



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

INSTITUTO DE FÍSICA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA

MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

**UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA O ENSINO DOS
CONCEITOS BÁSICOS DE ONDULATÓRIA**

Mateus Sousa de Medeiros

BRASÍLIA-DF

2022



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

INSTITUTO DE FÍSICA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA

MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

**UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA O ENSINO DOS
CONCEITOS BÁSICOS DE ONDULATÓRIA**

Mateus Sousa de Medeiros

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

Orientador:

Prof. Dr. Antônio Carlos Pedroza

BRASÍLIA-DF

2022

**UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA O ENSINO DOS
CONCEITOS BÁSICOS DE ONDULATÓRIA**

Mateus Sousa de Medeiros

Orientador

Prof. Dr. Antônio Carlos Pedroza

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

Aprovada por:

Dr. Antônio Carlos Pedroza

Dr. Marcello Ferreira

Dr. Paulo Eduardo de Brito

BRASÍLIA-DF

2022

FICHA CATALOGRÁFICA

MM488u Medeiros, Mateus Sousa de
UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA
O ENSINO DOS CONCEITOS BÁSICOS DE ONDULATÓRIA / Mateus Sousa
de Medeiros; orientador Antônio Carlos Pedroza. -- Brasília,
2022.

244 p.

Dissertação (Mestrado - Mestrado Profissional em Ensino
de Física) -- Universidade de Brasília, 2022.

1. Ensino de Física. 2. Ondulatória. 3. Corda. 4.
Interferência. 5. Exercício Físico. I. Pedroza, Antônio
Carlos, orient. II. Título.

Se eu pudesse reduzir toda a psicologia educacional a uma só frase, eu diria isto: O fator mais importante que influencia a aprendizagem é o que o estudante já sabe. Verifique isso e ensine de acordo.

David Paul Ausubel (1978, p. v, tradução nossa)

Agradecimentos

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

À Deus, que me permitiu chegar até aqui.

Aos meus pais, que sempre me socorreram em dias difíceis e semearam na minha vida.

À minha amada esposa, Natália Medeiros, dedicada à nossa família, parceira e companheira nos dias difíceis com quem posso contar em qualquer situação.

Ao meu orientador, Professor Dr. Antônio Carlos Pedroza, por toda atenção, paciência e motivação em dias difíceis. Por sua perseverança e ensinamentos que transcendem a Física, colaborando para a formação de mais do que professores, mas pessoas que oferecem o seu melhor.

Ao amigo Guilherme Medeiros, por sua força, presença e suporte em dias difíceis e desafiadores da minha vida.

Aos professores do MNPEF, do polo UnB, por todo ensino e disposição em oferecer o que têm de melhor para seus aprendizes.

À Secretaria de Educação do Distrito Federal, pelo tempo de licença para conclusão deste trabalho a fim de ofertar um serviço de maior qualidade à população.

Aos alunos, sem os quais nada disso faria sentido. Que eles possam crescer e produzir trabalhos que alcancem resultados cada vez melhores.

À Jamilla Dal'Ry, amiga, madrinha de casamento e uma segunda mãe que me ajudou a levantar diante de fracassos, bem como a perseverar diante das dificuldades.

...

RESUMO

UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA O ENSINO DOS CONCEITOS BÁSICOS DE ONDULATÓRIA

Mateus Sousa de Medeiros

Orientador:

Prof. Dr. Antônio Carlos Pedroza

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

O presente trabalho aborda conceitos iniciais do modelo ondulatório tomando como ponto de partida o aprendizado do modelo de movimento periódico. Foi aplicado e reaplicado em uma escola pública do Distrito Federal, para um total de onze turmas e 322 alunos, entre os anos de 2019 e 2021. A pesquisa utilizou as definições de David Ausubel a respeito da aprendizagem significativa como ponto de partida para estabelecer fundamentação teórica. A metodologia de aplicação do trabalho se organizou como uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa, enquanto a de pesquisa se orientou a partir da perspectiva translacional. A proposta foi pensada no primeiro momento para a modalidade de ensino presencial; no entanto, precisou ser adaptada para a modalidade remota devido à pandemia da COVID-19. Para o desenvolvimento e a aplicação, vídeos foram criados utilizando recursos variados como gravação de aula expositiva, criação de animação, edição de vídeo e uso de simulador. Os principais resultados indicam que as interações entre o professor e os alunos é fundamental dentro do processo de planejamento da metodologia de aplicação, apesar da teoria ausubeliana não contemplar tais relações em seu processo de análise da aprendizagem. A presente pesquisa encontrou barreiras associadas à disponibilidade de recursos para que os alunos pudessem realizar as atividades propostas com os equipamentos e tempo adequados. Por fim, os materiais criados e utilizados durante o desenvolvimento da sequência didática estão disponibilizados publicamente.

