



UNIVERSIDADE
FEDERAL DO PIAUÍ



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
COORDENADORIA GERAL DE PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA – MNPEF

**O PhET COMO UM INSTRUMENTO DE ENSINO DE ONDULATÓRIA ATRAVÉS
DE SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS**

TERESNA
Julho/2025

FERNANDO GÉRSO N LIBÂNIO MENDES

**O PhET COMO UM INSTRUMENTO DE ENSINO DE ONDULATÓRIA ATRAVÉS
DE SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Piauí (UFPI) no Curso de Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF), Polo 26, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Linha de Pesquisa: Processo de ensino e aprendizagem no ensino de Física.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Maria do Socorro Leal Lopes

Teresina
Julho/2025

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Sistema de Bibliotecas UFPI - SIBi/UFPI
Biblioteca Setorial do CCN

M538p	Mendes, Fernando Gérson Libanio. O PhET como instrumento de ensino de ondulatória através de seqüências didáticas / Fernando Gérson Libanio Mendes. – Teresina, 2025. 161 f. : il. Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Federal do Piauí. Centro de Ciências da Natureza. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Teresina, 2025. “Orientadora: Profa. Dra. Maria do Socorro Leal Lopes”. 1. Física - Estudo e Ensino. 2. Simuladores PhET. 3. Ondulatória. 4. Seqüência Didática. I. Lopes, Maria do Socorro Leal. II. Título. CDD 530.7
-------	---

Bibliotecária: Caryne Maria da Silva Gomes - CRB3/1461



UNIVERSIDADE
FEDERAL DO PIAUÍ

MNPEF

COORDENAÇÃO DO POLO 26 (UFPI) DO MNPEF



SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ - UFPI
Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - MNPEF – Polo 26 UFPI
ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

FERNANDO GÉRSO LIBÂNIO MENDES

Às nove horas do dia dezessete de julho de dois mil e vinte e cinco, reuniu-se no auditório do departamento de Física da UFPI a Comissão Julgadora da dissertação intitulada " **O PhET COMO UM INSTRUMENTO DE ENSINO DE ONDULATÓRIA ATRAVES DE SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS**" do discente Fernando GérsO Libânio Mendes, composta pelos professores: Prof.^a Dr.^a Maria do Socorro Leal Lopes (orientadora, UFPI), Prof. Dr. Wemerson José Alencar (IFPI), Prof.^a Dr.^a Claudia Adriana de Sousa Melo (UFPI), para a sessão de defesa pública do citado trabalho, requisito para a obtenção do título Mestre em Ensino de Física. Abrindo a sessão a Orientadora e Presidente da Comissão, Prof.^a Dr.^a Maria do Socorro Leal Lopes, após dar a conhecer aos presentes o teor das Normas Regulamentares da defesa da Dissertação, passou a palavra ao discente para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos membros da Comissão Julgadora e respectiva defesa do discente. Nesta ocasião foram solicitadas correções no texto escrito, as quais foram acatadas de imediato. Logo após, a Comissão se reuniu, sem a presença do aluno e do público, para julgamento e expedição do resultado final. O aluno foi considerado APROVADO, por unanimidade, pelos membros da Comissão Julgadora, à sua dissertação. O resultado foi então comunicado publicamente ao discente pela Presidente da Comissão. Registrando que a confecção do diploma está condicionada à entrega da versão final da dissertação à CPG após o prazo estabelecido de 60 dias, de acordo com o artigo 39 da Resolução No 189/07 do CONSELHO DE ENSINO PESQUISA E EXTENSÃO DA UFPI. Nada mais havendo a tratar, a Presidente da Comissão Julgadora deu por encerrado o julgamento que tem por conteúdo o teor desta Ata que, após lida e achada conforme, será assinada por todos os membros da Comissão para fins de produção de seus efeitos legais. Teresina-PI, 17 de julho de 2025.

Documento assinado digitalmente
gov.br MARIA DO SOCORRO LEAL LOPES
Data: 26/07/2025 13:58:39-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof.^a Dr.^a Maria do Socorro Leal Lopes - orientadora (UFPI)

Documento assinado digitalmente
gov.br WEMERSON JOSE ALENCAR
Data: 27/07/2025 11:01:52-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Wemerson José Alencar (IFPI)

Documento assinado digitalmente
gov.br CLAUDIA ADRIANA DE SOUSA MELO
Data: 26/07/2025 12:35:14-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof.^a Dr.^a Claudia Adriana de Sousa Melo (CCN/UFPI)

Encaminhar Ata para e-mail da coordenação do programa mnpef@ufpi.edu.br

Dedicatória

Aos meus familiares: pais, Maria das Graças Libânio da Silva e Antônio Mendes da Silva, exemplos de amor, ética, luta e perseverança, que me ensinaram o verdadeiro valor da educação e sempre acreditaram no meu potencial e a minha irmã, Jessica Fernanda Libânio Mendes Alves, e ao seu esposo, Iran Henrique Alves Libânio, pela amizade, incentivo e apoio constante em todas as etapas desta caminhada e ao meu padrinho Manoel Mendes da Silva Filho e sua esposa Maria Isabel, pelo acolhimento generoso e pelo suporte nos momentos em que precisei de um lar em Teresina durante os estudos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, por guiar-me por caminhos que possibilitam luz e libertação no exercício profissional do magistério.

Agradeço especialmente a Sociedade Brasileira de Física-SBF e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES por contribuírem para formação qualificada de professores de Física e pelo apoio financeiro concedido por meio da bolsa de estudos, essencial para a continuidade e desenvolvimento desta pesquisa. O investimento em ciência e formação de pesquisadores é fundamental para o avanço do conhecimento em nosso país.

À minha orientadora, Profa. Dra. Maria do Socorro Leal Lopes, agradeço pela dedicação, paciência, orientação cuidadosa e por compartilhar seu conhecimento com generosidade ao longo de toda a caminhada. Suas palavras de incentivo, rigor acadêmico e apoio constante foram fundamentais para a superação dos desafios e para o crescimento pessoal e profissional.

Agradeço a Coordenação e aos Professores do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal do Piauí, Campus Ministro Petrônio Portela Teresina-Piauí pela dedicação na condução de tão importante ação de formação docente nesta área de ensino.

Meus profundos agradecimentos aos meus familiares, minha mãe Maria das Graças Libânio da Silva e Antônio Mendes da Silva, pelo amor incondicional, exemplos de ética e resiliência e por sempre acreditarem em meu potencial. Vocês são minha maior inspiração e a minha irmã, Jessica Fernanda Libânio Mendes Alves, e ao seu esposo, Iran Henrique Alves Libânio, agradeço por toda a compreensão, incentivo e apoio, mesmo nos momentos mais difíceis vocês foram as luzes que me conduziram a até a conquista almejada, o Mestrado.

Registro um agradecimento especial ao meu padrinho Manoel Mendes da Silva Filho e à sua esposa Maria Isabel, que me acolheram com tanto carinho em sua casa durante o período em que precisei residir em Teresina para assistir às aulas do mestrado. O acolhimento e o apoio de vocês foram fundamentais em minha trajetória.

Sou grato também aos meus colegas de turma do mestrado: Antonio Felipe, Antônio Huanderson, Amaranes, Edivaldo, Eduardo, Paulo, Rebeca, Guilherme, Jorge, Emmanuel, Tayla, Flavio e Ayrton. A convivência, as trocas de experiências e o companheirismo durante essa jornada tornaram o percurso mais leve e enriquecedor.

Agradeço, ainda, aos colegas de trabalho do Ceti Átila Lira, pela colaboração, apoio e compreensão diante dos desafios enfrentados durante o mestrado e aos alunos sujeitos da pesquisa que tiveram uma participação ativa na realização da pesquisa.

Por fim, estendo meus agradecimentos a todos que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho. Cada gesto, palavra ou apoio foi fundamental para que este sonho se tornasse realidade.

Muito obrigado!

RESUMO

Este estudo analisou o uso do simulador PhET como ferramenta no ensino de ondulatória no Ensino Médio, a partir da construção e implementação de sequências didáticas, com o objetivo de construir uma cartilha digital que oriente o processo de ensino e aprendizagem da ondulatória. Diante das dificuldades dos alunos em compreender conceitos de ondulatória por meio de aula expositiva, o estudo propõe o uso pedagógico do PhET para promover uma aprendizagem mais significativa, fundamentado na teoria da aprendizagem significativa, conforme estudos de Ausubel (2003) e Moreira (2011) utilizando mídias digitais como recurso de ensino de ondulatória conforme Holanda (2021), Medeiros (2024) e outros. A pesquisa, de natureza qualitativa exploratória aplicada, foi realizada em uma escola pública envolvendo alunos do segundo e terceiro ano do ensino médio, utilizando, pré-teste e pós-teste, observação e atividades práticas. Os resultados apontam que o uso planejado do PhET favorece o interesse, a compreensão de conceitos abstratos e o protagonismo dos estudantes no processo de ensinar e aprender, além de ressaltar o papel do professor como mediador no processo. Conclui-se que o PhET, aliado à sequências didáticas torna o ensino de ondulatória mais acessível e eficaz, mesmo em contextos com limitações de laboratório físico, neste sentido a cartilha digital dá uma contribuição relevante para a utilização do PhEt (laboratório digital) no ensino de Ondulatória no Ensino Médio.

Palavras-chave: Ensino de Física; Ondulatória; Simuladores PhET; Sequências Didáticas; Aprendizagem Significativa.

Teresina
Julho/2025

ABSTRACT

This study analyzed the use of the PhET simulator as a tool in teaching wave theory in high school, based on the construction and implementation of didactic sequences, with the objective of building a digital booklet that guides the teaching and learning process of wave theory. Given the difficulties students have in understanding wave theory through expository classes, the study proposes the pedagogical use of PhET to promote more meaningful learning, based on the theory of meaningful learning, according to studies by Ausubel (2003) and Moreira (2011), using digital media as a resource for teaching wave theory according to Holanda (2021), Medeiros (2024) and others. The research, of an applied exploratory qualitative nature, was carried out in a public school involving second and third year high school students, using pre-test and post-test, observation and practical activities. The results indicate that the planned use of PhET favors interest, understanding of abstract concepts and the protagonism of students in the teaching and learning process, in addition to highlighting the role of the teacher as a mediator in the process. It is concluded that PhET, combined with didactic sequences, makes the teaching of wave theory more accessible and effective, even in contexts with limitations of physical laboratory. In this sense, the digital booklet makes a relevant contribution to the use of PhET (digital laboratory) in the teaching of wave theory in high school.

Keywords: Physics Teaching; Wave Physics; PhET Simulators; Didactic Sequences; Meaningful Learning.

Teresina
June/2025

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Sistema massa-mola	8
Figura 2 -	Comparação entre as curvas da (a) posição $x(t)$, (b) velocidade $v(t)$ e (c) aceleração em função do tempo. Todas as curvas foram determinadas considerando $\phi = 0...$	12
Figura 3 -	(a) Um pêndulo simples. (b) As forças que agem sobre o pêndulo.....	12
Figura 4 -	(a) O movimento do ponto P' projetado no eixo x corresponde ao movimento de P. (b) Velocidade do ponto P' também é projetado no eixo x e corresponde à mesma forma que obtivemos no movimento harmônico simples. (c) Aceleração correspondente cuja componente horizontal também se reduz à expressão obtida para o movimento harmônico simples.....	15
Figura 5 -	É apresentada duas curvas da amplitude em termos da frequência da força externa para dois valores diferentes da constante de amortecimento.....	19
Figura 6 -	O perfil da onda $y(x, 0)$, para $t = 0$	21
Figura 7 -	Onda progressiva para direita.....	22
Figura 8 -	Interferência destrutiva de pulsos triangulares.....	27
Figura 9 -	Pulso numa corda com extremidade fixa.....	27
Figura 10 -	O que é uma onda e quais seus principais tipos.....	65
Figura 11 -	Exemplos de Ondas Mecânicas e sua propagação.....	67
Figura 12 -	Frequência e comprimento de onda.....	68
Figura 13 -	Velocidade da onda, frequência e comprimento.....	70
Figura 14 -	Amplitude e energia da onda.....	72
Figura 15 -	Diferenças entre ondas no ar e na água.....	73
Figura 16 -	Frequência, comprimento de onda e velocidade.....	75
Figura 17 -	Relação entre Amplitude e energia da onda.....	77
Figura 18 -	Comportamento da onda ao ajustar a frequência.....	78
Figura 19 -	Relação entre velocidade, frequência e comprimento de onda.....	80

Figura 20 -	Velocidade de propagação das ondas em diferentes meios	81
Figura 21 -	Movimento Harmônico Simples (MHS) nas Ondas.....	83
Figura 22 -	O que você entende por onda e cite exemplos.....	84
Figura 23 -	Cordas vibrando em instrumento música e seu comportamento.....	86
Figura 24 -	Aumento da frequência e som produzido por instrumento de corda.....	88
Figura 25 -	Amplitude e o comportamento da onda em uma corda.....	90
Figura 26 -	Tensão em uma corda e velocidade da onda.....	92
Figura 27 -	Diferença entre onda que se propaga e ondas estacionária	93
Figura 28 -	Frequência x comprimento de onda.....	95
Figura 29 -	Tensão x Velocidade da onda.....	97
Figura 30 -	Amplitude, Altura e Velocidade a onda.....	98
Figura 31 -	Onda estacionária vs. Onda Propagante.....	100
Figura 32 -	Influência da tensão e frequência na velocidade da onda....	101
Figura 33 -	Relação frequência, comprimento de onda e velocidade.....	103

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	01
2	INOVAÇÕES, DESAFIOS E FUNDAMENTOS MATEMÁTICOS NO ENSINO DE FÍSICA E ONDULATÓRIA NO ENSINO MÉDIO.....	03
2.1	Panorama atual e perspectiva para o Ensino de Física no Ensino Médio.....	03
3.	EQUAÇÕES FUNDAMENTAIS DA ONDULATÓRIA: CONTEXTUALIZAÇÃO E APLICAÇÕES NO ENSINO MÉDIO.....	07
3.1	Movimento Oscilatório.....	07
3.1.1	Movimento Harmônico Simples.....	08
3.1.2	Pêndulo Simples.....	12
3.1.3	Movimento Harmônico Simples e Movimento Circular Uniforme.....	14
3.1.4	Oscilações Amortecidas e Forçadas.....	15
3.1.5	Oscilações Amortecidas.....	15
3.1.6	Oscilações Forçadas.....	17
3.1.6.1	Oscilações Forçadas Amortecidas.....	17
3.1.7	Ressonância.....	18
3.2	Ondas.....	20
3.2.1	Conceito de Onda.....	20
3.2.2	Equação de Onda.....	21
3.2.3	Ondas Harmônicas.....	24
3.2.4	Princípio da Superposição.....	25
3.2.5	Interferência.....	26
3.2.6	Reflexão.....	27
4	A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA E O USO DO SIMULADOR PHET NO ENSINO DE ONDULATÓRIA: UMA ABORDAGEM INTERATIVA E REFLEXIVA.....	29
4.1	A Aprendizagem Significativa no ensino de Ondulatória com o uso do Simulador PhET.....	29
4.2	O papel do professor e das ferramentas interativas no ensino de Ondulatória.....	31

5	TRANSFORMANDO O ENSINO DE ONDULATÓRIA: A INTEGRAÇÃO DAS TICS E DO PHET NA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA.....	34
5.1	As Tecnologias de Informação e Comunicação no ensino de Ondulatória: um recurso inovador e transformador.....	34
6	ESTRUTURANDO O ENSINO DE ONDULATÓRIA: SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS E O USO DO PHET COMO FERRAMENTA INTERATIVA	38
6.1	A importância das Sequências Didáticas no ensino de Ondulatória com o uso do PhET.....	38
6.2	O planejamento de Sequências Didáticas para o ensino de Ondulatória: Estratégias e Aplicações.....	41
7	SIMULAÇÕES INTERATIVAS E SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS: POTENCIALIZANDO O ENSINO DE ONDULATÓRIA COM O PHET	44
7.1	A importância das Simulações Interativas no ensino de Ondulatória: o uso do PhET como ferramenta pedagógica.....	44
7.2	As Sequências Didáticas e o uso do PhET no ensino de Ondulatória.....	47
8	METODOLOGIA.....	50
8.1	Caracterização da Pesquisa.....	51
8.2	Cenário da Pesquisa.....	52
8.3	Sujeitos da Pesquisa.....	54
8.4	Técnicas de coleta de dados.....	55
9	EXPLORANDO ONDAS: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA COM BASE EM AUSUBEL E MOREIRA.....	57
9.1	Aula 1: Preparação e diagnóstico dos conhecimentos prévios.....	57
9.2	Aula 2: Exploração e ativação cognitiva.....	58
9.3	Aula 3: Discussão e construção do significado.....	59
9.4	Aula 4: Atividade de Fixação e Aplicação Prática.....	61
9.5	Aula 5: Avaliação e reflexão final.....	62
10.	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	64
10.1	Simulação 1 – Introdução à Ondas.....	64
10.2	Simulação 2 – Ondas em uma Corda.....	84

11	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	105
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	107
12	PRODUTO EDUCACIONAL.....	110

INTRODUÇÃO

A área da educação está constantemente buscando maneiras inovadoras de melhorar o processo de ensino e aprendizagem. Nesse contexto, a utilização de recursos tem se mostrado uma abordagem promissora para auxiliar os alunos a compreenderem conceitos complexos de forma mais eficaz. No ensino da Física, especialmente quando se trata de conceitos de ondulatória pode ser desafiador para muitos estudantes, uma vez que os estudos de ondulatória são de extrema importância para a compreensão de diversos aspectos do mundo natural. Diante disso é preciso buscar estratégias de ensino que tornem esses conteúdos mais acessíveis, envolventes e sustentáveis para os alunos.

Diante desse cenário, surgem as problemáticas de como tornar o ensino de ondulatória mais acessível e atrativo aos estudantes, de modo a facilitar sua compreensão e promover uma aprendizagem significativa. Para isso a utilização de recursos digitais e, mais especificamente, o PhET (Physics Education Technology), que é um conjunto de simulações interativas desenvolvidas pela Universidade do Colorado, surge como uma alternativa promissora para auxiliar no ensino/aprendizagem dos conteúdos de ondulatória. A construção de uma cartilha digital, desenvolvida como uma sequência didática utilizando o PhET como instrumento de ensino, visando proporcionar aos alunos uma experiência de aprendizagem mais dinâmica e eficaz.

O problema central que motiva este trabalho é a dificuldade que os alunos encontram ao aprender os conteúdos de ondulatória de maneira tradicional. O ensino de ondulatória muitas vezes é realizado de forma tradicional, com aulas expositivas e abordagens teóricas, o que pode dificultar a compreensão dos alunos e tornar o aprendizado menos significativo. A falta de recurso visuais e interativos pode limitar a capacidade dos alunos em visualizar e aplicar os conceitos estudados. Portanto, a questão problema desta pesquisa é, como desenvolver uma sequência didática utilizando o PhET como instrumento de ensino e aprendizagem, de forma a proporcionar uma experiência de aprendizagem mais envolvente, acessível e eficaz para os alunos?

Para responder a este problema estabeleceu-se o seguinte objetivo geral: Desenvolver uma cartilha digital que apresente estratégias e diretrizes para a

utilização do PhET como instrumento de ensino/aprendizagem dos conteúdos de Ondulatória, visando a compreensão aprimorada e o desempenho dos alunos nessa área, e para alcançar esse objetivo estabeleceu-se os seguintes objetivos específicos: Identificar conceitos de Ondulatória por meio das simulações do PhET; Selecionar as simulações do PhET para a exploração cada conceito de forma interativa; Desenvolver atividades práticas que utilizam as simulações do PhET como recurso que viabiliza a exploração e visualização dos fenômenos da Ondulatória; Elaborar orientações claras e a sequência didática que possibilite a interação nas simulações do PhET nas aulas de Ondulatória, considerando diferentes níveis de conhecimento dos alunos; Propor estratégias de avaliação que verifiquem o impacto do uso das simulações do PhET no processo de aprendizagem dos alunos; Avaliar a eficácia da cartilha e da sequência didática por meio de feedback dos alunos e análise do impacto no desempenho e na compreensão dos conteúdos de ondulatória.

A utilização das simulações interativas do PhET poderá oferecer aos alunos uma experiência agradável e concreta, permitindo que eles explorem observando diretamente o comportamento das ondas. Dessa forma, a cartilha digital pode auxiliar na superação das dificuldades conceituais, proporcionando uma compreensão significativa dos fenômenos ondulatórios.

2. INOVAÇÕES, DESAFIOS E FUNDAMENTOS MATEMÁTICOS NO ENSINO DE FÍSICA E ONDULATÓRIA NO ENSINO MÉDIO

O objetivo deste capítulo é analisar criticamente o panorama atual do ensino de Física no Ensino Médio brasileiro, destacando os principais desafios didático-metodológicos, as perspectivas de inovação pedagógica e a importância da contextualização dos conteúdos para a promoção da aprendizagem significativa. Em seguida, busca-se apresentar as principais equações matemáticas da ondulatória, demonstrando suas deduções e aplicações no contexto escolar, a fim de proporcionar uma compreensão mais sólida, integrada e experimental dos fenômenos ondulatórios. Ao reunir análise teórica, discussão metodológica e fundamentação matemática, este capítulo visa subsidiar práticas docentes que promovam o engajamento dos estudantes e a formação de competências científicas relevantes para o mundo contemporâneo.

2.1 PANORAMA ATUAL E PERSPECTIVAS PARA O ENSINO DE FÍSICA NO ENSINO MÉDIO

O ensino de Física no Ensino Médio brasileiro tem sido, historicamente, marcado por desafios didáticos e metodológicos que impactam diretamente o processo de aprendizagem dos estudantes. Como destacam Araújo et al. (2021), “o cenário atual desfavorável do ensino de Física na Educação Básica brasileira” demanda a adoção de novas estratégias pedagógicas capazes de promover uma aprendizagem mais significativa e contextualizada. Diante disso, torna-se fundamental analisar os fatores que dificultam, bem como os caminhos para a melhoria da educação em Física neste nível de ensino.

Entre as principais dificuldades enfrentadas, encontra-se a abordagem excessivamente teórica e desvinculada da realidade dos alunos. Segundo Azevedo et al. (2022, p. 2), “ensinar Física vai muito além do uso de fórmulas e equações que na maioria das vezes aparecem sem contextos no cotidiano escolar dos alunos.” Esse distanciamento entre teoria e prática contribui para a percepção da disciplina como inacessível e desinteressante, resultando em baixos índices de aprendizagem e elevado desengajamento estudantil.

Os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) ressaltam a necessidade de articular os conteúdos de Física ao cotidiano dos estudantes, buscando desenvolver competências e habilidades críticas. De acordo com os PCN (BRASIL, 2000, p. 24), “o ensino de Física tem-se realizado frequentemente, mediante a apresentação de conceitos, leis e fórmulas, de forma desarticulada, distanciados do mundo vivido pelos alunos e professores e não só, mas também por isso, vazios de significado.” Essa constatação exige uma reavaliação das práticas pedagógicas tradicionais.

A aprendizagem significativa, segundo a teoria de David Ausubel, é fundamental para superar o ensino meramente mecânico. Ausubel, Novak e Hanesian (1980, p. 137) afirmam que “o fator isolado mais importante que influencia o aprendizado é aquilo que o aprendiz já conhece.” Dessa forma, é imprescindível que o professor considere os conhecimentos prévios dos estudantes como ponto de partida para a construção de novos saberes, favorecendo a ancoragem dos conceitos físicos.

Além disso, a inserção de metodologias ativas e recursos tecnológicos tem se mostrado eficaz na promoção do engajamento dos alunos. Simuladores virtuais, por exemplo, permitem uma experimentação prática e segura, além de possibilitarem a visualização de fenômenos abstratos, como aponta Pereira (2018): “as simulações facilitam a visualização e a compreensão de diversos fenômenos físicos, estimulando o interesse do aluno pela Física e tornando o processo de ensino-aprendizagem mais produtivo.”

A valorização da experimentação, mesmo que virtual, é apontada por diversos autores como essencial para o ensino de Física. Fonseca (2013) enfatiza que “o uso de simulações ajuda a visualização do conceito através de experimentos virtuais”, contribuindo para a compreensão conceitual e a formação do pensamento científico. Nesse sentido, laboratórios virtuais e recursos digitais podem compensar a carência de infraestrutura nas escolas públicas.

Outro ponto central é a formação inicial e continuada dos professores. Azevedo et al. (2022) destacam que, apesar do reconhecimento das potencialidades de softwares educacionais como o PhET, “a falta de capacitação destes profissionais e ainda a inexistência de uma estrutura adequada” dificultam sua adoção efetiva nas práticas pedagógicas. Assim, a valorização do desenvolvimento profissional docente deve ser pauta permanente.

O uso de estratégias investigativas, como a aprendizagem baseada em problemas (ABP) e o ensino por investigação, também contribui para o desenvolvimento de competências científicas. Segundo Gama, Santos e Queiroz (2020), “metodologias alternativas de ensino de Física, como a Aprendizagem Baseada em Problemas, o Ensino por Investigação e a Demonstração de Aulas Interativas são cada vez mais discutidas no Brasil e no mundo com o objetivo de tornar a aprendizagem mais cooperativa e significativa”.

No contexto brasileiro, a superação do ensino fragmentado passa ainda pela valorização da interdisciplinaridade. Os conteúdos de Física devem dialogar com outras áreas do conhecimento, promovendo uma formação integral e preparando o estudante para os desafios do mundo contemporâneo (BRASIL, 1998a). Essa abordagem favorece a construção de uma visão crítica, criativa e transformadora da A relação entre teoria e prática, mediada pelo uso de tecnologias, pode aproximar o estudante dos conceitos científicos e estimular o pensamento investigativo. De acordo com Moran, Massetto e Behrens (2012, p. 13), “aos alunos e professores oportunidades de interação e produção de saberes” são ampliadas com o uso de recursos digitais, fortalecendo a autonomia e a criatividade dos estudantes no processo de aprendizagem.

Apesar dos avanços, o ensino de Física no Ensino Médio ainda enfrenta barreiras estruturais e culturais, como a falta de laboratórios, baixa valorização da disciplina e resistência à adoção de novas metodologias. Conforme Lima et al. (2006), “o investimento no desenvolvimento de laboratórios virtuais poderá permitir, para as instituições de ensino, a diminuição do custo de aquisição e manutenção dos laboratórios reais [...] o uso desse recurso permitirá a inclusão digital aos alunos ao mesmo tempo em que poderá estimular sua capacidade criativa e investigativa”.

A contextualização dos conteúdos é outro aspecto relevante. O ensino de Física deve partir de situações reais e próximas do universo dos estudantes, promovendo a ressignificação dos conhecimentos e a ampliação do interesse pela disciplina. Como aponta Freire (2011), a educação deve ser compreendida como prática da liberdade, voltada para a transformação social e para a formação de sujeitos críticos.

Por fim, é fundamental compreender que a melhoria do ensino de Física depende de ações integradas entre políticas públicas, formação docente, infraestrutura escolar e envolvimento dos estudantes. A construção de uma educação

científica de qualidade pressupõe o compromisso coletivo com a democratização do conhecimento, a equidade de oportunidades e a valorização do saber científico como instrumento de emancipação social.

Nesse sentido, a reflexão crítica e permanente sobre as práticas pedagógicas, aliada ao uso consciente de tecnologias e metodologias inovadoras, constitui-se como caminho essencial para a superação dos desafios do ensino de Física no Ensino Médio. Dessa forma, será possível formar estudantes autônomos, criativos e preparados para atuar de maneira crítica e responsável na sociedade contemporânea.

3. EQUAÇÕES FUNDAMENTAIS DA ONDULATÓRIA: CONTEXTUALIZAÇÃO E APLICAÇÕES NO ENSINO MÉDIO

3.1. MOVIMENTO OSCILATÓRIO

As oscilações correspondem a movimentos repetitivos, muito presentes tanto na natureza quanto em situações do dia a dia. Elas acontecem quando um sistema é deslocado de sua posição de equilíbrio estável. Dependendo de sua origem, podem ser classificadas em mecânicas, eletromagnéticas ou eletromecânicas. Entre os exemplos mais comuns estão os lustres que balançam, os pêndulos de relógio, os barcos que oscilam no cais e o movimento dos pistões nos motores. Já exemplos menos perceptíveis envolvem as vibrações das moléculas de ar, que produzem ondas sonoras, e as oscilações das correntes elétricas em rádios e televisores. O estudo das oscilações no contexto tecnológico permite compreender tanto seus efeitos benéficos quanto suas consequências indesejadas.

Neste capítulo, daremos atenção apenas às oscilações mecânicas, pois são fundamentais para a compreensão do movimento ondulatório. Essas oscilações podem ser **livres**, quando o sistema, após ser retirado de sua posição de equilíbrio, não sofre ação de forças externas. Um pêndulo afastado e liberado é um exemplo clássico desse tipo de oscilação.

No entanto, no mundo real, as oscilações costumam ser **amortecidas**, ou seja, sua intensidade diminui gradualmente em razão da transformação da energia mecânica em energia térmica, provocada pelo atrito (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 1996). Já quando o sistema recebe impulsos periódicos externos, temos as chamadas **oscilações forçadas**, como acontece quando uma criança continua balançando ao se impulsionar em um balanço.

Uma característica essencial do movimento oscilatório é a **frequência**, que corresponde ao número de oscilações completas realizadas em cada segundo. Essa grandeza é representada pela letra f e sua unidade no Sistema Internacional é o **hertz (Hz)**, definido como uma oscilação por segundo.

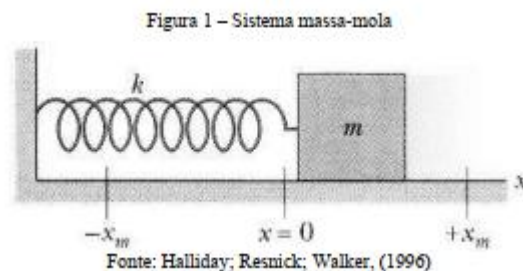
$$1 \text{ hertz} = 1 \text{ oscilação por segundo} = 1 \text{ s}^{-1}$$

O **período T** de um movimento oscilatório corresponde ao intervalo de tempo necessário para a realização de uma oscilação completa. Essa grandeza está diretamente relacionada à **frequência f** do movimento, definida como o número de oscilações executadas por unidade de tempo. A relação entre ambas é expressa matematicamente por:

$$T = \frac{1}{f} \quad (2.1)$$

3.1.1 MOVIMENTO HARMÔNICO SIMPLES

Para a compreensão do movimento oscilatório, adota-se inicialmente o modelo do **sistema massa-mola**, ilustrado na Figura 1.



A força restauradora $F(x)$, responsável por conduzir o corpo de volta à posição de equilíbrio ($x=0$), é descrita pela **Lei de Hooke**:

$$F(x) = -kx. \quad (2.2)$$

em que x representa o deslocamento do corpo em relação à posição de equilíbrio e k corresponde à constante elástica da mola, característica do material e da geometria do sistema. O sinal negativo indica que a força possui sempre direção oposta ao deslocamento, buscando restaurar o equilíbrio.

Considerando que essa é a única força atuante sobre o corpo, a aplicação da **Segunda Lei de Newton** permite escrever:

$$F(x) = ma = -kx. \quad (2.3)$$

Sendo $a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}$, temos:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -kx,$$

portanto,

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2 x = 0, \quad (2.4)$$

em que se define ω como sendo:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}. \quad (2.5)$$

A equação diferencial (2.4) define matematicamente o **movimento harmônico simples (MHS)**, descrevendo a dinâmica de um corpo sujeito a uma força restauradora proporcional ao deslocamento em relação à posição de equilíbrio. A solução dessa equação corresponde à função $x(t)$, a qual determina a posição do corpo em qualquer instante de tempo.

Trata-se de uma equação diferencial homogênea de segunda ordem, cuja forma admite soluções periódicas. Assim, a solução geral pode ser escrita como:

$$x(t) = a \cos \omega t + b \sin \omega t. \quad (2.6)$$

A equação 2.6 pode ser apresentada na forma alternativa:

$$x(t) = A \cos(\omega t + \phi). \quad (2.7)$$

Aplicando a expansão do cosseno da soma na equação 2.7:

$$x(t) = A \cos \omega t \cdot \cos \phi - A \sin \omega t \cdot \sin \phi$$

e comparando com a solução dada pela equação 2.6, vemos que as equações são iguais, dado que:

$$\begin{aligned} a &= A \cos \phi \\ b &= -A \sin \phi. \end{aligned}$$

Dessa forma, conhecidos os valores da amplitude A e da fase inicial ϕ , é possível determinar as constantes a e b . De modo análogo, a partir dos valores de a e b , pode-se obter A e ϕ .

Do ponto de vista físico, a solução representada pela equação (2.7) evidencia que a posição do bloco oscila entre os valores extremos $+A$ e $-A$. Nesse contexto, a constante A corresponde ao **valor máximo do deslocamento** em relação à posição de equilíbrio, denominado **amplitude da oscilação**, de modo que $|A|=x_m$. Assim, a equação (2.7) pode ser reescrita de forma a destacar essa interpretação física:

$$x(t) = x_m \cos(\omega t + \phi). \quad (2.8)$$

A função cosseno apresenta caráter **periódico** em relação à variável temporal t . Isso significa que seus valores se repetem após um intervalo de tempo constante T , denominado **período** da função. Podemos determinar o período pela condição:

$$x(t + T) = x(t),$$

ou seja,

$$x_m \cos[\omega(t + T) + \phi] = x_m \cos(\omega t + \phi)$$

As partes esquerda e direita dessa equação são iguais se os argumentos do cosseno se diferenciam apenas em 2π , isto é:

$$\omega(t + T) + \phi = \omega t + \phi + 2\pi,$$

ou seja,

$$\omega T = 2\pi \quad \therefore \quad T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{1}{f}. \quad (2.9)$$

A grandeza $\omega = 2\pi f$ chama-se frequência angular e se mede em ciclos por segundo ou hertz. Combinando as equações 2.5 e 2.9, podemos escrever, para o **período** do oscilador massa-mola linear da Figura 1:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}. \quad (2.10)$$

Sendo uma função periódica, o argumento do cosseno, θ , na equação 2.7:

$$\theta = \omega t + \phi,$$

chama-se fase do movimento, e ϕ é de fase inicial (fase para $t = 0$).

A equação 2.7 é a solução geral do oscilador harmônico. Portanto, para cada caso específico de movimento desse oscilador as duas constantes, x_m e ϕ , deverão ser determinadas. Para tanto, as condições iniciais do movimento (a posição e a velocidade do corpo no momento $t = 0$) precisam ser conhecidas:

$$\begin{cases} x(t=0) = x_0 \\ \frac{dx}{dt}(0) = v(0) = v_0 \end{cases}$$

Derivando a equação 2.8, encontramos a velocidade do corpo (partícula):

$$v(t) = \frac{dx}{dt} = \frac{d}{dt} [x_m \cos(\omega t + \phi)],$$

ou seja,

$$v(t) = -\omega x_m \sin(\omega t + \phi). \quad (2.11)$$

Analogamente à amplitude x_m na equação 2.8 a quantidade positiva ωx_m na equação 2.11 é denominada **amplitude de velocidade** v_m , variando entre os limites $\pm v_m = \pm \omega x_m$.

Aplicando as condições iniciais às equações 2.8 e 2.11, temos:

$$x(0) = x_0 = x_m \cos(0 + \phi) = x_m \cos \phi$$

e

$$v(0) = v_0 = -x_m \omega \sin(0 + \phi) = -x_m \omega \sin \phi.$$

Dessa forma, podemos determinar x_m e ϕ a partir das condições iniciais, ou seja:

$$x_m = \sqrt{x_0^2 + \frac{v_0^2}{\omega^2}}$$

$$\cos \phi = \frac{x_0}{x_m}, \quad \sin \phi = -\frac{v_0}{x_m \omega}.$$

Retomando a equação 2.11, podemos reescrever a velocidade da seguinte forma:

$$v(t) = \omega x_m \cos\left(\omega t + \phi + \frac{\pi}{2}\right).$$

Ao compararmos a equação (2.8) com a equação (2.11), observa-se que a velocidade da partícula apresenta uma defasagem de $\pi/2$ em relação à sua posição. Nas Figuras 2a e 2b, apresentadas adiante para o caso em que $\phi = 0$, são ilustradas as funções $x(t)$ e $v(t)$, respectivamente. Verifica-se que a velocidade atinge seu valor máximo (ωx_m) quando a partícula passa pela posição de equilíbrio ($x = 0$) e se anula nos instantes em que a partícula se encontra nas posições extremas ($x = \pm x_m$).

A aceleração, $a(t)$, determina-se, derivando a equação 2.11 da velocidade:

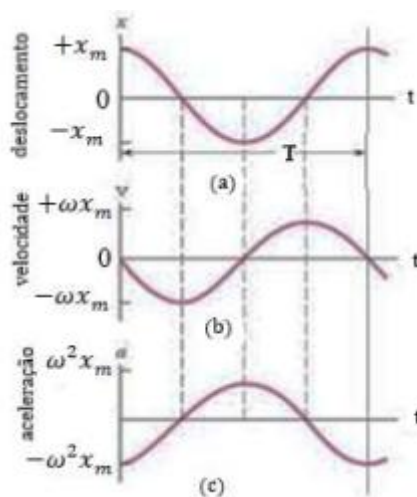
$$a(t) = -\omega^2 x_m \sin(\omega t + \phi). \quad (2.12)$$

A quantidade positiva $\omega^2 x_m$ na equação 5 é chamada **amplitude de aceleração** a_m . Isto é, a aceleração da partícula varia entre os limites $\pm a_m = \pm \omega^2 x_m$. Combinando as equações 2.11 e 2.12 temos:

$$a(t) = -\omega^2 x(t),$$

A curva da aceleração é mostrada na Figura 2c. Observa-se que a força atua sempre em sentido oposto à posição da partícula, uma vez que, no movimento harmônico simples, sua ação é restauradora, buscando levá-la de volta à posição de equilíbrio.

Figura 2 – Comparação entre as curvas da (a) posição $x(t)$, (b) velocidade $v(t)$ e (c) aceleração em função do tempo. Todas as curvas foram determinadas considerando $\phi = 0$

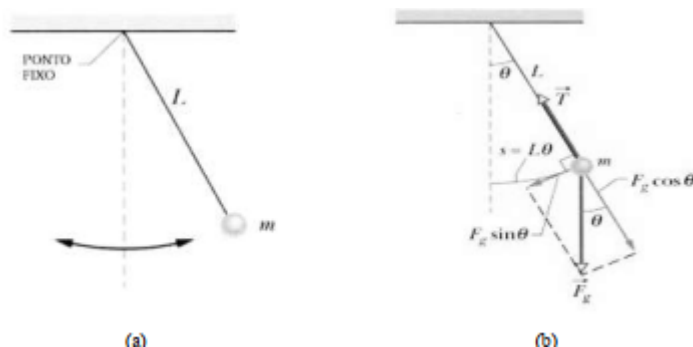


Fonte: Halliday; Resnick; Walker, (1996)

3.1.2 PÊNDULO SIMPLES

O **pêndulo simples** consiste em um corpo de massa m , suspenso por uma das extremidades de um fio de comprimento L , enquanto a outra extremidade está rigidamente presa a um ponto fixo, conforme ilustrado na Figura 3a.

Figura 3 – (a) Um pêndulo simples. (b) As forças que agem sobre o pêndulo



Fonte: (a) Elaboração própria do autor (2020). (b) Halliday; Resnick; Walker, (1996)

Para descrever o movimento do corpo em torno da posição de equilíbrio, é necessário analisar as forças que atuam sobre o pêndulo simples, conforme representado na Figura 3b. Sobre a massa m , atuam duas forças principais: a **força gravitacional** (F_g), dirigida verticalmente para baixo, e a **tração do fio** (T), orientada ao longo do fio.

A componente da força gravitacional ao longo da direção do fio, $F_g \cos \theta$, é equilibrada pela tração T , de modo que não há movimento nessa direção, enquanto a componente perpendicular ao fio produz um torque igual a $-F_g L \sin \theta$, em que o sinal de menos aparece devido ao torque produzir um movimento no sentido horário, que é negativo por convenção. Assim, escrevemos:

$$\tau = -F_g L \sin \theta.$$

Considerando que o torque é igual a $I\alpha$, podemos escrever:

$$\alpha = -\frac{F_g L}{I} \sin \theta,$$

e como $\alpha = \frac{d^2 \theta}{dt^2}$ e $F_g = mg$, temos:

$$\frac{d^2 \theta}{dt^2} = -\frac{mgL}{I} \sin \theta.$$

Para simplificar a análise do movimento do pêndulo, impõe-se uma restrição importante: considera-se que o deslocamento angular em torno da posição de equilíbrio seja muito pequeno ($\theta \ll 1$). Neste caso, medindo o ângulo em radianos, podemos considerar que $\sin \theta \approx \theta$. Assim, podemos escrever:

$$\frac{d^2 \theta}{dt^2} + \frac{mgL}{I} \theta = 0, \quad (2.13)$$

De modo análogo ao que ocorre no sistema massa-mola, a formulação matemática do pêndulo simples conduz a uma **equação diferencial característica do movimento harmônico simples**. Ao observarmos a expressão resultante, nota-se que o coeficiente associado a θ desempenha o papel de ω^2 , isto é, do quadrado da **frequência angular** do sistema, podemos escrever:

$$\omega = \sqrt{\frac{mgL}{I}},$$

e, portanto, o período do pêndulo é dado por:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mgL}}$$

No caso do pêndulo simples, considera-se que toda a massa está concentrada no corpo preso ao fio, o qual possui massa desprezível. Dessa forma, o momento de inércia é dado por $I = mL^2$, e o período pode ser expresso como:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}. \quad (2.14)$$

Por meio dessa expressão, observamos o fato de que T é independente da amplitude de oscilação (desde que esta permaneça pequena), constituindo o *isocronismo* das pequenas oscilações do pêndulo, descoberta por Galileu (NUSSENZVEIG, 2008).

3.1.3 MOVIMENTO HARMÔNICO SIMPLES E MOVIMENTO CIRCULAR UNIFORME

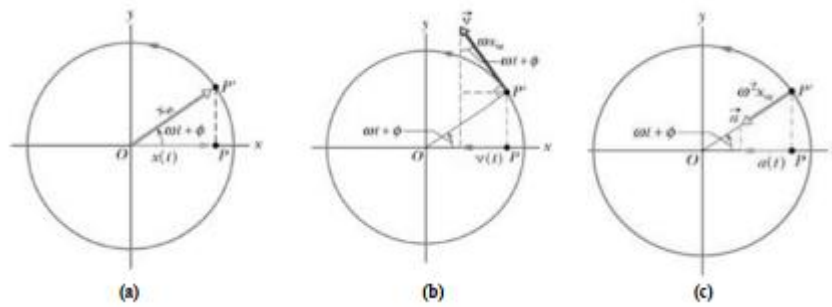
A Figura 4a apresenta um ponto P' em movimento circular uniforme com velocidade angular ω . Considerando o raio da circunferência igual a x_{mx_mxm} e o ângulo entre o raio vetor que liga P' à origem do sistema de coordenadas e a componente horizontal dado por $\omega t + \phi$, a posição de P' nesse eixo pode ser expressa como:

$$x(t) = x_m \cos(\omega t + \phi).$$

Essa expressão corresponde exatamente à equação (2.8). Quando a partícula de referência P' descreve um movimento circular uniforme, sua projeção P realiza um movimento harmônico simples (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 1996).

Essa relação permite compreender melhor o significado da velocidade angular ω no movimento harmônico simples: o termo “angular” decorre da velocidade angular constante com que P percorre a circunferência. Já a fase inicial ϕ é definida pela posição de P' no instante $t=0$.

Figura 4 – (a) O movimento do ponto P' projetado no eixo x corresponde ao movimento de P . (b) Velocidade do ponto P' também é projetado no eixo x e corresponde à mesma forma que obtivemos no movimento harmônico simples. (c) Aceleração correspondente cuja componente horizontal também se reduz à expressão obtida para o movimento harmônico simples



Fonte: Halliday; Resnick; Walker, (1996)

A Figura 4b apresenta a velocidade da partícula de referência. A magnitude do vetor velocidade é ωx_m , e sua projeção no eixo x pode ser escrita como:

$$v(t) = -\omega x_m \sin(\omega t + \phi),$$

esse resultado corresponde exatamente à equação (2.11). O sinal negativo surge porque, na Figura 4b, a componente da velocidade de P está orientada para a esquerda, no sentido em que x decresce.

A Figura 4c mostra a aceleração da partícula de referência. A magnitude do vetor aceleração é $\omega^2 x$, e sua projeção no eixo x pode ser expressa como:

$$a(t) = -\omega^2 x_m \sin(\omega t + \phi),$$

esse resultado corresponde exatamente à equação (2.12). Assim, ao analisarmos o deslocamento, a velocidade ou a aceleração, verificamos que a projeção do movimento circular uniforme caracteriza-se como um movimento harmônico simples (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 1996).

