mudança no comprimento de onda ou na frequência de uma onda emitida por uma fonte que se movimenta em relação a um observador é conhecido como:

- (a) Efeito Coriolis (b) Efeito Doppler (c) Redshift