Palavras-chave: Ensino de Física; Ondulatória; Corda; Exercício físico; Interferência.

BRASÍLIA-DF

2022

ABSTRACT

A POTENTIALLY SIGNIFICANT TEACHING UNIT FOR THE TEACHING OF THE BASIC CONCEPTS OF UNDULATORY

Mateus Sousa de Medeiros

Supervisor:

Prof. Dr. Antônio Carlos Pedroza

Master's thesis submitted to the Postgraduate Program of the University of Brasília in the Professional Master's Degree Course in Physics Teaching (MNPEF), as part of the requirements for obtaining the title of Master's in physics teaching.

The present work approaches initial concepts of the wave model taking as a starting point the learning of the periodic motion model. It was applied and reapplied in a public school in the Federal District, for a total of eleven classes and 322 students, between the years 2019 and 2021. The research used David Ausubel's definitions about meaningful learning as a starting point to establish a foundation theoretical. The work application methodology was organized as a Potentially Significant Teaching Unit, while the research methodology was guided from the translational perspective. The proposal was initially conceived for the face-to-face teaching modality; however, it had to be adapted to the remote modality due to the COVID-19 pandemic. For the development and application, videos were created using various resources such as lecture recording, animation creation, video editing and use of a simulator. The main results indicate that the interactions between the teacher and the students are fundamental within the planning process of the application methodology, despite the ausubelian theory does not include such relationships in its learning analysis process. The present research found barriers associated with the availability of resources so that students could carry out the proposed activities with adequate equipment and time. Finally, the materials created and used during the development of the didactic sequence are publicly available.

Keywords: Teaching Physics; Undulating; Rope; Physical exercise; Interference.

BRASÍLIA-DF

2022

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Força exercida pela mola nas situações de compressão, equilíbrio e distensão.....	25
Figura 2 - Gráfico gerado através do programa Geogebra para a função indicada.....	27
Figura 3 - Gráficos da posição e velocidade em função do tempo	28
Figura 4 - Energia potencial do oscilador harmônico.....	29
Figura 5 - Gráfico das variações de energia cinética e potencial no tempo	30
Figura 6 - Definições do gráfico para o modelo ondulatório	31
Figura 7 - Modelo de onda ampliado com a indicação de variação de posições infinitesimais	33
Figura 8 - Representação dos vetores em sistema polar	39
Figura 9 - Tipologias de aprendizagem significativa na perspectiva ausubeliana	54
Figura 10 - Organização do processo de assimilação.....	55
Figura 11 - Diferenciação progressiva.....	60
Figura 12 - Reconciliação integrativa.	61
Figura 13 - Descritores a serem conceituados no simulador	96
Figura 14 - Respostas selecionadas pelos alunos para a pergunta 1	125
Figura 15 - Diagrama de forças para a propagação de onda em corda	129
Figura 16 - Instrução para conceitos iniciais de ondulatória	131
Figura 17 - Gráfico de desempenho turma B	132
Figura 18 - Gráfico de desempenho turmas D, E e F juntas.....	132
Figura 19 - Respostas selecionadas pela turma C	135
Figura 20 - Imagem do simulador na configuração manual.....	140
Figura 21 - Instrução para ambientação com o simulador	141
Figura 22 - Respostas registradas por um dos alunos.....	142
Figura 23 - Gráfico de engajamento médio com o vídeo	143
Figura 24 - Exemplos de modelos de gráfico de retenção	144
Figura 25 - Instruções encaminhadas aos alunos na plataforma Google Classroom.....	145
Figura 26 - Resultados da atividade de mensuração para a turma A	146
Figura 27 - Instrução a respeito da atividade sobre velocidade de propagação e interferência.....	147
Figura 28 - Retenção média do vídeo de velocidade de propagação e interferência.....	148
Figura 29 - Resultados da atividade para a turma B	149
Figura 30 - Composição dos resultados para as turmas D, E e F.....	149
Figura 31 - Resultados da atividade de mensuração para a turma B.....	150
Figura 32 - Resultados da atividade de mensuração para as turmas D, E e F.....	150
Figura 33 - Instrução para atividade de mensuração de grandezas.	152
Figura 34 - Gráfico de retenção da videoaula utilizando o simulador para tratar dos conceitos envolvidos com o fenômeno ondulatório	152
Figura 35 - Gráfico com o desempenho total na atividade de mensuração para turma C.....	153
Figura 36 - Instrução da etapa III para a sequência C	153
Figura 37 - Resultado da atividade avaliativa para a etapa III da sequência C	154
Figura 38 - Instrução da avaliação sobre a temática de ondulatória abordada.....	155
Figura 39 - Resultados da atividade avaliativa sobre os conceitos básicos de ondulatória.....	156
Figura 40 - Instrução para a aula e avaliação sobre velocidade de propagação e interferência	157