3.1.4 OSCILAÇÕES AMORTECIDAS E FORÇADAS

Até aqui, consideramos oscilações sem a presença de forças dissipativas, nas quais a energia do sistema permanece constante e o movimento pode ser descrito pela transformação entre energia cinética e energia potencial. No entanto, em situações mais reais, forças dissipativas atuam sobre o sistema, provocando o amortecimento das oscilações, que passam a ser chamadas de **oscilações amortecidas**. Quando a energia dissipada é compensada pela ação de uma força externa, o movimento resultante recebe o nome de **oscilações forçadas**.

3.1.5 OSCILAÇÕES AMORTECIDAS

As oscilações harmônicas simples, discutidas na seção anterior, ocorrem em sistemas conservativos. Na prática, entretanto, sempre há dissipação de energia. No caso de um pêndulo, por exemplo, as oscilações diminuem gradualmente devido à resistência do ar. Da mesma forma, as vibrações de um diapásão produzem som audível porque se transmitem ao ar, originando ondas sonoras.

A resistência oferecida por um fluido, como o ar, ao deslocamento de um corpo é, para pequenas velocidades, aproximadamente proporcional à velocidade. Isso se aplica a oscilações de pequena amplitude. Assim, consideraremos uma força de amortecimento proporcional à velocidade (NUSSENZVEIG, 2008), a qual pode ser escrita como:

$$F_a = -bv = -b \frac{dx}{dt}, \quad (2.15)$$

nessa expressão, b representa a constante de amortecimento, determinada pelas características do meio, enquanto o sinal negativo indica que a força de amortecimento F_a se opõe ao movimento. Considerando essa força de resistência, a força resultante que atua sobre o sistema em oscilações amortecidas pode ser escrita como:

$$\sum F = -kx - bv.$$

E, com base na segunda lei de Newton temos:

$$ma = -kx - bv$$

e como a aceleração é a segunda derivada da posição, podemos escrever:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -kx - b \frac{dx}{dt},$$

ou seja,

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + kx = 0,$$

e, dividindo a equação pela massa m , podemos escrever:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{b}{m} \frac{dx}{dt} + \frac{k}{m} x = 0. \quad (2.16)$$

Aqui é conveniente definir a constante de amortecimento na forma:

$$\gamma = \frac{b}{m}, \quad (2.17)$$

seguida da definição da razão k/m

$$\omega_0^2 = \frac{k}{m},$$

que é a frequência angular *natural* do sistema. Diz-se natural porque esta seria a frequência com que o sistema iria oscilar se deixado livre das forças externas.

Substituindo essas definições na equação 2.18, obtemos:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \gamma \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0. \quad (2.18)$$

Da mesma forma que no caso anterior, a solução geral contém duas constantes indeterminadas, que são a amplitude e a constante de fase.

3.1.6 OSCILAÇÕES FORÇADAS

Até aqui, analisamos sistemas oscilantes na ausência de forças externas, nos quais o oscilador recebe uma energia inicial — a partir de deslocamentos ou velocidades iniciais — e evolui livremente. Nesse caso, o período de oscilação depende apenas das características do oscilador, isto é, de sua inércia e das forças restauradoras que atuam sobre ele (NUSSENZVEIG, 2008).

Agora, consideremos o efeito de uma força externa periódica atuando sobre o sistema. Suponhamos que o oscilador esteja sujeito a uma força externa de frequência ω , enquanto sua frequência angular natural é ω_0 , ou seja, a frequência com que ele oscilaria livremente se apenas fosse deslocado e solto. Nesse contexto, temos as chamadas **oscilações forçadas**.

Alguns exemplos de oscilações forçadas incluem: o movimento do diafragma de um microfone ou do tímpano humano sob a ação de ondas sonoras; as oscilações de uma pessoa em um balanço impulsionado por empurrões periódicos; e as oscilações elétricas em circuitos de rádio ou televisão, induzidas por sinais eletromagnéticos captados.

3.1.6.1 OSCILAÇÕES FORÇADAS AMORTECIDAS

Supondo a presença de uma força dissipativa proporcional à velocidade e sendo

$$F(t) = F_0 \cos \omega t \quad (2.21)$$

a força externa, de frequência angular ω , com base na segunda lei de Newton temos:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + kx = F_0 \cos \omega t$$

Dividindo por m, fica:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \gamma \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = \frac{1}{m} F_0 \cos \omega t \quad (2.22)$$

A solução estacionária da equação 2.22 é dada por:

$$x(t) = x_m(\omega) \cos[\omega t + \phi(\omega)], \quad (2.23)$$

em que:

$$x_m(\omega) = \frac{F_0/m}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + \gamma^2 \omega^2}} \quad (2.24)$$

e

$$\phi(\omega) = \tan^{-1} \left[\frac{\gamma \omega}{(\omega_0^2 - \omega^2)} \right]. \quad (2.25)$$

Portanto, a amplitude das oscilações forçadas, $x_m(\omega)$, depende não apenas da intensidade, F_0 , com que puxamos ou empurramos o bloco do sistema massa-mola ou com que tiramos do equilíbrio o pêndulo. A frequência, ω , com que fazemos isso desempenha um papel importante.

3.1.7 RESSONÂNCIA

Consideremos o caso particular das oscilações forçadas com amortecimento fraco ($\gamma \ll \omega_0$). Nessas condições, o sistema oscila com amplitude determinada pela intensidade da força externa e pelo valor da constante de amortecimento. No limite em que $\gamma \rightarrow 0$, a equação (2.24) se reduz a:

$$x_m = \frac{F_0/m}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2}}$$

À medida que a frequência ω da força externa se aproxima da frequência natural ω_0 das oscilações livres, a amplitude x_m das oscilações forçadas aumenta significativamente. Esse aumento caracteriza o fenômeno da **ressonância**. Um exemplo cotidiano ocorre quando se tenta impulsionar uma pessoa em um balanço: a

amplitude cresce consideravelmente quando a frequência dos impulsos se aproxima da frequência natural do movimento (NUSSENZVEIG, 2008).

Vamos tomar ω suficientemente próximo de ω_0 para que se tenha:

$$|\omega - \omega_0| \ll \omega_0.$$

Neste caso, $(\omega_0 + \omega) = 2\omega_0$ e

$$\omega_0^2 - \omega^2 = (\omega_0 + \omega)(\omega_0 - \omega) = 2\omega_0(\omega_0 - \omega)$$

e

$$\gamma\omega = \gamma(\omega_0 + \omega - \omega_0),$$

de modo que as equações 2.24 e 2.25 ficam como:

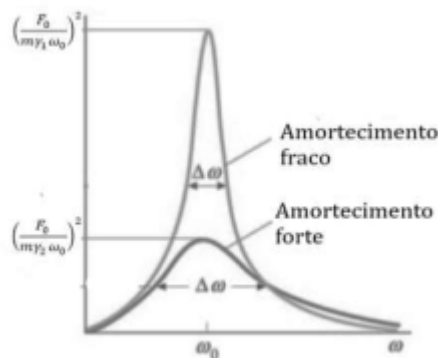
$$x_m(\omega) = \frac{F_0/m}{\sqrt{4\omega_0^2(\omega_0 - \omega)^2 + \gamma^2\omega_0^2}}, \quad \phi(\omega) = -\tan^{-1} \left[\frac{\gamma/2}{(\omega_0 - \omega)} \right].$$

Podemos escrever o quadrado da amplitude da seguinte forma:

$$x_m^2(\omega) = (F_0^2/4\omega_0^2m^2) \frac{1}{[(\omega_0 - \omega)^2 + \frac{\gamma^2}{4}]}$$

A Figura 6 apresenta dois gráficos da equação anterior para diferentes valores da constante de amortecimento, γ_1 e γ_2 . Observa-se que o quadrado da amplitude atinge um máximo quando $\omega \approx \omega_0$ em ambas as curvas. Sempre que a frequência da força externa coincide com a frequência natural do sistema, a amplitude das oscilações torna-se máxima, caracterizando a condição de **ressonância**.

Figura 5 – É apresentada duas curvas da amplitude em termos da frequência da força externa para dois valores diferentes da constante de amortecimento



Fonte: Halliday; Resnick; Walker, (1996)

Há diversos exemplos do fenômeno da ressonância. Muitas máquinas apresentam vibrações devido a partes giratórias que não estão devidamente balanceadas. Como toda estrutura possui uma ou mais frequências naturais, é

essencial evitar que sejam submetidas a forças periódicas externas intensas cuja frequência coincida com uma dessas frequências, pois isso pode levar à ruptura da estrutura (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 1996). Um exemplo clássico é o de uma taça de cristal com amortecimento fraco, que pode ser quebrada por uma onda sonora intensa cuja frequência seja igual, ou muito próxima, à sua frequência natural de vibração.

3.2 ONDAS

3.2.1 CONCEITO DE ONDA

As ondas constituem um tema fascinante da Física, tornando seu estudo e ensino especialmente atrativos. Elas podem ser definidas como perturbações que se propagam em meios materiais — sólidos, líquidos e gasosos — e até mesmo no vácuo, transportando energia e quantidade de movimento linear sem que haja transporte de massa. Um exemplo simples é o de um barco que, ao ser atingido por ondas no mar, oscila verticalmente em razão da energia transportada, embora permaneça praticamente no mesmo lugar.

O estudo das ondas está diretamente associado a inúmeras aplicações tecnológicas presentes no cotidiano. Radares, empregados tanto na fiscalização de rodovias quanto no controle de tráfego aéreo, e dispositivos de controle remoto, como televisores e portões automáticos, são exemplos de usos práticos das **ondas eletromagnéticas**, que possuem a capacidade de se propagar sem a necessidade de um meio material.

Por outro lado, as **ondas mecânicas** exigem um meio para se propagar. O som, as ondas na água, em cordas e em tubos são exemplos desse tipo de onda. Além dessa classificação quanto à natureza — eletromagnéticas ou mecânicas —, as ondas podem também ser caracterizadas conforme a dimensionalidade de propagação: unidimensionais, bidimensionais ou tridimensionais.

Outra forma de classificação considera a relação entre a direção de propagação e a direção das oscilações do meio. Quando essas direções são perpendiculares, temos **ondas transversais**; quando coincidem, temos **ondas longitudinais**.

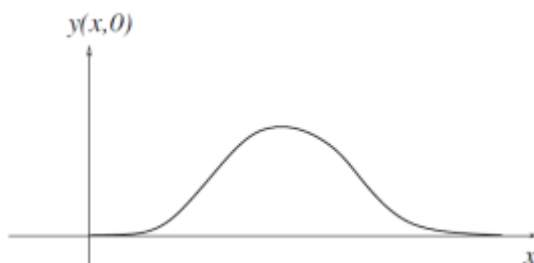
Do ponto de vista didático, é importante salientar que o tratamento matemático das ondas é análogo, independentemente de sua natureza mecânica ou eletromagnética. Contudo, essa generalidade não elimina a necessidade de aprofundamento nas particularidades de cada tipo de onda e nos diferentes meios de propagação. Esses estudos específicos costumam ser desenvolvidos em áreas próprias da Física, como a **Óptica** e a **Acústica**, que exploram em detalhe os fenômenos ondulatórios em seus respectivos contextos.

3.2.2 EQUAÇÃO DE ONDA

Independentemente de seu tipo ou natureza, todas as ondas podem ser descritas como soluções de uma mesma equação diferencial fundamental: a **equação de onda**. A seguir, será apresentada uma forma de deduzir essa equação a partir de um caso particular. As considerações e análises aqui desenvolvidas têm como referencial teórico o *Curso de Física Básica, Volume 2*, de Moysés Nussenzveig (2008).

Para esse propósito, consideremos o caso mais simples de propagação ondulatória: a propagação unidimensional em uma corda. O perfil da onda na corda em um dado instante t corresponde à forma da corda nesse momento e é descrito pela função $y(x,t)$. O perfil inicial, dado por $y(x,0)$ para $t = 0$, encontra-se representado na Figura 7.

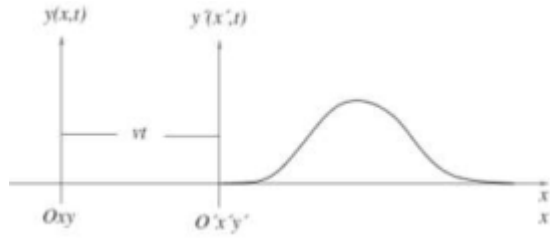
Figura 6 – O perfil da onda $y(x, 0)$, para $t = 0$.



Fonte: Elaboração própria do autor (2025).

Após um tempo t , o perfil seria $y(x, t)$. A perturbação é uma onda progressiva (ou onda *caminhante*), que se desloca como um todo para a direita, sem mudar de forma, com velocidade v (NUSSENZVEIG, 2008).

Figura 7 – Onda progressiva para direita.



Fonte: Elaboração própria do autor (2025).

Para um observador que se desloca na direção x com a mesma velocidade do pulso, sua forma permanece inalterada ao longo do tempo. A Figura 8 ilustra o referencial $O'x'y'$ desse observador, que coincide com o sistema Oxy no instante $t = 0$, ou seja

$$y'(x', t) = y'(x', 0) = f(x') \quad (2.26)$$

é uma função somente de x .

Considerando que $y'(x', t) = y(x, t)$ e $x' = x - vt$ (transformação de Galileu na direção xxx), obtemos:

$$y(x; t) = f(x - vt). \quad (2.27)$$

Portanto, uma onda progressiva propagando-se para a direita depende de x e t apenas através da variável $x' = x - vt$, podendo ser representada por uma função arbitrária de x' . De modo análogo, uma onda propagando-se para a esquerda será uma função de $x + vt$.

Uma consequência imediata da relação $y(x, t) = f(x - vt)$ é que, para associarmos uma equação de movimento à propagação da onda, é necessário calcular a aceleração em um ponto x . A velocidade e a aceleração nesse ponto são obtidas mantendo-se x fixo e derivando em relação ao tempo. Assim, temos:

$$v = \frac{\partial}{\partial t} y(x, t); \quad a = \frac{\partial^2}{\partial t^2} y(x, t).$$

Pela equação 2.27, y só depende de t através da variável $x' = x - vt$, de modo que as derivadas se calculam pela regra da cadeia:

$$\frac{\partial y}{\partial t} = \frac{df}{dx'} \frac{\partial x'}{\partial t} = -v \frac{df}{dx'}. \quad (2.28)$$

Analogamente:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = -v \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{df}{dx'} \right) = -v \frac{d}{dx'} \left(\frac{df}{dx'} \right) \frac{\partial x'}{\partial t},$$

ou seja,

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = v^2 \frac{d^2 f}{dx'^2}. \quad (2.29)$$

Por outro lado, como $\frac{\partial x'}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x}(x - vt) = 1$, temos:

$$\frac{\partial y}{\partial x} = \frac{df}{dx'} \frac{\partial x'}{\partial x} = \frac{df}{dx'} \quad \therefore \quad \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{d^2 f}{dx'^2} \frac{\partial x'}{\partial x} = \frac{d^2 f}{dx'^2}. \quad (2.30)$$

Comparando as equações (2.29) e (2.30), verifica-se que $y(x,t)$ satisfaz a equação:

$$\frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} - \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = 0, \quad (2.31)$$

denominada **equação de ondas unidimensionais**, uma das equações fundamentais da Física.

Considerando as condições iniciais de posição e velocidade dadas por:

$$\begin{cases} y(x, 0) = y_0(x) \\ \frac{\partial y}{\partial x}(x, 0) = y_1(x) \end{cases}$$

em que $y_0(x)$ e $y_1(x)$ são funções arbitrárias f e g , a solução geral deve ser representada por:

$$y(x; t) = f(x - vt) + g(x + vt), \quad (2.32)$$

Ou seja, a solução da equação de onda unidimensional é a superposição de ondas progressivas que se propagam para a direita e para a esquerda, sendo a equação (2.32) conhecida como a **solução geral de D'Alembert**.

A velocidade de propagação presente na equação (2.31) depende da natureza da onda. Por exemplo, no caso da propagação de uma onda elástica no ar, tratado como um gás ideal, os processos de compressão e rarefação ocorrem de forma adiabática. Nesse caso, a velocidade de propagação corresponde à velocidade do som. Demonstra-se que essa velocidade é independente da pressão, mas depende da temperatura de acordo com a expressão:

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}.$$

Portanto, a velocidade do som no ar é proporcional à raiz quadrada do produto entre a constante universal dos gases R , o coeficiente adiabático γ e a temperatura T , e inversamente proporcional à raiz quadrada da massa molecular M do ar (NUSSENZVEIG, 2008).

3.2.3 ONDAS HARMÔNICAS

Um caso particular é o de ondas harmônicas, assim chamadas porque a perturbação, num dado ponto x , corresponde a uma oscilação harmônica simples (NUSSENZVEIG, 2008). Essas ondas possuem soluções particulares de interesse bastante geral, ditas soluções harmônicas da forma:

$$y(x, t) = R[Ae^{i(kx - \omega t + \delta)}], \quad (2.33)$$

em que k , ω e δ são constantes reais, $i = \sqrt{-1}$ e R denota a parte real do número complexo entre colchetes. A constante real A é a amplitude da onda. Segundo a fórmula de Euler, temos que:

$$y(x, t) = R[A \cos(kx - \omega t + \delta) + iA \sin(kx - \omega t + \delta)] = A \cos(kx - \omega t + \delta) \quad (2.34)$$

Nota-se que deve existir uma relação entre ω e k para que a equação 2.33 seja, de fato uma solução da equação de onda. Substituindo a equação 2.33 na 2.31, obtemos:

$$\omega = kv. \quad (2.35)$$

Portanto, em uma dada posição do espaço (x fixo), o valor da função $y(x, t)$ em 2.34 se repete após um intervalo de tempo igual a $2\pi/\omega$. Esse intervalo de tempo é denominado *período*

$$T = \frac{2\pi}{\omega}.$$

Analogamente, em um dado instante de tempo (t fixo), o valor da função $y(x, t)$ em 2.34 se repete após um intervalo de distância igual a $2\pi/k$. Esse intervalo é denominado *comprimento de onda*:

$$\gamma = \frac{2\pi}{k}.$$

Usando essas relações, podemos reescrever a equação 2.35 como:

$$v = \frac{\gamma}{T} = \gamma f, \quad (2.36)$$

em que $f = \frac{1}{T}$ é a frequência da onda.

As grandezas k e ω são denominadas número de onda e frequência angular, respectivamente. A grandeza

$$\varphi(x, t) = kx - \omega t + \delta$$

é a fase da onda, sendo que δ é a constante de fase. Se acompanharmos um ponto tal que a fase seja constante, isto é, $\varphi(x, t) = \varphi_0 = \text{constante}$, teremos:

$$\frac{d\varphi}{dt} = k \frac{dx}{dt} - \omega = 0,$$

ou seja,

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\omega}{k} = v.$$

Portanto, um ponto de fase constante se desloca com a velocidade da onda.

3.2.4 PRINCÍPIO DE SUPERPOSIÇÃO

A equação 2.4 do movimento oscilatório é uma equação diferencial linear, ou seja, só contém termos lineares na função incógnita e suas derivadas. Além disso, a 2.4 é uma equação homogênea (NUSSENZVEIG, 2008). Qualquer equação diferencial linear de 2ª ordem homogênea tem as seguintes propriedades fundamentais:

I) Se $y_1(t)$ e $y_2(t)$ são soluções, $y_1(t) + y_2(t)$ também é.

II) Se $y(t)$ é solução, $ay(t)$ ($a = \text{constante}$) também é.

Suponha que $y_1(x, t)$ e $y_2(x, t)$ sejam duas soluções quaisquer da equação de onda 2.31, ou seja:

$$\frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 y_1}{\partial t^2} - \frac{\partial^2 y_1}{\partial x^2} = 0,$$

e

$$\frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 y_2}{\partial t^2} - \frac{\partial^2 y_2}{\partial x^2} = 0,$$

então, combinando I e II, vemos que qualquer combinação linear

$$y(x, t) = ay_1(x, t) + by_2(x, t),$$

com a e b constantes, também é solução da equação de onda. Esse resultado é denominado *princípio de superposição*, o que é uma consequência direta da linearidade da equação de ondas, tendo aplicação em diversos outros ramos da física.

Portanto, o princípio de superposição resulta ser um resultado teórico, e não um postulado introduzido *a priori* na teoria. Consequentemente ele tem limites de

validade, não se cumprindo para sistemas físicos cuja descrição implica a utilização de equações diferenciais não lineares.

Assim, por exemplo, como as equações de Maxwell são lineares, na eletrodinâmica clássica o princípio de superposição é utilizado para calcular a intensidade do campo eletrostático de um sistema de partículas carregadas eletricamente, como sendo a soma das intensidades do campo de cada uma dessas partículas, desconsiderando a existência das outras. Outro exemplo da linearidade das equações de Maxwell é o fato da não interação dos raios luminosos entre si. No caso de campos eletromagnéticos intensos, como acontece em *lasers* de alta potência, o princípio de superposição não se cumpre, tendo lugar a interação dos feixes de luz.

3.2.5 INTERFERÊNCIA

Um exemplo de aplicação do princípio de superposição é o efeito resultante da adição de ondas que possuem a mesma frequência e consequentemente o mesmo número de onda. Nesse caso, as duas ondas componentes são:

$$\begin{aligned}y_1(x, t) &= R[A_1 e^{i(kx - \omega t + \delta)}] = A_1 \cos(kx - \omega t + \delta_1) \\y_2(x, t) &= R[A_2 e^{i(kx + \omega t + \delta)}] = A_2 \cos(kx + \omega t + \delta_2).\end{aligned}$$

Quando essas duas ondas coincidem no espaço, suas perturbações se sobrepõem, somando-se algebricamente para criar uma onda resultante. No caso que estamos analisando, a onda y_1 se está propagando para a direita e y_2 para a esquerda. Considerando o caso mais simples, em que $\delta_1 = \delta_2 = 0$ e $A_1 = A_2$, a onda resultante será:

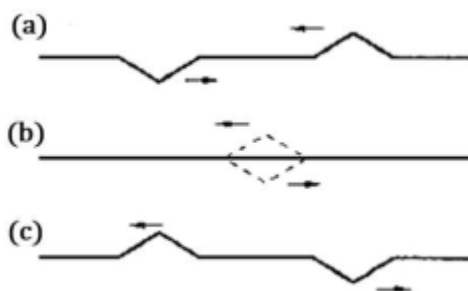
$$y = y_1 + y_2 = A[\cos(kx - \omega t) + \cos(kx + \omega t)] = 2A \cos(kx) \cos(\omega t). \quad (2.37)$$

Essa relação mostra que a superposição dessas duas ondas resulta em outra onda que não se propaga, chamada de estacionária, em cada ponto da qual acontecem oscilações, de amplitudes dependentes da função $2A \cos(kx)$, com a mesma frequência, ω , das ondas que se superpõem. Portanto, nessa onda estacionária há pontos, nos quais $\cos(2\pi x/\lambda) = 0$, em que a amplitude das oscilações é nula, e pontos em que a amplitude das oscilações é igual a $2A[\cos(2\pi x/\lambda) = 1]$.

O fenômeno de duas ou mais ondas de mesma frequência, ou de frequências quase iguais, sobrepondo-se para produzir um padrão observável é chamado de *interferência*. Nos pontos em que a amplitude da onda resultante é igual a $2A$ a interferência é chamada de construtiva e nos quais a amplitude é zero de destrutiva.

As Figuras 9(a), 9(b) 9(c) ilustram outros exemplos de aplicação do princípio de superposição. A Figura 9(a) mostra dois pulsos triangulares iguais se propagando em sentidos opostos. Em (b), os dois pulsos estão superpostos e se cancelam mutuamente: o perfil da corda coincide com a posição de equilíbrio. Em (c), um pulso ultrapassou o outro, prosseguindo como se nada tivesse acontecido (NUSSENZVEIG, 2008). A situação em (b) é um exemplo de interferência destrutiva.

Figura 8 – Interferência destrutiva de pulsos triangulares.



Fonte: Nussenzveig (2008, p. 107).

3.2.6 REFLEXÃO

Consideremos uma onda se propagando para a esquerda em uma corda fixa em $x = 0$, como ilustrado na Figura 10.

Figura 9 – Pulso numa corda com extremidade fixa



Fonte: Nussenzveig (2008, p. 112).

Temos agora uma situação tal que, pela primeira vez, o problema envolve informação sobre a extremidade da corda. Esse tipo de informação denomina-se *condição de contorno*. Matematicamente a solução da equação de onda é:

$$y(x, t) = g(x + vt). \quad (2.37)$$

A condição de que a extremidade $x = 0$ permaneça sempre fixa se exprime por:

$$y(0, t) = 0 \quad \text{para qualquer } t. \quad (2.38)$$

A solução geral da equação de ondas é dada pela equação 2.32:

$$y(x; t) = f(x - vt) + g(x + vt),$$

em que, pela equação 2.37, $f = 0$ antes que a extremidade seja atingida, e g é o pulso dado. Substituindo a equação 2.32 em 2.38, obtemos a seguinte relação entre a função conhecida f e a desconhecida g :

$$f(-vt) = -g(vt).$$

Como o tempo, t é qualquer; essa condição determina completamente a função f :

$$f(x - vt) = -g(-x + vt). \quad (2.39)$$

Fazendo a substituição da equação 2.39 em 2.32, obtemos a solução:

$$y(x, t) = -g(-x + vt) + g(x + vt). \quad (2.40)$$

Isso resolve completamente o problema, visto que a função g é conhecida.

Matematicamente a solução 2.40 representa dois pulsos se propagando em sentidos opostos. Isso inclui um pulso vindo da esquerda para a direita, na região $x < 0$, antes da chegada em $x = 0$. Quando os dois pulsos se encontram, em $x = 0$, temos $y(0, t) = 0$. Posteriormente o pulso da direita para a esquerda “continua” se propagando para a região $x < 0$ e o pulso da esquerda para a direita continua seu trajeto para a direita. Naturalmente, dada a situação que estamos analisando da corda fixa em $x = 0$, a região para a qual $x < 0$ não tem sentido físico.

O fato do pulso refletivo se deslocar na direção oposta do pulso incidente está em concordância com a terceira lei de Newton: o suporte que está fixando a corda em $x = 0$ exerce uma força de reação à força que a corda exerce sobre ele.

4. A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA E O USO DO SIMULADOR PHET NO ENSINO DE ONDULATÓRIA: UMA ABORDAGEM INTERATIVA E REFLEXIVA

O objetivo deste capítulo é explorar como a Aprendizagem Significativa, fundamentada na teoria de David Ausubel, pode ser aplicada ao ensino de Ondulatória com o uso do Simulador PhET. Busca-se demonstrar como essa abordagem pedagógica conecta novos conhecimentos aos conceitos já existentes na estrutura cognitiva dos alunos, promovendo uma compreensão profunda e integrada. Além disso, a seção destaca a relevância das simulações interativas do PhET como ferramenta para facilitar a visualização de conceitos abstratos, como frequência, amplitude, interferência e difração, contribuindo para o aprendizado ativo e reflexivo. Por fim, enfatiza-se o papel do professor como mediador essencial nesse processo, garantindo que os estudantes não apenas utilizem as tecnologias, mas também estabeleçam conexões significativas entre teoria e prática, consolidando o aprendizado de forma efetiva.

4.1 A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA NO ENSINO DE ONDULATÓRIA COM O USO DO SIMULADOR PHET

A aprendizagem significativa, proposta por David Ausubel, destaca-se como uma abordagem pedagógica que conecta novos conhecimentos a conceitos já existentes na estrutura cognitiva do aluno. Segundo Ausubel (2000, p. 18), “o fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já sabe. Determine isso e ensine-o de acordo”. No contexto do ensino de Ondulatória, essa abordagem é essencial para garantir que os estudantes não apenas memorizem conceitos, mas compreendam profundamente as questões científicas como frequência, amplitude e comprimento de onda.

De acordo com Moreira (2011, p. 15), “a aprendizagem significativa ocorre quando o novo conhecimento é assimilado de maneira a se integrar com os conceitos já existentes na estrutura cognitiva do aluno”. Isso implica que os professores devem construir uma ponte, ligando o que os alunos já conhecem aos novos conceitos que serão introduzidos. Para isso, o uso de ferramentas interativas, como o simulador PhET, pode facilitar a integração dos novos conceitos com os conhecimentos prévios que os alunos já possuem, promovendo uma aplicação prática.

O simulador PhET, desenvolvido pela Universidade do Colorado, é uma ferramenta interativa que permite explorar conceitos de Ondulatória de maneira visual e prática. Belloni (2009, p. 36) afirma que “as simulações computacionais têm o potencial de tornar os conceitos abstratos mais concretos, oferecendo uma visualização que complementa e reforça a aprendizagem tradicional”. Por meio dessas simulações, os alunos podem experimentar e observar fenômenos como interferência e difração, promovendo uma compreensão mais detalhada.

Martin e Parker (2020, p. 142) reforçam que “os simuladores interativos, como o PhET, oferecem um ambiente seguro onde os alunos podem testar hipóteses, observar os resultados e ajustar suas compreensões de maneira experimental”. O uso do PhET pode ser incorporado em atividades colaborativas, onde os alunos estudam suas descobertas e refletem sobre os conceitos aprendidos, promovendo não apenas a aprendizagem individual.

Kolb (1984, p. 95) argumenta que “a experiência direta é essencial para a construção do conhecimento, especialmente em disciplinas como a Física”. O PhET possibilita que os alunos vivam concretamente questões ondulatórias, possibilitando um aprendizado por meio da prática e da reflexão.

Silva e Andrade (2022, p. 80) ressaltam que “o PhET possibilita uma aprendizagem ativa, onde os estudantes podem manipular variações e observar os resultados em tempo real, promovendo uma compreensão mais profunda e significativa dos conceitos ondulatórios”. Esse ambiente sonoro ajuda a consolidar os conceitos e estimula a curiosidade do aluno. Como observam Silva e Andrade (2022, p. 85), “ao incorporar o PhET em sequências didáticas bem planejadas, os professores podem criar um ambiente de aprendizagem que respeite as particularidades cognitivas de cada estudante.

No contexto do ensino de Ondulatória, o professor pode orientar os alunos no uso do PhET, ajudando-os a relacionar as observações feitas durante as simulações com os conceitos.

A construção de uma sequência didática bem planejada é essencial para o sucesso dessas abordagens. Moran (2015, p. 120) afirma que “uma sequência didática bem planejada pode fazer a diferença entre uma aula em que os alunos simplesmente passam por cima dos conceitos e uma aula em que realmente compreendem e internalizam os princípios propostos”. Essa sequência deve integrar

conhecimentos prévios, exploração com o PhET e reflexões sobre o conteúdo que está sendo trabalhado.

Bessa (2012, p. 42) destaca que “a interação com simulações permite ao estudante testar possibilidades, observar resultados imediatos e conceitos reformulares, o que é essencial para a construção de uma aprendizagem significativa”. Essas práticas enriquecem a experiência de aprendizagem, tornam, por fim, o uso do PhET como ferramenta de ensino de Ondulatória, alinhado à várias teorias educacionais, oferecendo um ambiente que combina interatividade, visualização e personalização. Young e Freedman (2019, p. 175) enfatizam que “o uso de simulações em ambientes colaborativos pode potencializar a aprendizagem de forma significativa ao permitir que os estudantes discutam e reflitam sobre as simulações, fortalecendo assim sua compreensão dos conceitos.

4.2. O PAPEL DO PROFESSOR E DAS FERRAMENTAS INTERATIVAS NO ENSINO DE ONDULATÓRIA

O ensino de conceitos complexos, como o de Ondulatória, requer estratégias pedagógicas que promovam uma compreensão profunda e rigorosa. A aprendizagem significativa, conforme descrita por Ausubel (2000), ocorre quando novos conhecimentos são integrados de maneira não arbitrária e conectados à estrutura cognitiva do aluno. Nesse processo, o professor desempenha um papel central como mediador, ajudando os alunos a estabelecerem essas redes.

No contexto da Física, especialmente no ensino de Ondulatória, a mediação do professor é essencial para garantir que os estudantes compreendam características como interferência e difração de ondas. Martin e Parker (2020, p. 150) destacam que “o sucesso de tecnologias como o PhET depende significativamente da capacidade do professor de contextualizar e direcionar as atividades, promovendo reflexões que consolidam o conhecimento”. O uso do simulador PhET, por exemplo, oferece uma plataforma visual e interativa, mas é o professor quem deve orientar os alunos na exploração dessas simulações assegurando que eles compreendam os conceitos por trás das representações visuais.

Uma abordagem eficaz para o ensino de Ondulatória com o PhET inclui atividades que envolvem manipulação de variáveis como frequência e amplitude. Essas práticas ajudam os alunos a observarem situações variadas, como ondas

estacionárias e superposição de ondas. Segundo Belloni (2009, p. 45), “as simulações computacionais, como as do PhET, permitem aos alunos visualizarem fenômenos abstratos, tornando-os mais concretos e acessíveis”. Assim, o PhET torna-se uma ferramenta indispensável para facilitar a integração dos conceitos pelos alunos.

Além da orientação durante as atividades, o professor deve promover a metacognição, incentivando os alunos a refletirem sobre seu processo de aprendizagem. Kolb (1984) destaca que a reflexão é uma etapa crítica para consolidar o aprendizado. Por meio de questionários reflexivos ou de discussão em grupo, o professor pode ajudar os alunos a identificarem áreas de dificuldade e aprofundarem a compreensão dos conceitos. Silva e Andrade (2022, p. 92) reforçam que “o professor pode utilizar questionários reflexivos, divulgados em grupo e autoavaliações para promover a metacognição, garantindo que os alunos não apenas aprendam os conceitos, mas também compreendam como e por que os aprenderam”.

Nesse sentido, o professor deve promover discussões colaborativas, nas quais os alunos compartilharão suas descobertas e confrontarão diferentes perspectivas. Young e Freedman (2019, p. 180) observam que “o papel do professor como facilitador de discussão e atividades colaborativas é crucial para o desenvolvimento de uma aprendizagem significativa, pois permite que os alunos articulem suas ideias, confrontem-nas com as dos colegas e refinem sua compreensão por meio do diálogo”.

A construção de uma sequência didática bem planejada é outro elemento essencial para o sucesso do uso do PhET no ensino de Ondulatória. Segundo Bessa (2012, p. 88), “uma sequência didática eficaz deve ser estruturada de forma a introduzir gradualmente os conceitos, utilizando ferramentas como as simulações PhET para fortalecer a compreensão e permitir a aplicação prática dos conceitos aprendidos”. Nesse contexto, o professor deve introduzir os conceitos básicos, utilizando simulações para explorar características mais complexas.

Durante a exploração das simulações, os alunos podem manipular variações e formular hipóteses. A mediação do professor é fundamental para orientar essa exploração e relacionar as observações feitas com os conceitos teóricos. Como afirma Kenski (2013, p. 62), “o professor é o facilitador do processo de aprendizagem, sendo responsável por orientar e mediar a interação dos alunos com as novas tecnologias. É ele quem deve garantir que o uso das simulações PhET se traduza em uma compreensão mais profunda dos conceitos.” Assim, o professor pode atuar como

mediador, oferecendo suporte e esclarecendo dúvidas durante a exploração da simulação.

Outro aspecto importante do papel do professor é a flexibilidade na adaptação de suas estratégias de ensino. No ensino de Ondulatória, isso pode incluir explicações teóricas, simulações interativas e atividades práticas. Como observado por Silva e Andrade (2022, p. 95), “o sucesso da aprendizagem significativa depende da capacidade do professor de reconhecer e responder às necessidades individuais dos alunos, utilizando uma variedade de métodos para garantir que todos possam alcançar uma compreensão profunda dos conceitos.”

O uso de ferramentas como o PhET também se alinha ao ciclo de aprendizagem experiencial. Essa abordagem envolve a experiência concreta, reflexão, abstração e aplicação prática. Segundo Kolb (1984, p. 95), “a experiência direta é essencial para a construção do conhecimento, especialmente em disciplinas como a Física”. Assim, o PhET fornece experiências concretas que ajudam a consolidar a compreensão dos conceitos teóricos.

Em suma, o professor desempenha um papel indispensável no ensino de conceitos complexos como os de Ondulatória. Sua mediação, aliada ao uso de ferramentas interativas e estratégias pedagógicas modificadas, promove uma aprendizagem significativa e rigorosa. Portanto, o ensino de Ondulatória pode ser significativamente enriquecido pelo uso do PhET, quando aliado à mediação consciente do professor e a uma sequência didática bem planejada. Ao conectar novos conceitos aos conhecimentos prévios dos alunos e cultivar a reflexão ativa, o professor garante que a aprendizagem vá além da memorização, promovendo uma compreensão profunda e aplicável.

5. TRANSFORMANDO O ENSINO DE ONDULATÓRIA: A INTEGRAÇÃO DAS TICS E DO PHET NA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

O objetivo deste capítulo é destacar como as Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs), especialmente as simulações interativas do PhET, têm transformado o ensino de Ondulatória, promovendo uma aprendizagem significativa e dinâmica. Por meio da integração das TICs em práticas pedagógicas fundamentadas, busca-se explorar estratégias que facilitem a compreensão de conceitos abstratos, como frequência e difração, por meio de visualizações interativas e ambientes colaborativos. Além disso, a seção evidencia a relevância da mediação do professor nesse processo, orientando os alunos a estabelecerem conexões entre conhecimentos prévios e novos conceitos. Ao alinhar teorias educacionais, como a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, com o uso de ferramentas tecnológicas, propõe-se potencializar o aprendizado de forma acessível e motivadora, preparando os estudantes para aplicar os conhecimentos adquiridos em contextos reais e diversos.

5.1. AS TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NO ENSINO DE ONDULATÓRIA: UM RECURSO INOVADOR E TRANSFORMADOR

O avanço das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) revolucionou o ensino, especialmente em disciplinas como física, que envolve conceitos abstratos e complexos. No ensino de Ondulatória, as TICs desempenham um papel crucial ao oferecer ferramentas que facilitam a compreensão de características por meio de visualizações interativas e ambientes colaborativos. Kenski (2013, p. 44) destaca que “as tecnologias de informação e comunicação, quando bem integradas ao contexto educacional, possibilitam a criação de ambientes de aprendizagem mais dinâmicos, interativos e específicos para a construção ativa do conhecimento pelos alunos”.

Dentre as TICs disponíveis, as simulações interativas do PhET, desenvolvidas pela Universidade do Colorado, são destacadas como uma ferramenta poderosa. Essas simulações permitem que os alunos manipulem variáveis como frequência, amplitude e comprimento de onda, observando em tempo real os efeitos dessas alterações. Belloni (2009, p. 102) afirma que “as simulações computacionais, como as

do PhET, oferecem aos alunos uma maneira de visualizar e manipular especificações que, de outra forma, abstratas e difíceis de compreender”.

A utilização do PhET está homologada com a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel. Segundo Ausubel (2000, p. 156), “o papel do professor é fundamental na mediação dessas conexões, orientando os alunos para que reconheçam as relações entre os novos conceitos e suas estruturas cognitivas”. Ao usar simulações como o PhET, os professores podem ajudar os alunos a relacionarem conceitos novos com conhecimentos prévios, consolidando o aprendizado.

Além disso, Marco Antônio Moreira reforça que “a estruturação de materiais didáticos interativos e a utilização de tecnologias digitais permite que o aluno se envolva de maneira mais eficaz, construindo relações mais sólidas entre os conteúdos” (MOREIRA, 2011, p. 82). Isso torna as TICs um recurso indispensável no ensino de Ondulatória, onde a visualização e a experimentação são fundamentais para a compreensão dos conceitos.

No ensino de Ondulatória, o uso do PhET em atividades colaborativas promove a troca de ideias e a construção coletiva do conhecimento. Martin e Parker (2020, p. 175) destacam que “ferramentas interativas como o PhET não apenas facilitam a aprendizagem individual, mas também promovem a troca de ideias e a construção coletiva do conhecimento”.

Outro aspecto central das TICs no ensino de Ondulatória é a realização de experimentos virtuais. Essas simulações permitem que os alunos explorem frequências como interferência e difração em condições controladas, ajustando parâmetros e monitorando resultados instantâneos. Silva e Andrade (2022, p. 105) ressaltam que “os experimentos virtuais fornecidos pelo PhET oferecem aos alunos uma oportunidade única de visualizar manifestações complexas em condições controladas, promovendo uma compreensão mais específica dos conceitos envolvidos”.

Além de apoiar a compreensão conceitual, as TICs específicas para a personalização do ensino, ferramentas como quizzes integrados ao PhET permitem que os professores monitorem o progresso dos alunos em tempo real, fornecendo feedback imediato. Kolb (1984, p. 110) destaca que “o feedback contínuo é essencial para o ciclo de aprendizagem experiencial, pois ajuda os alunos a refletirem sobre suas práticas e a ajustarem suas estratégias de aprendizagem”.

A integração das TICs no ensino também promove a autonomia dos alunos. Segundo Kenski (2013, p. 50), “o uso das TICs na educação promove um modelo de aprendizagem em que o aluno é o protagonista, incentivado a explorar e a construir seu próprio conhecimento por meio de ferramentas interativas”. Essa abordagem estimula o pensamento crítico e a resolução de problemas, habilidades essenciais no mundo contemporâneo.

No entanto, para que o uso das TICs seja realmente eficaz, é essencial que sejam integrados numa sequência didática bem planejada. Bessa (2012, p. 76) observa que “a estruturação de uma sequência didática que incorpora as TICs deve ser cuidadosamente planejada para maximizar os benefícios causados pelas tecnologias, permitindo que os alunos construam seu conhecimento de forma ativa e contextualizada”.

O papel do professor nesse contexto é fundamental. Moran (2015, p. 119) afirma que “a mediação do professor é essencial para que as TICs se tornem realmente ferramentas de aprendizagem, e não apenas de entretenimento. Cabe ao professor guiar os alunos no uso das tecnologias, para que eles contribuam de fato para a construção do conhecimento”. Assim, o professor deve orientar os alunos na exploração das simulações, ajudando-os a estabelecer redes entre as observações e os conceitos teóricos.

As TICs também permitem que o ensino seja mais inclusivo, adaptando o conteúdo às diferentes formas de aprendizagem dos alunos. Young e Freedman (2019, p. 200) destacam que “o uso de ferramentas interativas permite que os professores adaptem o conteúdo às diferentes formas de aprendizagem, oferecendo suporte adicional para aqueles que precisam e desafios para aqueles que estão prontos para avançar”.

Por fim, as TICs transformam a maneira como os alunos interagem com o conteúdo, tornando o aprendizado mais significativo e motivador. Silva e Andrade (2022, p. 110) afirmam que “a incorporação de tecnologias digitais, como o PhET, não apenas facilita o ensino, mas também envolve os alunos em um processo de aprendizagem mais relevante e motivador”.

Concluindo, as TICs são ferramentas indispensáveis para o ensino de Ondulatória, proporcionando ambientes interativos, colaborativos e personalizados que enriquecem o processo de ensino-aprendizagem. Ao integrar tecnologias como o PhET em práticas pedagógicas fundamentadas, os professores podem transformar a

aprendizagem em uma experiência interativa, reflexiva, significativa e acessível para todos os alunos.

6. ESTRUTURANDO O ENSINO DE ONDULATÓRIA: SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS E O USO DO PHET COMO FERRAMENTA INTERATIVA

O objetivo deste capítulo é destacar a relevância do uso de sequências didáticas estruturadas no ensino de Ondulatória, abordando como essa estratégia pedagógica facilita a aprendizagem significativa de conceitos complexos, como frequência, amplitude, interferência e difração. A seção explora também o potencial do PhET Interactive Simulations como uma ferramenta interativa que enriquece cada etapa da sequência didática, promovendo visualizações práticas e experiências concretas. Além disso, busca evidenciar como a combinação de atividades progressivas, avaliação formativa e diversidade metodológica pode transformar o processo de ensino-aprendizagem, tornando-o mais dinâmico, acessível e eficaz. Por fim, destaca o papel essencial do professor como mediador, garantindo que as simulações e atividades sejam integradas de forma a promover uma compreensão profunda e integrada dos conteúdos.

6.1. A IMPORTÂNCIA DAS SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS NO ENSINO DE ONDULATÓRIA COM O USO DO PHET

O ensino de ondulatória (uma área da Física que lida com conceitos abstratos como frequência, amplitude, interferência e difração) exige abordagens pedagógicas estruturadas para garantir uma aprendizagem significativa. Nesse contexto, as sequências didáticas surgem como uma estratégia eficaz, organizando o processo de ensino-aprendizagem em etapas progressivas e interligadas. Zabala (1998, p. 21) define as sequências didáticas como “um conjunto de atividades organizadas de maneira lógica e articulada, com a finalidade de facilitar a aprendizagem de determinados conteúdos ou competências”.

A aprendizagem significativa, descrita por Ausubel (2000), ocorre quando novos conhecimentos são integrados de forma não arbitrária e substantiva ao conhecimento prévio do aluno. Esse princípio fundamenta o planejamento das sequências didáticas, que deve começar com a definição de objetivos claros e alinhados às capacidades dos estudantes. Marco Antônio Moreira (2011) complementa que “a clareza dos objetivos é essencial para direcionar o planejamento

das atividades e garantir que cada etapa contribua para a construção de competências”.

Após a definição dos objetivos, as sequências didáticas são organizadas em etapas que conduzem os alunos de forma gradual e lógica ao domínio dos conteúdos. Essas etapas incluem atividades de sensibilização, desenvolvimento e consolidação, cada uma desempenhando um papel específico no processo de aprendizagem. No ensino de ondulatória, isso significa iniciar com conceitos básicos de propagação de ondas, progredindo para características como interferência e difração.

Um recurso pedagógico relevante nesse processo é o PhET Interactive Simulations, uma plataforma que permite explorar conceitos abstratos de forma visual e interativa. Martin e Parker (2020, p. 195) afirmam que “a incorporação de ferramentas interativas em sequências didáticas promove um aprendizado mais envolvente, permitindo que os alunos experimentem conceitos complexos de forma visual e prática”. A utilização do PhET no ensino de ondulatória é enriquecedora nas etapas da sequência, pois proporciona aos alunos experiências concretas que facilitam a internalização dos conceitos.

A aprendizagem ativa é outro elemento central nas sequências didáticas. Kolb (1984) argumenta que “a aprendizagem é mais eficaz quando envolve experiências práticas que desafiam os alunos a aplicar e refletir sobre os conceitos”. No caso do PhET, os estudantes podem ajustar variáveis de frequência e amplitude em simulações, observando os efeitos e refletindo sobre os padrões resultantes, o que promove a construção de um conhecimento mais sólido.

Além disso, as sequências didáticas permitem que os professores utilizem uma avaliação formativa para monitorizar o progresso dos alunos. Moreira (2011) destaca que “a avaliação deve ser um processo integrado ao ensino, fornecendo feedback regular para os alunos e permitindo ajustes nas estratégias pedagógicas”. Ao observar as interações dos estudantes com o PhET, os professores podem identificar áreas de dificuldade e fornecer suporte adicional de maneira direcionada.

Outro benefício das sequências didáticas é sua capacidade de envolver os alunos em atividades ativas. Simulações como as do PhET incentivam a discussão em grupo, nas quais os estudantes universitários descobrem e resolvem problemas coletivamente. Essa abordagem não apenas enriquece o aprendizado individual, mas também desenvolve habilidades sociais e de trabalho em equipe.

Entretanto, é importante considerar os desafios associados ao uso de simulações virtuais. Young e Freedman (2019, p. 215) alertam que “a desigualdade no acesso à tecnologia pode limitar a eficácia do PhET, criando disparidades na experiência de aprendizagem entre alunos de diferentes contextos socioeconômicos”. Assim, os educadores devem buscar formas de minimizar essas barreiras, promovendo a inclusão digital.

Outro ponto a ser considerado é que, embora as simulações do PhET ofereçam representações visuais claras, elas podem simplificar algumas características. Martin e Parker (2020, p. 190) enfatizam que “os professores precisam complementar as simulações do PhET com discussão e explicações adicionais para garantir que os alunos desenvolvam uma compreensão completa e precisa das particularidades treinadas”.

Ainda que o PhET seja uma ferramenta poderosa, ele não deve substituir completamente as atividades práticas em laboratório. Kolb (1984, p. 220) observa que “as simulações virtuais são valiosas, mas não podem replicar completamente a riqueza da experiência adquirida em experimentos físicos reais”. Assim, o uso equilibrado de simulações e práticas laboratoriais é fundamental para o desenvolvimento de habilidades experimentais.

Por fim, a flexibilidade das sequências didáticas permite que os professores adaptem as atividades conforme as necessidades dos alunos e as condições do ensino. Zabala (1998, p. 54) argumenta que “a flexibilidade no planejamento é crucial para lidar com imprevistos e adaptar o ensino às necessidades reais dos alunos”. Ao utilizar o PhET, os educadores podem ajustar o ritmo das atividades ou introduzir novas simulações, garantindo que todos os alunos avancem de maneira consistente.

Em conclusão, as sequências didáticas e o uso do PhET no ensino de ondulatória são ferramentas complementares que promovem uma aprendizagem significativa, ativa e reflexiva. Quando bem planejadas, essas estratégias tornam o processo educacional mais dinâmico e eficaz, proporcionando aos alunos uma compreensão profunda e integrada dos conceitos.

6.2. O PLANEJAMENTO DE SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS PARA O ENSINO DE ONDULATÓRIA: ESTRATÉGIAS E APLICAÇÕES

O ensino de ondulatória apresenta desafios significativos devido à natureza abstrata dos conceitos envolvidos, como interferência, difusão e propagação de ondas. Segundo Zabala (1998, p. 21), “o planejamento de sequências didáticas oferece uma visão clara e sistemática do ensino, articulando etapas que levam os alunos a uma compreensão gradual e profunda dos conteúdos”. Nesse contexto, o planejamento de sequências didáticas estruturadas surge como uma ferramenta necessária para o sucesso do processo de ensino-aprendizagem.

O primeiro passo no planejamento de uma sequência didática é a definição de objetivos claros e alinhados às necessidades dos alunos. Ausubel (2000) destaca que “a aprendizagem significativa exige que os novos conteúdos apresentados sejam de forma organizada, relacionando-se com os conhecimentos prévios dos estudantes”. No ensino de ondulatória, os objetivos podem incluir a compreensão das propriedades básicas das ondas, como amplitude e frequência, antes de aprofundar para detalhes mais complexos, como padrões de interferência.

Após a definição dos objetivos, as atividades devem ser organizadas em etapas progressivas que promovam a construção gradual do conhecimento. Zabala (1998) afirma que “as etapas de uma sequência didática devem ser interdependentes, facilitando o avanço progressivo do aluno na direção ao domínio dos conteúdos”. No ensino de ondulatória, essas etapas podem incluir atividades introdutórias teóricas, seguidas de experimentos práticos e simulações interativas, como oferecidas pelo PhET.

A integração de ferramentas tecnológicas como o PhET transforma o ensino de ondulatória ao proporcionar experiências práticas e visuais. Martin e Parker (2020, p. 200) destacam que “o uso de ferramentas digitais em etapas progressivas permite que os alunos compreendam os conceitos de maneira prática e visual, promovendo um aprendizado mais profundo”. Essas simulações permitem que os alunos manipulem variações de amplitude e frequência, observando em tempo real os efeitos dessas mudanças, o que enriquece a compreensão dos conceitos.

Outro aspecto essencial do planejamento é a diversidade metodológica. Kolb (1984) argumenta que “a aprendizagem experiencial é maximizada quando os alunos têm a oportunidade de vivenciar, refletir e aplicar os conceitos em diferentes

contextos”. No ensino de ondulatória, é fundamental atividades teóricas, práticas e interativas para atender a diferentes estilos de aprendizagem e promover uma compreensão integral dos conceitos.

Além das atividades pedagógicas, a avaliação diagnóstica é indispensável para monitorar o progresso dos alunos. Moreira (2011) observa que “a avaliação contínua e formativa oferece insights profundos sobre o desenvolvimento dos alunos, permitindo que os professores ajustem suas abordagens pedagógicas conforme necessário”. No ensino de ondulatória, atividades como relatórios de experimentos e discussão em grupo são indicadas para identificar dificuldades e orientar os estudantes na direção ao domínio dos conteúdos.

Outro elemento importante no planejamento de sequências didáticas é a personalização do ensino. Zabala (1998) ressalta que “o planejamento deve considerar os interesses e níveis de conhecimento dos estudantes, promovendo uma abordagem personalizada que torne o ensino relevante e significativo”. Essa flexibilidade contribui para que os professores adaptem as atividades às necessidades específicas de cada turma, garantindo que todos os alunos tenham a oportunidade de alcançar os objetivos de aprendizagem.

A diversidade de atividades em uma sequência didática também estimula a aprendizagem ativa, em que os alunos assumem um papel protagonista no processo de construção do conhecimento. Segundo Silva e Andrade (2022, p. 138), “a aprendizagem ativa, reforçada por ferramentas interativas e atividades práticas, promove uma compreensão mais profunda e rigidez dos conceitos”. Essa abordagem incentiva os estudantes a explorarem, questionarem e aplicarem os conceitos de ondulatória em diferentes contextos.

A flexibilidade no planejamento é fundamental para garantir a eficácia da sequência didática. Zabala (1998, p. 54) enfatiza que “a flexibilidade no planejamento é crucial para lidar com imprevistos e adaptar o ensino às necessidades reais dos alunos”. Isso significa que o professor deve estar preparado para ajustar o ritmo das atividades ou introduzir novos recursos, como simulações complementares, conforme os alunos progredirem.

Por fim, a implementação de sequências didáticas bem planejadas requer um papel ativo e estratégico do professor como mediador do processo de ensino-aprendizagem. Martin e Parker (2020, p. 205) afirmam que “um planejamento eficaz não apenas facilita a aprendizagem dos alunos, mas também permite que o professor

atue de maneira mais estratégica e proativa, orientando o processo educacional com base em objetivos claros e bem definidos”. Para isso, o planejamento de sequências didáticas no ensino de ondulatória é essencial para garantir uma aprendizagem significativa, ativa e progressiva. Ao integrar ferramentas interativas como o PhET, diversificar metodologias e promover a avaliação formativa, os professores podem transformar o ensino em uma experiência rica e eficaz.

7. SIMULAÇÕES INTERATIVAS E SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS: POTENCIALIZANDO O ENSINO DE ONDULATÓRIA COM O PHET

O objetivo deste capítulo é explorar o papel das simulações interativas, especialmente o PhET Interactive Simulations, como uma ferramenta pedagógica inovadora no ensino de Ondulatória, destacando sua capacidade de transformar conceitos abstratos em experiências visuais e práticas. A seção também enfatiza a importância do planejamento de sequências didáticas estruturadas, que integrem o uso do PhET, permitindo uma progressão lógica e adaptada às necessidades dos alunos. Além disso, busca-se discutir as vantagens dessas simulações no fortalecimento da aprendizagem ativa, na personalização do ensino e na avaliação formativa, sempre considerando o papel crucial do professor como mediador. Por fim, são abordadas as limitações das simulações e a necessidade de equilibrá-las com experiências práticas e inclusivas, promovendo um ensino de Ondulatória mais eficaz, acessível e significativo.

7.1. A IMPORTÂNCIA DAS SIMULAÇÕES INTERATIVAS NO ENSINO DE ONDULATÓRIA: O USO DO PHET COMO FERRAMENTA PEDAGÓGICA

O ensino de conceitos complexos da Física, como os relacionados à ondulatória, tem se beneficiado significativamente do avanço das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs). Entre as ferramentas disponíveis, o PhET Interactive Simulations, desenvolvido pela Universidade do Colorado, destaca-se como uma plataforma eficaz para facilitar a compreensão de tópicos abstratos. Segundo Belloni (2009, p. 102), “as simulações computacionais, como as do PhET, oferecem aos alunos uma maneira de visualizar e manipular especificações que, de outra forma, abstratas e difíceis de compreender”.

As simulações do PhET são acessíveis, gratuitas e projetadas para uso tanto online quanto offline, tornando-se uma solução versátil para diferentes contextos educacionais. Os professores podem encontrar simulações relacionadas a ondas no site oficial do PhET, como “Ondas em uma Corda” e “Interferência de Ondas”, que permitem explorar variáveis como amplitude, frequência e comprimento de onda. Silva e Andrade (2022, p. 110) afirmam que “a flexibilidade do PhET permite que os

professores personalizem as simulações e as integrem em sequências didáticas que atendam às necessidades específicas de seus alunos”.

A integração do PhET em sequências didáticas potencializa o aprendizado ao permitir que os alunos explorem características ondulatórias de maneira visual e interativa. Kenski (2013) enfatiza que o papel do professor como mediador é crucial nesse processo, garantindo que as observações feitas nas simulações sejam inseridas aos conceitos teóricos. Essa mediação é essencial para transformar atividades digitais em experiências de aprendizagem significativas.

Um exemplo prático de integração é o uso da simulação “Interferência de Ondas” para ilustrar padrões de interferência construtiva e destrutiva. De acordo com Martin e Parker (2020, p. 180), “as simulações interativas do PhET não apenas facilitam a compreensão individual, mas também promovem um ambiente de aprendizagem colaborativa, onde os alunos podem explorar, discutir e descobrir juntos”. Assim, a ferramenta não apenas enriquece o aprendizado individual, mas também fomenta a troca de ideias entre os alunos.

As simulações também oferecem a oportunidade de realizar experimentos virtuais que seriam difíceis de executar em laboratórios físicos. Os fenômenos de interferência e difração podem ser explorados em condições controladas, com possibilidade de ajustes imediatos nos intervalos. Silva e Andrade (2022, p. 105) observam que “os experimentos virtuais fornecidos pelo PhET permitem que os alunos explorem conceitos difíceis de observar em condições reais, oferecendo uma compreensão mais abrangente e específica das especificações ondulatórias”.

Além de enriquecer o conteúdo, o PhET facilita o desenvolvimento de habilidades críticas como formulação de hipóteses e resolução de problemas. Durante a exploração de simulações, os alunos podem testar suas observações e observar os resultados em tempo real, fortalecendo o aprendizado experiencial. Kolb (1984) destaca que “o feedback contínuo é essencial para o ciclo de aprendizagem experiencial”, e o PhET oferece uma plataforma ideal para fornecer esse retorno imediato.

Outra vantagem significativa do PhET é a possibilidade de personalizar o ritmo de aprendizagem, adaptando-se às atividades às necessidades individuais dos alunos. Young e Freedman (2019, p. 200) afirmam que “o uso de ferramentas interativas permite que os professores adaptem o conteúdo às diferentes formas de

aprendizagem, oferecendo suporte adicional para aqueles que precisam e desafios para aqueles que estão prontos para avançar”.

O papel do professor, no entanto, continua sendo fundamental nesse processo. Moran (2015, p. 132) reforça que “o uso de simulações interativas no contexto de uma sequência didática pode transformar o aprendizado de um processo passivo em uma experiência ativa e envolvente, onde os alunos são incentivados a pensar criticamente e a construir seu próprio conhecimento”. Essa mediação ativa é essencial para que o uso das TICs vá além de uma experiência meramente lúdica, contribuindo para um aprendizado mais profundo.

A criação de sequências didáticas que incorporam o PhET deve considerar a introdução gradual dos conceitos, partindo do básico para o avançado. Segundo Bessa (2012, p. 95), “as simulações do PhET oferecem uma oportunidade única para os alunos testarem suas hipóteses em um ambiente seguro e controlado, onde podem observar os resultados imediatamente e ajustar suas estratégias de acordo”. Esse planejamento permite que os alunos desenvolvam uma compreensão sólida e transferível dos conceitos.

Uma etapa importante no uso das simulações é a avaliação formativa, que pode ser realizada durante as interações dos alunos com o PhET. Ferramentas como quizzes integrados ajudam o professor a monitorar o progresso dos alunos e identificar áreas de dificuldade. Belloni (2009, p. 78) ressalta que “as simulações oferecem ao professor uma visão específica de como os alunos estão interagindo com os conceitos, permitindo uma avaliação contínua e a possibilidade de disciplinas pedagógicas oportunas”.

Os benefícios do PhET não se limitam à sala de aula. A facilidade de acesso às simulações online ou offline garante que o aprendizado possa continuar além do ambiente escolar, incentivando a autonomia dos alunos. Kenski (2013, p. 50) observa que “o uso das TICs na educação promove um modelo de aprendizagem em que o aluno é o protagonista, incentivado a explorar e a construir seu próprio conhecimento por meio de ferramentas interativas”.

Concluindo, o PhET Interactive Simulations é uma ferramenta poderosa que transforma a forma como a Física, especialmente a Ondulatória, é ensinada. As simulações interativas oferecem uma abordagem visual e prática para a compreensão de conceitos abstratos, promovendo uma aprendizagem ativa e significativa.

O papel do professor é insubstituível nesse processo, pois sua mediação garante que os alunos estabeleçam conexões entre as simulações e os conceitos teóricos. Além disso, a personalização das atividades e o uso de ferramentas de avaliação tornam o PhET uma solução abrangente para atender às diversas necessidades pedagógicas.

Ao integrar o PhET em uma sequência didática bem planejada os educadores podem oferecer uma experiência de aprendizado dinâmica e envolvente, alinhada às demandas do século XXI. Dessa forma, o uso de simulações interativas no ensino de Ondulatória destaca-se como uma estratégia essencial para facilitar o aprendizado e transformar a sala de aula em um espaço de descobertas e experimentações significativas.

7.2. AS SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS E O USO DO PHET NO ENSINO DE ONDULATÓRIA

O ensino de Ondulatória, uma das áreas mais complexas da Física, apresenta desafios relacionados à abstração de conceitos, como comprimento de onda, frequência, interferência e difração. Nesse contexto, as sequências didáticas estruturadas e o uso de ferramentas interativas como as *Simulações Interativas PhET* têm se mostrado estratégias eficazes para facilitar o ensino e promover a aprendizagem significativa. De acordo com Zabala (1998, p. 21), “uma sequência didática pode ser definida como um conjunto de atividades organizadas de maneira lógica e articulada, com a finalidade de facilitar a aprendizagem de determinados conteúdos ou competências”.

O PhET, desenvolvido pela Universidade do Colorado, é uma plataforma de simulações que permite que os alunos explorem referências abstratas de maneira visual e interativa. A facilidade do PhET, que pode ser acessado tanto online quanto offline, permite que os professores adaptem suas práticas pedagógicas a diferentes contextos. Segundo Silva e Andrade (2022, p. 115), “as simulações interativas do PhET transformam conceitos teóricos em experiências visuais e práticas, facilitando a construção de uma compreensão mais profunda e significativa das características ondulatórias”.

Ao integrar o PhET em uma sequência didática, os professores podem introduzir conceitos básicos de ondulatória, como amplitude e frequência, antes de

avançar para tópicos mais complexos, como interferência. Essa abordagem respeita o ritmo de aprendizagem dos alunos e garante uma progressão lógica dos conteúdos. Coll, Pozo e Solé (1999, p. 37) enfatizam que “a sequência didática deve levar em consideração o ponto de partida dos alunos, seus conhecimentos prévios e suas dificuldades”.

A utilização de simulações interativas traz benefícios pedagógicos importantes, incluindo a visualização de características físicas que seriam difíceis de observar em condições reais. Bessa (2012, p. 48) destaca que “a integração de simulações interativas em uma sequência didática possibilita aos alunos visualizarem observações físicas que, de outra forma, seriam difíceis de observar”. Essa capacidade é particularmente útil para compreender a interferência de ondas, que pode ser explorada de maneira específica e controlada com as simulações do PhET.

Outro ponto relevante do PhET é sua capacidade de promover uma aprendizagem ativa. Segundo Kolb (1984, p. 210), “a aprendizagem experiencial é fundamental para a construção do conhecimento significativo, e o PhET, ao proporcionar experiências interativas, apoia esse tipo de aprendizagem de maneira eficaz”. Os alunos, ao testarem hipóteses, manipularem variáveis e observarem os resultados em tempo real, podem se tornar protagonistas de seu processo de aprendizagem.

No entanto, para que o PhET seja plenamente eficaz, é essencial que o professor se torne mediador. Kenski (2013) destaca que “o papel do professor como mediador é crucial para garantir que os alunos façam as tarefas necessárias entre o que observam nas simulações e nos conceitos teóricos que estão sendo ensinados”. A mediação adequada garante que as simulações não sejam apenas exploradas de forma lúdica, mas realmente contribuam para o desenvolvimento de uma compreensão profunda e significativa.

As sequências didáticas também desempenham um papel crucial na avaliação formativa. Zabala (1998, p. 54) afirma que “a avaliação contínua dos alunos permite que o professor identifique dificuldades e intervenha de forma direcionada, garantindo que todos os alunos possam alcançar os objetivos de aprendizagem”. Ao observar como os alunos interagem com as simulações do PhET, os professores podem identificar áreas de dificuldade e adaptar suas estratégias pedagógicas.

Embora as simulações virtuais ofereçam muitas vantagens, elas também apresentam limitações. Um desafio é o risco de que os alunos desenvolvam uma

compreensão superficial dos conceitos devido à simplificação das características nas simulações. Martin e Parker (2020, p. 190) alertam que “os professores precisam complementar as simulações do PhET com discussão e explicações adicionais para garantir que os alunos desenvolvam uma compreensão completa e precisa das especificidades treinadas”.

Além disso, o uso excessivo de simulações virtuais não deve substituir as experiências práticas em laboratório físico. Kolb (1984, p. 220) ressalta que “as simulações virtuais são valiosas, mas não podem replicar completamente a riqueza da experiência adquirida em experimentos físicos reais”. Assim, é importante que o uso das simulações seja equilibrado com atividades práticas que desenvolvam habilidades experimentais.

Outro ponto a considerar é a desigualdade no acesso à tecnologia. Young e Freedman (2019, p. 215) afirmam que “a desigualdade no acesso à tecnologia pode limitar a eficácia do PhET, criando disparidades na experiência de aprendizagem entre alunos de diferentes contextos socioeconômicos”. Professores e instituições devem buscar formas de minimizar essas disparidades, promovendo a inclusão digital.

A facilidade do PhET, que inclui recursos como planos de aula e atividades prontas, permite que os professores personalizem as simulações para atender às necessidades de suas turmas. Silva e Andrade (2022, p. 118) observam que “a flexibilidade do PhET permite que os professores integrem as simulações de maneira que melhor se ajustem ao seu currículo e aos estilos de aprendizagem dos alunos”. Isso promove um ensino mais adaptado e centrado no estudante.

Concluindo, as sequências didáticas estruturadas e o uso de ferramentas interativas como o PhET são elementos transformadores no ensino de ondulatória. Ao equilibrar as vantagens e limitações das simulações virtuais, os professores podem criar ambientes de aprendizagem ricos e dinâmicos, que incentivam a participação ativa dos alunos e promovem uma compreensão profunda dos conceitos científicos.

8. METODOLOGIA

A metodologia constitui-se como um dos pilares fundamentais de qualquer investigação científica, representando o conjunto de procedimentos e técnicas que orientam a construção do conhecimento em conformidade com os objetivos da pesquisa (SEVERINO, 2014). Para Prodanov e Freitas (2013), a metodologia científica compreende “a aplicação de procedimentos e técnicas que devem ser observados para construção do conhecimento, com o propósito de comprovar sua validade e utilidade nos diversos âmbitos da sociedade” (PRODANOV; FREITAS, 2013, p. 14). Dessa forma, a organização metodológica do presente estudo foi delineada a partir dos pressupostos teóricos e operacionais estabelecidos pela literatura científica, buscando garantir o rigor, a objetividade e a confiabilidade dos resultados apresentados.

Este capítulo tem por finalidade explicitar o percurso metodológico seguido nesta dissertação, evidenciando as opções teórico-metodológicas que fundamentaram a investigação. De acordo com Severino (2014), a pesquisa científica requer não apenas a delimitação clara do objeto e dos objetivos, mas também a adoção consciente dos métodos, técnicas e procedimentos adequados à natureza do problema estudado. Assim, foram estruturados os tópicos referentes à caracterização da pesquisa, ao cenário de realização, aos sujeitos participantes e às técnicas de coleta e análise dos dados, visando proporcionar transparência e reprodutibilidade à investigação.

A escolha de uma abordagem qualitativa, de caráter exploratório e aplicada, fundamenta-se segundo Severino (2014) na necessidade de compreender os fenômenos educacionais em sua complexidade, privilegiando a análise do contexto e das interações entre os sujeitos envolvidos. Do ponto de vista dos procedimentos, optou-se pela realização de um estudo de caso, estratégia que possibilita a investigação aprofundada de um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto real, considerando as múltiplas variáveis que interferem no processo de ensino e aprendizagem (PRODANOV; FREITAS, 2013). Tal percurso metodológico alinha-se às recomendações presentes nos manuais e livros de metodologia científica, que destacam a importância da coerência entre o problema proposto, os objetivos traçados e as estratégias de investigação adotadas (SEVERINO, 2014; PRODANOV; FREITAS, 2013).

Além disso, segundo Prodanov e Freitas (2013) a sistematização das técnicas de coleta de dados contempla instrumentos como a observação direta, questionários diagnósticos e avaliações pré e pós-intervenção, considerando os diferentes níveis de análise qualitativa e quantitativa. A triangulação dessas técnicas visa garantir maior robustez e confiabilidade aos dados obtidos, favorecendo a interpretação crítica dos resultados e a construção de uma análise fundamentada.

Em síntese, este capítulo busca apresentar, de modo estruturado e fundamentado, os caminhos metodológicos percorridos na investigação, assegurando a consonância com as normas acadêmicas e a validade científica dos procedimentos realizados, conforme preconizado pela literatura de referência em metodologia do trabalho científico.

8.1. CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

A caracterização da pesquisa é fundamental para estruturar o estudo de forma clara e objetiva, garantindo a transparência e o rigor metodológico. Esta pesquisa é caracterizada como um estudo de natureza qualitativa, exploratória e aplicada, uma vez que busca investigar como o uso de simulações interativas, integradas a uma sequência didática, impacta o ensino-aprendizagem dos alunos no conteúdo de Ondulatória.

Em uma pesquisa qualitativa, o objetivo principal é entender os fenômenos em sua profundidade, a partir da interação entre os sujeitos e os recursos didáticos empregados. Segundo Minayo (2014), "a pesquisa qualitativa trabalha com o universo dos significados, dos motivos, das aspirações, das crenças, dos valores e das atitudes, o que corresponde a um espaço mais profundo das relações, dos processos e dos fenômenos que não podem ser reduzidos à operacionalização de variáveis" (MINAYO, 2014, p. 21). Nesse sentido, a utilização do PhET como uma ferramenta didática é investigada a partir da percepção dos alunos e da eficácia no processo de ensino-aprendizagem, buscando compreender as experiências e os impactos dessa metodologia na compreensão dos conceitos de Ondulatória.

O caráter exploratório da pesquisa está relacionado ao fato de que o estudo busca trilhar novos caminhos no entendimento da integração entre as TICs (Tecnologias de Informação e Comunicação) e o ensino de Física, especialmente no que diz respeito à utilização de simuladores interativos. De acordo com Gil (2002),

"pesquisas exploratórias têm como principal finalidade desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, com vistas à formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores" (GIL, 2002, p. 41). Nesse sentido, esta pesquisa não só explora o potencial do PhET como ferramenta de ensino, mas também propõe a sequência didática como um meio para orientar a utilização eficaz dessa tecnologia em sala de aula.

A aplicação da pesquisa no contexto educacional também a caracteriza como uma pesquisa aplicada. Neste caso, os resultados esperados têm uma relevância prática e visam à melhoria do processo de ensino-aprendizagem em Física. Segundo Silva e Andrade (2022), "a aplicação de ferramentas interativas, como o PhET, em conjunto com uma sequência didática bem planejada, tem o potencial de transformar a maneira como os alunos aprendem conceitos complexos, facilitando a visualização e a experimentação" (SILVA; ANDRADE, 2022, p. 110). Dessa forma, os dados coletados durante a aplicação da sequência didática, seja por meio de observações, questionários ou entrevistas com os alunos, serão analisados para verificar a eficácia dessa abordagem.

Outro aspecto importante da caracterização desta pesquisa é o delineamento de um estudo de caso, no qual a sequência didática é implementada em uma turma de alunos do ensino médio, possibilitando uma análise detalhada dos resultados da aplicação do PhET no contexto específico do ensino de Ondulatória. O estudo de caso, segundo Yin (2015), "é uma investigação empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos" (YIN, 2015, p. 34). Neste estudo, o contexto educacional é fundamental, pois as interações entre os alunos, o professor e a tecnologia (PhET) são analisadas de maneira integrada, buscando identificar os desafios e as vantagens dessa abordagem.

8.2. CENÁRIO DA PESQUISA

O cenário da pesquisa é fundamental para entender o contexto no qual essa investigação será desenvolvida, incluindo o ambiente escolar, o perfil dos alunos, os recursos disponíveis e a própria estrutura curricular. O cenário da pesquisa precisa refletir as condições reais em que o ensino de Física, mais especificamente de

Ondulatória, é ministrado, permitindo que a análise dos dados coletados tenha relevância e aplicabilidade prática para outros contextos educacionais semelhantes.

Esta pesquisa deve ser realizada em uma escola de ensino médio, de rede pública estadual, que possui infraestrutura mínima para o uso de tecnologias de informação e comunicação (TICs). A escolha desse cenário é relevante porque reflete a realidade da maioria das instituições de ensino no Brasil, onde, apesar das limitações de recursos, há uma crescente demanda por inovações tecnológicas que melhorem o processo de ensino-aprendizagem. De acordo com Silva e Andrade (2022), "o cenário educacional atual exige que os professores utilizem ferramentas interativas, como o PhET, para engajar os alunos e facilitar a compreensão de conceitos abstratos, como os que envolvem Ondulatória" (SILVA; ANDRADE, 2022, p. 95). A escola possui computadores disponíveis, além de uma conexão estável à internet, para garantir que as simulações possam ser acessadas e utilizadas durante as aulas.

Além da infraestrutura, é necessário considerar o perfil dos alunos envolvidos na pesquisa. Esses alunos, muitas vezes, apresentam dificuldades em compreender fenômenos ondulatórios devido ao caráter abstrato dos conceitos e à falta de uma visualização prática. A utilização de simulações interativas, como as oferecidas pelo PhET, pode ajudar a preencher essa lacuna, oferecendo uma representação visual clara dos fenômenos estudados. Como argumenta Moreira (2011), "a aprendizagem significativa ocorre quando o aluno consegue relacionar o novo conteúdo com conhecimentos que já possui, criando uma rede de significados que facilita a compreensão e a retenção" (MOREIRA, 2011, p. 43).

Outro aspecto importante do cenário é a presença do professor como mediador do processo de ensino-aprendizagem. Nesse contexto, o professor assume o papel de facilitador, orientando os alunos na utilização das simulações do PhET e conduzindo atividades que integrem o uso dessas ferramentas à sequência didática planejada. Para que o cenário da pesquisa seja adequado, é essencial que o professor esteja familiarizado com as simulações e com as tecnologias a serem utilizadas, além de estar preparado para adaptar a sequência didática às necessidades dos alunos. Dessa forma, o cenário ideal é aquele em que o professor não apenas utiliza o PhET como um recurso didático, mas também explora seu potencial pedagógico para promover uma aprendizagem ativa e participativa.

Por fim, o cenário da pesquisa também deve considerar o currículo de Física e os objetivos pedagógicos que orientam o ensino de Ondulatória. O conteúdo programático dessa área da Física inclui temas como a natureza das ondas, os fenômenos de interferência e difração, e as propriedades de ondas sonoras e eletromagnéticas. No contexto da pesquisa, a sequência didática desenvolvida deve ser articulada com esses conteúdos, de modo que o uso do PhET seja alinhado às diretrizes curriculares e auxilie os alunos a alcançar os objetivos de aprendizagem estabelecidos para a disciplina. Como observa Gil (2002), "o planejamento educacional deve estar em consonância com os objetivos do currículo, garantindo que os recursos didáticos utilizados contribuam para o desenvolvimento das competências previstas" (GIL, 2002, p. 56).

8.3. SUJEITOS DA PESQUISA

Os sujeitos da pesquisa devem ser escolhidos de forma estratégica, considerando o contexto educacional e os objetivos do estudo. Como esta pesquisa visa avaliar o impacto do uso de simulações interativas no ensino de conceitos de Ondulatória, os principais sujeitos são os estudantes do ensino médio, especificamente aqueles que estão cursando o segundo e terceiro ano, já que é nesse período que o conteúdo é geralmente abordado nas aulas de Física. Esses alunos, em muitos casos, têm dificuldade de compreender os conceitos abstratos associados às ondas, como interferência, difração, frequência e comprimento de onda, tornando-os participantes ideais para investigar como o PhET pode facilitar a aprendizagem desses conteúdos.

Além dos estudantes, o professor que conduzirá as aulas utilizando o PhET também deve ser considerado um sujeito da pesquisa, pois ele desempenha um papel crucial na mediação do conhecimento e no uso da tecnologia em sala de aula. Nesse sentido, o papel do professor vai além de simplesmente apresentar o PhET como uma ferramenta; ele deve também orientar os alunos na exploração das simulações, contextualizando os resultados obtidos e promovendo uma aprendizagem ativa e reflexiva.

Os estudantes são o público-alvo principal de qualquer inovação pedagógica voltada para o ensino de conceitos de Física. A escolha desses sujeitos se justifica pela necessidade de avaliar como a sequência didática proposta, associada ao uso

do PhET, pode melhorar o desempenho dos alunos em relação ao aprendizado de Ondulatória. Segundo Moreira (2011), "a aprendizagem significativa ocorre quando o aluno é capaz de relacionar os novos conceitos com o conhecimento pré-existente, tornando-se sujeito ativo na construção de seu aprendizado" (MOREIRA, 2011, p. 45). Dessa forma, os alunos precisam ser engajados no processo, e a observação de como eles interagem com as simulações e os conceitos será essencial para avaliar a eficácia da metodologia.

É importante também observar que a pesquisa pode adotar uma abordagem qualitativa ao considerar as percepções e experiências dos estudantes durante e após o uso das simulações. Minayo (2014) destaca que "a pesquisa qualitativa permite compreender os significados atribuídos pelos sujeitos a suas experiências, proporcionando uma visão mais profunda dos processos educacionais em curso" (MINAYO, 2014, p. 30).

O professor também assume um papel fundamental no estudo, não apenas por ser o mediador das atividades em sala de aula, mas também por oferecer feedback valioso sobre a implementação da sequência didática. Ele deve estar envolvido no planejamento das atividades, na escolha das simulações mais adequadas e na sua adaptação, conforme o andamento das aulas. Como argumenta Gil (2002), "o professor é um dos principais agentes no processo de inovação pedagógica, sendo responsável por adaptar e implementar novas estratégias que possam efetivamente melhorar o aprendizado dos alunos" (GIL, 2002, p. 48).

8.4. TÉCNICAS DE COLETAS DE DADOS

As técnicas de coleta de dados para a pesquisa foram escolhidas com o objetivo de capturar de maneira abrangente tanto as percepções qualitativas quanto os resultados quantitativos da aplicação do PhET no ensino de Ondulatória. Por se tratar de uma pesquisa educacional que busca avaliar o impacto de uma ferramenta tecnológica e a eficácia de uma sequência didática, é essencial combinar diferentes métodos de coleta de dados para garantir uma análise profunda e completa dos resultados.

Uma das técnicas de coleta de dados mais adequadas para essa pesquisa é a observação direta em sala de aula e o uso de questionários. Através da observação sistemática, o pesquisador pode acompanhar o comportamento dos alunos enquanto

utilizam o PhET, analisando como eles interagem com a ferramenta, quais dificuldades encontram, e de que maneira o simulador contribui para a compreensão dos conceitos de Ondulatória. Como Minayo (2014) destaca, "a observação é uma técnica de pesquisa qualitativa que permite ao investigador captar as interações entre os sujeitos e os objetos de estudo em seu contexto natural, proporcionando uma visão direta dos fenômenos em análise" (MINAYO, 2014, p. 37). Nesse caso, a observação permitirá captar nuances do processo de aprendizagem que podem não ser expressas por meio de outras técnicas, como questionários ou testes.

Outra técnica fundamental para a coleta de dados é a aplicação de questionários aos alunos antes (pré-teste) e ao final da sequência didática (pós-teste). O questionário pode ser composto por perguntas abertas e fechadas, permitindo que os estudantes expressem suas opiniões sobre o uso do PhET e a relevância das simulações no aprendizado de Ondulatória. Os Questionários são úteis para obter uma amostra ampla de respostas e facilitar a coleta de dados quantitativos, que podem ser analisados estatisticamente. Segundo Gil (2002), "os questionários são ferramentas eficazes para a coleta de informações em pesquisas educacionais, pois permitem que o pesquisador obtenha dados de maneira rápida e organizada" (GIL, 2002, p. 120). Além disso, os questionários fornecem informações sobre a percepção subjetiva dos alunos em relação à ferramenta e ao processo de ensino, complementando os dados observacionais.

Por fim, uma técnica quantitativa essencial para esta pesquisa é a aplicação de testes de conhecimento antes e depois da implementação da sequência didática com o uso do PhET. Esses testes são fundamentais para medir o impacto real da intervenção no aprendizado dos alunos, permitindo uma comparação objetiva do desempenho antes e após o uso da ferramenta. O pré-teste fornece uma linha de base para avaliar o conhecimento prévio dos estudantes sobre Ondulatória, enquanto o pós-teste ajuda a verificar os ganhos de aprendizagem. Como apontam Silva e Andrade (2022), "a aplicação de testes é uma forma de avaliar, de maneira quantitativa, a evolução do aprendizado dos alunos, oferecendo dados concretos sobre a eficácia das estratégias didáticas utilizadas" (SILVA; ANDRADE, 2022, p. 115).

9. EXPLORANDO ONDAS: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA COM BASE EM AUSUBEL E MOREIRA

Este capítulo apresenta como a sequência didática estruturada para o ensino de ondas no Ensino Médio, fundamentada nos princípios da aprendizagem significativa de David Ausubel e Marco Antônio Moreira, foram trabalhadas durante o uso das duas simulações do PhET. Cada simulação, composta por cinco aulas articuladas, busca valorizar os conhecimentos prévios dos alunos, promover a mediação ativa do professor e incentivar a construção coletiva do conhecimento por meio de estratégias como organizadores prévios, exploração autônoma da simulação PhET, discussões coletivas e resolução colaborativa de problemas. Ao integrar teoria e prática com o uso de recursos digitais, as sequências visam não apenas facilitar a compreensão dos conceitos fundamentais de ondulatória, mas também consolidar uma aprendizagem ativa, reflexiva e duradoura, centrada nas experiências e necessidades dos estudantes.

9.1. AULA 1: PREPARAÇÃO E DIAGNÓSTICO DOS CONHECIMENTOS PRÉVIOS

A primeira aula da sequência didática tem como objetivo identificar e ativar os conhecimentos prévios dos alunos, proporcionando uma base sólida para a construção de novos conceitos sobre ondas. De acordo com Ausubel (2003), os conhecimentos prévios desempenham um papel central na aprendizagem significativa, pois funcionam como âncoras cognitivas para integrar novos conteúdos. Para tanto, utiliza-se a estratégia dos organizadores prévios, que têm a função de preparar cognitivamente os alunos para a aprendizagem.

A aula se inicia com a aplicação de um questionário diagnóstico, com questões relacionadas a conceitos básicos como movimento harmônico simples, som e luz. Essa etapa busca mapear os esquemas cognitivos já existentes nos alunos, conforme defendido por Moreira (2011), que destaca que a identificação de conhecimentos prévios é essencial para que o ensino seja potencialmente significativo.

Em seguida, ocorre uma revisão inicial, na qual o professor apresenta exemplos do cotidiano, como ondas no mar e sons em diferentes ambientes, para estimular o resgate das experiências anteriores dos alunos. Durante essa etapa, conceitos como

frequência e amplitude são explorados de forma breve e conectados ao conhecimento empírico dos alunos. Moreira (2011) reforça que relacionar o conteúdo com situações do dia a dia contribui para a ancoragem de novos conceitos, tornando-os mais significativos.

Como complemento, é exibido um vídeo curto e ilustrativo sobre os tipos de ondas (longitudinal e transversal). Após o vídeo, os alunos são incentivados a anotar exemplos práticos de ondas que percebem em seu cotidiano e compartilhar essas ideias com a turma. Essa interação visa promover a predisposição para aprender, um dos elementos fundamentais da aprendizagem significativa (Ausubel, 2003).

Ao longo dessas atividades, o professor atua como mediador, estimulando a curiosidade por meio de perguntas direcionadas, como: “Como você acha que essas ondas influenciam nosso dia a dia?”. Essa mediação é indispensável para a construção do significado, pois, segundo Moreira (2011), o professor tem o papel de guiar os alunos na organização de seus esquemas cognitivos, possibilitando a formação de conexões entre o novo e o já conhecido.

Por fim, essa etapa se conecta diretamente com a teoria dos organizadores prévios de Ausubel (2003), que sugere que apresentar uma visão geral antes de detalhar um tema facilita a ancoragem cognitiva dos novos conceitos. Essa abordagem contribui para que o aprendizado seja duradouro e relevante, alinhado às necessidades e ao contexto dos alunos.

9.2. AULA 2: EXPLORAÇÃO E ATIVAÇÃO COGNITIVA

A segunda aula da sequência didática é centrada na introdução da simulação *Introdução às Ondas* do PhET, com o objetivo de proporcionar aos alunos uma experiência prática e interativa para explorar conceitos fundamentais de ondas. Essa etapa está alinhada com os princípios da aprendizagem significativa, propostos por Ausubel (2003) e ampliados por Moreira (2011), que enfatizam a importância de ativar a predisposição para aprender e utilizar materiais potencialmente significativos.

A aula começa com uma pergunta inicial, lançada pelo professor: “*Como a velocidade de uma onda depende de sua frequência ou comprimento de onda?*”. Essa questão é uma estratégia para instigar a curiosidade dos alunos e prepará-los cognitivamente para o aprendizado que está por vir. De acordo com Moreira (2011), questões desafiadoras, que partem do cotidiano ou de situações reais, estimulam a

predisposição para aprender, condição essencial para que o conhecimento seja verdadeiramente significativo.

Na sequência, os alunos participam de uma exploração livre da simulação PhET. Durante essa atividade, eles têm a oportunidade de manipular os parâmetros de frequência, amplitude e comprimento de onda, observando as mudanças que ocorrem em tempo real. Essa abordagem permite que os alunos construam hipóteses e façam conexões entre os elementos explorados, sem a imposição direta de conceitos. Segundo Ausubel (2003), proporcionar autonomia inicial aos alunos no processo de exploração é uma maneira eficaz de promover o aprendizado significativo, uma vez que eles passam a atribuir sentido aos conceitos por meio de suas próprias observações e experiências.

O professor desempenha um papel ativo durante a mediação, circulando pela sala para acompanhar as interações dos alunos com a simulação. Nesse momento, ele intervém de forma estratégica, auxiliando os alunos na identificação de padrões e relações entre os parâmetros manipulados. Moreira (2011) destaca que a mediação do professor é essencial para que as observações dos alunos sejam ancoradas em conceitos científicos sólidos, evitando que equívocos ou lacunas conceituais comprometam o aprendizado.

Essa etapa da sequência didática também reforça a importância de utilizar materiais potencialmente significativos, como a simulação, que conecta conceitos abstratos de maneira concreta e visual. Ausubel (2003) argumenta que materiais desse tipo facilitam a ancoragem de novos conhecimentos nos esquemas cognitivos existentes dos alunos, transformando informações isoladas em aprendizado estruturado.

Portanto, a exploração e ativação cognitiva por meio da simulação PhET não apenas introduz conceitos fundamentais de ondas, mas também coloca os alunos no centro do processo de aprendizagem, permitindo que construam significados por meio da interação prática e da mediação estratégica do professor.

9.3. AULA 3: DISCUSSÃO E CONSTRUÇÃO DO SIGNIFICADO

A terceira aula da sequência didática é voltada à consolidação dos conceitos explorados na simulação por meio de discussão e reflexão teórica. Essa etapa é essencial para transformar as observações práticas dos alunos em conhecimento

significativo, alinhando-as com princípios teóricos robustos. Conforme a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel (2003), o novo conhecimento só será incorporado de forma duradoura se for relacionado de maneira lógica e não arbitrária ao que o aluno já sabe. Nesse sentido, a mediação ativa do professor é indispensável para facilitar esse processo.

A aula inicia-se com uma discussão em grupo, na qual os alunos compartilham as observações realizadas durante a exploração da simulação. Nesse momento, eles discutem as relações percebidas entre frequência, comprimento de onda e velocidade. Essa interação promove a troca de ideias e a organização colaborativa do conhecimento. De acordo com Moreira (2011), a interação entre pares contribui para a construção de significados mais profundos, uma vez que permite o confronto de percepções individuais com o entendimento coletivo.

Em seguida, o professor realiza uma intervenção direta, apresentando a equação $v=f \cdot \lambda$, que modela matematicamente o comportamento das ondas. Durante a explicação, o docente destaca como cada parâmetro está interligado e demonstra exemplos práticos para reforçar a compreensão. Conforme Moreira (2011), a mediação do professor é crucial para conectar as ideias que emergem das observações práticas dos alunos ao conhecimento formal, promovendo a reorganização dos esquemas cognitivos.

A mediação ativa é intensificada quando o professor relaciona as observações dos alunos à equação apresentada, explicando como suas experiências durante a simulação exemplificam os conceitos matemáticos subjacentes. Moreira (2011) salienta que essa intervenção do professor é um elemento fundamental da aprendizagem significativa, pois ajuda os alunos a perceberem o sentido lógico e contextual do que estão aprendendo, evitando o aprendizado mecânico.

Essa etapa reforça ainda a ideia central de Ausubel (2003) de que a aprendizagem significativa ocorre quando o novo conteúdo é potencialmente significativo, ou seja, possui elementos que se conectam de forma substancial ao conhecimento prévio. A mediação ativa do professor é essencial para garantir que os alunos consigam estabelecer essas conexões e construir um entendimento sólido e aplicável.