Figura 41 - Retenção de público para a aula de velocidade de propagação e interferência	158
Figura 42 - Resultado alcançado na avaliação a respeito de velocidade de propagação e interferência	158
Figura 43 - Resultado geral da turma B para a avaliação de ondulatória	160
Figura 44 - Resultado geral para as turmas D, E e F na avaliação dos conceitos de ondulatória	161
Figura 45 - Resultado turma B para a atividade de interferência	162
Figura 46 - Resultado das turmas D, E e F para a atividade de interferência	162
Figura 47 - Resultados para a atividade avaliativa sobre conceitos gerais de ondulatória	164
Figura 48 - Resultados avaliação de interferência para a turma C	164
Figura 49 - Instrução da primeira atividade na plataforma google sala de aula.....	170
Figura 50 - Instrução da segunda atividade na plataforma google sala de aula.....	171
Figura 51 - Instrução da terceira atividade na plataforama google sala de aula	172
Figura 52 - Instrução da quarta atividade na plataforma google sala de aula.....	173
Figura 53 - Instrução da quinta atividade na plataforma google sala de aula	173
Figura 54 - Gráfico de desempenho para a primeira atividade	174
Figura 55 - Resultado para a questão 1 da primeira atividade	175
Figura 56 - Resultado para a questão 2 da primeira atividade	176
Figura 57 - Resultado para a questão 3 da primeira atividade	177
Figura 58 - Resultado para a questão 4 da primeira atividade	177
Figura 59 - Resultado para a questão 5 da primeira atividade	178
Figura 60 - Indicação das 17 visualizações do vídeo da fase II no período de aplicação	179
Figura 61 - Resultado geral da segunda atividade	180
Figura 62 - Indicação das 13 visualizações do vídeo da etapa III no período de aplicação.....	181
Figura 63 - Resultado da atividade da fase III	182
Figura 64 - Questão com o maior índice de acerto na atividade três	182
Figura 65 - Questão com o segundo maior índice de acerto na atividade três	183
Figura 66 - Questão com o terceiro maior índice de acerto na atividade três	184
Figura 67 - Questão com o segundo pior índice de acerto na atividade três	185
Figura 68 - Questão com o pior índice de acerto na questão três.....	185
Figura 69 - Visualizações da videoaula sobre reflexão de pulsos e padrões de interferência.....	186
Figura 70 - Resultados para a avaliação da quarta atividade.....	187
Figura 71 - Desempenho geral para a avaliação final	189
Figura 72 - Respostas registradas pelos alunos na questão com o maior índice de acertos	189
Figura 73 - Respostas registradas pelos alunos na questão com o segundo maior índice de acertos	190
Figura 74 - Respostas registradas pelos alunos na questão com o terceiro maior índice de acertos	191
Figura 75 - Respostas registradas pelos alunos na questão com o quarto maior índice de acertos	192
Figura 76 - Respostas registradas pelos alunos na questão com o menor índice de acertos.....	192