Portanto, ao integrar discussão em grupo, apresentação teórica e mediação estratégica, essa aula proporciona uma experiência rica e estruturada de aprendizagem, onde os alunos não apenas compreendem a relação entre frequência,

comprimento de onda e velocidade, mas também internalizam esse conhecimento de forma significativa e duradoura.

9.4. AULA 4: ATIVIDADE DE FIXAÇÃO E APLICAÇÃO PRÁTICA

A quarta aula da sequência didática é dedicada à consolidação dos conceitos explorados anteriormente por meio de atividades práticas que promovem a aplicação do conhecimento em contextos reais. De acordo com Ausubel (2003), a aprendizagem significativa ocorre quando o aluno é capaz de relacionar conceitos de forma estruturada e utilizá-los em situações práticas, conectando o conteúdo ao seu esquema cognitivo prévio.

A aula inicia-se com um trabalho em grupo, no qual os alunos são desafiados a resolver problemas utilizando a simulação *Introdução às Ondas* do PhET. Uma das tarefas consiste em prever a velocidade de uma onda ao variar a frequência e o comprimento de onda, comparando os valores teóricos calculados com os resultados fornecidos pela simulação. Essa atividade fomenta o desenvolvimento de habilidades analíticas e promove a interação social entre os alunos, um aspecto fundamental para a construção de significado, conforme destacado por Moreira (2011).

Após a realização da atividade prática, é conduzida uma discussão teórica. Os grupos apresentam seus cálculos, discutem as hipóteses formuladas e verificam a validade de suas respostas em relação aos conceitos explorados na simulação. Nesse momento, o professor assume o papel de mediador, incentivando os alunos a justificarem suas respostas e refletirem sobre possíveis erros ou divergências nos resultados. Segundo Moreira (2011), a mediação ativa é essencial para garantir que os alunos reorganizem seus esquemas cognitivos de forma consistente, transformando experiências concretas em aprendizagem significativa.

Além disso, essa etapa promove a experimentação colaborativa, permitindo que os alunos integrem teoria e prática. Moreira (2011) enfatiza que a interação social durante atividades colaborativas estimula o aprendizado, uma vez que os alunos constroem conhecimento de maneira coletiva, negociando significados e compartilhando diferentes perspectivas.

A simulação, enquanto ferramenta potencialmente significativa, desempenha um papel central nesse processo, oferecendo uma ponte entre a abstração teórica e a observação concreta. Ausubel (2003) destaca que a utilização de materiais ricos e

interativos, como simulações, facilita a ancoragem do novo conhecimento, especialmente quando os alunos são incentivados a explorar e aplicar os conceitos em situações práticas.

Dessa forma, a aula não apenas reforça os conceitos trabalhados nas etapas anteriores, como também promove uma aprendizagem ativa, significativa e colaborativa, preparando os alunos para transferir o conhecimento adquirido para novos contextos.

9.5. AULA 5: AVALIAÇÃO E REFLEXÃO FINAL

A quinta e última aula da sequência didática é dedicada à avaliação do aprendizado e à reflexão sobre os conceitos construídos ao longo das aulas. Essa etapa desempenha um papel crucial na consolidação da aprendizagem significativa, uma vez que permite ao aluno reorganizar seus esquemas cognitivos, conforme destacado por Ausubel (2003). A avaliação não é apenas um instrumento para medir o desempenho, mas também um momento de reflexão que fortalece a compreensão e a aplicação do conhecimento adquirido.

A aula inicia-se com uma avaliação subjetiva, composta por questões que exigem dos alunos a capacidade de relacionar os parâmetros explorados, como frequência, amplitude, comprimento de onda e velocidade. Essas questões não apenas avaliam a compreensão teórica, mas também incentivam a reflexão sobre as experiências práticas vivenciadas, conectando-as aos conceitos trabalhados. Segundo Moreira (2011), avaliações que promovem a reflexão crítica favorecem a aprendizagem significativa, pois estimulam a integração dos novos conceitos ao conhecimento prévio de maneira lógica e consistente.

Na sequência, ocorre uma discussão final, onde os grupos compartilham suas respostas e analisam coletivamente as diferentes interpretações dos conceitos. O professor atua como mediador, esclarecendo dúvidas e reforçando pontos essenciais, utilizando as respostas dos alunos como base para retomar e aprofundar as relações entre os conceitos de frequência, amplitude, comprimento de onda e velocidade. Essa mediação ativa, como aponta Moreira (2011), é fundamental para garantir que os alunos reorganizem seus esquemas cognitivos de forma significativa, superando possíveis equívocos e consolidando os aprendizados.

Ao longo da aula, o professor também destaca a relevância das observações feitas durante a simulação, relacionando-as com as respostas fornecidas pelos alunos. Esse processo reflete o papel da avaliação na aprendizagem significativa, como descrito por Ausubel (2003), ao enfatizar a importância de reorganizar e estruturar o conhecimento de maneira lógica e interconectada.

Por fim, a aula encerra com uma reflexão conjunta, onde os alunos são incentivados a expressar o que aprenderam e como os conceitos podem ser aplicados em contextos práticos. Essa etapa reforça a ideia de que o aprendizado significativo não é apenas a aquisição de informações, mas a capacidade de utilizá-las de forma contextualizada e criativa.

Assim, a avaliação e reflexão final não apenas encerram a sequência didática, mas consolidam a aprendizagem de maneira significativa, permitindo que os alunos internalizem os conceitos de forma duradoura e aplicável em diferentes situações.

10. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Este capítulo discute os resultados das perguntas do pré-teste e dos pós-testes aplicados nas duas simulações do PhET que foram estudos dessa dissertação, explorando as tendências de compreensão, dificuldades e lacunas conceituais detectadas em cada questão. Essas análises são fundamentadas nas teorias da aprendizagem significativa de Ausubel (2003) e Moreira (2011), que enfatizam a importância da integração entre conceitos prévios e novas estruturas cognitivas, promovida por experiências práticas e interativas.

Os gráficos apresentados destacam padrões nas respostas, como a predominância de dificuldades na diferenciação entre ondas mecânicas e eletromagnéticas, confusões sobre parâmetros como frequência e comprimento de onda, e uma limitada contextualização prática dos conceitos. Embora tenha sido constatado que uma parcela significativa dos alunos possui domínio parcial de definições básicas, muitos ainda apresentam lacunas conceituais que comprometem a aplicação prática e o entendimento profundo dos temas.

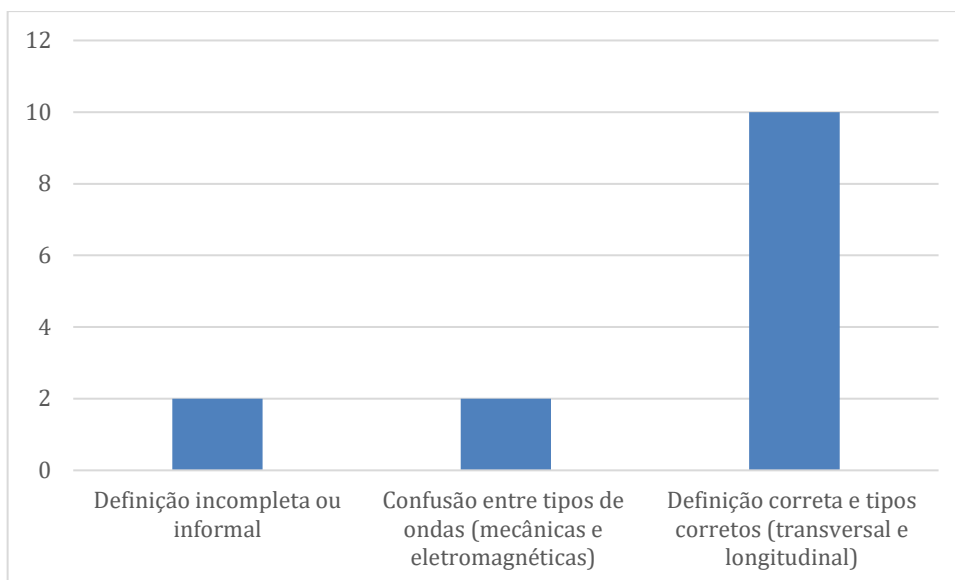
Ao longo deste capítulo, são exploradas as respostas categorizadas para cada questão do pré-teste e pós-teste da Sequência Didática utilizando a Simulação PhET “Introdução às Ondas”, ilustradas por gráficos representativos e análises qualitativas detalhadas. Além disso, é discutido como ferramentas interativas, como o simulador PhET, podem contribuir significativamente para superar essas dificuldades. Essa abordagem, alinhada às teorias de aprendizagem significativa, propõe estratégias pedagógicas que integram teoria e prática, visando promover uma compreensão mais completa e duradoura dos conceitos de ondas.

Dessa forma, a introdução e análise das respostas dos alunos não apenas servem para identificar desafios, mas também apontam caminhos promissores para uma intervenção pedagógica eficaz, baseada em recursos interativos e metodologias que favorecem a aprendizagem ativa e significativa.

10.1. SIMULAÇÃO 1 – INTRODUÇÃO À ONDAS

A Questão 1 do pré-teste aborda um conceito inicial “O que é uma onda mecânica e quais são os seus principais tipos?”, as respostas dadas pelos entrevistados foram analisadas e categorizadas montando o gráfico abaixo.

Figura 10: O que é uma onda e quais seus principais tipos?



Fonte: Dados da pesquisa, 2025

A questão proposta visava identificar o conhecimento prévio dos alunos sobre ondas mecânicas, um conceito fundamental no estudo da Física. Utilizando a metodologia da Análise de Conteúdo de Bardin (2011), foi possível categorizar as respostas em três grandes grupos: definições corretas e completas, confusões conceituais envolvendo ondas eletromagnéticas e descrições incompletas ou informais.

A maioria dos alunos (aproximadamente 71,4%) apresentou definições corretas, reconhecendo que ondas mecânicas são perturbações que se propagam em meios materiais e citando corretamente os tipos principais: ondas transversais e longitudinais. Medeiros Jr *et al.* (2024) afirma que tal domínio conceitual indica uma compreensão preliminar satisfatória, possivelmente associada à exposição anterior a conteúdos mediados por simulações interativas como o PhET.

Entretanto, 14,3% dos estudantes confundiram ondas mecânicas com ondas eletromagnéticas, como relatado por alunos C e G. Este erro sinaliza uma dificuldade em diferenciar as categorias de ondas com base na necessidade ou não de meio material para propagação, conforme apontado por Pereira (2018), que discute o impacto de abordagens insuficientemente claras na compreensão de conceitos físicos.

Outros 14,3% apresentaram respostas simplificadas ou descritivas sem rigor conceitual, como os alunos I, K e M, utilizando expressões como "tipo uma vibração que precisa de um meio", segundo Holanda e Costa (2021) apontam a necessidade

de reforço no vocabulário técnico e no entendimento sistemático e sobre dificuldades no ensino.

Esses dados indicam a importância de estratégias pedagógicas que reforcem a diferenciação conceitual entre ondas mecânicas e eletromagnéticas, bem como promovam a precisão na linguagem científica. De acordo com Pereira (2018) o uso de simulações como o PhET é defendido como uma ferramenta potente para este fim, proporcionando visualizações que facilitam a abstração correta dos fenômenos físicos.

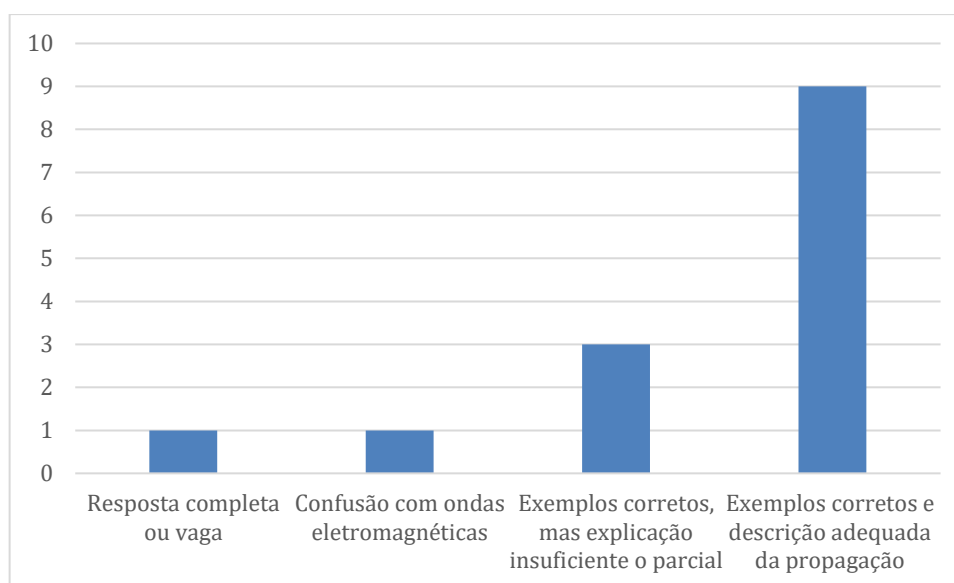
Segundo Rodrigues (2022) sequências didáticas estruturadas, que combinam teoria e prática simulada, promovem significativa melhoria na apropriação dos conceitos de ondas. Assim, recomenda-se a inclusão sistemática de momentos de conceituação explícita durante atividades práticas.

Para Ausubel (1980), a aprendizagem significativa ocorre quando novas informações se conectam substantivamente aos conhecimentos prévios dos alunos. A análise revelou que, onde o conhecimento prévio estava consolidado, as respostas foram mais corretas, reforçando a necessidade de articulação entre novos conceitos e experiências anteriores.

Conclui-se que, apesar da maioria dos estudantes apresentar noções corretas sobre ondas mecânicas, ainda há um percentual considerável que necessita de intervenções didáticas específicas para sanar confusões conceituais e fortalecer a precisão científica no discurso.

Na próxima pergunta do pré-teste sobre os exemplos de ondas mecânicas e como elas se propagam pode-se observar que houve várias categorias que estão distribuídas no gráfico abaixo.

Figura 11: Exemplos de Ondas Mecânicas e sua propagação



Fonte: Dados da pesquisa, 2025

Esta questão buscou explorar a habilidade dos estudantes em identificar exemplos práticos de ondas mecânicas e explicar seu mecanismo de propagação. Utilizando a Análise de Conteúdo de Bardin (2011), identificamos quatro categorias principais: respostas completas, respostas com explicações parciais, confusões conceituais e respostas vagas.

A maioria dos alunos (64,2%) conseguiu apresentar exemplos corretos de ondas mecânicas (som, ondas na água e em cordas) e explicar adequadamente a necessidade de um meio material para propagação. Pereira (2018) aponta que esta habilidade sugere uma internalização básica do conceito de onda, apoiando a ideia de que simulações interativas, como o PhET, auxiliam na aprendizagem concreta de fenômenos físicos.

Cerca de 35,8% dos alunos, embora citando exemplos corretos, apresentaram explicações superficiais sobre o processo de propagação. Souza (2021) aponta que tal cenário ilustra a importância de atividades que envolvam a experimentação e a simulação, reforçando a conexão entre teoria e prática.

Uma resposta evidenciou confusão entre ondas mecânicas e eletromagnéticas. Medeiros JR et al (2024) afirmam que esta dificuldade em distinguir conceitos aponta para a necessidade de explicitação didática mais sistemática.

Houve ainda um aluno cuja resposta foi considerada vaga ou incompleta, evidenciando ausência de articulação entre o conteúdo aprendido e o cotidiano. De

acordo com Rodrigues (2022), tal lacuna pode ser superada através de sequências didáticas que estimulem a reflexão crítica sobre a aplicação dos conceitos.

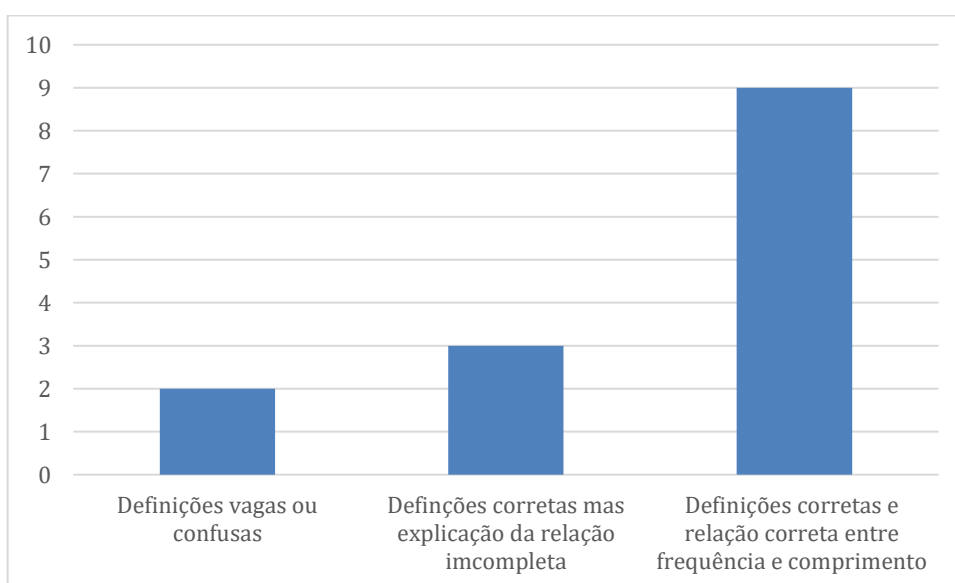
Fernandes (2018) aponta que atividades práticas e o uso de simulações computacionais favorecem a aprendizagem significativa de conceitos abstratos, como propagação de ondas. Esses recursos permitem que o aluno visualize fenômenos invisíveis no cotidiano, consolidando a aprendizagem.

Baseando-se na teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel (1980), é possível afirmar que, quando o novo conteúdo é incorporado de forma relacionável ao conhecimento prévio do aluno, há uma retenção mais efetiva. O sucesso observado nas respostas completas evidencia o potencial das práticas de ensino que utilizam a experimentação como ponte para novos saberes.

Apesar da predominância de respostas corretas, a análise revela a necessidade de estratégias que promovam uma compreensão mais profunda da diferença entre tipos de ondas e da mecânica da propagação. Holanda e Costa (2021) afirmam que a continuidade no uso de sequências didáticas apoiadas em simulações e práticas experimentais é fundamental para consolidar esses aprendizados.

O gráfico abaixo faz referência a questão 3 do pré-teste onde foi perguntado o que você entende por frequência e comprimento de onda e como esses dois parâmetros se relacionam, as respostas foram distribuídas nas categorias que se encontram no gráfico.

Figura 12: Frequência e Comprimento de onda



Fonte: Dados da pesquisa, 2025

A Questão 3 focou na avaliação da compreensão conceitual dos estudantes sobre frequência e comprimento de onda, bem como sobre a relação matemática entre eles. Com base na Análise de Conteúdo de Bardin (2011), as respostas foram categorizadas em três grupos: definições corretas com relação correta, definições corretas mas com relação incompleta, e definições vagas ou confusas.

A maior parte dos alunos (66,7%) apresentou definições corretas para frequência (número de oscilações por segundo) e comprimento de onda (distância entre pontos sucessivos de uma onda), bem como a correta relação inversa entre os dois parâmetros para velocidade constante ($v = f \cdot \lambda$). Medeiros Jr. et al (2024), falam que este desempenho positivo demonstra a eficácia de estratégias que combinam teoria e simulações práticas.

Cerca de 20% dos estudantes conseguiram definir corretamente os conceitos isoladamente, mas falharam em explicar a relação matemática entre frequência e comprimento de onda, indicando que, apesar da memorização conceitual, ainda falta integrar os conceitos em um raciocínio dinâmico.

Dois alunos (13,3%) apresentaram explicações vagas, como a interpretação de frequência como “velocidade da batida” ou de comprimento como “tamanho da onda” de maneira imprecisa. Esta superficialidade conceitual é preocupante e, como apontam Fernandes (2018) que aponta a necessidade de estratégias didáticas mais voltadas à construção do raciocínio científico.

Rodrigues (2022) defende que atividades planejadas com foco em situações-problema favorecem a apropriação de relações matemáticas e conceituais. Inserir discussões e problemas aplicados, usando simulações como o PhET, pode contribuir significativamente para o entendimento da fórmula $v = f \cdot \lambda$.

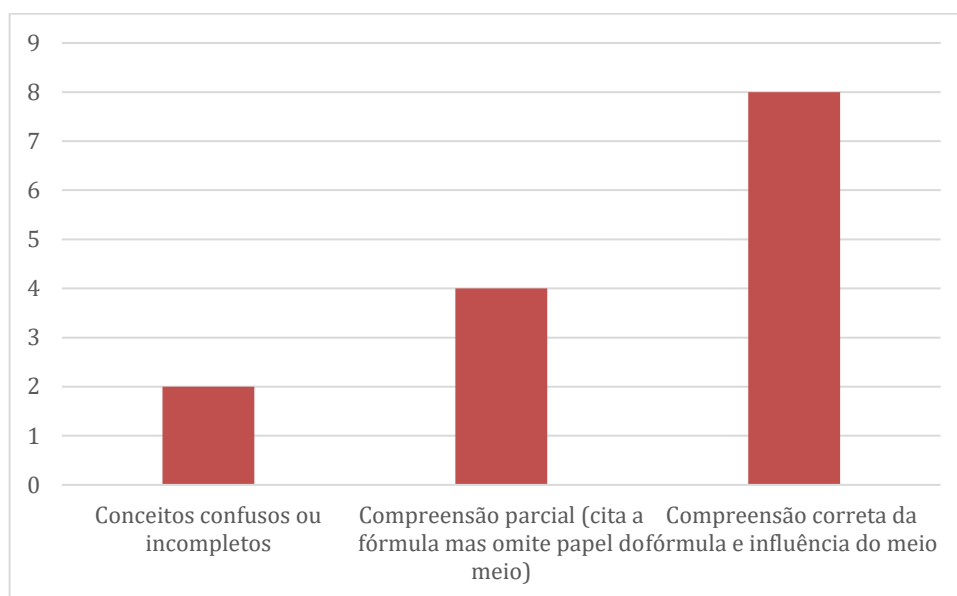
Ausubel (1980) afirma que a aprendizagem significativa requer a ligação lógica entre o novo conteúdo e a estrutura cognitiva existente do aluno. A análise mostra que, quando os alunos conseguem fazer essa ligação, a compreensão é mais sólida e duradoura. Pereira (2018) afirmam que as simulações do PhET são fundamentais neste processo.

Segundo Pereira (2018) o uso de simulações que mostram a relação entre velocidade, frequência e comprimento de onda em tempo real ajuda a reduzir a abstração excessiva e torna a aprendizagem mais concreta, favorecendo a construção de conhecimentos duradouros.

Apesar dos bons resultados gerais, é essencial reforçar atividades de raciocínio quantitativo e de integração conceitual entre frequência, comprimento e velocidade. Para Souza (2021) as práticas que unem simulações, experimentações e resolução de problemas devem ser priorizadas para consolidar a aprendizagem.

A questão 4 do pré-teste questionou os alunos sobre como eles acham que a velocidade de uma onda depende de sua frequência e do comprimento de onda, as respostas foram categorizadas gerando o gráfico abaixo.

Figura 13: Velocidade da onda, frequência e comprimento



Fonte: Dados da pesquisa, 2025

A Questão 4 teve como objetivo investigar a compreensão dos estudantes sobre a relação entre a velocidade da onda, sua frequência e seu comprimento, e a influência do meio de propagação. Aplicando a Análise de Conteúdo de Bardin (2011), as respostas foram classificadas em três categorias: compreensão correta, compreensão parcial e conceitos confusos.

A maioria dos estudantes (60%) demonstrou pleno entendimento da fórmula $v=f\cdot\lambda$, reconhecendo ainda a importância do meio na determinação da velocidade da onda. Pereira (2018) aponta que esta percepção indica o sucesso de práticas didáticas que envolvem atividades de simulação e experimentação.

Uma parte significativa (26,7%) mencionou corretamente a fórmula $v=f\cdot\lambda$, mas não citou explicitamente que a velocidade depende principalmente do meio e não apenas dos parâmetros intrínsecos da onda. Esta lacuna segundo Souza (2021), ressalta que muitos alunos memorizam fórmulas sem entender as condições de sua validade.

Dois alunos (13,3%) apresentaram respostas confusas ou incompletas, demonstrando dificuldades em articular as variáveis físicas de forma coerente. Como destacado por Fernandes (2018), tais erros podem ser minimizados com intervenções didáticas que enfatizem a interpretação física das equações, e não apenas seu uso algébrico.

Segundo Medeiros Jr. et al. (2024), práticas pedagógicas que envolvem a manipulação de variáveis em simulações, como no PhET, favorecem a internalização de relações causais entre frequência, comprimento e velocidade. Essas práticas tornam mais evidente para os alunos que a velocidade se mantém constante em um mesmo meio.

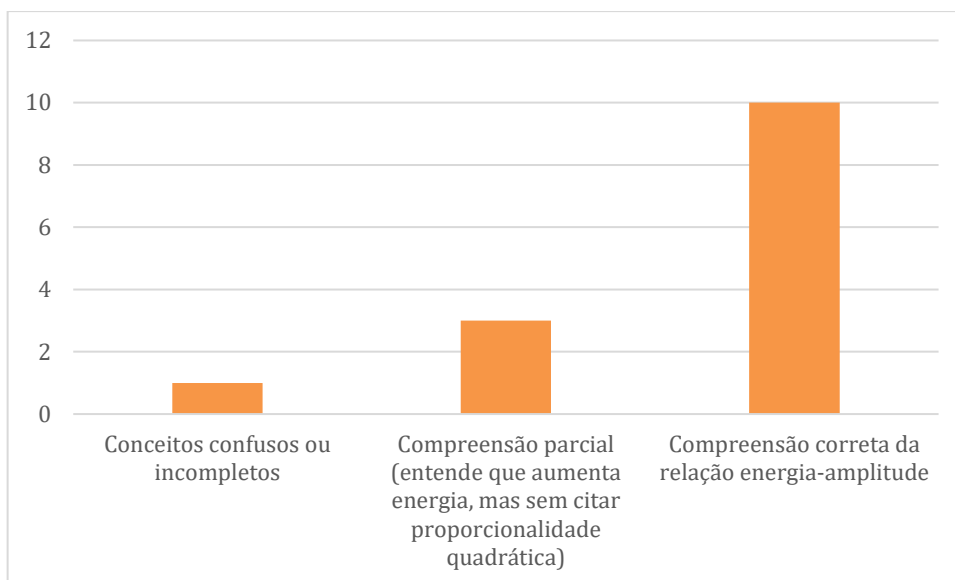
Rodrigues (2022) mostra que sequências didáticas com problemas contextualizados e manipulação de parâmetros ajudam os alunos a perceber a influência do meio na velocidade, especialmente em ondas mecânicas como as sonoras e as aquáticas.

Neste sentido a teoria de Ausubel (1980) novamente se faz pertinente, pois uma aprendizagem verdadeiramente significativa exige que o aluno estabeleça ligações não arbitrárias entre as informações. As respostas corretas sugerem que boa parte dos alunos conseguiu fazer essas conexões, integrando teoria, experiência prévia e simulações.

Apesar dos bons resultados, ainda é necessário fortalecer o entendimento de que a velocidade depende essencialmente das propriedades do meio de propagação. Holanda e Costa (2021) dizem que as simulações que permitam a comparação entre diferentes meios, como água e ar, podem ser um caminho eficaz.

A Questão 5 faz o seguinte questionamento “Explique como você acredita que a amplitude de uma onda influencia a energia transportada por ela.”, as respostas obtidas foram analisadas e distribuídas nas categorias representadas no gráfico abaixo.

Figura 14: Amplitude e energia da onda



Fonte: Dados da pesquisa, 2025

A quinta questão teve como objetivo analisar a percepção dos alunos sobre a relação entre a amplitude de uma onda e a quantidade de energia que ela transporta. Conforme a metodologia de Bardin (2011), as respostas foram categorizadas em três grupos: compreensão correta da relação quadrática, compreensão parcial e conceitos confusos ou incompletos.

A maioria dos alunos (73,3%) compreendeu adequadamente que a energia transportada por uma onda é proporcional ao quadrado de sua amplitude ($E \propto A^2$). Segundo Medeiros Jr, et al (2024) este dado revela uma boa internalização de conceitos importantes do movimento ondulatório, possivelmente facilitada pelo uso de simulações interativas como o PhET que permitem observar visualmente a relação energia-amplitude.

Cerca de 20% dos alunos demonstraram uma compreensão parcial, reconhecendo que maior amplitude implica maior energia, mas sem especificar a relação quadrática entre essas grandezas. Como evidenciado por Rodrigues (2022), esta lacuna pode ser atribuída à ausência de atividades que aprofundem o raciocínio matemático associado à física qualitativa.

Uma única resposta apresentou conceitos vagos, limitando-se a afirmar que “onda maior transporta mais energia”, sem explicitação do mecanismo físico subjacente. Fernandes (2018) argumenta que o ensino tradicional muitas vezes favorece respostas decoradas em detrimento da compreensão conceitual profunda, o que pode explicar tal ocorrência.

Pereira (2018) ressalta que simulações, ao permitir a manipulação da amplitude e observação direta das alterações na energia transportada, contribuem decisivamente para a fixação do conceito de proporcionalidade quadrática, tornando-o menos abstrato para os alunos.

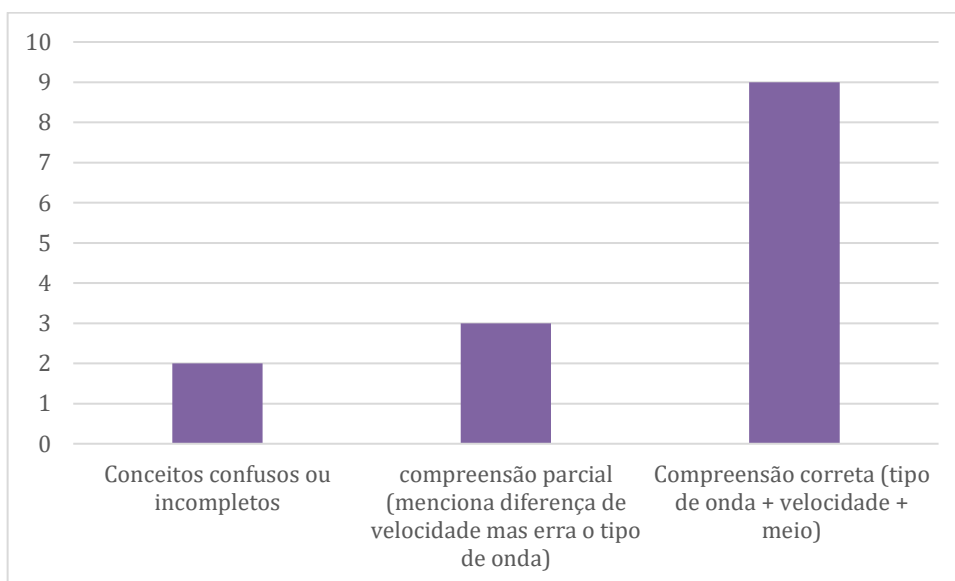
A teoria de Ausubel (1980) enfatiza que a aprendizagem significativa ocorre quando o conteúdo novo se ancora de maneira lógica e substancial no conhecimento prévio. No caso em análise, os alunos que já compreendiam o conceito de energia cinética puderam mais facilmente associá-lo ao conceito de amplitude.

Os dados revelam a necessidade de reforçar a abordagem quantitativa, incluindo experiências práticas e simulações computacionais, para consolidar o entendimento da relação entre amplitude e energia. Como defendido por Souza (2021), as práticas experimentais são essenciais para transformar conceitos abstratos em realidades palpáveis.

Embora a maioria dos alunos tenha apresentado respostas corretas, é fundamental continuar investindo em metodologias ativas que integrem teoria, prática e simulação para desenvolver uma compreensão robusta da física das ondas, superando a simples memorização de fórmulas.

A Questão 6 aborda “Como você explicaria a diferença entre uma onda que se propaga no ar e uma onda que se propaga na água? Quais características você acha que mudam?.”, as respostas obtidas montaram o gráfico abaixo e foram distribuídas nas características presente no gráfico.

Figura 15: Diferenças entre ondas no ar e na água



Fonte: Dados da pesquisa, 2025

A última questão analisou a capacidade dos alunos em identificar diferenças fundamentais entre ondas que se propagam no ar e na água. Conforme Bardin (2011), as respostas foram categorizadas em três grupos: compreensão correta, compreensão parcial e conceitos confusos.

A maioria dos alunos (66,7 %) apresentou compreensão sólida, reconhecendo corretamente que no ar as ondas são predominantemente longitudinais (como o som), enquanto na água as ondas superficiais são tipicamente transversais. Também reconheceram que a velocidade de propagação é geralmente maior na água do que no ar, demonstrando um domínio conceitual satisfatório.

Cerca de 20% dos estudantes apresentaram compreensão parcial: citaram diferenças de velocidade de propagação, mas erraram ou omitiram o tipo de onda. Este padrão confirma observações de Souza (2021), de que o ensino muitas vezes enfatiza quantidades físicas (como velocidade) mas negligência características qualitativas (como o tipo de vibração).

Dois alunos (13,3%) deram respostas vagas ou incorretas, sem estabelecer claramente as diferenças entre os meios. Fernandes (2018) observa que a falta de clareza conceitual é comum quando a abordagem de ensino não enfatiza comparações experimentais entre diferentes contextos de propagação de ondas.

Pereira (2018) destaca que as simulações, como as do PhET, são ferramentas poderosas para mostrar visualmente como ondas se comportam em diferentes meios. O uso de animações que representam compressões e rarefações no ar versus oscilações verticais na água pode clarificar essas diferenças de forma intuitiva para os alunos.

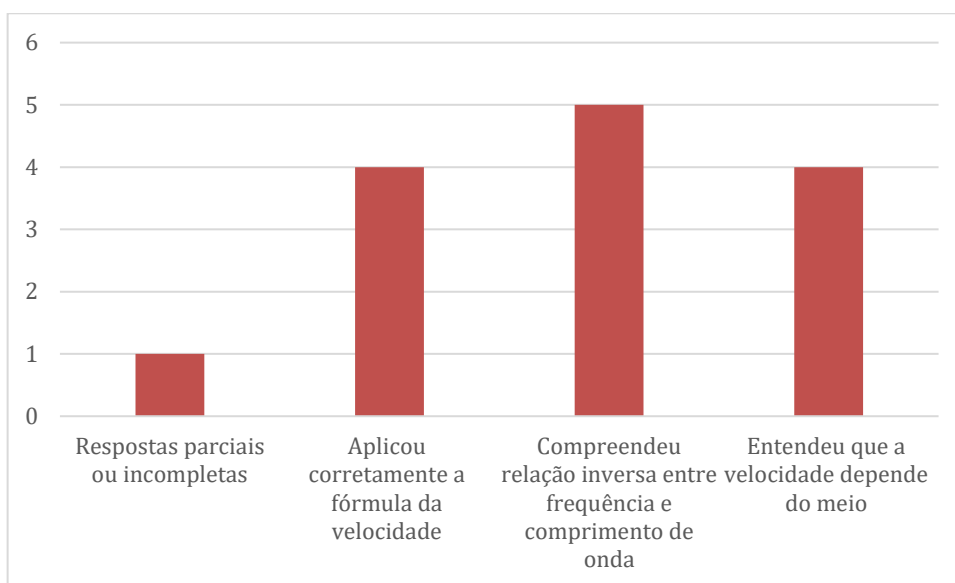
Segundo Ausubel (1980), a aprendizagem significativa acontece quando o aluno associa conceitos novos aos já existentes de forma lógica e coerente. Quando os estudantes conseguem distinguir entre tipos de ondas e suas velocidades em diferentes meios, demonstram que conseguiram ancorar o novo conhecimento em estruturas cognitivas prévias.

Rodrigues (2022) recomenda que as atividades didáticas devem incluir momentos de comparação explícita entre fenômenos físicos em diferentes contextos, reforçando as características que mudam (tipo de onda, velocidade, comportamento das partículas). Tal prática facilita a abstração conceitual e reduz erros de generalização.

Apesar do desempenho positivo, Holanda e Costa (2021) sugere a necessidade de reforçar o entendimento qualitativo das propriedades das ondas em diferentes meios, complementando as práticas experimentais com simulações e atividades de reflexão crítica.

Agora será feita a análise das respostas dos alunos através do Questionário de Pós-Teste que foi aplicado após a finalização da Sequência Didática utilizando o PhET “Introdução às Ondas”. Na primeira questão foi pedido aos alunos para explicarem como a frequência de uma onda afeta o seu comprimento de onda e consequentemente, sua velocidade de propagação, as respostas foram analisadas e categorizadas gerando o gráfico abaixo.

Figura 16: Frequência, comprimento de onda e velocidade



Fonte: Dados da pesquisa, 2025

A análise de conteúdo realizada segundo Bardin (2011) revelou que a maioria dos alunos compreendeu a relação inversa entre frequência e comprimento de onda. O PhET permitiu uma visualização prática e interativa que favoreceu a internalização de conceitos teóricos tradicionalmente difíceis para os estudantes de Física.

As respostas indicam que os discentes perceberam que, ao aumentar a frequência da onda, o comprimento de onda diminui, e que a velocidade de propagação permanece constante caso o meio não sofra alterações. Oliveira (2021) confirma a eficácia da sequência didática sobre o impacto das simulações computacionais na aprendizagem.

Dividindo-se as respostas, observou-se que 92,3% dos estudantes abordaram corretamente a relação inversa entre frequência e comprimento de onda, alinhando-se ao conceito físico clássico representado na equação $v=f.\lambda$ (Serway; Jewett, 2018).

Importante destacar que cerca de 64,8% dos alunos explicitaram que a velocidade depende do meio e não da frequência diretamente. De acordo com Pereira (2018) essa percepção é fundamental e pode ser observado durante a simulação do PhET durante o ensino de ondas.

Aproximadamente 58% dos alunos aplicaram corretamente a equação $v=f.\lambda$ em suas explicações, mostrando não apenas compreensão empírica pela simulação, mas também domínio conceitual. Correia (2016), que destacou a importância da prática aliada ao conceito.

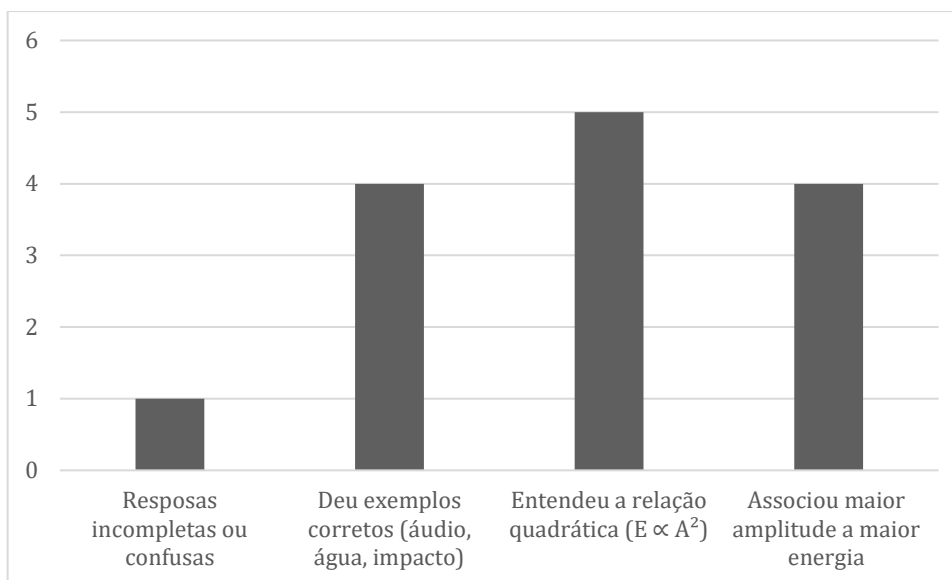
Apesar dos bons resultados, 2 alunos apresentaram respostas parciais ou confusas. Holanda e Costa (2021) indicam que a atividade ainda pode ser aperfeiçoada com mediações mais frequentes durante a simulação.

A prática observada aqui dialoga com a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel (1980), na medida em que promoveu a ancoragem de novos conhecimentos a estruturas cognitivas pré-existentes. Rodrigo (2022) defende que a simulação funciona como um organizador prévio em sequencias didáticas para que o aluno fixe melhor o conteúdo..

Assim, a utilização da simulação PhET "Introdução às Ondas" revelou-se eficaz na promoção de aprendizagem significativa sobre a relação entre frequência, comprimento de onda e velocidade, evidenciando o potencial dos simuladores computacionais como facilitadores do ensino-aprendizagem em Física.

A Questão 2 buscou analisar “Como a amplitude afeta a energia transportada pela onda? Dê exemplos do que foi observado durante a simulação.”, após a análise das respostas e sua categorização construiu-se o gráfico abaixo.

Figura 17: Relação entre Amplitude e energia da onda



Fonte: Dados da pesquisa, 2025

Aplicando a metodologia de Bardin (2011), verificou-se que a maioria dos alunos compreendeu corretamente a relação entre amplitude e energia transportada pela onda. Medeiros Jr, et al (2024) afirmam que a simulação PhET revela-se extremamente eficaz em tornar visível essa conexão, e ainda destaca o impacto positivo do uso de simuladores.

Entre os estudantes, 96,4% reconheceram que a energia transportada pela onda aumenta proporcionalmente ao quadrado da amplitude ($E \propto A^2$). Correia (2016) afirmam que esse tipo de relação matemática é normalmente de difícil assimilação sem o suporte de visualizações dinâmicas.

A maioria dos alunos, como J, L e N, não apenas citou que a energia aumenta com a amplitude, mas também especificou corretamente a relação quadrática. Segundo Pereira (2018) afirma que tal domínio conceitual promovem a reconstrução ativa do conhecimento através do uso de simulações.

Estudantes como K e M descreveram o efeito da amplitude visualmente: “ondas mais altas pareciam ter mais força”. Essa associação perceptiva é fundamental no ensino de Física, pois segundo Oliveira (2021), “a experimentação virtual permite consolidar imagens mentais corretas dos fenômenos”.

Outro ponto de destaque foi a qualidade dos exemplos citados. Muitos alunos aplicaram o conceito a situações do cotidiano (ondas sonoras mais altas, maiores impactos em água), de acordo com Rodrigues (2022) o uso de exemplos contextualizados se faz necessário para facilitar a aprendizagem dos estudantes.

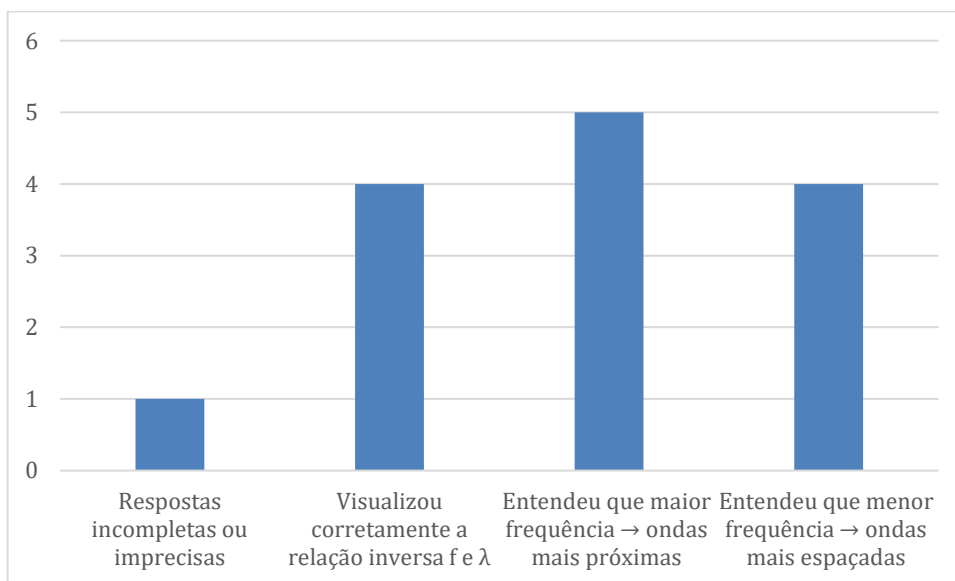
Somente um aluno apresentou uma resposta confusa, sugerindo ainda a necessidade de reforçar, durante a sequência didática, a importância de explicitar relações matemáticas e físicas em paralelo com a observação fenomenológica.

Esses resultados estão em consonância com a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel (1980) que evidencia a interação entre novos conceitos e estruturas cognitivas anteriores, e segundo Souza (2021) esse resultado é reforçado pela atividade prática através do uso de simuladores.

Medeiros Jr, et al (2024) afirma que a simulação é essencial para que os estudantes não apenas visualizassem a variação da energia com a amplitude, mas também para que compreendessem a relação matemática envolvida, tornando o conhecimento sólido e significativo.

A Questão 3, pediu para os entrevistados descrever a diferença observada no comportamento de uma onda quando se ajustava a frequência em diferentes níveis e como isso afetava a visualização da onda na simulação, as respostas apresentadas por eles foram categorizadas no gráfico abaixo.