Sumário

1. INTRODUÇÃO	13
2. FÍSICA ONDULATÓRIA	24
2.1. INTRODUÇÃO	24
2.2. OSCILADOR HARMÔNICO – DESCRIÇÃO MATEMÁTICA.....	24
2.3. RELAÇÃO OSCILADOR HARMÔNICO COM PROPAGAÇÃO DE ONDAS EM CORDAS	31
2.4. ANÁLISE MATEMÁTICA DO MOVIMENTO ONDULATÓRIO NA CORDA	33
2.5. TRANSMISSÃO DE ENERGIA	36
2.6. INTERFERÊNCIA.....	38
3. MODELO DE APRENDIZAGEM COGNITIVISTA AUSUBELIANA	42
3.1. PREÂMBULO	42
3.2. INTRODUÇÃO	42
3.3. UMA TENTATIVA DE RESPONDER AOS PROBLEMAS DE UMA APRENDIZAGEM SEM SIGNIFICADO	44
3.4. APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA	46
3.5. TIPOLOGIAS DE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA.....	52
3.6. PROCESSOS DE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA	54
4. BREVE REVISÃO BIBLIOGRÁFICA EM TRABALHOS ANÁLOGOS NO MNPEF	63
4.1. UTILIZAÇÃO DE VÍDEOS E SOFTWARES PARA O ENSINO DE MOVIMENTO HARMÔNICO SIMPLES, INTERFERÊNCIA EM ONDAS E EFEITO DOPPLER – JORGE COELHO (2016).....	63
4.2. APLICAÇÃO DO MONOCÓRDIO E O USO DE ELEMENTOS MUSICAIS PERCEPTUAIS COMO ESTRUTURANTES PARA O ENSINO DE CONCEITOS DE FÍSICA ONDULATÓRIA – ANDRÉ COELHO (2016)	66
4.3. DESENVOLVIMENTO DE UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA O ENSINO DO CONCEITO DE ONDAS – GRAZIELY SANTOS (2015).....	70
4.4. SOFTWARES EDUCACIONAIS APLICADOS AO ENSINO DE FÍSICA: UMA PROPOSTA DIDÁTICA PARA O ENSINO DO OSCILADOR HARMÔNICO – JOERBED GONÇALVES (2019)	72
4.5. CONTRIBUIÇÕES GERAIS DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA PARA A PROPOSIÇÃO EDUCACIONAL DESTA DISSERTAÇÃO	73
5. METODOLOGIA	76
5.1. PESQUISA TRANSLACIONAL.....	76
5.2. UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA (UEPS).....	78
5.2.1. <i>Etapa 1 – Definindo alvo de aprendizagem</i>	79
5.2.2. <i>Etapa 2 – Verificação e abordagem de subsunçores</i>	79
5.2.3. <i>Etapa 3 – Relacionando fenômeno com estruturas prévias</i>	80
5.2.4. <i>Etapa 4 – Estabelecendo pontos de diferenciação progressiva</i>	80
5.2.5. <i>Etapa 5 – Retomar os conceitos mais gerais com nível maior de complexidade</i>	81
5.2.6. <i>Etapa 6 – Conclusão da unidade e busca da reconciliação integrativa a partir da diferenciação progressiva</i>	81
5.2.7. <i>Etapa 7 e 8 – Avaliação</i>	82
5.2.8. <i>Aspectos transversais</i>	82
6. UEPS INICIAL	84
6.1. INTRODUÇÃO	84
6.2. SUBSUNÇORES E OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM	84
6.3. MÉTODO DE APLICAÇÃO	85
6.4. PRIMEIRA APLICAÇÃO.....	87