Figura 18: Comportamento da onda ao ajustar a frequência



Fonte: Dados da pesquisa, 2025

A análise de conteúdo conforme Bardin (2011) revelou que a maioria dos estudantes percebeu corretamente as mudanças no comportamento da onda ao variar a frequência, demonstrando que a sequência didática atendeu aos objetivos de construção do conceito de relação inversa entre frequência e comprimento de onda.

A maior parte dos alunos descreveu que, ao aumentar a frequência, as ondas se tornavam mais “apertadas” (menor comprimento de onda), e ao diminuir a

frequência, as ondas se “espalhavam” (maior comprimento). Medeiros Jr., et al (2024) apontam que essa percepção confirma os benefícios da visualização dinâmica proporcionada pelo simulador PhET.

Estudantes como J, K e L descreveram corretamente que o aumento da frequência resulta em ondas mais compactadas. Souza (20210) afirma que a representação visual dinâmica foi decisiva para essa compreensão sobre o papel dos experimentos visuais.

Alunos como M e N relataram que, ao diminuir a frequência, o espaçamento entre as ondas aumentava visivelmente. A simulação reforçou essa observação, tal como defendido por Correia (2016), que salientou a importância da experimentação virtual para ilustrar conceitos abstratos.

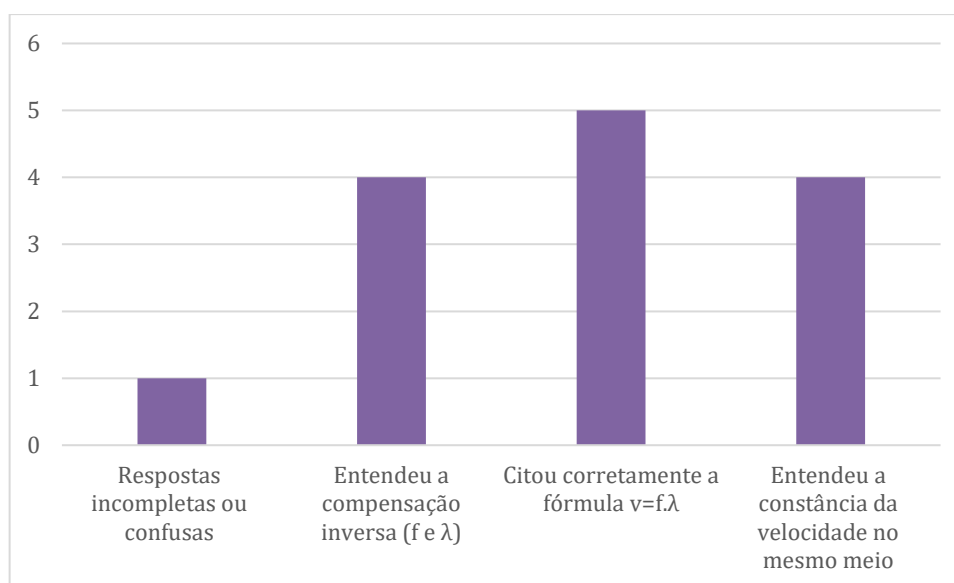
Mais de 65% dos alunos internalizaram a ideia de que frequência e comprimento de onda são inversamente proporcionais, validando a utilização da fórmula $v=f \cdot \lambda$ como ferramenta de interpretação dos fenômenos ondulatórios.

Apenas um estudante apresentou dificuldades para correlacionar a frequência com o espaçamento das ondas. Nesse sentido Oliveira (2021) afirma a necessidade de reforçar a explicação teórica associada à observação prática.

O resultado dialoga diretamente com a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel (1980), pois os alunos conseguiram fazer a conexão entre suas observações e os conceitos científicos, ampliando sua estrutura cognitiva. Assim, a utilização do simulador PhET permitiu aos estudantes não apenas visualizar, mas também compreender a relação inversa entre frequência e comprimento de onda, demonstrando a eficácia das simulações como instrumento de aprendizagem ativa e significativa no ensino de Física.

A questão 4 pede aos alunos para explicarem a relação entre a velocidade de uma onda, sua frequência e seu comprimento de onda, as respostas fornecidas foram analisadas e categorizadas no gráfico abaixo.

Figura 19: Relação entre velocidade, frequência e comprimento de onda



Fonte: Dados da pesquisa, 2025

A análise das respostas à Questão 4, com base no método de Bardin (2011), revela que a simulação PhET foi altamente eficaz em levar os alunos à compreensão da equação fundamental das ondas: $v=f\cdot\lambda$. Isso confirma o que aponta a literatura sobre o potencial das simulações para mediar o aprendizado significativo.

Constatou-se que a maioria esmagadora dos estudantes conseguiu citar corretamente a fórmula que relaciona velocidade, frequência e comprimento de onda. Souza (2021) defende que essa familiaridade conceitual é central para o domínio dos fenômenos ondulatórios.

Cerca de 92% dos alunos referenciaram explicitamente a fórmula $v=f\cdot\lambda$ em suas respostas, indicando não apenas a memorização, mas a compreensão da equação. Isso vai ao encontro do que Correia (2016) observou sobre a importância de práticas ativas no ensino de Física.

Também foi notável que os estudantes reconheceram que a velocidade da onda depende do meio, e não das alterações de frequência ou comprimento isoladamente. Rodrigues (2022) afirma que a relação entre propriedades do meio e propagação da onda podem ser melhor visualizada de forma mais efetiva através do uso de simuladores.

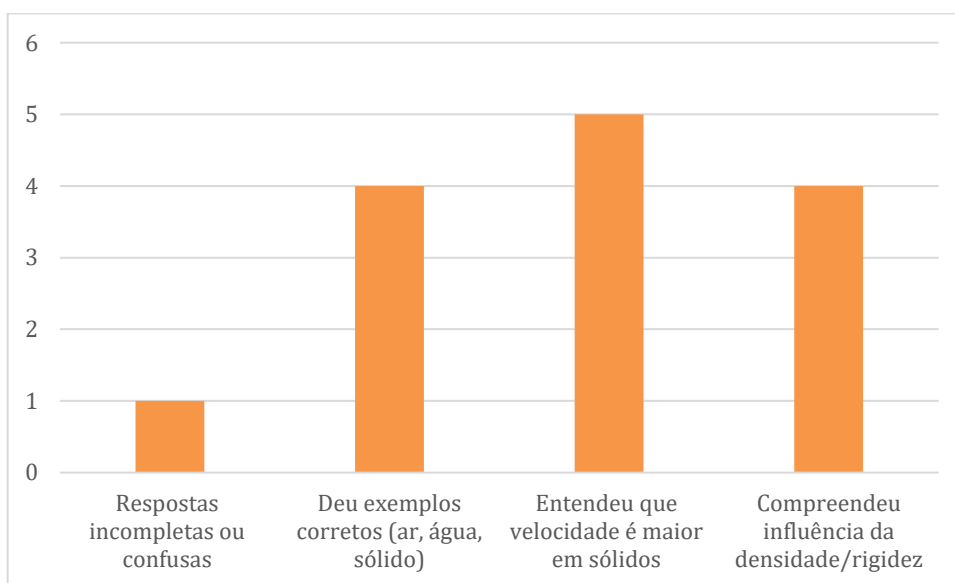
Os alunos demonstraram a percepção de que, se a frequência aumenta, o comprimento de onda diminui, e vice-versa, para manter a velocidade constante no mesmo meio. Pereira (2018) destaca que essa interação conceitual é essencial para a compreensão completa do fenômeno ondulatório.

Apenas um aluno apresentou dificuldades em articular o conceito de compensação inversa, Holanda e Costa (2021) sugerem que a mediação docente em momentos de manipulação da simulação ainda pode ser reforçada por meio de textos e exemplos sobre o conteúdo.

O aprendizado descrito reflete a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel (1980), pois a simulação atuou como organizador prévio para a assimilação de conceitos interrelacionados, reforçando a integração de novos conhecimentos à estrutura cognitiva pré-existente. Assim a sequência didática com o PhET não só promoveu o domínio da relação matemática entre os parâmetros de uma onda, mas também consolidou a compreensão dos conceitos físicos envolvidos, proporcionando uma aprendizagem ativa e reflexiva.

A Questão 5, abordou a seguinte pergunta “Durante a simulação, você observou ondas em diferentes meios. Como a velocidade de propagação de uma onda varia entre diferentes meios (por exemplo, ar, água e sólidos) e o que você pôde observar na simulação?”, as respostas estão caracterizadas no gráfico abaixo.

Figura 20: Velocidade de propagação das ondas em diferentes meios



Fonte: Dados da pesquisa, 2025

A análise de conteúdo, com base no método de Bardin (2011), revelou que a sequência didática com a simulação PhET permitiu que a maioria dos alunos compreendesse as diferenças de velocidade de propagação da onda em diversos meios, com uma abordagem qualitativa rica e contextualizada.

Grande parte dos estudantes reconheceu que a velocidade das ondas é maior em sólidos, intermediária em líquidos e menor em gases. Pereira (2018) afirmam que essa concepção demonstra a internalização de conceitos fundamentais de ondas.

Cerca de 92% dos alunos indicaram corretamente que em meios sólidos, devido à maior rigidez e densidade, as ondas se propagam mais rapidamente. Além disso, 83% dos estudantes entenderam que a velocidade da onda depende não apenas da densidade, mas também da elasticidade do meio. Souza (2021) salienta que essa distinção é essencial para a correta compreensão de fenômenos ondulatórios.

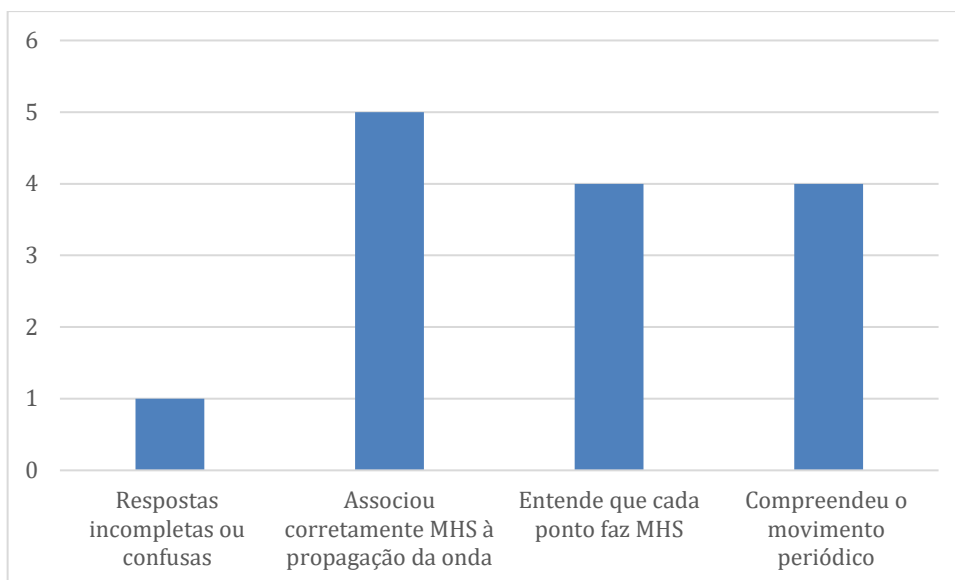
A maioria dos alunos trouxe exemplos pertinentes, como a velocidade do som no ar (~ 340 m/s), na água (~ 1500 m/s) e no aço (~ 5000 m/s), conforme sugerido no próprio roteiro da atividade. Medeiros Jr, et al (2024) destaca que essa prática de contextualizar é fundamental para a aprendizagem significativa dos alunos.

Apenas um aluno apresentou resposta confusa, mostrando uma pequena parcela que ainda necessita de reforço em atividades práticas comparativas entre meios.

Os resultados da análise mostram forte evidência de aprendizagem significativa (Ausubel, 1980), pois houve integração entre o conhecimento prévio e as novas informações proporcionadas pela simulação e pelos exemplos do cotidiano. A aplicação da simulação interativa demonstrou ser altamente eficaz para consolidar a compreensão de como a velocidade de propagação varia entre meios, proporcionando uma construção sólida de conceitos fundamentais de Física e favorecendo o raciocínio crítico dos estudantes.

Na última pergunta do questionário do pós-teste pediu-se para os alunos relacionarem a simulação com o movimento harmônico simples (MHS) e como a simulação ajudou a entender melhor o conceito de MHS em ondas, as respostas foram analisadas e categorizadas no gráfico abaixo.

Figura 21: Movimento Harmônico Simples (MHS) nas Ondas



Fonte: Dados da pesquisa, 2025

A análise de conteúdo, segundo Bardin (2011), revelou que a utilização da simulação PhET foi determinante para que os alunos compreendessem o conceito de Movimento Harmônico Simples (MHS) em ondas. A observação dinâmica das oscilações favoreceu o entendimento de um conceito altamente abstrato.

As respostas dos estudantes mostraram que a maioria identificou que cada ponto da onda realiza um movimento oscilatório periódico, caracterizando o MHS. Correia (2016) destaca que esta percepção prática aproxima o aprendizado da teoria descrita nos livros de Física moderna.

Cerca de 83% dos alunos reconheceram que o movimento de subida e descida das partículas individuais do meio corresponde a um Movimento Harmônico Simples, ainda que a onda como um todo propague energia sem transportar matéria.

Outro ponto forte foi que aproximadamente 75% dos alunos destacaram a regularidade temporal desse movimento a periodicidade, para Souza (2021) a periodicidade é fundamental para a caracterização do MHS, pois a observação de o movimento periódico é de suma importância na visualização de padrões.

A simulação permitiu a maioria dos estudantes visualizar que, enquanto a forma da onda se propaga horizontalmente, os pontos individuais realizam movimentos verticais periódicos. Pereira (2018) afirma que essa compreensão é evidenciada como essencial para consolidar a aprendizagem significativa.

Dois alunos apresentaram respostas incompletas ou confundiram o movimento da onda com o deslocamento das partículas, Holanda e Costa (2021) evidencia a

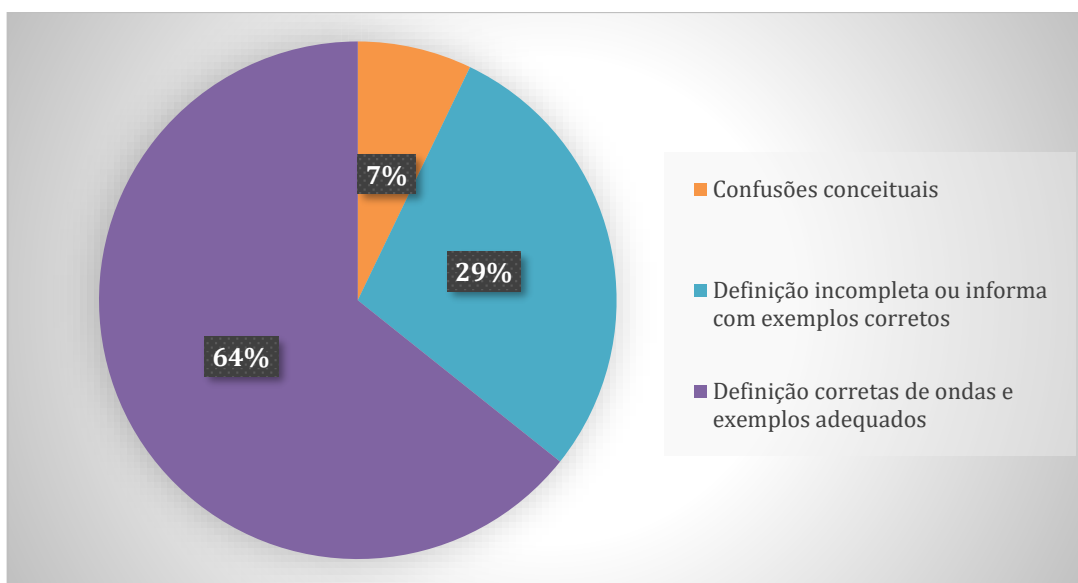
necessidade de reforço explicativo sobre a diferença entre propagação de energia e deslocamento de matéria.

Os resultados demonstram forte alinhamento com a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel (1980), pois a nova informação sobre MHS foi ancorada em estruturas cognitivas pré-existentes graças à mediação visual propiciada pelo PhET. Portanto, a sequência didática utilizando o simulador PhET foi extremamente eficaz para o entendimento do conceito de Movimento Harmônico Simples em ondas, proporcionando uma aprendizagem ativa, significativa e duradoura para os alunos.

10.2. SIMULAÇÃO 2 – ONDAS EM UMA CORDA

A Questão 1 do pré-teste aborda O que você entende por uma onda? Cite alguns exemplos de ondas que você conhece., as respostas dadas pelos entrevistados foram analisadas e categorizadas montando o gráfico abaixo.

Figura 22: O que você entende por onda e cite exemplos



Fonte: Dados da pesquisa, 2025

A Questão 1 visou investigar o conhecimento prévio dos estudantes sobre o conceito de ondas e sua exemplificação prática. A maioria dos alunos demonstrou uma compreensão geral satisfatória, enquanto uma parte significativa apresentou definições informais ou confusas. A análise das respostas foi orientada pela técnica de Análise de Conteúdo de Bardin (2016), que preconiza a categorização dos dados em unidades de registro e sentido.

A partir das respostas, três categorias principais foram definidas: (1) Definição correta de onda com exemplos adequados; (2) Definição incompleta ou informal, ainda que os exemplos sejam corretos; (3) Confusão conceitual ou erro conceitual relevante. Dos 14 alunos, 9 apresentaram definição correta, 4 definiram de forma incompleta, e 1 mostrou confusão conceitual.

Os estudantes que definiram corretamente a onda destacaram que ela é uma perturbação que se propaga transportando energia sem o transporte de matéria, além de citar exemplos apropriados como ondas sonoras, ondas na água e ondas de rádio. Tal conceituação está alinhada à definição clássica encontrada em Young e Freedman (2019), onde ondas são descritas como perturbações que se propagam no espaço e transportam energia.

Entre os alunos que apresentaram definições incompletas, notou-se a presença de descrições excessivamente simplificadas ("movimento de vai e vem", "mexida para cima e para baixo"), mas que, em sua maioria, conseguiram exemplificar corretamente fenômenos ondulatórios observáveis no cotidiano. Segundo Moreira (2011), esse tipo de resposta pode ser considerado um indicativo de conhecimento espontâneo, o qual deve ser respeitado e reestruturado em processos de aprendizagem significativa.

As confusões conceituais apareceram em dois alunos que associaram ondas a fenômenos sociais ("ola" em arquibancadas) ou citam Wi-Fi de forma não contextualizada. Embora o Wi-Fi realmente utilize ondas eletromagnéticas, a forma como foi referenciado revelou falta de distinção entre tipos de ondas. Essa dificuldade é comum no ensino de Física, como destaca Ausubel (2003), uma vez que o aluno muitas vezes incorpora novos conhecimentos sem reestruturar adequadamente seus conceitos prévios.

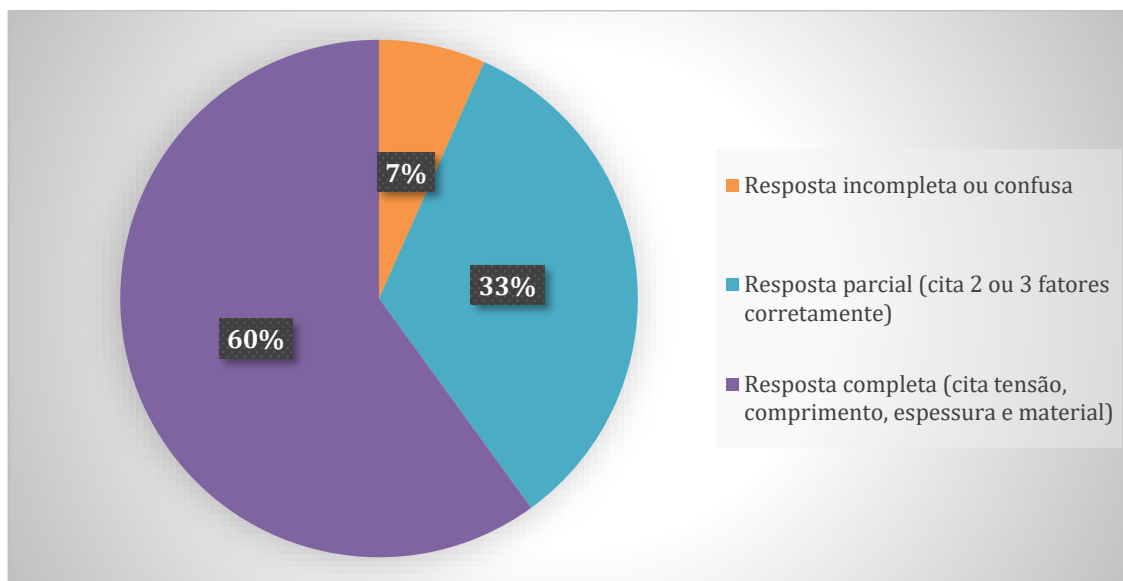
O gráfico de pizza elaborado evidencia que aproximadamente 60% dos alunos já possuem um entendimento conceitual adequado sobre o tema, enquanto 27% possuem compreensão parcial e cerca de 13% demonstram confusões conceituais. Esses dados são relevantes para o planejamento pedagógico, pois indicam que há uma base favorável para a construção de novos conhecimentos, mas também sugerem a necessidade de intervenções para tratar dos conceitos errôneos.

A utilização de estratégias como simulações interativas — exemplificadas pelo uso do PhET — pode ser crucial para a superação das dificuldades conceituais identificadas. Pereira (2018) afirma que as simulações possibilitam uma visualização

concreta dos conceitos abstratos, favorecendo a aprendizagem significativa ao associar teoria e prática.

Na próxima pergunta do pré-teste faz o seguinte questionamento: Você já observou cordas vibrando em algum instrumento musical, como um violão? O que você acha que influencia o comportamento dessas cordas quando elas vibram? As respostas foram analisadas e estão distribuídas no gráfico abaixo.

Figura 23: Cordas vibrando em instrumento música e seu comportamento



Fonte: Dados da pesquisa, 2025

A Questão 2 buscou investigar o entendimento dos alunos sobre os fatores que influenciam o comportamento vibracional de cordas em instrumentos musicais, como o violão. Trata-se de um conceito fundamental para a compreensão do movimento ondulatório em meios materiais. A análise foi conduzida à luz da metodologia de Análise de Conteúdo de Bardin (2016), permitindo a categorização qualitativa das respostas dos discentes.

A categorização revelou três grandes grupos: (1) Respostas completas — que citaram tensão, comprimento, espessura e material da corda; (2) Respostas parciais — que abordaram dois ou três desses fatores; (3) Respostas incompletas ou confusas. Nove alunos (64,3%) deram respostas completas, quatro (28,5%) respostas parciais e apenas um (7,2%) apresentou resposta incompleta.

As respostas completas demonstraram domínio satisfatório do tema, identificando a relação entre maior tensão e maior frequência de vibração, além da influência do comprimento e da espessura. Tipler e Mosca (2016) afirmam que esses conceitos estão de acordo com a física clássica, que relaciona a frequência

fundamental de uma corda com essas variáveis através da fórmula $f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}}$, onde T é a tensão e μ a densidade linear de massa da corda.

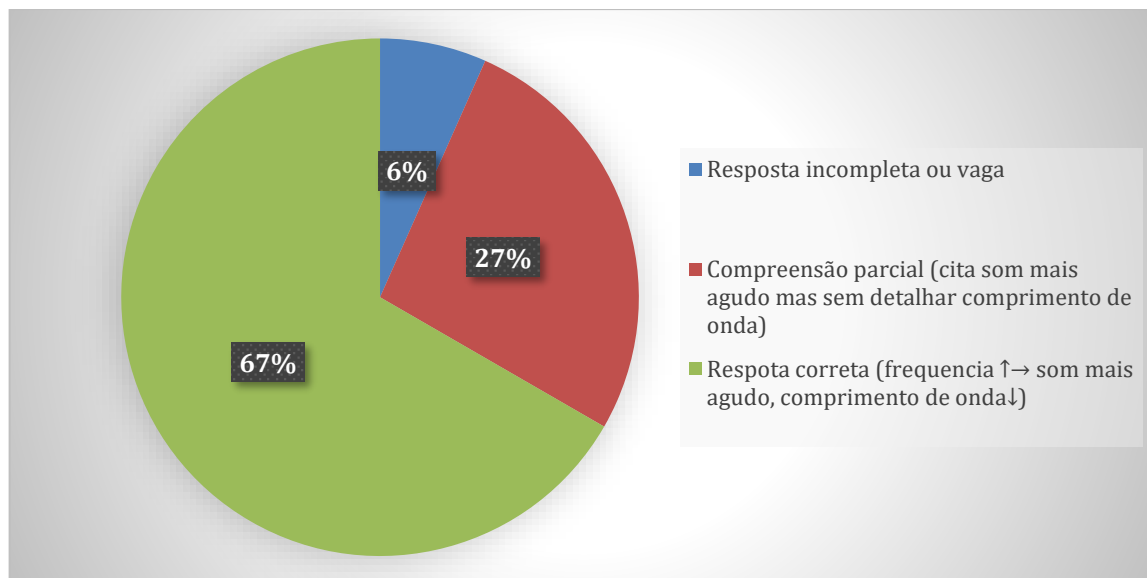
Os alunos que forneceram respostas parciais tendiam a citar apenas tensão e comprimento, negligenciando a importância da espessura ou do material. Segundo Moreira (2011) isso evidencia uma visão fragmentada do fenômeno físico, o que é frequente entre estudantes em fase inicial de compreensão conceitual.

A única resposta incompleta relacionava o comportamento das cordas apenas ao atrito manual, evidenciando um desvio conceitual. Essa dificuldade em identificar variáveis físicas relevantes é coerente com o que foi apontado por Correia (2016), que destaca a importância de práticas investigativas e do uso de simuladores para melhorar a compreensão de fenômenos complexos.

O gráfico de pizza elaborado reforça o quadro positivo: a maioria dos alunos já compreende a influência de fatores físicos na vibração das cordas. A forte adesão às respostas completas indica um bom nível de conhecimento prévio, o que favorece a proposta de atividades mais aprofundadas e experimentais no decorrer da sequência didática. Contudo, estratégias que envolvam manipulação direta de instrumentos musicais ou simulações interativas, como o PhET “Ondas em uma Corda”, são recomendadas para consolidar o conhecimento de acordo com Pereira (2018) essas ferramentas podem facilitar a identificação prática dos fatores que influenciam a frequência e o timbre do som produzido.

O gráfico abaixo faz referência a questão 3 do pré-teste onde foi perguntado O que você acha que acontece com a onda em uma corda quando a frequência aumenta? Como isso afetaria o som produzido por um instrumento de cordas? as respostas foram distribuídas nas categorias que se encontram no gráfico.

Figura 24: Aumento da frequência e som produzido por instrumento de corda



Fonte: Dados da pesquisa, 2025

A terceira questão teve como objetivo avaliar se os alunos compreendiam a relação entre aumento de frequência, comportamento da onda em uma corda e alterações no som produzido. Trata-se de um conceito fundamental para o entendimento do movimento ondulatório e da acústica. Para a análise das respostas, utilizamos o método de Análise de Conteúdo de Bardin (2016), que permite identificar padrões de entendimento e lacunas conceituais.

As respostas foram categorizadas em três grupos: (1) Compreensão correta — que relacionou aumento de frequência a som mais agudo e redução do comprimento de onda; (2) Compreensão parcial — que reconheceu apenas que o som fica mais agudo; (3) Respostas incompletas ou vagas. Observou-se que 10 alunos (71,4%) apresentaram compreensão correta, 3 alunos (21,4%) compreensão parcial e apenas 1 aluno (7,2%) resposta incompleta.

As respostas consideradas corretas evidenciaram domínio sobre a relação inversa entre frequência e comprimento de onda, o que condiz com a equação fundamental das ondas $v=f\cdot\lambda$, sendo v a velocidade, f a frequência e λ o comprimento de onda (YOUNG; FREEDMAN, 2019). Quando a frequência aumenta, o comprimento de onda diminui para manter a velocidade constante no mesmo meio.

Os alunos com respostas parciais reconheceram que o som se torna mais agudo com o aumento da frequência, mas não citaram o comportamento do comprimento de onda. Essa compreensão parcial é comum no ensino de ondas, como destaca Moreira (2011), pois a relação entre frequência, comprimento de onda e

velocidade muitas vezes exige atividades práticas para ser plenamente compreendida.

Uma resposta vaga indicava apenas que “o som fica mais fino”, sem qualquer menção à frequência ou ao comprimento de onda, Correia (2016) defende que essa dificuldade conceitual reforça a necessidade de abordagens pedagógicas que integrem visualizações, experimentação e simulações.

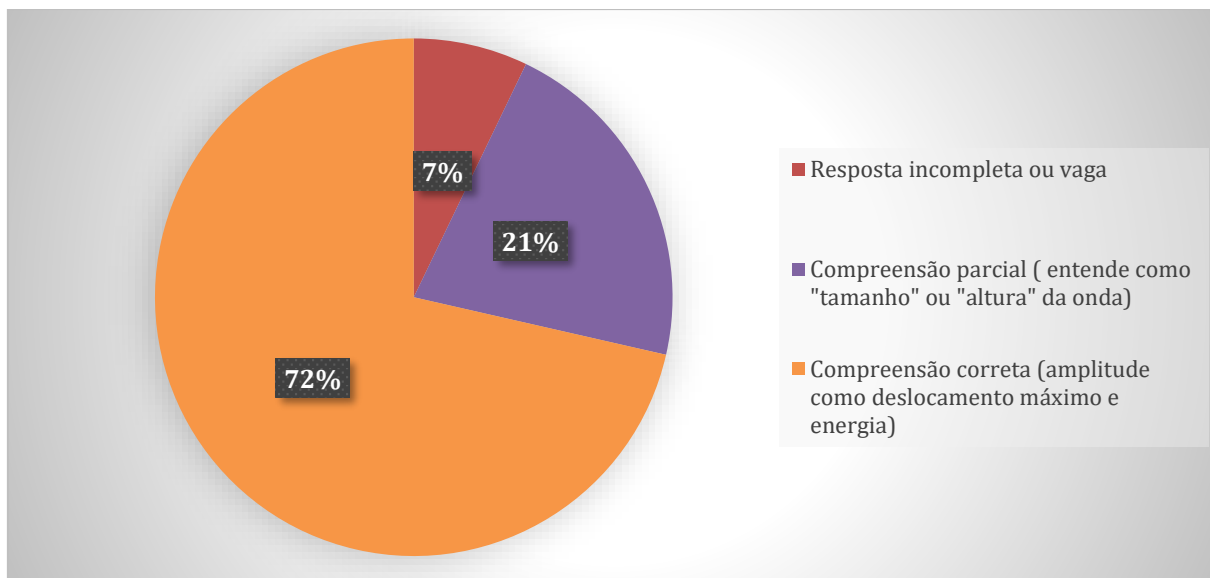
O gráfico de pizza mostra que a maioria dos estudantes já possui uma boa compreensão conceitual da relação frequência–som–comprimento de onda, o que é um indicativo positivo para a sequência didática. No entanto, as respostas parciais e incompletas sinalizam a importância de reforçar essa inter-relação física por meio de atividades interativas.

A simulação "Ondas em uma Corda" do PhET segundo Pereira (2018) é uma ferramenta didática que pode fortalecer esses conceitos, permitindo que os alunos visualizem como alterações na frequência impactam o comprimento de onda e a forma da propagação. Conforme aponta Medeiros Jr. et al. (2024), as simulações interativas têm eficácia comprovada no ensino de fenômenos ondulatórios.

A análise da Questão 3 evidencia um panorama favorável para a continuidade da sequência didática, mas também alerta para a necessidade de atividades que tornem explícita a relação entre frequência e comprimento de onda. Trabalhar esse conceito de forma experimental e interativa será fundamental para promover uma aprendizagem significativa e duradoura.

A questão 4 do pré-teste questionou os alunos sobre O que é amplitude em uma onda? Como você acha que a amplitude influencia o comportamento de uma onda em uma corda? as respostas foram categorizadas gerando o gráfico abaixo.

Figura 25: Amplitude e o comportamento da onda em uma corda



Fonte: Dados da pesquisa, 2025

A quarta questão do pré-teste buscou avaliar o conceito de amplitude de uma onda e sua influência no comportamento da onda em uma corda. Esse conceito é central na física ondulatória, especialmente ao associar a amplitude à energia transportada pela onda. A análise foi realizada com base na metodologia de Análise de Conteúdo proposta por Bardin (2016), que orienta a sistematização dos dados em categorias de sentido.

Foram estabelecidas três categorias: (1) Respostas corretas — que definiram amplitude como o deslocamento máximo das partículas e sua relação com a energia; (2) Respostas parciais — que consideraram a amplitude apenas como “altura” ou “tamanho” da onda, sem aprofundar sua relação energética; (3) Respostas incompletas ou vagas. Foram observadas 10 respostas corretas (71,4%), 3 respostas parciais (21,4%) e 1 resposta vaga (7,2%).

As respostas corretas descreveram adequadamente a amplitude como a distância máxima da partícula em relação à posição de equilíbrio, alinhando-se com a definição apresentada em Young e Freedman (2019, p. 429), para quem “a amplitude de uma onda é a medida do máximo deslocamento das partículas do meio”. Além disso, os alunos correlacionaram maior amplitude com maior energia transportada, o que denota um bom nível de compreensão.

As respostas parciais, que entendiam amplitude apenas como “altura” ou “grandeza do movimento”, sem explicitar a relação com energia, evidenciam uma visão ainda incompleta. Segundo Moreira (2011), é comum que alunos possuam

representações intuitivas iniciais, que precisam ser refinadas para construir aprendizagens significativas, integrando novos conceitos ao conhecimento prévio.

A resposta vaga presente indicava apenas "quanto a onda sobe e desce", sem qualquer menção à energia ou ao deslocamento máximo em relação ao equilíbrio. Essa dificuldade reforça a necessidade de intervenções pedagógicas que permitam a visualização concreta do conceito, uma prática que, segundo Pereira (2018), pode ser efetivamente realizada por meio de simulações interativas.

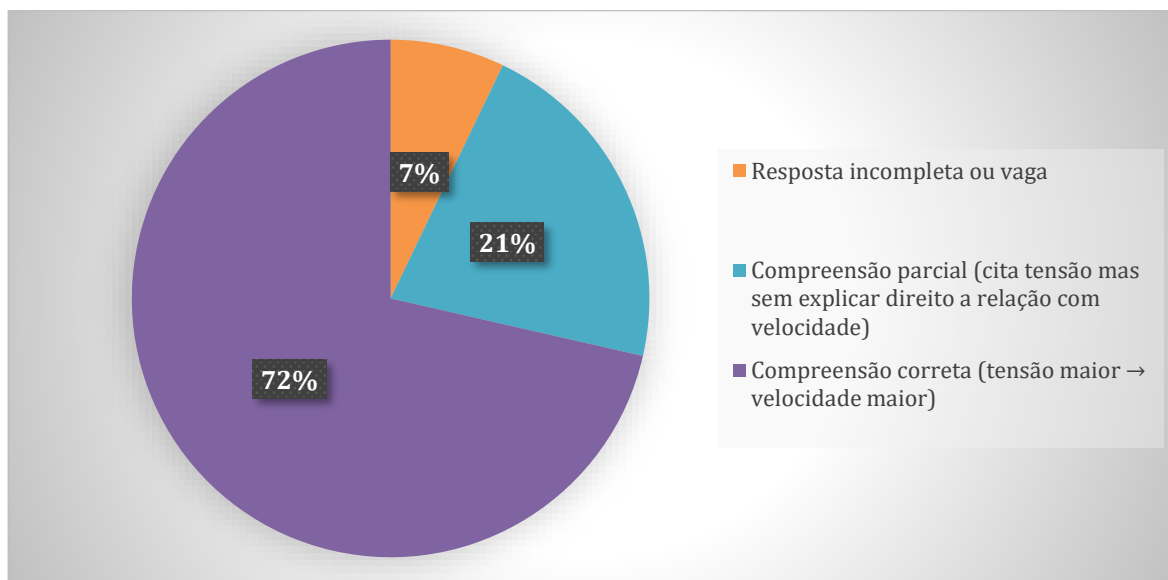
O gráfico de pizza mostra que a maioria dos estudantes já possui uma boa base conceitual sobre amplitude e energia, o que favorece a abordagem de conteúdos mais avançados, como intensidade sonora e interferência. No entanto, a existência de respostas parciais e incompletas aponta para a necessidade de reforçar a compreensão da amplitude como medida física e não apenas como impressão visual.

As simulações do PhET, especialmente aquelas voltadas para ondas em uma corda, permitem aos estudantes observar a relação direta entre amplitude e energia, fortalecendo a aprendizagem por meio da experiência visual e interativa (MEDEIROS JR. et al., 2024). Essa abordagem prática é fundamental para consolidar os conceitos e corrigir visões incompletas.

A análise da Questão 4 revela um cenário positivo para a compreensão do conceito de amplitude entre os estudantes, mas reforça a necessidade de intervenções que aprofundem o entendimento da relação entre amplitude e energia. Conforme Ausubel (2003) propor estratégias investigativas e experimentais serão essenciais para promover uma aprendizagem significativa.

A Questão 5 faz o seguinte questionamento "Você acredita que a tensão em uma corda influencia a velocidade da onda? Explique sua resposta.", as respostas obtidas foram analisadas e distribuídas nas categorias representadas no gráfico abaixo.

Figura 26: Tensão em uma corda e velocidade da onda



Fonte: Dados da pesquisa, 2025

A quinta questão do pré-teste investigou se os alunos compreendiam a relação entre a tensão de uma corda e a velocidade de propagação da onda. Esse entendimento é fundamental para o estudo da dinâmica das ondas mecânicas em meios materiais. A análise das respostas foi realizada com base na metodologia de Análise de Conteúdo de Bardin (2016), permitindo a identificação de padrões de entendimento e dificuldades conceituais.

As respostas foram categorizadas em três grupos: (1) Compreensão correta — tensão maior implica maior velocidade de propagação; (2) Compreensão parcial — menção à tensão sem explicar corretamente a relação com a velocidade; (3) Resposta incompleta ou vaga. Observou-se que 10 alunos (71,4%) deram respostas corretas, 3 alunos (21,4%) apresentaram compreensão parcial e 1 aluno (7,2%) teve resposta vaga.

As respostas corretas indicaram que os alunos compreenderam a relação física expressa pela equação $v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$, onde v é a velocidade da onda, T a tensão da corda e μ a densidade linear de massa (TIPLER; MOSCA, 2016). Quando a tensão aumenta, a força restauradora também aumenta, permitindo que a perturbação se propague mais rapidamente.

As respostas parciais mostraram que alguns alunos citaram a tensão como um fator importante, mas sem estabelecer corretamente sua relação com a velocidade.

Essa dificuldade de associação conceitual é comum no ensino de Física, conforme apontado por Moreira (2011), e requer intervenções que reforcem a compreensão das equações físicas e de suas interpretações qualitativas.

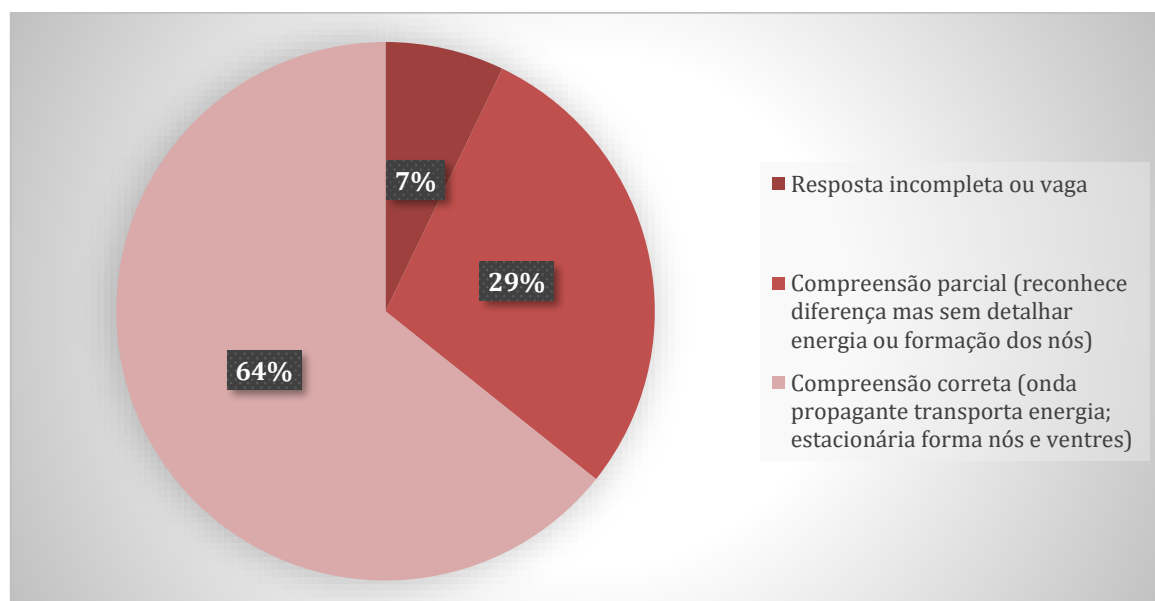
A resposta vaga associava a tensão apenas a "esticar mais a corda", sem ligação clara com a velocidade de propagação. Correia (2016) salienta que a falta de experiências práticas ou de simulações interativas contribui para essas lacunas de entendimento, o que justifica a necessidade de abordagens mais experimentais no ensino do tema.

O gráfico de pizza revela que uma grande maioria dos estudantes já compreende a relação tensão–velocidade, o que é um excelente indicativo para a sequência didática planejada. No entanto, a presença de respostas parciais e vagas justifica a necessidade de reforçar a interpretação física da equação da velocidade da onda em cordas tensionadas.

Para Pereira (2018) a simulação PhET "Ondas em uma Corda" é particularmente útil para ilustrar como mudanças na tensão alteram a velocidade de propagação da onda. Corroborando, Medeiros Jr. et al. (2024), as simulações computacionais são altamente eficazes para visualizar relações físicas de maneira dinâmica e interativa, reforçando a aprendizagem significativa.

A Questão 6 aborda “O que você imagina ser a diferença entre uma onda que se propaga e uma onda estacionária em uma corda?”, as respostas obtidas montaram o gráfico abaixo e foram distribuídas nas características presente no gráfico.

Figura 27: Diferença entre onda que se propaga e ondas estacionária



Fonte: Dados da pesquisa, 2025

A sexta questão investigou o entendimento dos alunos sobre a diferença entre ondas propagantes e ondas estacionárias em uma corda. A distinção entre esses dois tipos de movimento ondulatório é essencial para o estudo de ressonância, modos normais e formação de padrões em meios físicos. A análise foi orientada pela metodologia de Análise de Conteúdo de Bardin (2016), permitindo a categorização sistemática das respostas.

As respostas foram agrupadas em três categorias: (1) Compreensão correta — que diferenciou claramente a propagação de energia e a formação de nós e ventres; (2) Compreensão parcial — que reconheceu diferenças mas sem explicitar a ausência de transporte de energia ou a estrutura dos nós; (3) Resposta incompleta ou vaga. Dez alunos (71,4%) apresentaram compreensão correta, três alunos (21,4%) tiveram compreensão parcial e um aluno (7,2%) apresentou resposta vaga.

As respostas corretas demonstraram entendimento de que a onda propagante transporta energia de um ponto a outro, enquanto a estacionária resulta da superposição de ondas idênticas em sentidos opostos, formando padrões fixos de nós (pontos de amplitude nula) e ventres (pontos de amplitude máxima) (Young e Freedman, 2019).

As respostas parciais mostraram uma percepção da diferença visual entre uma onda em movimento e uma onda estacionária, mas sem menção clara à questão da transferência de energia ou à explicação da formação de nós e ventres. Moreira (2011) ressalta que esse tipo de conhecimento parcial pode ser um ponto de partida importante para a aprendizagem significativa, desde que devidamente explorado e expandido.

A resposta vaga apresentava confusão entre a propagação contínua e a formação de ondas estacionárias, sem distinção clara entre as características físicas. Correia (2016) observa que fenômenos de superposição e interferência são particularmente desafiadores para os alunos, sendo imprescindível o uso de abordagens práticas e experimentais para sua compreensão.

O gráfico de pizza revela que a maioria dos alunos compreendeu de forma satisfatória a diferença entre os dois tipos de ondas, o que é um indicativo promissor para o desenvolvimento de atividades mais complexas envolvendo ondas estacionárias, modos normais e ressonância.