6.4.1.	<i>Fase I: Verificação de subsunçores e introdução de conceitos iniciais.</i>	88
6.4.2.	<i>Fase II: Ambientação com a plataforma do simulador.</i>	95
6.4.3.	<i>Fase III: Medições, registros e conclusões.</i>	106
6.4.4.	<i>Fase IV: Sintetização dos resultados e apresentação teórica formal</i>	111
6.5.	CONCLUSÕES GERAIS E ESTRATÉGIAS PARA UMA PRÓXIMA APLICAÇÃO DESSA METODOLOGIA	116
7.	UEPS ADAPTADA PARA O ENSINO REMOTO	120
7.1.	INTRODUÇÃO	120
7.2.	MÉTODO DE APLICAÇÃO	120
7.3.	APLICAÇÃO E RESULTADOS	123
7.3.1.	<i>Fase I: Verificação de subsunçores e introdução de conceitos iniciais.</i>	123
7.3.2.	<i>Fase II: Modelo ondulatório e uso do simulador</i>	140
7.3.3.	<i>Fase III: Avaliação</i>	154
7.4.	CONCLUSÕES GERAIS SOBRE A APLICAÇÃO DE 2020	165
8.	REAPLICAÇÃO DA UEPS	168
8.1.	INTRODUÇÃO	168
8.2.	MÉTODO DE APLICAÇÃO	170
8.3.	APLICAÇÃO E RESULTADOS	174
8.3.1.	<i>Fase I: Diagnóstico e introdução.</i>	174
8.3.2.	<i>Fase II: Utilizando o simulador e o GIF como recursos audiovisuais para o ensino dos conceitos de período, frequência, comprimento de onda e velocidade de propagação.</i>	179
8.3.3.	<i>Fase III: Videoaula com exposição teórica dos conceitos básicos de onda e interferência.</i>	180
8.3.4.	<i>Fase IV: Videoaula com simulador e exposição teórica a respeito do processo de reflexão e interferência</i>	186
8.3.5.	<i>Fase V: Avaliação final.</i>	188
8.4.	CONCLUSÕES GERAIS SOBRE A APLICAÇÃO DE 2021	193
9.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	195
10.	REFERÊNCIAS	201
APÊNDICE A - ANEXOS		203
	ANEXO I – ROTEIRO DE AULA 3 (PRESENCIAL)	203
	ANEXO II - ABORDAGEM DO LIVRO DIDÁTICO SOBRE ONDULATÓRIA	206
	ANEXO III – AVALIAÇÃO SOMATIVA (1ª APLICAÇÃO)	210
	ANEXO IV – ATIVIDADE DE MENSURAÇÃO	211
	ANEXO V – AVALIAÇÃO CONCEITOS BÁSICOS DE ONDULATÓRIA	217
	ANEXO VI – AVALIAÇÃO PERÍODO, FREQUÊNCIA E COMPRIMENTO DE ONDA	221
	ANEXO VII – AVALIAÇÃO VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO E INTERFERÊNCIA	224
	ANEXO VIII – AVALIAÇÃO INTERFERÊNCIA	227
	ANEXO IX – ORGANIZADOR PRÉVIO - CONCEITOS BÁSICOS DE ONDULATÓRIA E USO DA RÉGUA DO SIMULADOR	232
APÊNDICE B – CRIAÇÃO DO ORGANIZADOR PRÉVIO		239
APÊNDICE C - PRODUTO EDUCACIONAL		245
1.	INTRODUÇÃO	246
2.	UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA O ENSINO DOS CONCEITOS BÁSICOS DE ONDULATÓRIA	247
2.1.	<i>Diagnóstico e introdução</i>	247
2.2.	<i>Diferenciação progressiva: estruturas e medições</i>	248

2.3. Reconciliação integrativa: uso do simulador para experimentar comprimento de onda, período e frequência.....	250
2.4. Reconciliação integrativa: relação entre velocidade de propagação, comprimento de onda e frequência.....	253
2.5. Avaliação final.....	255

1. Introdução

O ensino de Física será observado em duas perspectivas: a aprendizagem fenomenológica e a matemática. Compreender a fenomenologia de um evento real possibilita que os alunos consigam interpretar e conectar informações, de modo a prever e tomar decisões que resolvam possíveis problemas que se pronunciem para eles. Enquanto isso, a aprendizagem matemática, possibilita que as relações entre grandezas sejam evidenciadas e de cunho exato.

Um jogador de futebol não faz todos os cálculos para determinar qual deve ser a força exata de um chute para que a bola percorra uma trajetória que ele deseja. Mesmo que o fizesse, a composição da perna de cada jogador, a velocidade do pé antes do chute, a posição com que a bola é acertada e o ângulo que aplica torque sobre a bola durante o contato seriam variáveis complexas demais para que o atleta controlasse de forma exata todos os chutes que ele realizaria. Além disso, o cansaço durante uma partida de futebol ainda pode afetar a capacidade que esse jogador tem de tomar decisões rápidas e, até, de executar o que ele conseguiria em outra situação de descanso, por exemplo.