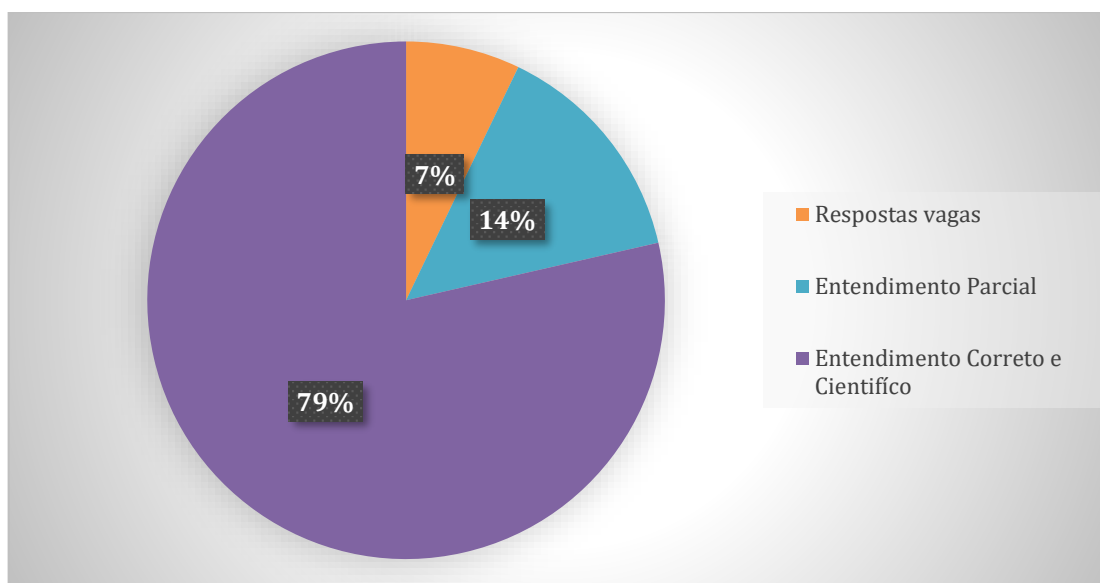
O uso de simulações interativas, como a simulação PhET "Ondas em uma Corda", pode ser extremamente eficaz para ilustrar visualmente a formação de ondas

estacionárias e a ausência de transporte líquido de energia. Além disso, Medeiros Jr. et al. (2024) enfatizam que tais simulações melhoram significativamente a compreensão de fenômenos ondulatórios complexos.

A análise da Questão 6 mostra que os alunos possuem uma boa base para diferenciar ondas propagantes e estacionárias, mas que ainda é necessário aprofundar a compreensão sobre o conceito de transporte de energia e a formação de padrões de interferência. Atividades experimentais e simulações serão estratégicas para consolidar esses conhecimentos de forma significativa.

Agora iremos fazer a análise das respostas dos alunos através do Questionário de Pós-Teste que foi aplicado após a finalização da Sequência Didática utilizando o PhET “Ondas em uma corda”. Na primeira questão foi pedido aos alunos para explicarem como a frequência da onda em uma corda afeta o comprimento de onda, após usarem a simulação. O que você observou quando aumentou a frequência? as respostas foram analisadas e categorizadas gerando o gráfico abaixo.

Figura 28: Frequência x comprimento de onda



Fonte: Dados da pesquisa, 2025

A relação entre frequência e comprimento de onda é um conceito fundamental no estudo de ondas mecânicas. A simulação PhET "Ondas em uma Corda" serviu como recurso didático para fomentar essa compreensão, proporcionando aos alunos uma experiência visual e interativa conforme destacado por Melo (2022) sobre o potencial dos simuladores para a construção de conceitos científicos.

A maioria dos alunos respondeu corretamente, compreendendo que o aumento da frequência resulta na diminuição do comprimento de onda, mantendo a velocidade

constante quando a tensão da corda não varia. Oliveira (2021) defende que essa constatação revela o sucesso da estratégia de mediação pedagógica com recursos tecnológicos.

Onze alunos demonstraram domínio da relação física $v=f\lambda$, conforme expressaram em suas respostas. Eles entenderam que a velocidade é mantida pela tensão e densidade da corda, enquanto a frequência e o comprimento de onda ajustam-se inversamente. Tal domínio reforça o papel da experimentação virtual como ferramenta de ensino-aprendizagem.

Dois alunos apresentaram interpretações parciais, focando apenas nos aspectos visuais da simulação (ondas mais "apertadas"), mas sem a formalização matemática do fenômeno. Esse tipo de resposta sugere, como afirmar Pereira (2018), a necessidade de reforçar a transposição do fenômeno visual para a linguagem formal da Física.

Um aluno apresentou resposta vaga, falando em diferentes tipos de ondas sem estabelecer a relação entre frequência e comprimento de onda. Rodrigues (2022) aponta que tal dificuldade pode indicar a necessidade de atividades mais direcionadas para a sistematização conceitual.

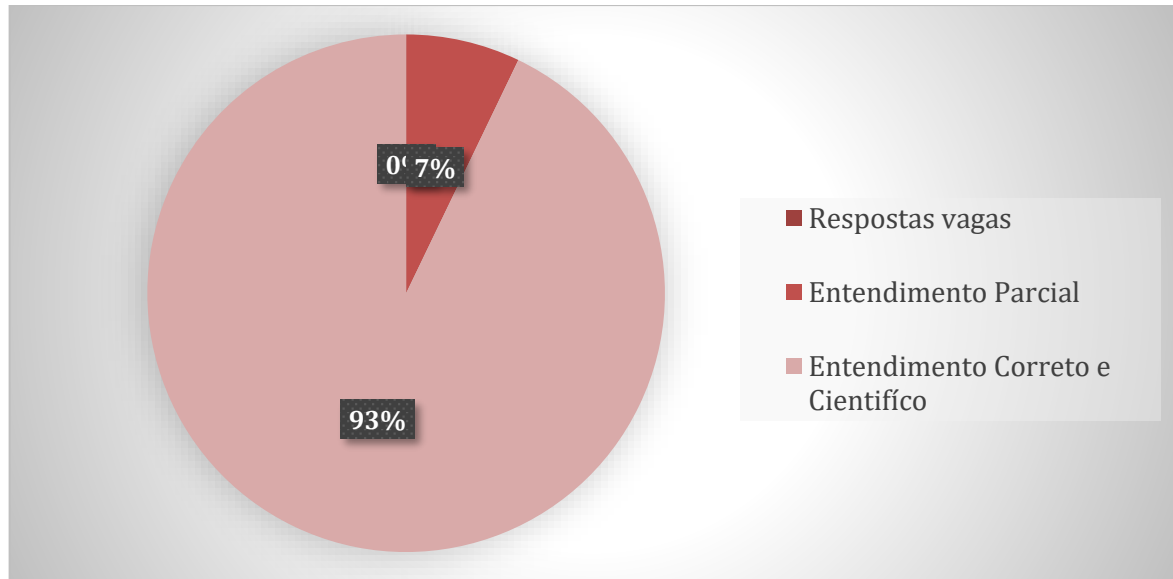
Segundo Bardin (2011), a análise de conteúdo permite identificar o grau de internalização dos conceitos pelos alunos através das suas manifestações textuais. Observa-se que a simulação, ao tornar os conceitos abstratos mais concretos e visuais, contribuiu fortemente para a aprendizagem significativa (Ausubel, 1980).

A predominância de respostas corretas demonstra que o uso do PhET associado à mediação pedagógica ativa atinge níveis elevados de eficácia didática, corroborando a meta-análise de Medeiros Jr. et al. (2024), que evidencia a superioridade das simulações PhET no aprendizado da Física em relação aos métodos tradicionais.

Portanto, a atividade permitiu o desenvolvimento de habilidades interpretativas, analíticas e relacionais nos alunos, consolidando o aprendizado de forma crítica e reflexiva. Essa abordagem se alinha às demandas contemporâneas de ensino de Ciências, que requerem metodologias ativas, experimentação e uso inteligente das tecnologias.

A Questão 2 buscou analisar “Com base na simulação, como a tensão da corda influenciou a velocidade da propagação da onda? O que você pôde concluir?”, após a análise das respostas e sua categorização construiu-se o gráfico abaixo.

Figura 29: Tensão x Velocidade da onda



Fonte: Dados da pesquisa, 2025

A relação entre a tensão aplicada em uma corda e a velocidade de propagação da onda é um conceito-chave na física ondulatória. A simulação PhET forneceu uma visualização concreta desse fenômeno, facilitando segundo Melo (2022) a compreensão conceitual dos estudantes, ao tratar da importância das TICs para o ensino de Ciências.

A análise também mostra que a maioria dos alunos compreendeu que a velocidade da onda aumenta à medida que a tensão da corda aumenta, evidenciando uma apropriação consistente da equação $v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$. Esta compreensão é um indicativo de aprendizagem significativa, conforme Ausubel (1980).

Doze alunos demonstraram domínio sobre o conceito, relacionando adequadamente a variação da velocidade à variação da tensão, sem confundir outros fatores, como a amplitude ou a frequência, que não influenciam diretamente a velocidade. Oliveira (2021) confirma o papel fundamental da experimentação interativa para reforçar o conhecimento formal.

Um aluno apresentou entendimento parcial, mencionando o impacto da tensão, mas sem explicitar a dependência formal da velocidade com a raiz quadrada da tensão sobre a densidade linear. Correia (2016) lembra que a ausência dessa formalização ainda é um ponto crítico no ensino via simuladores.

Nenhum aluno se enquadrou na categoria de respostas vagas, o que representa um resultado extremamente positivo e demonstra a eficiência da

sequência didática aplicada. Isso também reforça o que foi observado na meta-análise de Medeiros Jr. et al. (2024), que destaca a equivalência ou superioridade das simulações PhET em relação aos métodos tradicionais.

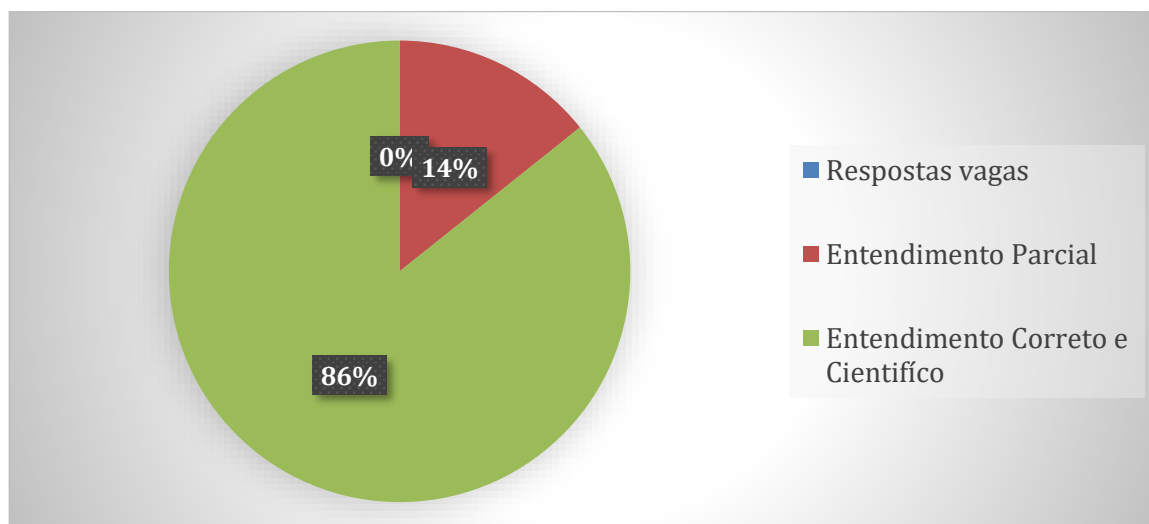
Segundo Bardin (2011), é fundamental analisar as manifestações textuais dos alunos para inferir o nível de internalização dos conceitos. Observa-se que a abordagem prática, associada à teoria, favoreceu a apropriação correta do conceito físico em sua totalidade.

Para Pereira (2018) afirma que a alta taxa de respostas corretas sugere que a estratégia de ensino utilizada promoveu não apenas a aquisição de conteúdo, mas também o desenvolvimento de habilidades críticas para a resolução de problemas em Física.

Portanto, a utilização da simulação como ferramenta pedagógica permitiu a criação de um ambiente de aprendizagem dinâmico, ativo e significativo. Esses resultados reforçam a necessidade do uso sistemático de tecnologias digitais no ensino de Física, buscando sempre contextualizar o conteúdo à realidade dos alunos.

A Questão 3, pediu para os entrevistados descreverem como a amplitude de uma onda em uma corda afeta sua altura (ou "tamanho"). Isso influenciou a velocidade da onda? Explique com base no que observou na simulação., as respostas apresentadas por eles foram categorizadas no gráfico abaixo.

Figura 30: Amplitude, Altura e Velocidade a onda



Fonte: Dados da pesquisa, 2025

A relação entre amplitude e características da onda é central para a compreensão de fenômenos ondulatórios. A simulação PhET permitiu que os alunos observassem de forma explícita que a amplitude altera a altura da onda, mas não sua

velocidade de propagação, como defende Melo (2022) sobre o papel das simulações na consolidação de conceitos.

A maioria dos alunos compreendeu corretamente a distinção: enquanto a amplitude se refere à energia da onda e sua altura, a velocidade depende apenas das propriedades físicas do meio (tensão e densidade linear). Oliveira (2021) propõe que tal percepção demonstra a efetividade do uso de sequência didática como método de ensino aliada as simulações do PhET.

Doze alunos deram respostas precisas e consistentes, indicando que mudanças na amplitude não afetam a velocidade da onda. Isso evidencia que a simulação, ao permitir a manipulação de variáveis isoladamente, promoveu uma aprendizagem significativa.

Dois alunos apresentaram confusão conceitual, associando erroneamente aumento de amplitude a uma possível alteração na velocidade. Como destaca Correia (2016), esse erro é comum quando há pouca ênfase na distinção entre propriedades energéticas e dinâmicas das ondas.

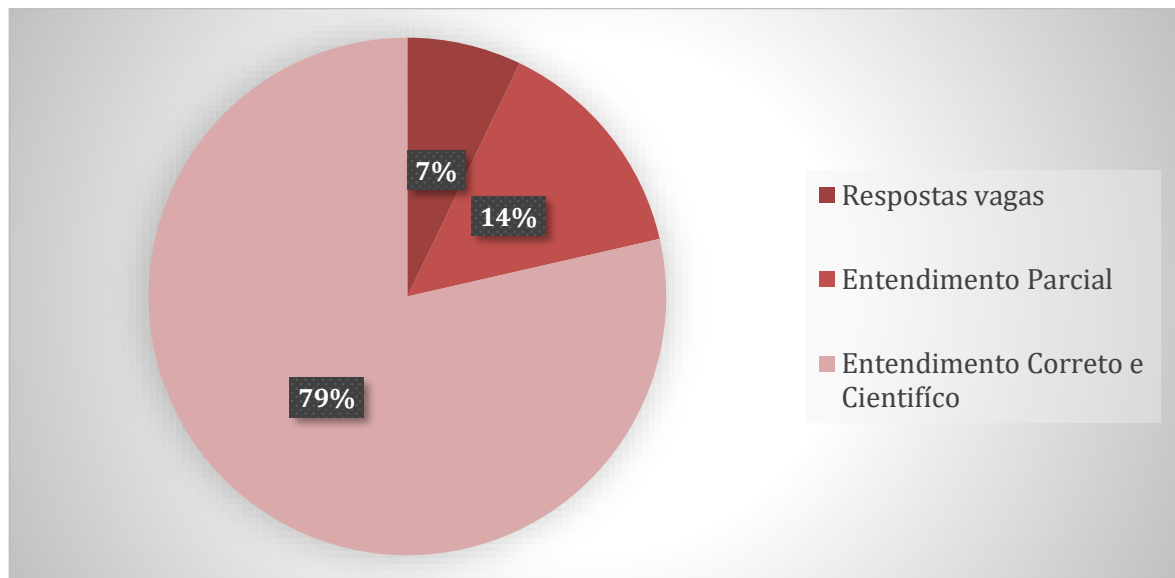
Não foram registradas respostas vagas para esta questão, onde segundo Pereira (2018) é um indicador altamente positivo que mostra engajamento dos alunos e a clareza didática da sequência utilizada.

A análise de Bardin (2011) destaca que a categorização dos conteúdos expostos pelos alunos permite inferir seu nível de internalização conceitual. A predominância de respostas corretas indica que a visualização do comportamento das ondas, em tempo real, facilita o processo de abstração e consolidação teórica.

O domínio da relação amplitude-altura, dissociada da velocidade, é um grande avanço no processo de construção do conhecimento em Física. Medeiros Jr. et al. (2024) destacam que simulações PhET são ferramentas eficazes para eliminar concepções alternativas e fortalecer a aprendizagem científica. Portanto, o uso de simuladores interativos, alinhado a uma abordagem construtivista de ensino, revelou-se uma estratégia poderosa para tornar o conteúdo mais significativo e acessível aos estudantes, conforme sugerem práticas contemporâneas de educação em Ciências.

A questão 4 pede aos alunos para explicarem a diferença entre uma onda estacionária e uma onda que se propaga em uma corda, usando o que aprenderam na simulação, as respostas fornecidas foram analisadas e categorizadas no gráfico abaixo.

Figura 31: Onda estacionária vs. Onda Propagante



Fonte: Dados da pesquisa, 2025

O entendimento sobre ondas estacionárias e propagantes é essencial para compreender fenômenos em instrumentos musicais, telecomunicações e Física moderna. Segundo Santos, Silva e Rosa (2020) o uso do simulador PhET proporciona uma rica visualização para diferenciar esses conceitos, proporcionando um impacto positivo nas atividades lúdicas no ensino de ondas.

A maioria dos alunos foi capaz de diferenciar corretamente os dois tipos de ondas: a propagante, que transporta energia, e a estacionária, que resulta da superposição de duas ondas em sentidos opostos, formando padrões fixos de nós e ventres.

Doze alunos apresentaram respostas completas, associando corretamente a formação de ondas estacionárias à interferência de ondas de mesma frequência e amplitude em sentidos contrários. Medeiros Jr. et al. (2024) evidenciam que essa compreensão revela a eficácia de metodologias que utilizam simulações para demonstrar fenômenos de difícil visualização experimental.

Dois alunos identificaram a diferença básica ("onda parada" versus "onda andando"), mas não explicitaram a origem física do fenômeno (superposição e interferência), Rodrigues (2022) destaca sobre a necessidade de aprofundar a fundamentação dos conceitos para que haja uma melhor compreensão pelos alunos.

Um aluno apresentou uma resposta vaga, tratando apenas do comportamento visual das ondas sem explicar os conceitos físicos por trás. Essa limitação reforça a

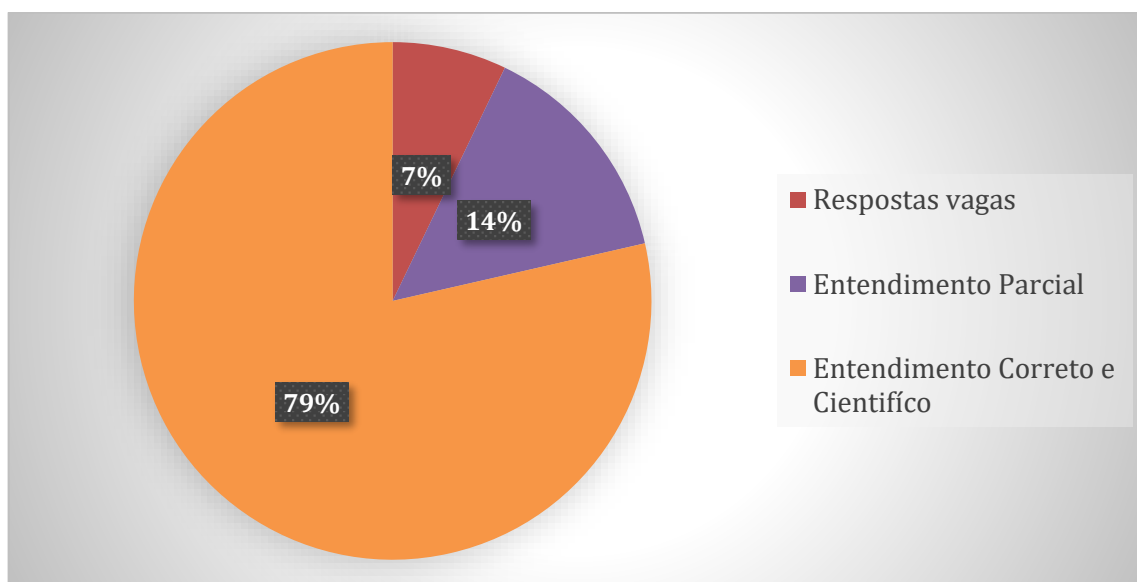
necessidade da mediação ativa do professor na interpretação dos fenômenos simulados.

De acordo com Bardin (2011), a categorização das respostas evidencia os níveis de compreensão conceitual. Segundo Ausubel (1980) quando os alunos conseguem associar corretamente fenômenos observados a modelos teóricos, atinge-se um nível de internalização superior.

A predominância de respostas corretas nesta questão corrobora com a fala de Pereira (2018) onde afirma que as atividades são mais potencializadas através do uso de simuladores e ajudam a promover mudanças conceituais e combater concepções alternativas. Portanto, fica evidente que a simulação não apenas ilustrou os conceitos, mas promoveu o raciocínio científico e a abstração necessária para a construção sólida do conhecimento em Física, validando práticas pedagógicas inovadoras que integram tecnologia e experimentação.

A Questão 5, abordou a seguinte pergunta “Durante a simulação, você observou ondas em diferentes tensões e frequências. Como esses dois parâmetros influenciam a velocidade de propagação da onda?”, as respostas estão caracterizadas no gráfico abaixo.

Figura 32: Influência da tensão e frequência na velocidade da onda



Fonte: Dados da pesquisa, 2025

A relação entre tensão, frequência e velocidade da onda é crucial para o entendimento dos fenômenos ondulatórios em cordas. Fernandes (2018) afirma que a prática investigativa utilizando a simulação PhET, permitiu aos alunos manipular essas variáveis e observar suas influências diretas e indiretas.

Grande parte dos alunos respondeu corretamente, afirmando que a tensão influencia diretamente a velocidade da onda, enquanto a frequência altera apenas o comprimento de onda. Isso demonstra uma boa internalização dos conceitos físicos fundamentais.

Onze alunos apresentaram um entendimento sólido, explicitando que a velocidade é função direta da tensão, e que a frequência, alterando o comprimento de onda, mantém a velocidade constante se a tensão for mantida. Segundo Santos, Silva e Rosa (2020) afirmam que tal compreensão mostra a eficácia das metodologias ativas de aprendizagem.

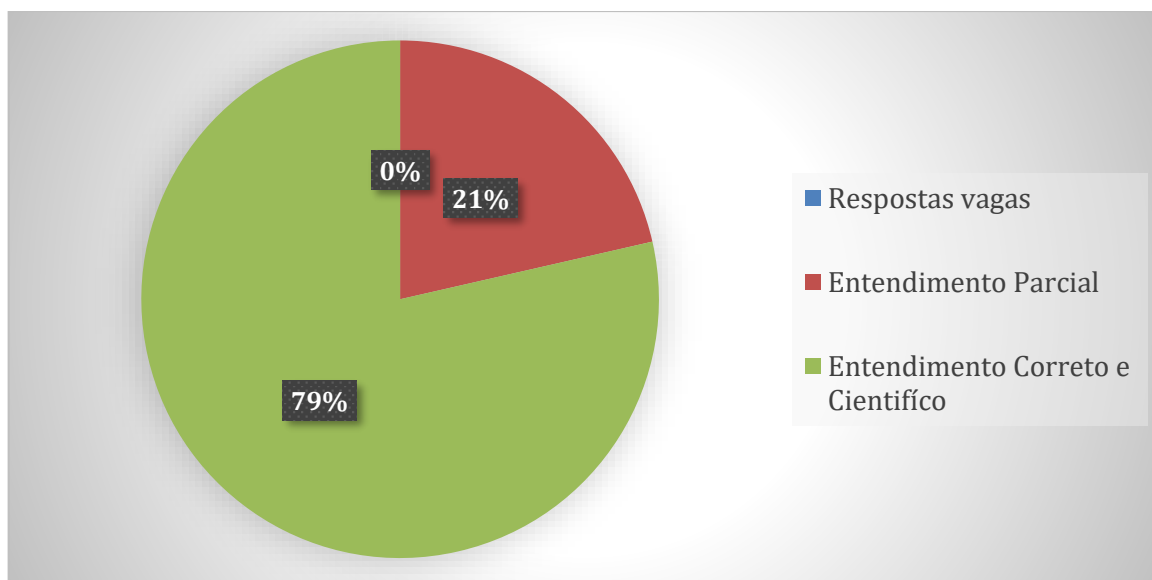
Dois alunos associaram equivocadamente a frequência à mudança da velocidade, o que revela uma confusão conceitual que pode ser esclarecida com atividades de reforço focadas na fórmula $v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$ e na separação entre variáveis dependentes e independentes. Um aluno apresentou uma resposta vaga, mencionando generalidades sobre aumento de velocidade sem distinguir entre os efeitos da tensão e da frequência.

Medeiros Jr. et al. (2024), comprova que o uso de simulações interativas, como as do PhET, amplia a compreensão de conceitos complexos ao integrar visualização, experimentação virtual e abstração matemática. O resultado desta questão mostra que a sequência didática proposta foi eficaz em promover um nível avançado de compreensão crítica sobre as variáveis que controlam a propagação de ondas, o que é fundamental para a formação de competências científicas nos alunos.

A consolidação desses conceitos demonstra o potencial transformador das práticas educativas baseadas em simulações digitais e aprendizagem significativa, reafirmando a necessidade da integração de tecnologia no ensino de Física.

Na última pergunta do questionário do pós-teste pediu-se para os alunos com base na equação $v=f \times \lambda$, relacione os conceitos de frequência, comprimento de onda e velocidade de propagação. Como esses conceitos foram demonstrados na simulação?, as respostas foram analisadas e categorizadas no gráfico abaixo.

Figura 33: Relação frequência, comprimento de onda e velocidade



Fonte: Dados da pesquisa, 2025

A equação $v=f.\lambda$ é uma das relações fundamentais para descrever o comportamento das ondas. Compreender essa equação é essencial para o desenvolvimento de competências em Física, especialmente no estudo de fenômenos ondulatórios. Souza (2021) propõe que o uso de sequencias didáticas focadas na experimentação através do uso de simulação PhET facilitam a visualização dessa relação matemática em um contexto experimental.

Observou-se que a maioria dos alunos internalizou corretamente a relação entre frequência, comprimento de onda e velocidade: ao aumentar a frequência, o comprimento de onda diminui para manter constante a velocidade, desde que a tensão na corda não varie.

Onze alunos demonstraram entendimento pleno da relação entre as grandezas, mencionando explicitamente que, com velocidade constante, frequência e comprimento de onda são inversamente proporcionais. Segundo Santos, Silva e Rosa (2020) essa capacidade analítica evidencia a efetividade das estratégias de ensino-aprendizagem baseadas em experimentação virtual.

Três alunos apresentaram uma compreensão parcial, reconhecendo a ligação entre frequência e comprimento de onda, mas sem integrar plenamente o conceito de velocidade constante, um ponto que, segundo Rodrigues (2022), ainda demanda maior ênfase nas atividades didáticas.

Nenhuma resposta foi vaga nesta questão, o que segundo Medeiros Jr. et al. (2024) demonstra que o roteiro de atividades promoveu um nível elevado de engajamento e assimilação de conceitos teóricos pelos alunos.

De acordo com Bardin (2011), a análise de conteúdo permite identificar não apenas o que os alunos aprenderam, mas também como estruturaram esse conhecimento. A capacidade de relacionar variáveis físicas de maneira sistemática é indicativo de desenvolvimento de pensamento científico.

Esses resultados mostram que o uso de sequências didáticas apoiadas em simulações interativas é extremamente eficaz para tornar conceitos abstratos mais concretos e acessíveis, consolidando a aprendizagem significativa de forma prática e crítica.

Assim, a experiência com a simulação PhET demonstrou ser altamente produtiva para a compreensão da relação entre frequência, comprimento de onda e velocidade, evidenciando que metodologias ativas são imprescindíveis no ensino de Ciências na atualidade.

11. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo desenvolver, aplicar e avaliar uma sequência didática utilizando as simulações PhET para o ensino de conceitos de Ondulatória no Ensino Médio, com base na Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel. A pesquisa demonstrou que a utilização de ferramentas interativas digitais, aliadas a uma sequência didática bem estruturada, pode transformar a maneira como os estudantes compreendem conceitos abstratos da Física.

A integração do simulador PhET permitiu que os alunos visualizassem fenômenos ondulatórios complexos de maneira dinâmica e concreta, favorecendo a construção de conhecimentos mais profundos e duradouros. Observou-se que a interação com as simulações promoveu o desenvolvimento de habilidades cognitivas como a formulação de hipóteses, a análise de variáveis e a reflexão crítica, aspectos centrais para uma aprendizagem ativa e significativa.

A metodologia adotada, centrada na mediação do professor e na autonomia dos estudantes, revelou ser eficaz na promoção de um ambiente de aprendizagem mais motivador e colaborativo. O uso de atividades exploratórias, momentos de discussão coletiva e intervenções teóricas direcionadas possibilitou a articulação entre o conhecimento prévio dos alunos e os novos conceitos abordados, em consonância com os princípios da aprendizagem significativa.

Além disso, a pesquisa evidenciou que as tecnologias de informação e comunicação (TICs), quando integradas de forma planejada e crítica, não apenas potencializam o ensino de Física, mas também favorecem práticas pedagógicas mais inclusivas e diferenciadas, capazes de atender à diversidade de estilos de aprendizagem presentes em sala de aula.

Entretanto, o estudo também indicou a necessidade de cuidados na utilização exclusiva de simulações virtuais, ressaltando a importância do equilíbrio entre recursos digitais e atividades práticas experimentais. A mediação do professor permanece como elemento imprescindível para orientar, problematizar e aprofundar as experiências de aprendizagem proporcionadas pelas simulações.

Em síntese, a sequência didática elaborada e aplicada neste trabalho contribuiu para tornar o ensino de Ondulatória mais acessível, significativo e atrativo para os alunos do Ensino Médio, reafirmando a importância da inovação metodológica e do uso crítico das tecnologias no contexto educacional contemporâneo. Espera-se que

esta proposta possa servir de referência para futuros trabalhos e inspire práticas pedagógicas que valorizem o protagonismo estudantil, a aprendizagem ativa e a construção significativa do conhecimento científico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, E. S. et al. **O uso de simuladores virtuais educacionais e as possibilidades do PhET para a aprendizagem de Física no Ensino Fundamental**. REnCiMa, São Paulo, v. 12, n. 3, p. 1-25, abr./jun. 2021.
- AUSUBEL, D. P. **Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva**. Lisboa: Plátano Editora, 2003.
- AUSUBEL, D. P. **A Psicologia da Aprendizagem Verbal Significativa**. Nova York: Grune & Stratton, 2000.
- BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2016.
- BARDIN, Laurence. *Análise de conteúdo*. São Paulo: Edições 70, 2011.
- BELLONI, M.L. **Educação a Distância**. Campinas: Autores Associados, 2009.
- BESSA, R.A. **Práticas Inovadoras no Ensino de Física**. São Paulo: Blucher, 2012.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio**. Brasília: MEC/SEF, 2000.
- COLL, C.; POZO, J.I.; SOLÉ, I. **Estratégias de Aprendizagem**. Porto Alegre: Artmed, 1999.
- CORREIA, Genilce Caldeira Souza. **O uso de simuladores no ensino de Física: estudo da corrente induzida**. UFMG, 2016.
- FERNANDES, R. J. **Sequência didática na física escolar: rádio de galena e o ensino de ondas e eletromagnetismo**. Universidade Federal de Uberlândia, 2018.
- FONSECA, F. C. **Uso de simulações no ensino de física: contribuições e possibilidades**. 2013.
- GIL, A.C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. São Paulo: Atlas, 2002.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. *Fundamentos de Física 1: Mecânica*. 4. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1996.
- HOLANDA, I. N.; COSTA, F. E. M. **A utilização remota do PhET como instrumento facilitador do ensino-aprendizagem da lei de Hooke**. Educação & Linguagem, 2021
- KENSKI, V.M. **Educação e Tecnologias: O Novo Ritmo da Informação**. Campinas: Papirus, 2013.
- KOLB, D.A. **Aprendizagem Experiencial: Experiência como Fonte de Aprendizagem e Desenvolvimento**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1984.
- MARTIN, F.; PARKER, M. **Manual de Pesquisa em Pedagogia Online e Design de Cursos**. Hershey: IGI Global, 2020.

MEDEIROS JR., R. N.; NAIA, M. D.; LOPES, J. B. **Simulações interativas do PhET nas práticas de ensino da física: uma meta-análise**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 46, 2024.

MELO, R. B. F. **As possibilidades de aplicação dos simuladores da plataforma PhET no ensino de ciências**. Universidade Estadual da Paraíba, 2022.

MINAYO, M.C.S. **O Desafio do Conhecimento: Pesquisa Qualitativa em Saúde**. São Paulo: Hucitec, 2014.

MORAN, J.M.; MASSETTO, M.; BEHRENS, M. **Novas Tecnologias e Mediação Pedagógica**. Campinas: Papirus, 2015.

MOREIRA, M. A. **Teoria da aprendizagem significativa: um referencial para organizar o ensino**. Brasília: Editora Plano, 2011.

MOREIRA, M.A. **Aprendizagem Significativa: Teoria e Pesquisa**. São Paulo: Centauro, 2011.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física básica**. São Paulo: Edgard Blücher, 2008

OLIVEIRA, Cícero Neilton dos Santos. **Experimentação no ensino de física com o uso do simulador computacional PHET**. Maceió: UFAL, 2021

PEREIRA, R. R. **O uso do simulador PhET como recurso didático para o ensino de ondas no 9º ano do ensino fundamental**. Universidade Federal Fluminense, 2018.

PEREIRA, R. R. **O uso do simulador PhET como recurso didático para o ensino de ondas no 9º ano do ensino fundamental**. 2018. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal Fluminense.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. de. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

RODRIGUES, W. A. C. **Proposta de sequência didática para o ensino e aprendizagem de ondas mecânicas no ensino médio**. Universidade Federal do Piauí, 2022.

SANTOS, B. M.; SILVA, H. E.; ROSA, R. C. **Atividades lúdicas e experimentais para o ensino de ondas**. REAMEC - Rede Amazônica de Educação em Ciências e Matemática, 2020. DOI: [10.26571/reamec.v8i2.9368](https://doi.org/10.26571/reamec.v8i2.9368).

SERWAY, Raymond A.; JEWETT, John W. **Física para Cientistas e Engenheiros**. 9. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2018.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico**. 23. ed. São Paulo: Cortez, 2014.

SILVA, J.A.; ANDRADE, R.B. **TICs na Educação: Inovação e Prática**. Rio de Janeiro: Editora Brasil, 2022.

SILVA SOUZA, W. A. **Sequência didática sobre o movimento ondulatório com foco nas atividades experimentais**. 2021. 168 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2021.

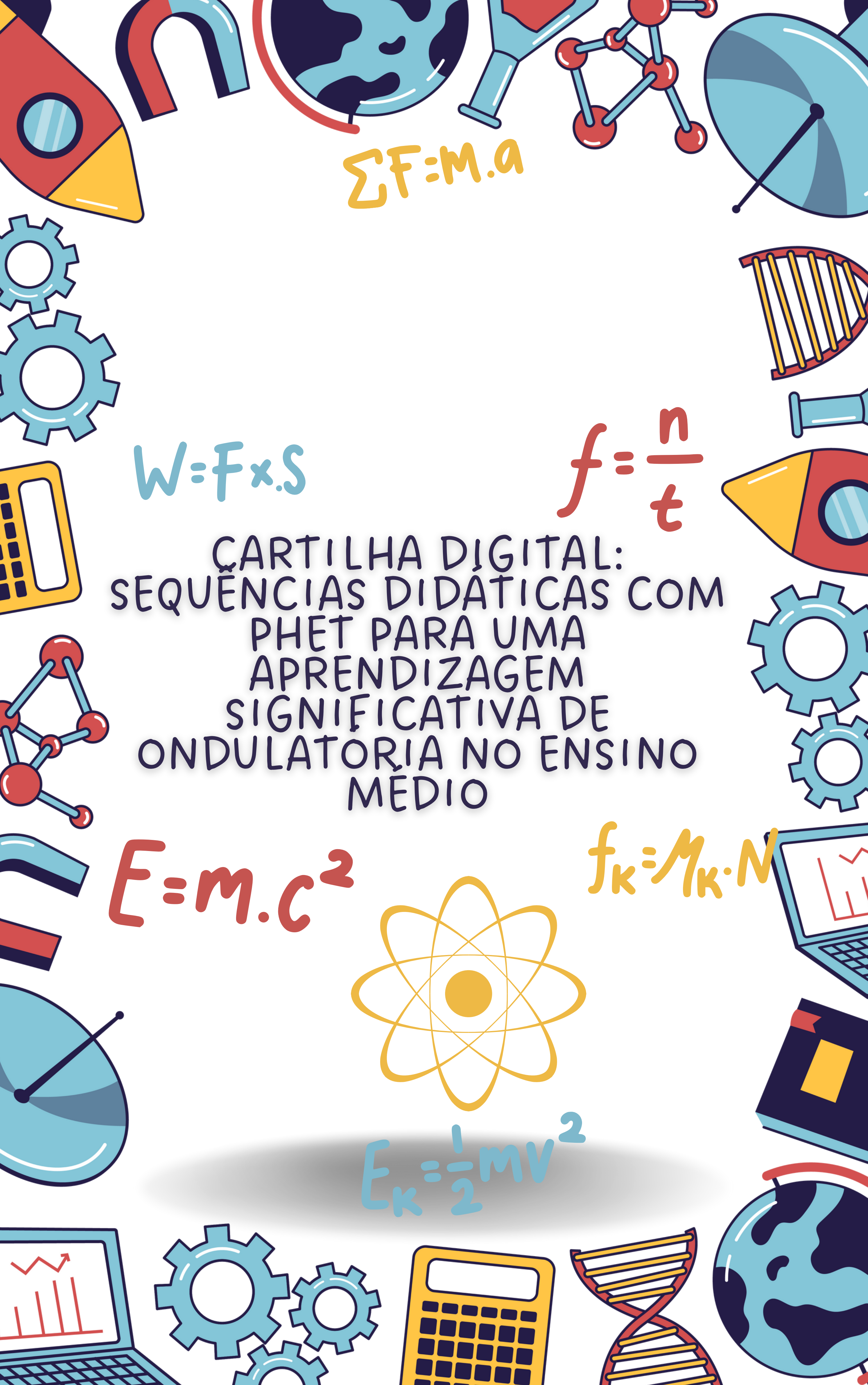
TIPLER, P. A.; MOSCA, G. **Física para cientistas e engenheiros**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

YIN, R.K. **Pesquisa de estudo de caso: Design e métodos**. 5ª ed. Thousand Oaks: Sage Publications, 2015.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **University Physics with Modern Physics**. 15. ed. Boston: Pearson, 2019.

YOUNG, H.D.; FREEDMAN, R.A. **Física Universitária**. 15ª ed. Boston: Pearson, 2019.

ZABALA, A. **A Prática Educativa: Como Ensinar**. Porto Alegre: Artmed, 1998


$$\Sigma F = M \cdot a$$

$$W = F \times S$$

$$f = \frac{n}{t}$$

CARTILHA DIGITAL:
SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS COM
PHET PARA UMA
APRENDIZAGEM
SIGNIFICATIVA DE
ONDULATORIA NO ENSINO
MÉDIO

$$E = m \cdot c^2$$

$$f_k = M_k \cdot N$$

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2$$



UNIVERSIDADE
FEDERAL DO PIAUÍ



SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

CARTILHA DIGITAL: SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS COM PHET PARA UMA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE ONDULATÓRIA NO ENSINO MÉDIO

Fernando Gérson Libânio Mendes

Esta cartilha é parte do Produto Educacional
desenvolvido no Mestrado Nacional em
Ensino de Física sob orientação da professora
Maria do Socorro Leal Lopes

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Sistema de Bibliotecas UFPI – SIBi /UFPI
Biblioteca Setorial do CCN

M538p Mendes, Fernando Gérson Libanio .
O PhET como instrumento de ensino de ondulatória através
de sequências didáticas / Fernando Gérson Libanio Mendes. –
Teresina, 2025.
161 f. : il.
Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Federal
do Piauí. Centro de Ciências da Natureza. Programa de Pós-
Graduação em Ensino de Física, Teresina, 2025.
“Orientadora: Profa. Dra. Maria do Socorro Leal Lopes”.
1. Física - Estudo e Ensino. 2. Simuladores PhET. 3.
Ondulatória. 4. Sequência Didática. I. Lopes, Maria do Socorro
Leal. II. Título.

CDD 530.7

Bibliotecária: Caryne Maria da Silva Gomes - CRB3/1461



UNIVERSIDADE
FEDERAL DO PIAUÍ



SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001, apoio financeiro concedido por meio da bolsa de estudos, essencial para a continuidade e desenvolvimento desta pesquisa. O investimento em ciência e formação de pesquisadores é fundamental para o avanço do conhecimento em nosso país.

À minha orientadora, Prof(a). Dr(a). Maria do Socorro Leal Lopes, agradeço pela dedicação, paciência, orientação cuidadosa e por compartilhar seu conhecimento com generosidade ao longo de toda a caminhada. Suas palavras de incentivo, rigor acadêmico e apoio constante foram fundamentais para a superação dos desafios e para o crescimento pessoal e profissional.

SUMÁRIO

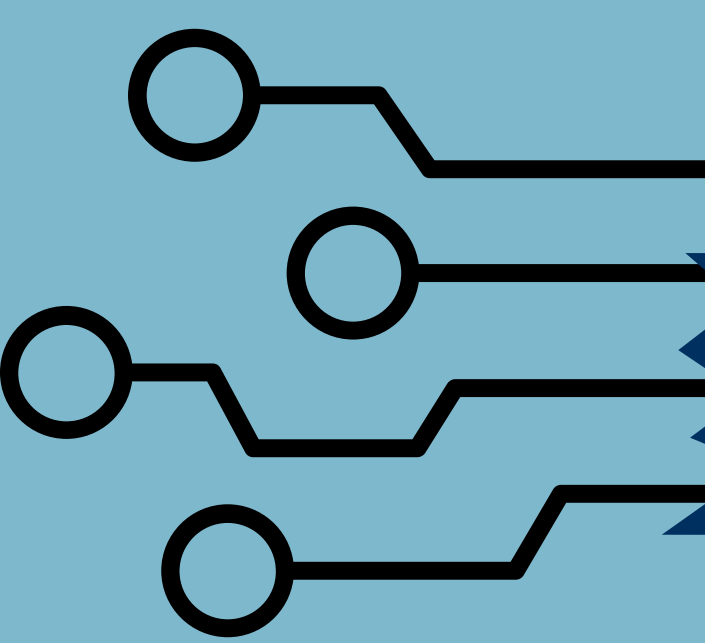
APRESENTAÇÃO.....	6
INTRODUÇÃO A CARTILHA.....	7
2. ACESSANDO O PhET.....	8
3. SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS USANDO O PhET.....	10
4. AS TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO (TIC) NO ENSINO DE ONDULATÓRIA: POTENCIALIZANDO SEQUENCIAS DIDÁTICAS	13
5. SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS EM ONDULATÓRIA.....	15
5.1. Sequência Didática Baseada na Teoria de David Ausubel utilizando a Simulação PhET "Introdução às Ondas.....	16
5.2. Sequência Didática Baseada na Teoria de David Ausubel utilizando a Simulação PhET "Onda em uma Corda".....	24
5.3. Sequência Didática Baseada na Teoria de David Ausubel utilizando a Simulação PhET "Ondas Sonoras”.....	33
5.4. Sequência Didática Baseada na Teoria de David Ausubel utilizando a Simulação PhET "Interferência de Ondas”	34
5.3. Sequência Didática Baseada na Teoria de David Ausubel utilizando a Simulação PhET "Fourier - Construindo Ondas”.....	35
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	36
REFERÊNCIAS.....	38



APRESENTAÇÃO

Esta cartilha digital foi elaborada com o propósito de oferecer aos professores e estudantes do Ensino Médio uma abordagem inovadora e significativa para o ensino de ondulatória, integrando as simulações interativas do PhET a sequências didáticas cuidadosamente planejadas. O material parte dos pressupostos da aprendizagem significativa, buscando superar os desafios tradicionais do ensino de ondas — frequentemente marcados pelo excesso de abstração e dificuldade de visualização — ao promover experiências concretas, colaborativas e contextualizadas em sala de aula. Por meio de roteiros passo a passo, exemplos práticos, orientações sobre o acesso e uso das simulações e modelos de avaliação, esta cartilha visa facilitar a mediação do professor e o protagonismo dos estudantes, tornando o aprendizado de ondulatória mais acessível e dinâmico. Ao conectar teoria, prática e tecnologia, esta cartilha pretende contribuir para a formação de sujeitos críticos, autônomos e preparados para compreender e aplicar os conceitos ondulatórios em diferentes contextos da vida real.





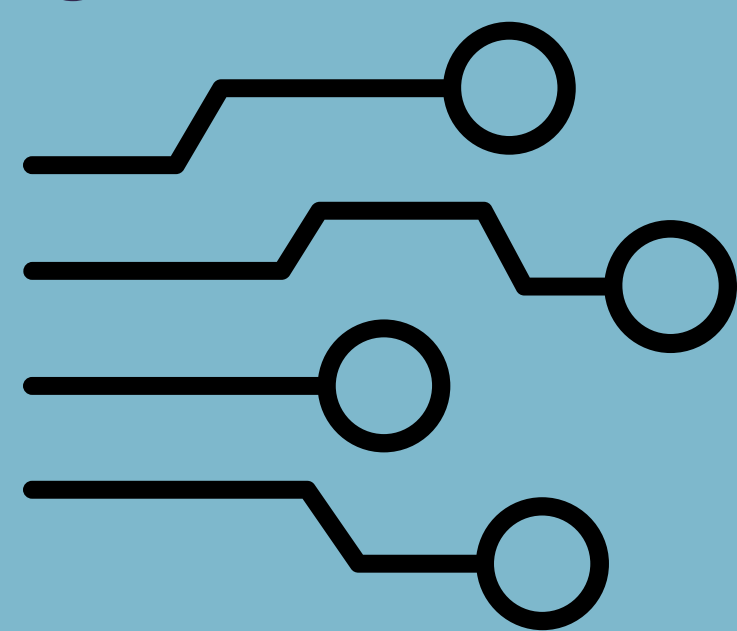
INTRODUÇÃO

A utilização de recursos digitais no processo educativo tem se mostrado uma ferramenta eficaz para engajar os alunos e proporcionar uma aprendizagem mais dinâmica. Nesse contexto, a Cartilha Digital propõe o uso das Simulações Interativas PhET como uma sequência didática para o ensino de ondulatória, ampliando o entendimento dos estudantes sobre as questões relacionadas às ondas.

O ensino de ondulatória muitas vezes enfrenta desafios, sendo percebido como abstrato e difícil de visualizar. Uma abordagem tradicional, centrada em equações e diagramas, pode resultar em uma compreensão limitada por parte dos alunos. A Cartilha Digital surge como resposta a essa problemática, oferecendo uma alternativa interativa e interativa que facilita a compreensão das características ondulatórias.

A Cartilha Digital e o uso do PhET através de sequências didáticas para o ensino de ondulatória destina-se a estudantes do ensino médio, especialmente aqueles em turmas de física. A abordagem interativa visa atender às diferentes formas de aprendizagem, proporcionando uma experiência de ensino mais inclusiva, por meio de uma aprendizagem significativa.

Como visto, a Cartilha Digital o uso do PhET utilizando sequências didáticas para o ensino de ondulatória oferece uma abordagem inovadora e envolvente que poderá superar desafios comuns nessa área do conhecimento. Ao integrar tecnologia e educação, busca-se não apenas transmitir conhecimento, mas tornar o aprendizado de ondulatória mais acessível, interessante e significativo para os alunos.



2.

ACESSANDO O PHET

O PhET Interactive Simulations é um laboratório virtual desenvolvido pela University of Colorado at Boulder (Universidade do Colorado em Boulder). O PhET oferece simulações interativas e divertidas de forma gratuita na área de Ciências da Natureza e Matemática.

A utilização do PhET é bastante simples, o professor só precisa possuir um computador, com java flash instalado e conexão com a internet para download das simulações ou utilizar de forma on-line. O download das simulações serve para serem utilizados na ausência da conexão com a internet.

Segundos Santos (2016, p. 8) o uso do PhET,



[...] pode ser de grande auxílio para o professor da educação básica, que necessita da utilização de experimentos para fundamentar e aperfeiçoar sua metodologia de ensino, procurando atribuir significado ao conceito físico, inter-relacionando-o com o cotidiano do estudante, dando significado a teoria que está sendo trabalhada.

Nesse sentido, de acordo com Araújo et al (2015) uso do software em sala de aula favorece uma aprendizagem por descoberta possibilitando aos alunos uma verificação dos conteúdos, permitindo que eles apresentem soluções para os problemas propostos, pois os mesmos podem verificar, por si só, todas as funções do simulador, e até mesmo questioná-las.

O PhET é disponibilizado gratuitamente e pode ser acessado através do seu navegador web de sua preferência pelo link (<https://phet.colorado.edu>) sendo esse link a versão em inglês, porém o mesmo também está disponibilizado em português no link (<https://phet.colorado.edu/pt-BR/>). Para acessar o PhET o professor necessita de um computador com internet e java flash instalado para ter acesso as simulações.

Ao abrir a página (inglês ou português) o professor encontrará uma variedade de simulações interativas todas possuindo embasamento teórico e sendo revisadas de forma periódica para tornar sua fidelidade à teoria trabalhada.

Após escolher a simulação desejada o professor só precisa clicar na simulação e uma nova aba será aberta com a simulação escolhida, para interagir com ela basta utilizar os controles e ajustes fornecidos pela simulação na própria aba.



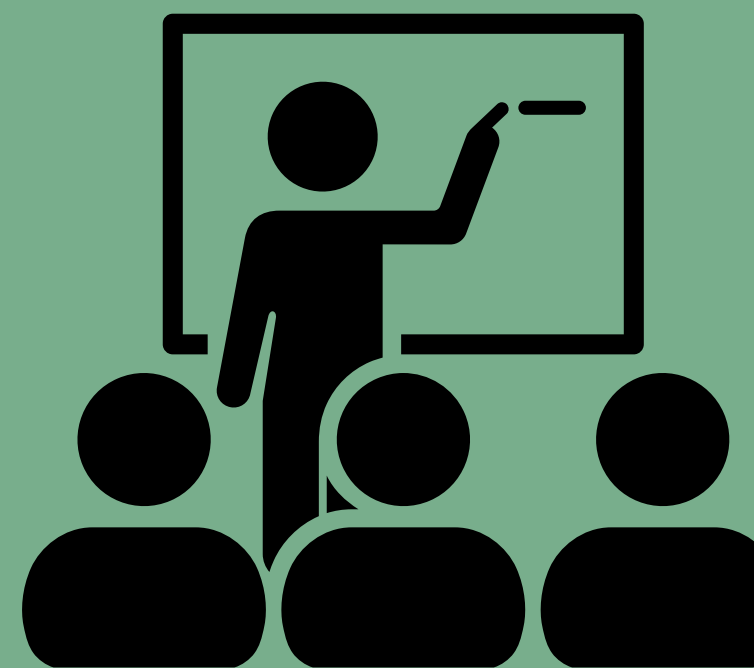
3.

SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS USANDO O PHET

A educação contemporânea busca métodos constantemente inovadores para promover uma aprendizagem significativa e envolvente. Nesse contexto, as Sequências Didáticas, especialmente quando incorporam ferramentas interativas como o PhET, emergem como instrumentos valiosos para alcançar esse objetivo. Estas sequências são séries de atividades pedagógicas planejadas que visam promover a construção do conhecimento de forma progressiva, conectando os conceitos teóricos com a prática e a experiência do aluno.

Nesse sentido, as sequências didáticas garantiram uma organização estruturada do conteúdo, permitindo que os professores introduzissem, desenvolvessem e consolidassem os conceitos de maneira sequencial. Isso facilita a compreensão progressiva e evolutiva do conhecimento, construindo uma base sólida para aprendizados mais avançados.

Ademais, a contextualização é fundamental para a compreensão dos conceitos. Nessa direção, as sequências didáticas procuraram oportunidades para vincular o conteúdo a situações do cotidiano, tornando-o mais acessível e relevante para os alunos. A contextualização estimula o interesse e a aplicação prática do conhecimento.

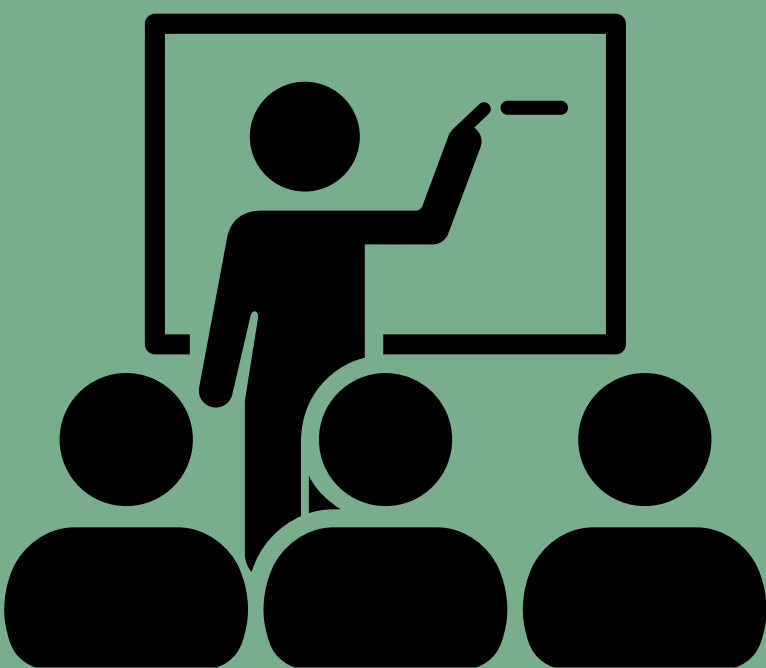


Ao integrar diferentes tipos de atividades, como experimentos virtuais, debates em grupo, resolução de problemas e projetos práticos, as sequências didáticas garantem que os alunos possam abordar os conceitos de maneiras variadas. Essa diversidade de abordagens atende a diferentes estilos de aprendizagem, promoção de inclusão e engajamento dos alunos nas atividades de ensino e aprendizagem

Como visto, as sequências didáticas, quando bem elaboradas, proporcionam uma abordagem de aprendizado ativo. Nessa direção, O PhET, por exemplo, oferece simulações interativas que permitem aos alunos explorarem e experimentarem conceitos, tornando a aprendizagem mais dinâmica, participativa e abrangente.

Ao incorporar o PhET ao uso de sequências didáticas, os educadores podem potencializar ainda mais os benefícios considerados abordados. O PhET oferece simulações interativas em diversas áreas, desde física e matemática, biologia até e química. Isso permite que os alunos explorem especificidades complexas de maneira prática, visualizando o impacto das variáveis e experimentando de forma virtual.

Essa abordagem não apenas fortalece a compreensão conceitual, mas também desenvolve habilidades práticas, como a resolução de problemas e a aplicação do conhecimento em contextos do mundo real. Além disso, ao utilizar o PhET, os educadores podem criar um ambiente de aprendizagem inclusivo, no qual, os alunos têm liberdade de explorar e aprender em seu próprio ritmo.

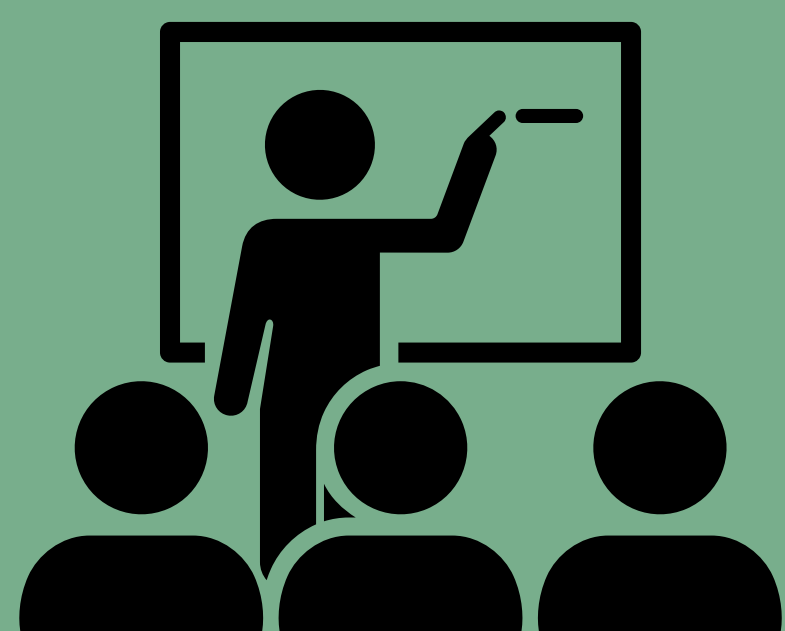


A incorporação de sequências didáticas usando o PhET representa uma estratégia educacional eficaz para promover uma aprendizagem mais envolvente, significativa e alinhada às necessidades e expectativas dos alunos na era da tecnologia. Essa abordagem, que une organização, contextualização e experiência prática, contribui para a formação de indivíduos mais preparados e motivados para enfrentar os desafios do século XXI.

As sequências didáticas são uma ferramenta valiosa para promover a aprendizagem significativa dos estudantes e quando aliadas as simulações do PhET, as sequências ganham um potencial ainda maior para engajar os alunos e aprimorar o processo educacional.

Ao utilizar o PhET em uma sequência didática o professor pode iniciar a abordagem de um novo tópico com a simulação, permitindo que os alunos explorem e observem os fenômenos antes de introduzir conceitos teóricos. Nesse sentido, possibilita que os estudantes criem suas próprias questões e busquem respostas, desenvolvendo um entendimento mais profundo dos conteúdos.

Em seguida, o professor pode conduzir discussões em sala de aula e promover atividades práticas propondo desafios relacionados à simulação. Dessa forma, o PhET se torna um suporte valioso para o desenvolvimento de habilidades na resolução de problemas, no trabalho em equipe e no pensamento crítico.



4 AS TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO (TICS) NO ENSINO DE ONDULATÓRIA: POTENCIALIZANDO SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS

A introdução das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) na educação revolucionou a forma como os professores abordam os conteúdos. E no ensino de Ondulatória, não é diferente. A utilização estratégica das TICs, como simulações interativas, softwares educativos e recursos online, desempenha um papel crucial no enriquecimento das sequências didáticas, oferecendo vantagens significativas para o aprendizado dos alunos.

As simulações interativas e softwares específicos, como os disponíveis no PhET, permitem que os alunos visualizem e experimentem virtualmente as características ondulatórias. Isso facilita a compreensão de conceitos abstratos, como amplitude, frequência e comprimento de onda, por meio de representações gráficas e interações dinâmicas.

Como visto fica evidenciado que, as TICs possibilitam uma abordagem de aprendizagem ativa, na qual os alunos podem explorar, manipular e testar diferentes cenários. Isso estimula a curiosidade, a investigação e a descoberta, tornando o processo de aprendizagem mais envolvente e participativo.

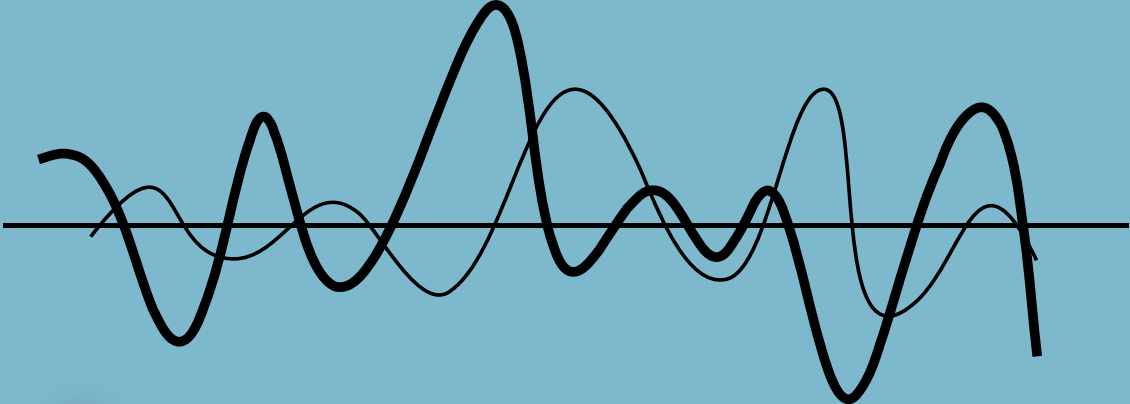
Nesse sentido a integração de TICs enriquece as sequências didáticas ao oferecer uma variedade de recursos, como vídeos explicativos, simulações, jogos educativos e plataformas interativas. Essa diversidade atende a diferentes estilos de aprendizagem, tornando o ensino mais inclusivo e adaptado às necessidades individuais dos alunos.

As TICs permitem a contextualização dos conceitos de Ondulatória em situações do cotidiano, aproximando-se da teoria e da prática. Através de simulações, os alunos podem aplicar os conhecimentos adquiridos em contextos reais, compreendendo a relevância e as aplicações dos ondulatórios.

Os softwares educativos oferecem a vantagem de fornecer feedback imediato e personalizado aos alunos. Isso permite que eles identifiquem erros, compreendam conceitos específicos e ajustem seu aprendizado de forma independente, promovendo uma aprendizagem mais eficaz.

Em uma sequência didática sobre ondulatória, os professores podem incorporar simulações interativas do PhET para explorar a propagação de ondas, demonstrando como diferentes variações no comportamento ondulatório. Os alunos, então, utilizam softwares para realizar experimentos virtuais, analisar resultados podem e discutir em grupos online. A sequência pode culminar em projetos práticos, nos quais os alunos aplicam os conhecimentos adquiridos na resolução de problemas do mundo real.

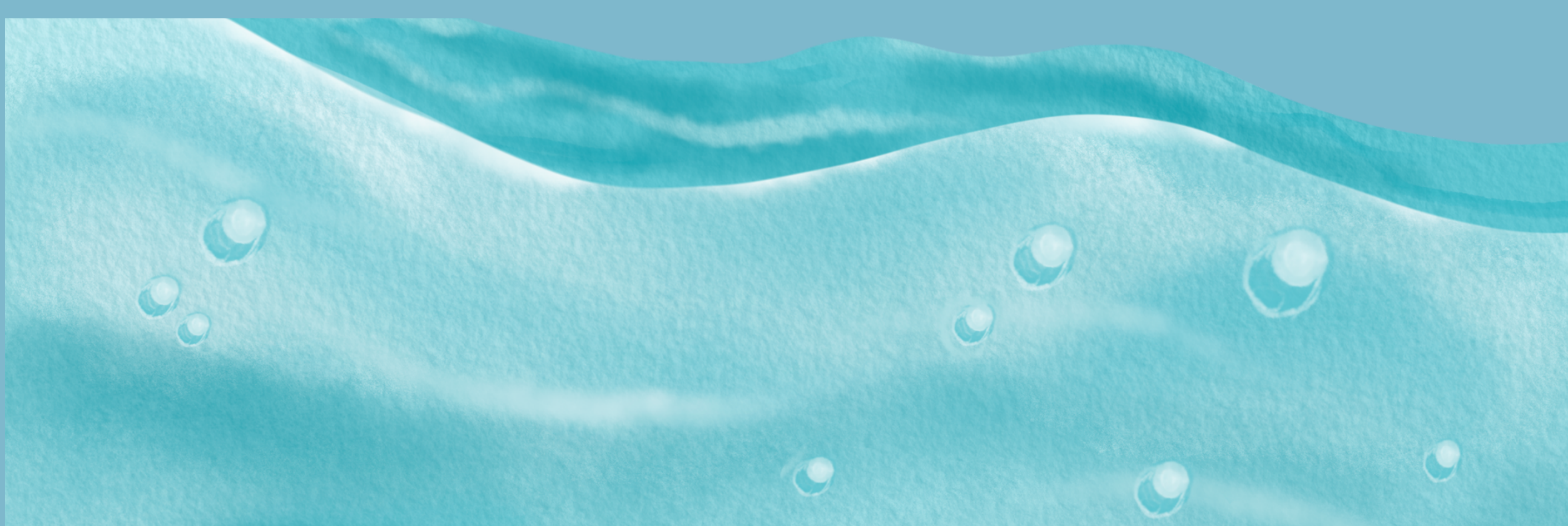
Diante disso, importa destacar que a integração das TICs nas sequências didáticas de Ondulatória potencializa o ensino, tornando-o mais acessível, dinâmico e alinhado às expectativas da geração digital. Ao aproveitar as ferramentas tecnológicas disponíveis, os educadores adquiriram uma experiência de aprendizado enriquecedor, capacitando os alunos para enfrentar os desafios do século XXI com uma compreensão sólida e aplicável ao estudo de ondulatória.



5.

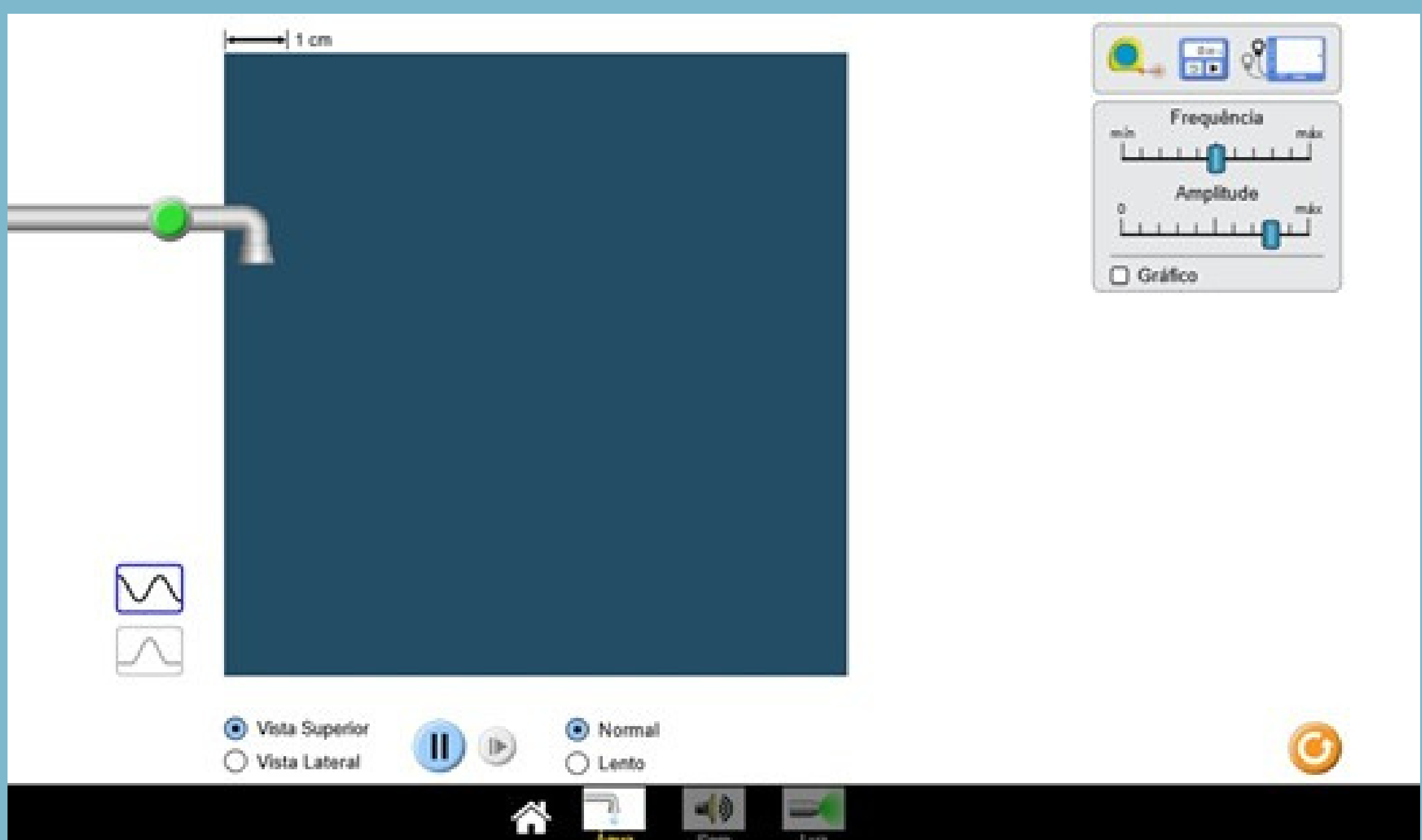
SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS EM ONDULATÓRIA

O desenvolvimento e a aplicação de sequências didáticas interativas para o ensino de ondas no Ensino Médio, fundamentadas nas teorias de Aprendizagem Significativa de David Ausubel. O foco central é proporcionar a compreensão aprofundada dos conceitos fundamentais de ondas mecânicas — como frequência, amplitude, comprimento de onda e velocidade de propagação — por meio da articulação entre organizadores prévios, experimentação digital e atividades reflexivas, utilizando as simulações PhET “Introdução às Ondas” e “Onda em uma Corda”. Ao longo de dez aulas estruturadas (cinco aulas para cada uma das simulações), os estudantes são convidados a resgatar conhecimentos prévios, explorar fenômenos ondulatórios em ambientes virtuais, construir significados a partir de discussões colaborativas e resolver desafios práticos que integram teoria e prática. Assim, o estudo busca evidenciar como a mediação ativa do professor, o uso de recursos tecnológicos e a valorização das experiências dos alunos contribuem para uma aprendizagem mais significativa, contextualizada e duradoura dos conteúdos de ondulatória.



5.1 SEQUÊNCIA DIDÁTICA BASEADA NA TEORIA DE DAVID AUSUBEL UTILIZANDO A SIMULAÇÃO PHET "INTRODUÇÃO ÀS ONDAS"

Essa sequência didática onde foi trabalhado a essa simulação do PhET “Introdução a Ondas” foi dividida em cinco aulas. A imagem a seguir mostra a ilustração de como é a simulação Introdução à Ondas quando se abre a simulação no PhET.



Fonte: PhET Interactive Simulations, 2025.

A sequência tem como objetivo geral: compreender os conceitos fundamentais de ondas mecânicas (frequência, amplitude, comprimento de onda e velocidade), desenvolvendo a aprendizagem significativa por meio de sequências didáticas baseadas na teoria de David Ausubel, articuladas à experimentação digital com a simulação PhET "Introdução às Ondas".

AULA 1: PREPARAÇÃO E DIAGNÓSTICO DOS CONHECIMENTOS PRÉVIOS

Objetivo da Aula: Identificar os conhecimentos prévios dos alunos, estabelecendo uma base para a construção de novos conceitos sobre ondas.

Atividades:

- **Organizadores prévios:** Aplicação de um questionário diagnóstico sobre movimento harmônico simples, som e luz.
- **Revisão dialogada:** Apresentação de exemplos do cotidiano (ondas no mar, sons do ambiente), relacionando-os aos conceitos básicos.
- **Vídeo ou ilustração:** Exibição de material audiovisual curto sobre tipos de ondas (longitudinal e transversal)
 - **Sugestão de vídeos**
 - Ondas numa Corda | Experimentos - Mola Slinky ondas transversais estacionárias (https://www.youtube.com/watch?v=OEFK_vZTpio&t=1s)
 - Intro to Wave Simulation PHET (<https://www.youtube.com/watch?v=cuEScVTAC-8>)
 - Equação fundamental da Ondulatória (<https://www.youtube.com/watch?v=9aYwssYY2jE>)
- **Atividade individual:** Alunos anotam exemplos de ondas do cotidiano e compartilham com a turma.
- **Mediação do professor:** Discussão orientada com perguntas investigativas para estimular o interesse, conforme Ausubel (2003).

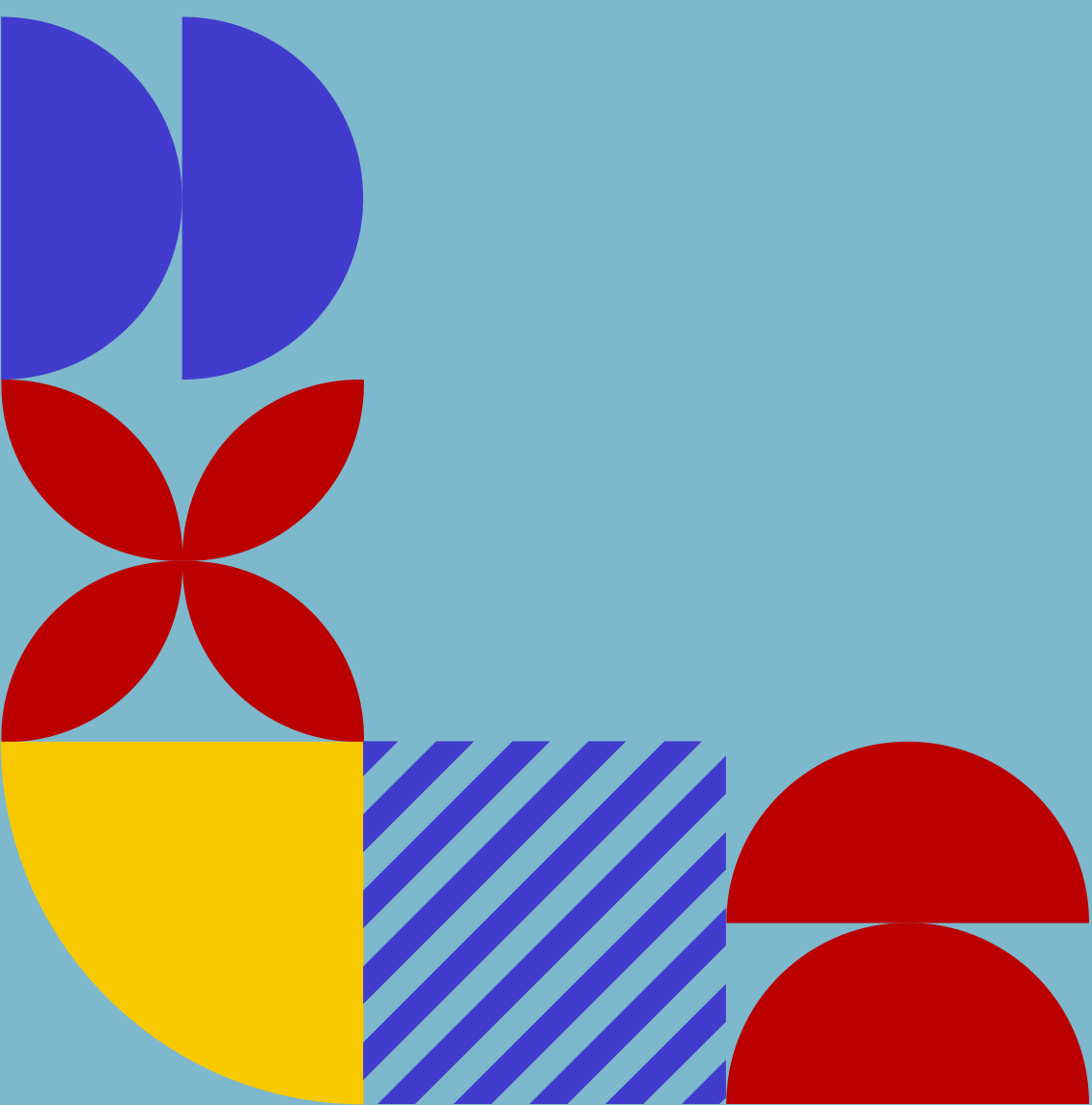


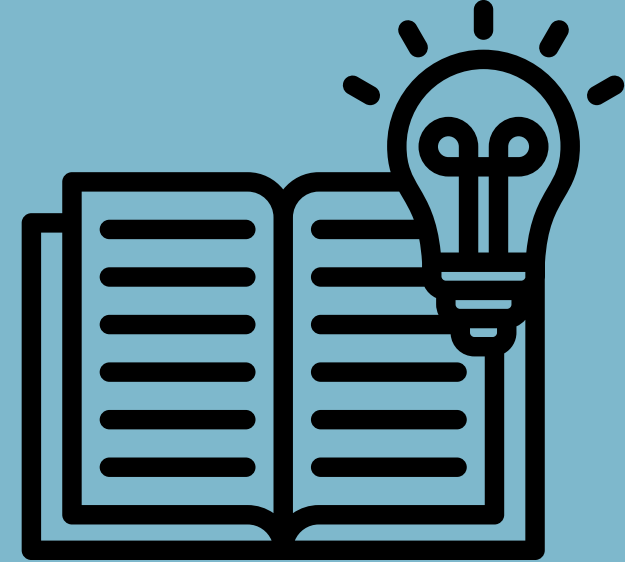
AULA 2: EXPLORAÇÃO INICIAL E ATIVAÇÃO COGNITIVA

Objetivo da Aula: Promover a exploração autônoma da simulação PhET para que os alunos construam hipóteses e observem o comportamento das ondas.

Atividades:

- **Pergunta-problema:** “Como a velocidade de uma onda depende da sua frequência ou comprimento de onda?”
- **Exploração livre da simulação:** Os alunos manipulam parâmetros (frequência, amplitude, comprimento de onda) observando as alterações nas ondas.
- **Registro de observações:** Alunos anotam relações percebidas e constroem hipóteses.
- **Acompanhamento do professor:** Mediação ativa para orientar, provocar reflexão e garantir a construção do significado (Ausubel, 2003).
- **Discussão rápida:** Compartilhamento inicial das descobertas e possíveis dúvidas.



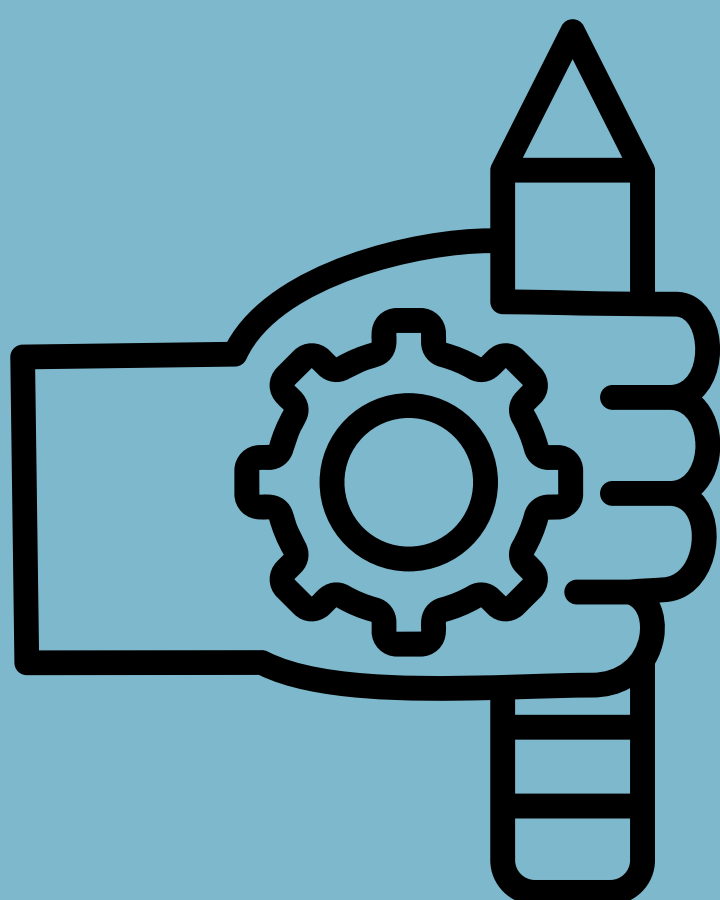


AULA 3: DISCUSSÃO E CONSTRUÇÃO DO SIGNIFICADO

Objetivo da Aula: Consolidar os conceitos fundamentais de ondas, relacionando as observações práticas com os modelos matemáticos e teóricos.

Atividades:

- **Discussão em grupo:** Compartilhamento das observações da simulação e análise das relações entre frequência, comprimento de onda e velocidade.
- **Apresentação da equação $v = f \cdot \lambda$:** Explicação guiada pelo professor, ilustrando com exemplos práticos.
- **Relação teoria-prática:** Mediação do professor para conectar as experiências dos alunos à formalização matemática, de acordo com Moreira (2011).
- **Síntese colaborativa:** Grupos elaboram pequenos resumos relacionando o que observaram ao conceito formal.



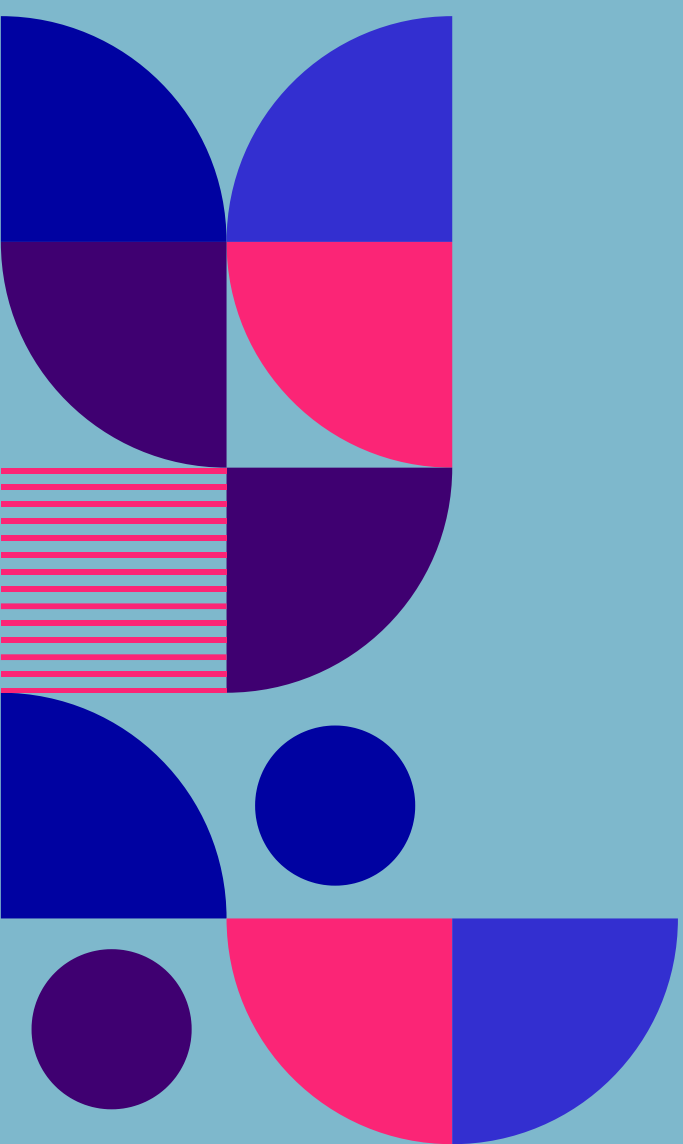
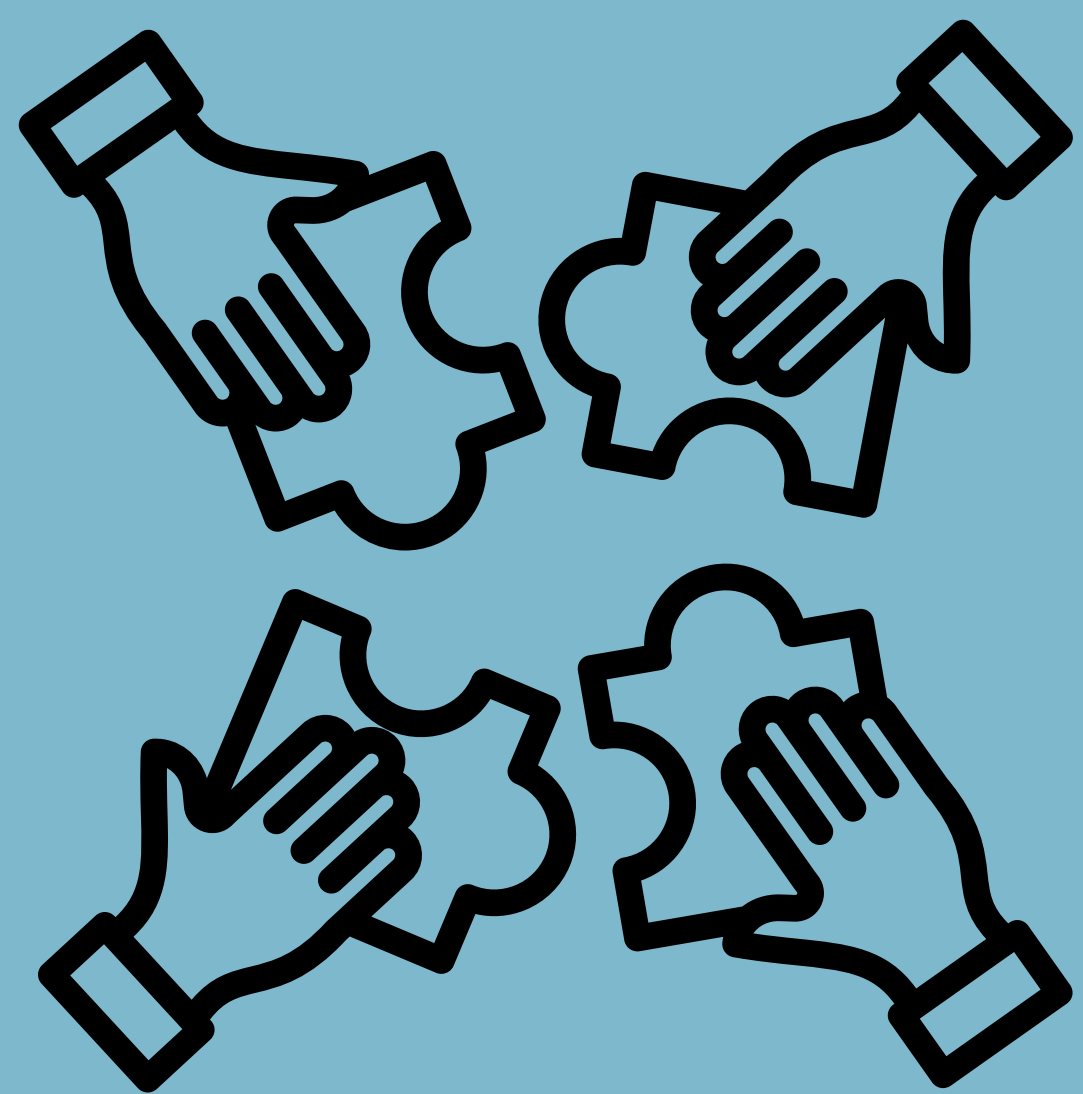
AULA 4: FIXAÇÃO E APLICAÇÃO PRÁTICA



Objetivo da Aula: Consolidar o aprendizado por meio de resolução de problemas práticos e experimentação colaborativa utilizando a simulação.

Atividades:

- **Atividade em grupo:** Resolver problemas usando a simulação. Os alunos devem prever a velocidade de uma onda variando a frequência e o comprimento de onda e comparar valores teóricos e simulados.
- **Apresentação dos resultados:** Cada grupo apresenta cálculos, hipóteses e confronta suas respostas com os conceitos teóricos.
- **Discussão orientada:** O professor incentiva a análise de erros, correções e justificativas, promovendo a aprendizagem significativa.
- **Integração teoria e prática:** Reforço das conexões entre conceitos, fórmulas e observações feitas na simulação.



AULA 5: AVALIAÇÃO E REFLEXÃO FINAL



Objetivo da Aula: Avaliar a aprendizagem, promover reflexão crítica e consolidar os conceitos de ondas trabalhados ao longo da sequência.

Atividades:

- **Avaliação subjetiva:** Questionário com questões que exijam a relação entre frequência, amplitude, comprimento de onda e velocidade, incluindo situações-problemas e questões reflexivas.
- **Discussão coletiva:** Compartilhamento e análise das respostas, dúvidas e dificuldades.
- **Mediação final:** O professor esclarece conceitos centrais, retoma relações importantes e estimula os alunos a refletirem sobre o que aprenderam e sua aplicação em contextos práticos.
- **Reflexão individual ou em grupo:** Alunos expressam por escrito, como a sequência contribuiu para sua aprendizagem.





Abaixo segue um modelo de pré-teste e pós-teste utilizado para essa simulação, ressaltando ainda que o professor pode fazer adaptações nos modelos abaixo ou criar seu próprio pré-teste e pós-teste.

Pré-Teste – Introdução às Ondas

Aluno(a): _____

Questão 1: O que é uma onda mecânica e quais são seus principais tipos?

Questão 2: Dê exemplos de ondas mecânicas presentes no cotidiano e explique como elas se propagam.

Questão 3: O que você entende por frequência e comprimento de onda? Como você acha que esses dois parâmetros se relacionam?

Questão 4: Como você acha que a velocidade de uma onda depende de sua frequência e comprimento de onda?

Questão 5: Explique como você acredita que a amplitude de uma onda influencia a energia transportada por ela.

Questão 6: Como você explicaria a diferença entre uma onda que se propaga no ar e uma onda que se propaga na água? Quais características você acha que mudam?



Pós-Teste – Conceitos de Ondas

Aluno(a): _____

Questão 1: Após utilizar a simulação, explique como a frequência de uma onda afeta o seu comprimento de onda e, conseqüentemente, sua velocidade de propagação.

Questão 2: Na simulação, você ajustou a amplitude de uma onda. Como a amplitude afeta a energia transportada pela onda? Dê exemplos do que foi observado.

Questão 3: Descreva a diferença observada no comportamento de uma onda quando você ajustou a frequência em diferentes níveis. Como isso afetou a visualização da onda na simulação?

Questão 4: Usando o que aprendeu com a simulação, como você explicaria a relação entre a velocidade de uma onda, sua frequência e seu comprimento de onda?

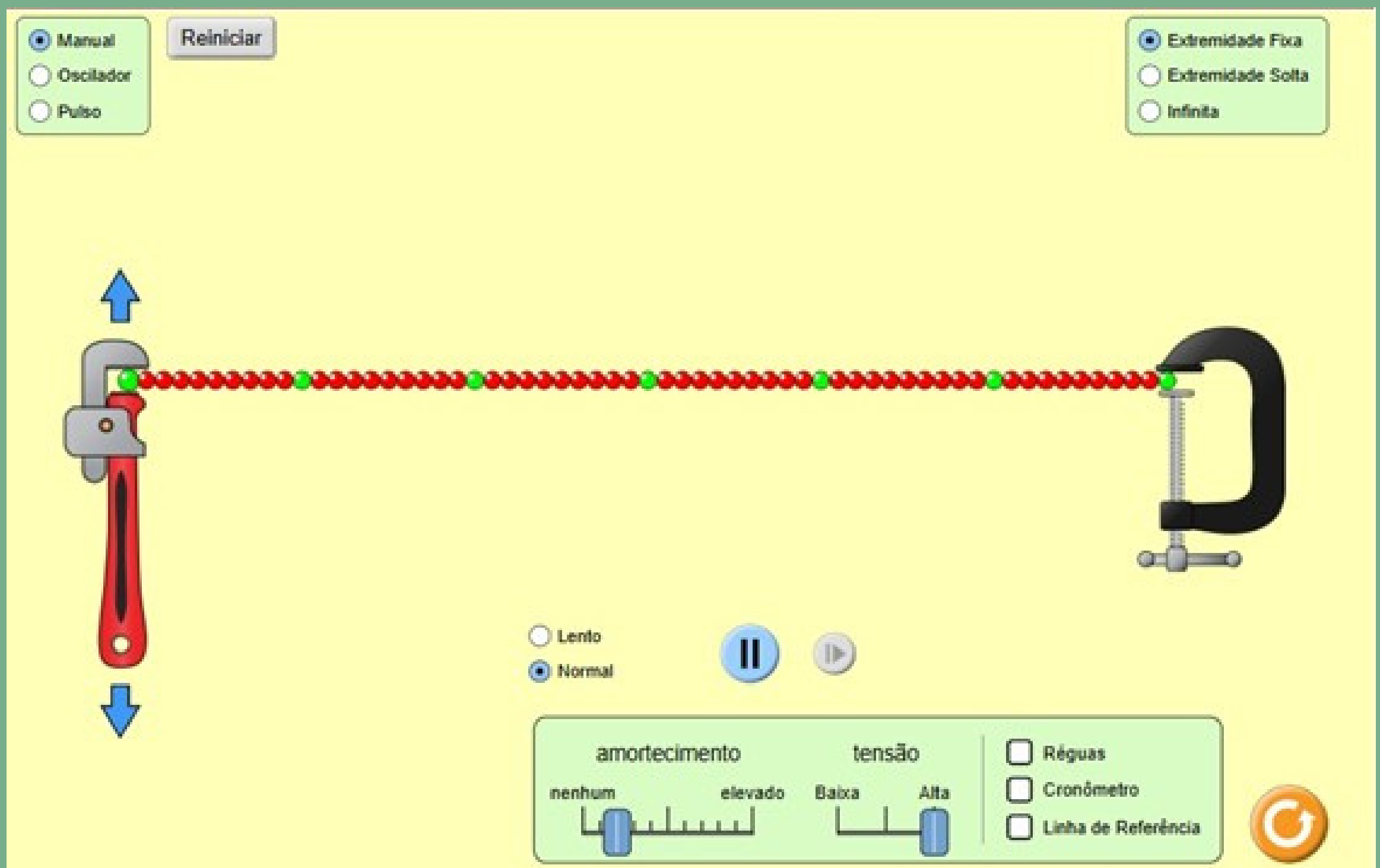
Questão 5: Durante a simulação, você observou ondas em diferentes meios. Como a velocidade de propagação de uma onda varia entre diferentes meios (por exemplo, ar, água, e sólidos) e o que você pôde observar na simulação?

Questão 6: Relacione a simulação com o movimento harmônico simples (MHS). Como a simulação ajudou você a entender melhor o conceito de MHS em ondas?



5.2 SEQUÊNCIA DIDÁTICA BASEADA NA TEORIA DE DAVID AUSUBEL UTILIZANDO A SIMULAÇÃO PHET "ONDA EM UMA CORDA"

Essa sequência didática onde foi trabalhado a essa simulação do PhET “Onda em uma corda” foi dividida em cinco aulas. A imagem a seguir mostra a ilustração de como é a simulação Ondas em uma corda quando se abre a simulação no PhET.



Fonte: PhET Interactive Simulations, 2025.

A sequência tem como objetivo geral: Compreender os conceitos fundamentais de ondas em uma corda — frequência, amplitude, comprimento de onda, velocidade de propagação e tipos de ondas — utilizando a simulação "Onda em uma Corda" do PhET para promover uma aprendizagem significativa baseada nas teorias de David Ausubel.

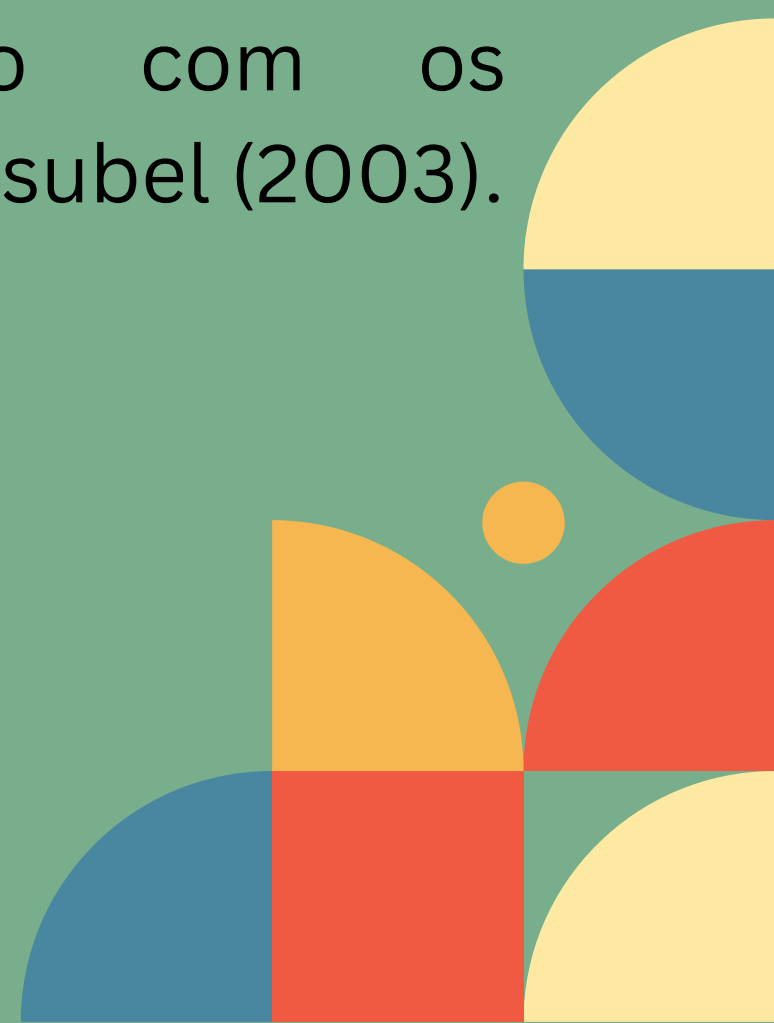


AULA 1 – PREPARAÇÃO E DIAGNÓSTICO DOS CONHECIMENTOS PRÉVIOS

Objetivo da aula: Ativar os conhecimentos prévios dos alunos, estabelecendo conexões iniciais com os temas a serem estudados.

Atividades:

- Aplicação de um questionário diagnóstico (organizador prévio) sobre conceitos básicos de ondas, movimento harmônico simples e exemplos cotidianos (cordas, molas, instrumentos).
- Discussão inicial sobre experiências pessoais dos alunos com vibração de cordas em instrumentos musicais. Pergunta disparadora: "O que vocês já observaram sobre como a vibração de uma corda produz som?".
- Exploração breve dos conceitos de frequência, amplitude e tipos de ondas (transversais e longitudinais), conectando-os a situações do cotidiano.
- Exibição de vídeo ou animação curta sobre ondas em cordas.
 - **Sugestão de Vídeos:**
 - Onda em Corda - Simulações Interativas PhET (<https://www.youtube.com/watch?v=3StZ24s5io>)
 - Ondas numa corda: propriedades e reflexão (<https://www.youtube.com/watch?v=Jb6a0KE7HQM>)
- Mediação do professor: estimulação da curiosidade, incentivo à participação e relação com os conhecimentos prévios, segundo David Ausubel (2003).





AULA 2 – EXPLORAÇÃO LIVRE E ATIVAÇÃO COGNITIVA COM A SIMULAÇÃO

Objetivo da aula: Explorar de maneira autônoma, os comportamentos das ondas em uma corda por meio da simulação, desenvolvendo hipóteses e observando relações entre parâmetros.

Atividades:

- **Início com uma questão instigante:** "Como a frequência, a amplitude ou a tensão influenciam o comportamento de uma onda em uma corda?"
- Exploração livre da simulação "Onda em uma Corda" do PhET, onde os alunos ajustam parâmetros e observam efeitos, anotando suas observações.
- **Professor circula, media e provoca reflexões:** "O que você nota quando aumenta a frequência? Como a amplitude afeta a onda?"
- Registro das principais hipóteses e observações dos alunos, preparando terreno para a construção teórica posterior.
- Encorajamento para que os alunos relacionem o observado na simulação com situações reais (instrumentos, molas etc.).



AULA 3 – DISCUSSÃO, MEDIAÇÃO E CONSTRUÇÃO DO SIGNIFICADO

Objetivo da aula: Consolidar conceitos fundamentais de ondas, formalizando-os a partir das observações práticas e conectando teoria e prática.

Atividades:

- **Discussão em grupo sobre as observações feitas na simulação:** compartilhamento e debate de hipóteses.
- Mediação do professor para apresentar formalmente conceitos como ondas transversais e longitudinais, frequência, amplitude, comprimento de onda e velocidade de propagação, utilizando a simulação em tempo real como apoio visual.
- Apresentação e explicação da equação $v = f \cdot \lambda$, com exemplos práticos retirados das simulações e de situações cotidianas.
- **Atividade:** Grupos discutem e registram como os parâmetros manipulados influenciaram os comportamentos observados na simulação.
- Integração entre o novo conhecimento e os saberes prévios dos alunos, promovendo a aprendizagem significativa.

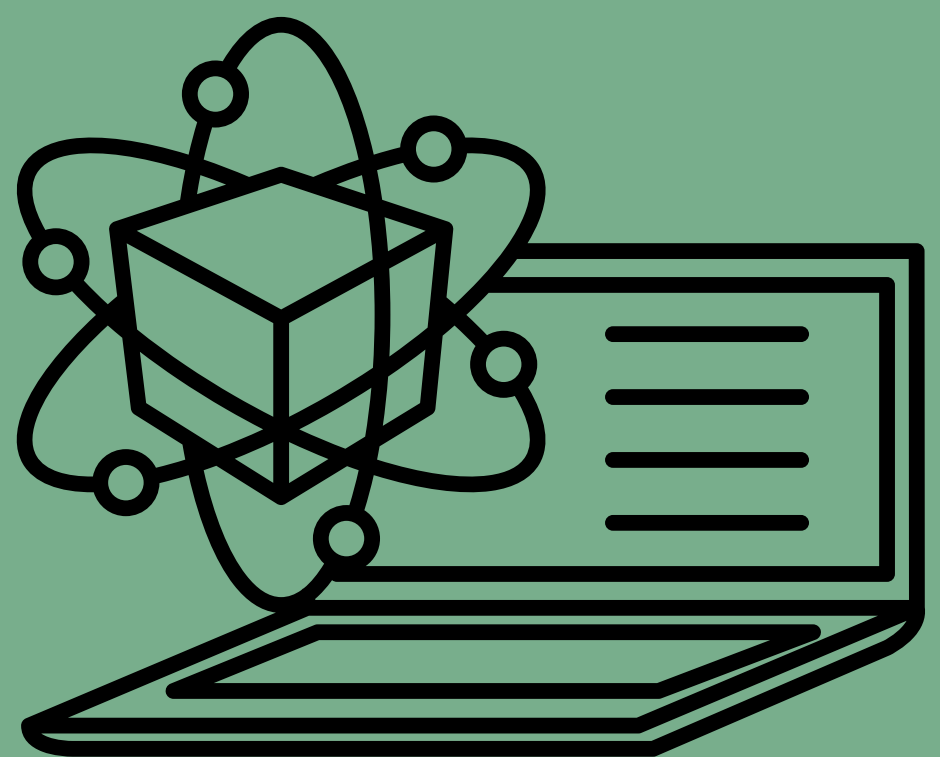


AULA 4 – ATIVIDADES DE FIXAÇÃO E APLICAÇÃO PRÁTICA

Objetivo da aula: Consolidar o aprendizado por meio de resolução de problemas, desafios práticos e aplicação dos conceitos em diferentes contextos.

Atividades:

- **Proposição de um desafio prático:** “Utilizando a simulação, como determinar a velocidade de propagação de uma onda em uma corda variando frequência e comprimento de onda?”
- **Atividade em grupos:** variar parâmetros (frequência, amplitude, tensão) na simulação, identificar e explicar diferenças entre ondas estacionárias e propagantes, registrar resultados.
- Apresentação e discussão dos resultados dos grupos, relacionando teoria e prática, identificando possíveis erros e propondo correções.
- Professor incentiva reflexão sobre como os conceitos estudados aparecem em diferentes situações do cotidiano e reforça o papel do trabalho colaborativo.
- Ênfase na construção coletiva do significado e na contextualização do aprendizado.



AULA 5 – AVALIAÇÃO E REFLEXÃO FINAL

Objetivo da aula: Avaliar a aprendizagem, promovendo a reflexão crítica e consolidando os conceitos de ondas trabalhados na sequência.

Atividades:

- Aplicação de uma avaliação subjetiva, com questões abertas que envolvam explicações sobre frequência, amplitude, comprimento de onda, velocidade e tipos de ondas, sempre conectando a experiência prática da simulação com a teoria.
- **Discussão final:** alunos compartilham suas respostas, analisam interpretações diferentes e refletem sobre como podem aplicar os conceitos em novos contextos.
- **Mediação ativa do professor:** esclarecimento de dúvidas, retomada dos principais conceitos, identificação de avanços e dificuldades.
- **Reflexão conjunta:** alunos expressam por escrito como a sequência contribuiu para a aprendizagem e onde podem perceber a aplicação dos conceitos em sua vida.
- Encerramento reforçando a importância da aprendizagem significativa, da mediação do professor e do uso de recursos digitais para o ensino de Física.



Abaixo segue um modelo de pré-teste e pós-teste utilizado para essa simulação, ressaltando ainda que o professor pode fazer adaptações nos modelos abaixo ou criar seu próprio pré-teste e pós-teste.

Pré-Teste – Onda em uma Corda

Aluno(a): _____

Questão 1: O que você entende por uma onda? Cite alguns exemplos de ondas que você conhece.

Questão 2: Você já observou cordas vibrando em algum instrumento musical, como um violão? O que você acha que influencia o comportamento dessas cordas quando elas vibram?

Questão 3: O que você acha que acontece com a onda em uma corda quando a frequência aumenta? Como isso afetaria o som produzido por um instrumento de cordas?

Questão 4: O que é amplitude em uma onda? Como você acha que a amplitude influencia o comportamento de uma onda em uma corda?

Questão 5: Você acredita que a tensão em uma corda influencia a velocidade da onda? Explique sua resposta.

Questão 6: O que você imagina ser a diferença entre uma onda que se propaga e uma onda estacionária em uma corda?



Pós-Teste – Onda em uma Corda (Após a Simulação)

Aluno(a): _____

Questão 1: Depois de usar a simulação, explique como a frequência da onda em uma corda afeta o comprimento de onda. O que você observou quando aumentou a frequência?

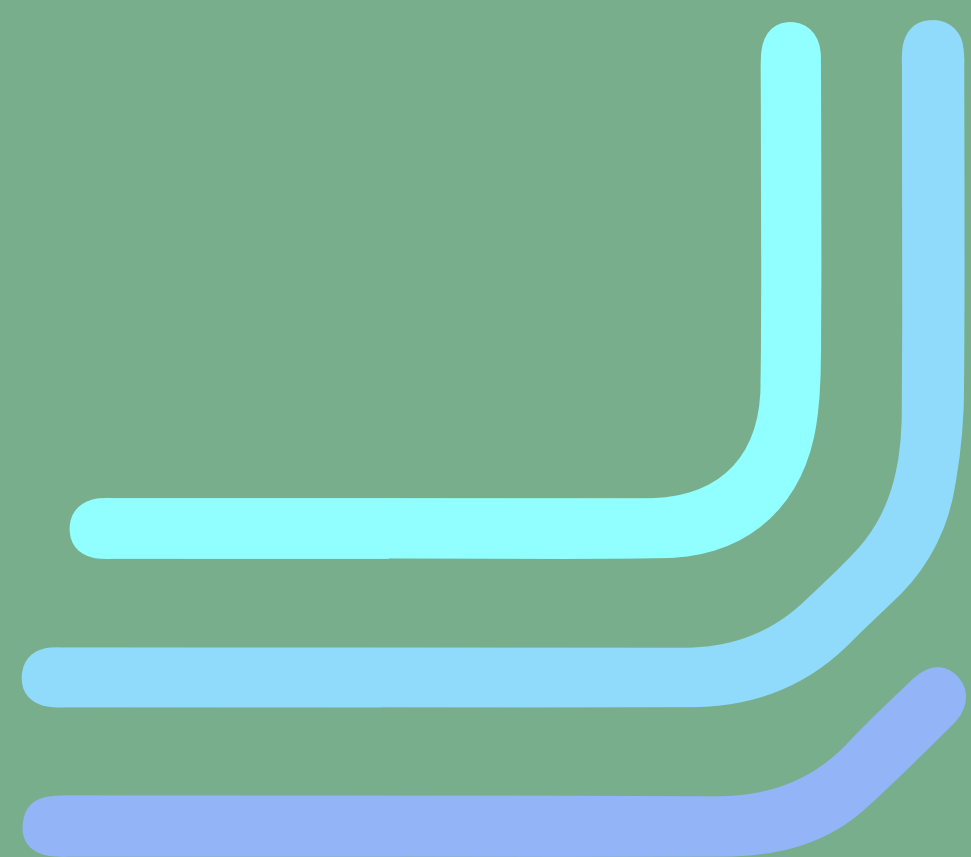
Questão 2: Com base na simulação, como a tensão da corda influenciou a velocidade da propagação da onda? O que você pôde concluir?

Questão 3: Descreva como a amplitude de uma onda em uma corda afeta sua altura (ou "tamanho"). Isso influenciou a velocidade da onda? Explique com base no que observou na simulação.

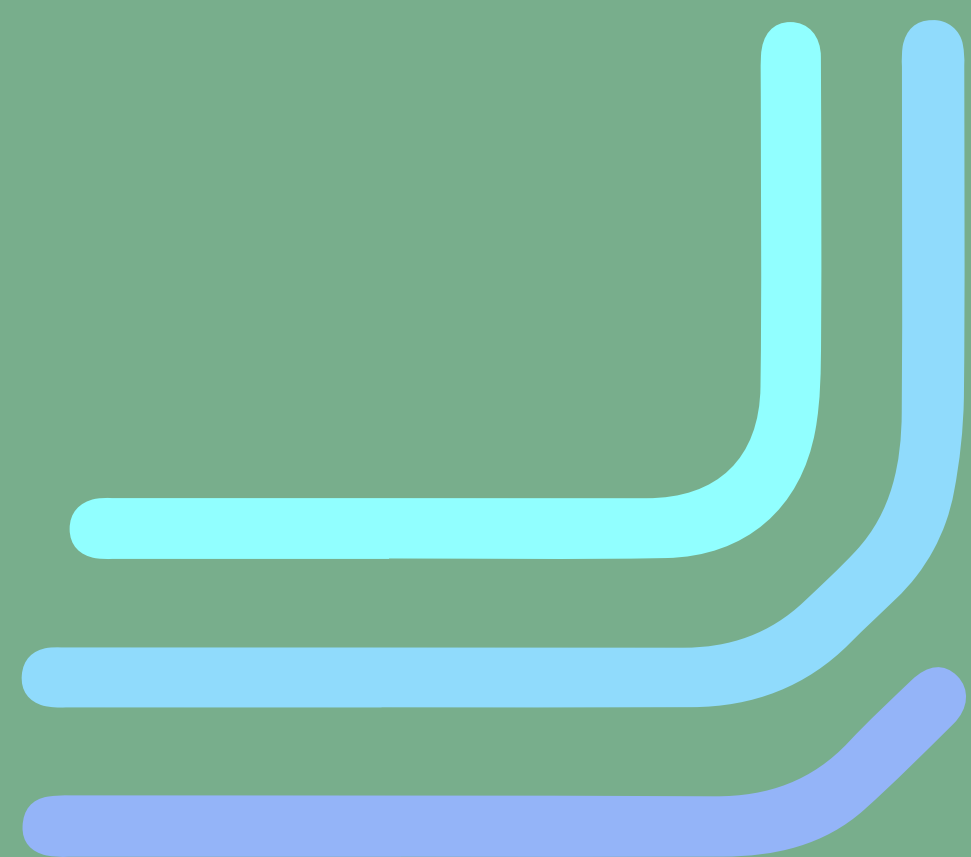
Questão 4: Usando o que aprendeu na simulação, explique a diferença entre uma onda estacionária e uma onda que se propaga em uma corda.

Questão 5: Durante a simulação, você observou ondas em diferentes tensões e frequências. Como esses dois parâmetros influenciam a velocidade de propagação da onda?

Questão 6: Com base na equação $v=f \times \lambda$, relacione os conceitos de frequência, comprimento de onda e velocidade de propagação. Como esses conceitos foram demonstrados na simulação?

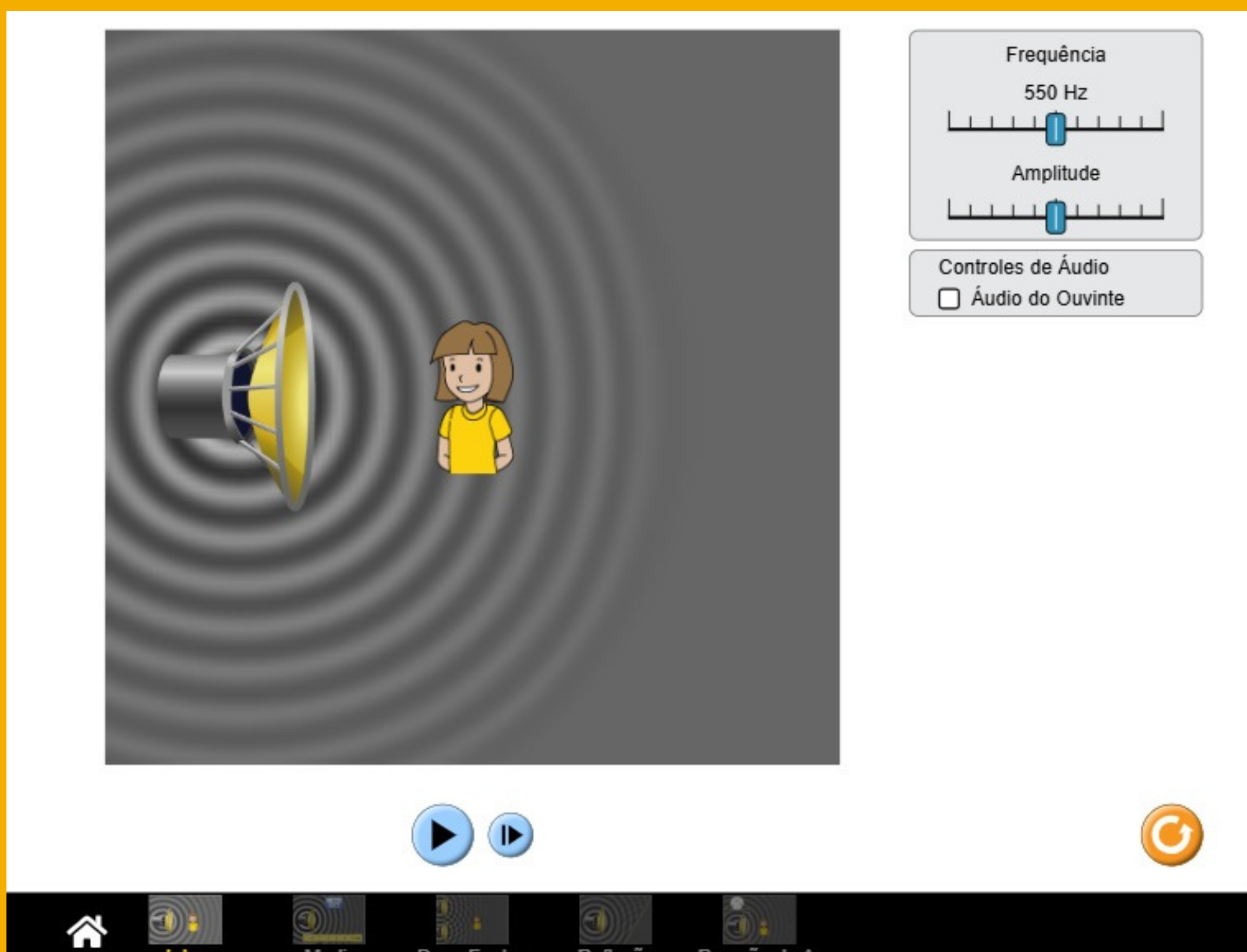


As Simulações a seguir também fazem parte do conteúdo sobre Ondulatória e para serem trabalhadas essas simulações o professor pode se basear na mesma estrutura das Sequências Didáticas trabalhadas nas Simulações acima o professor é livre para fazer as adaptações, acrescentar mais aulas na estrutura da sequência, em decorrências da realidade de cada sala de aula.



5.3 SEQUÊNCIA DIDÁTICA BASEADA NA TEORIA DE DAVID AUSUBEL E MARCO ANTÔNIO MOREIRA UTILIZANDO A SIMULAÇÃO PHET "ONDAS SONORAS"

Essa sequência didática onde foi trabalhado a essa simulação do PhET “Ondas Sonoras” pode ser trabalhadas seguindo o padrão das simulações anteriores. A imagem a seguir mostra a ilustração de como é a simulação Ondas Sonoras quando se abre a simulação no PhET.



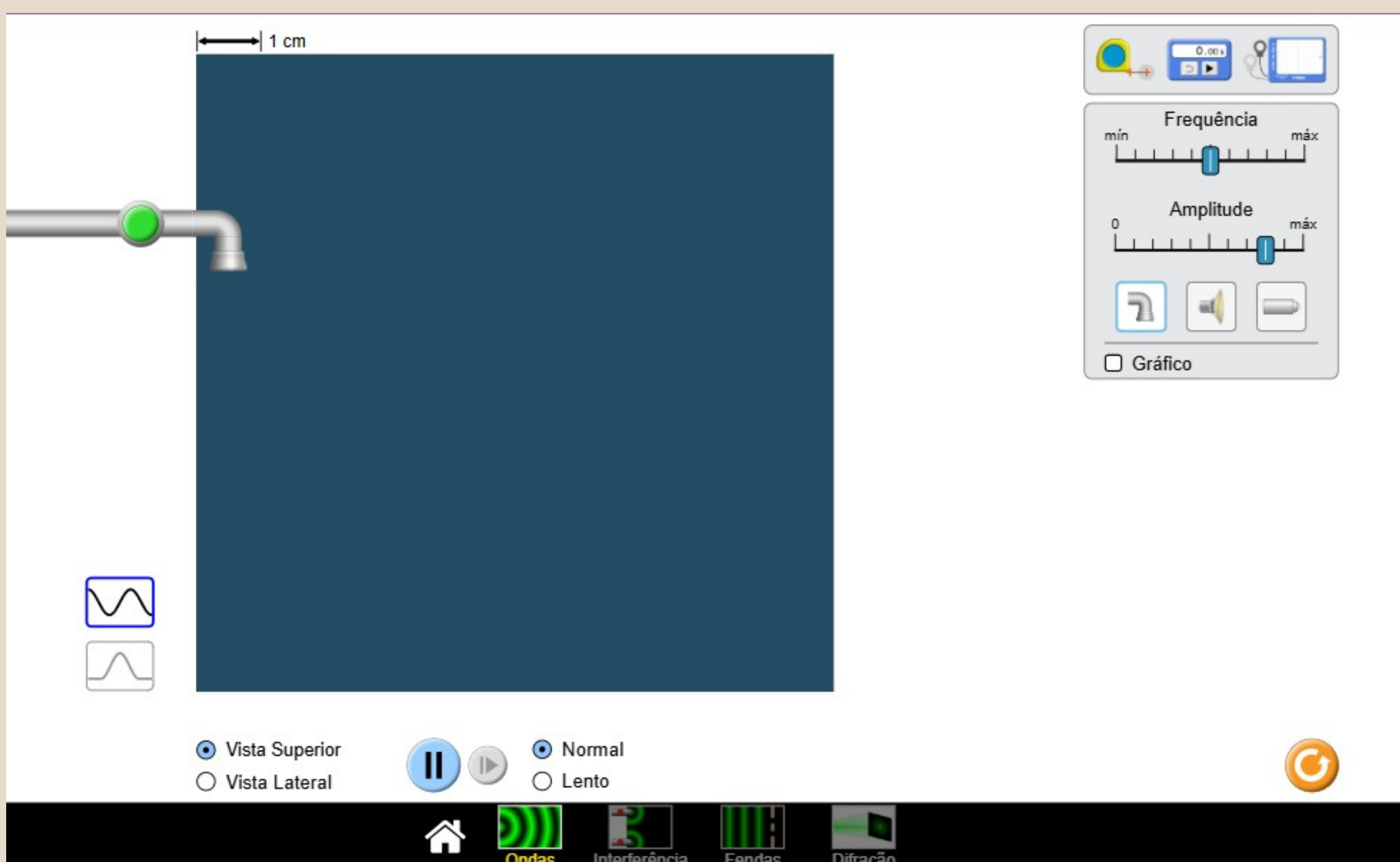
Fonte: PhET Interactive Simulations, 2025.

A sequência tem como objetivo geral: Compreender as características e comportamento das ondas sonoras, como frequência, amplitude, comprimento de onda e velocidade, utilizando a simulação PhET e desenvolvendo uma aprendizagem significativa com base nas teorias de David Ausubel e Marco Antônio Moreira.



5.4 SEQUÊNCIA DIDÁTICA BASEADA NA TEORIA DE DAVID AUSUBEL E MARCO ANTÔNIO MOREIRA UTILIZANDO A SIMULAÇÃO PHET "INTERFERÊNCIA DE ONDAS"

Essa sequência didática onde foi trabalhado a essa simulação do PhET “Interferência de Ondas” pode ser trabalhadas seguindo o padrão das simulações anteriores. A imagem a seguir mostra a ilustração de como é a simulação interferência de ondas quando se abre a simulação no PhET.



Fonte: PhET Interactive Simulations, 2025.

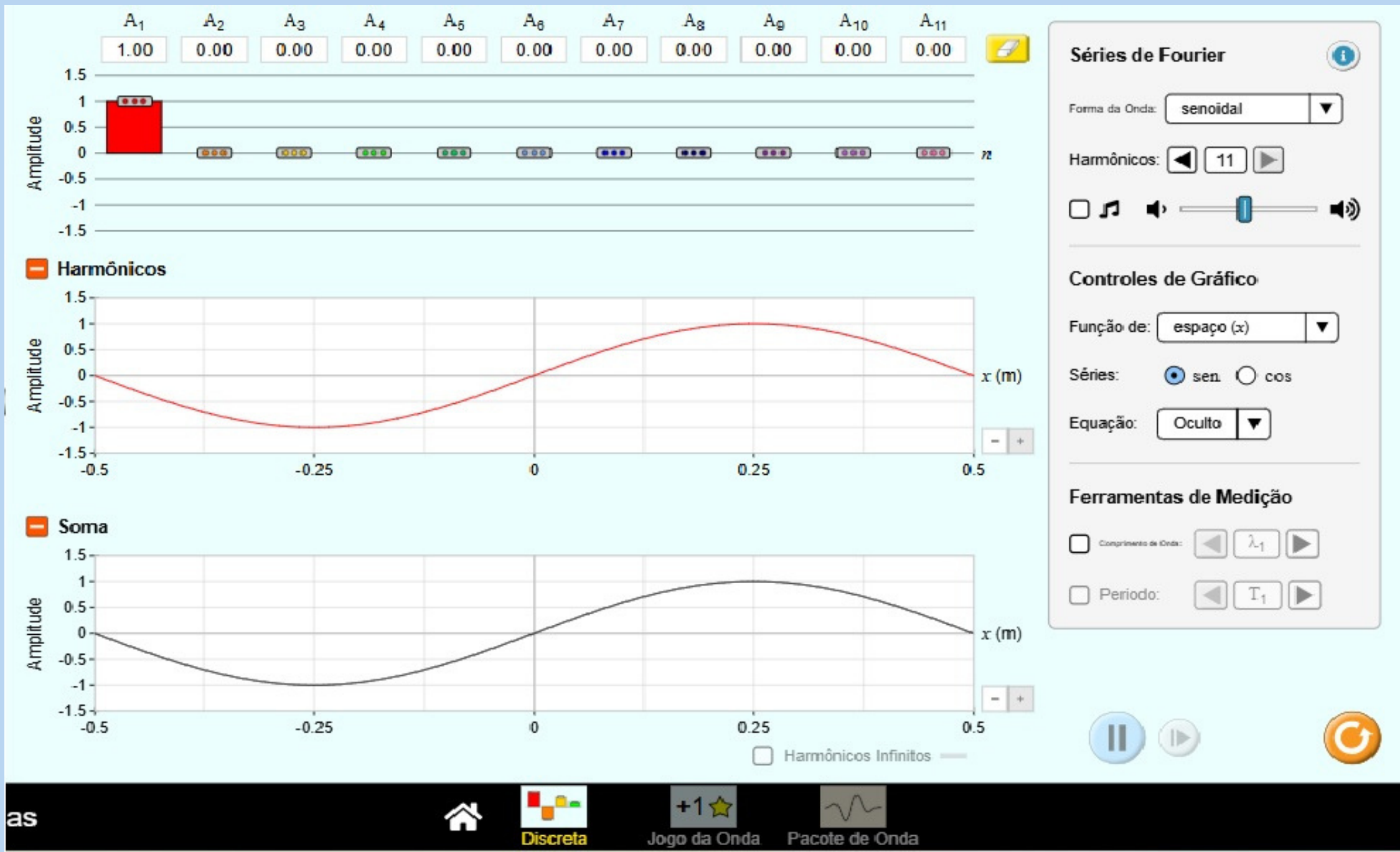
A sequência tem como objetivo geral: Compreender os conceitos de interferência construtiva e destrutiva, padrões de interferência e superposição de ondas, utilizando a simulação "Interferência de Ondas" do PhET para promover uma aprendizagem significativa, segundo as teorias de David Ausubel.



5.5

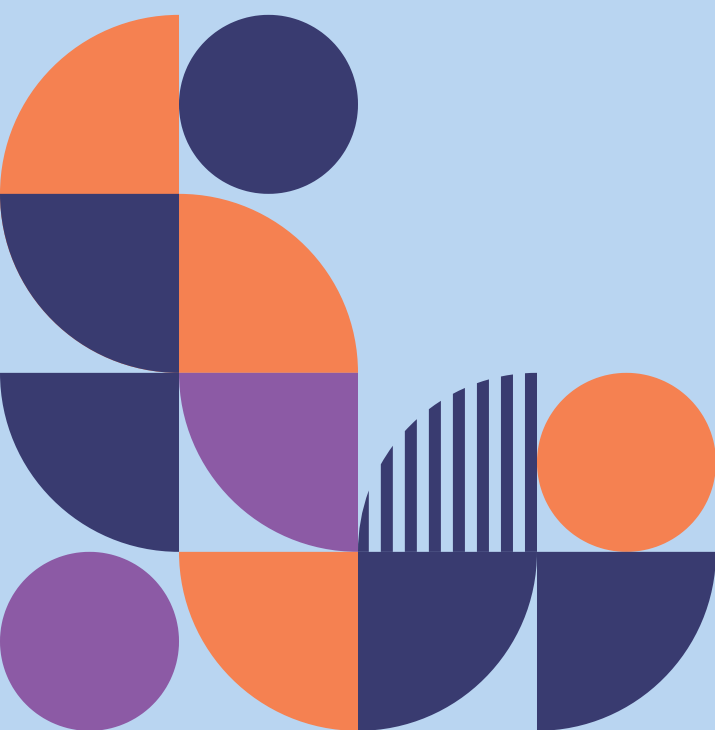
SEQUÊNCIA DIDÁTICA BASEADA NA TEORIA DE DAVID AUSUBEL UTILIZANDO A SIMULAÇÃO PHET "FOURIER - CONSTRUINDO ONDAS"

Essa sequência didática onde foi trabalhado a essa simulação do PhET “Onda em uma corda” pode ser trabalhadas seguindo o padrão das simulações anteriores. A imagem a seguir mostra a ilustração de como é a simulação Introdução à Ondas quando se abre a simulação no PhET.

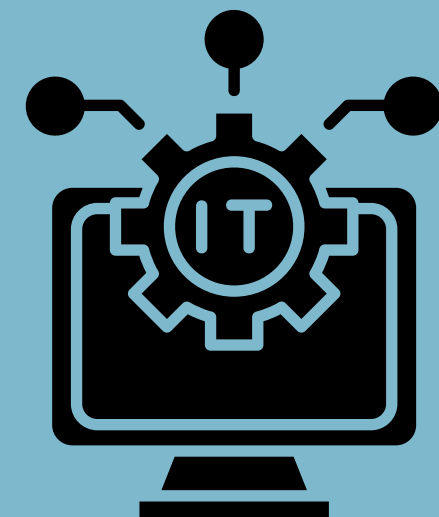


Fonte: PhET Interactive Simulations, 2025.

A sequência tem como objetivo geral: Desenvolver a compreensão significativa dos conceitos de ondas, frequência, amplitude, fase e superposição de ondas através da simulação de ondas de Fourier, com foco na relação entre os componentes harmônicos e a forma da onda resultante.



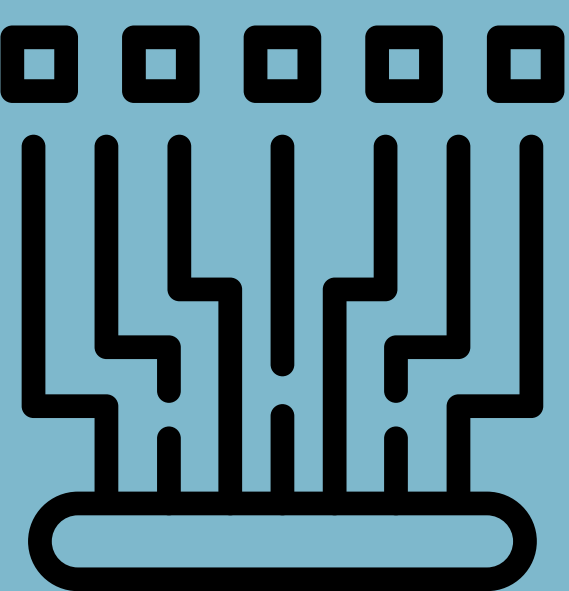
CONSIDERAÇÕES FINAIS

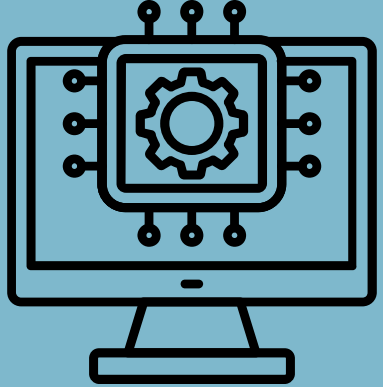


A utilização de Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) no ensino de ondulatória, por meio da Cartilha Digital com Simulações Interativas usando o PhET, apresenta uma abordagem inovadora e eficaz para superar desafios comuns nessa área do conhecimento. A busca por métodos de ensino mais dinâmicos e inclusivos encontra nas TICs um aliado poderoso, e a integração dessas tecnologias nas sequências didáticas oferece uma série de benefícios para o aprendizado dos estudantes.

A Cartilha Digital, ao ilustrar a utilização o PhET aliada a uma sequência didática para o ensino de ondulatória, atende a uma demanda por alternativas mais interativas e acessíveis. O ensino centrado em equações e diagramas, muitas vezes torna abstratos os conceitos de ondas, dificultando a compreensão por parte dos alunos. A abordagem interativa da Cartilha Digital proporciona uma experiência concreta e visual, contribuindo para o aprofundamento dos estudantes sobre as questões relacionadas às ondas.

O PhET, enquanto laboratório virtual, oferece um ambiente rico em simulações interativas que permitem aos alunos explorar e experimentar conceitos de ondulatória de maneira prática. A acessibilidade do PhET, disponibilizada gratuitamente e de fácil acesso pela internet, torna essa ferramenta uma aliada valiosa para os professores da educação básica. A possibilidade de realizar experimentos virtuais, analisar resultados e discutir em grupo promove uma aprendizagem por descoberta, incentivando a participação ativa dos alunos no processo educativo.



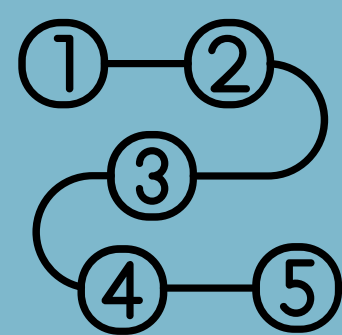


As sequências didáticas, incorporando ferramentas interativas como o PhET, surgem como instrumentos que favorece a promoção de uma aprendizagem significativa e envolvente. A organização estruturada do conteúdo, a contextualização dos conceitos em situações do cotidiano e a diversidade de abordagens, que incluem experimentos virtuais, debates em grupo e resolução de problemas, que poderão garantir uma compreensão progressiva e evolutiva do conhecimento.

A introdução das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) no ensino de ondulatória, especialmente por meio do PhET, revoluciona a aprendizagem do aluno. A utilização estratégica de simulações interativas, softwares educativos e recursos online oferece vantagens significativas para o aprendizado dos alunos. A aprendizagem ativa, possibilitada pelas TICs, estimula a curiosidade, a investigação e a descoberta, tornando o processo de ensino mais envolvente e participativo.

A abordagem prática e aplicada das sequências didáticas utilizando o PhET nas aulas de ondulatória não apenas fortalece a compreensão conceitual, mas também desenvolve habilidades práticas essenciais para o século XXI. A resolução de problemas, o trabalho em equipe e o pensamento crítico são fomentados, preparando os alunos para os desafios do mundo contemporâneo.

Em resumo, a integração das TICs, representadas pelo PhET, nas sequências didáticas de ondulatória potencializa o ensino, tornando-o mais acessível, sonoro e alinhado às expectativas da geração digital. Ao proporcionar uma experiência de aprendizagem enriquecedora, os educadores dispõem de uma ferramenta que poderá potencializar a formação de indivíduos mais preparados e motivados, capazes de enfrentar os desafios de uma aprendizagem mecânica com um conhecimento significativo e aplicável dos conceitos de ondas.



REFERÊNCIAS

AUSUBEL, D. P. (2003). Aquisição e retenção de conhecimentos: Uma perspectiva cognitiva. Lisboa: Plátano Edições Técnicas.

LIMA, Marília Freires de; ARAÚJO, Jefferson Flora Santos de. A utilização das tecnologias de informação e comunicação como recurso didático-pedagógico no processo de ensino e aprendizagem. Revista Educação Pública, v. 21, nº 23, 22 de junho de 2021. Disponível em: < <https://educacaopublica.cecierj.edu.br/artigos/21/23/a-utilizacao-das-tecnologias-de-informacao-e-comunicacao-como-recurso-didatico-pedagogico-no-processo-de-ensino-aprendizagem> > Acesso em: 26 nov 2023.

MORAN, José M.; ALMEIDA, Maria E. B. (2005). Integração das Tecnologias na Educação. Salto para o futuro. Secretaria de Educação à Distância. Brasília: MEC, SEED.

MOREIRA, M. A. (2011). Teorias de Aprendizagem. São Paulo: Editora Livraria da Física.

MOREIRA, M. A., & Masini, E. F. S. (2006). Aprendizagem significativa: A teoria de David Ausubel. São Paulo: Centauro.

NUSSENZVEIG, H. M. Curso de Física Básica, 2: Fluido, oscilações e ondas, calor. 5ª ed. São Paulo: Blucher, 2014

PHET. Interactive Simulations da Universidade do Colorado. 2023. Disponível em: < <https://phet.colorado.edu/pt-BR/> >. Acesso em 20 out 2023

SANTOS, G. H.; ALVES, L. e MORET, M. A. Modellus: Animação Interativas mediando a Aprendizagem Significativa dos Conceitos de Física no Ensino Médio. Revista Científica da escola de administração do exército, v. 2, p. 88-108, 2006.

SANTOS, M. E. K. L. dos; AMARAL, L. H. Avaliação de objetos virtuais de aprendizagem no ensino de matemática. REnCiMa, v. 3, n. 2, p. 83- 93, jul./ dez. 2012.

ZABALA, A. A prática educativa: como ensinar. Trad. Ernani F da Rosa. Porto Alegre: ArtMed, 1998.