Dessa forma, para esses atletas, a compreensão fenomenológica seria suficiente para que eles estimassem a alteração da trajetória da bola devido ao Efeito Magnus, ao vento que pode existir durante a partida e o ponto de colisão que deve existir entre a perna e a bola. Os atletas de alta performance, dessa forma, possuem uma rotina de treino com grande volume para que adquiram uma automação do que seria essa compreensão.

Para os casos em que a complexidade das relações e quantidade de variáveis se tornam demasiadamente grandes, podemos fazer uma simplificação do problema. Essa simplificação, na Física, geralmente é caracterizada pela consideração de situações, nomeadas ideais, em que as variáveis com menor controle são desconsideradas.

A compreensão das relações matemáticas, por sua vez, nos permite estabelecer certas relações de proporção e de variações que nem sempre são possíveis de alcançar apenas com a fundamentação fenomenológica. No caso, para a bola alcançar uma altura maior, basta que ou o ângulo de lançamento com que a bola é arremessada depois da colisão, ou a velocidade com que a perna acerte a bola sejam aumentados, por exemplo.

Se desejarmos um alcance maior, a análise já fica um pouco mais complexa, a variação do ângulo de lançamento dependerá de o ângulo inicial ser maior ou menor que 45 graus; caso ele seja superior a 45°, o alcance será aumentado se diminuirmos o ângulo de lançamento até o limite de 45°; enquanto se for inferior a 45°, o alcance será aumentado quando ele também aumentar. Essa relação fica clara quando as relações matemáticas são encontradas, o que não é intuitivo e facilmente observado de forma empírica.

A organização do sistema educacional brasileiro é proposta a partir da formação da Base Nacional Comum Curricular (BNCC). A partir da compreensão da aprendizagem de física dentro de um aspecto fenomenológico e matemático, farei alguns apontamentos relacionados às competências e habilidades por ela proposta.

A BNCC é separada para cada etapa da educação básica – Educação infantil, fundamental e ensino médio. Para as duas etapas que podem ser envolvidas no produto educacional desenvolvido neste trabalho, a divisão dos eixos de aprendizagem é proposta da seguinte forma:

Este trabalho tomará como análise as competências e habilidades propostas pela BNCC para os componentes de Matemática e Ciências da Natureza. As competências serão o alvo a ser alcançado durante a etapa do ensino, enquanto as habilidades serão os objetivos particulares a serem desenvolvidas durante cada processo pedagógico.

Em particular, vamos analisar as competências e habilidades tratadas pela BNCC e que estão associadas modelo ondulatório de forma direta ou que pode utilizá-lo como base de fundamentação para o que se precisa desenvolver.

A BNCC não estabelece o conteúdo programático a ser trabalhado em cada momento, mas é função do professor estabelecer a estratégia pedagógica mais apropriada para se desenvolver as competências e habilidades colocadas por ela. Por exemplo, não existe uma definição absoluta do momento em que se deve fazer a abordagem do conteúdo de propagação de ondas em corda, mas existe um espaço para se utilizar esse modelo ondulatório como base de fundamentação de competências e habilidades que podem ser aplicadas, inclusive, em outras situações problema.

Para o ensino fundamental, as competências a serem desenvolvidas de forma a auxiliar a compreensão dos conceitos de ondulatória estão definidos nos componentes de matemática e de ciências.

A competência dois de matemática trata da capacidade do aluno em utilizar as ferramentas matemáticas para caracterização, definição e solução de problemas: “Desenvolver o raciocínio lógico, o espírito de investigação e a capacidade de produzir argumentos convincentes, recorrendo aos conhecimentos matemáticos para compreender e atuar no mundo” (BRASIL, 2018, p. 267).

Essa competência será requisitada durante o processo de construção das ideias a serem desenvolvidas neste trabalho. Os alunos precisarão analisar relações, sejam na forma de proporção ou de equações que estabelecem conexões entre as variáveis propostas dos problemas. Compreender as operações básicas e o escopo de aplicação delas é fundamental para que o fenômeno possa ser interpretado de forma clara e objetiva, proporcionando a previsibilidade de situações associadas a ondulatória.

Ainda no componente de matemática, a competência seis trata da abstração necessária diante de situações que possuem diferentes formatos de exposição. É necessário que o aluno consiga interpretar dados em variadas formas de exposição, o que é compatível com a extração de dados através da representação de um fenômeno.

Enfrentar situações-problema em múltiplos contextos, incluindo-se situações imaginadas, não diretamente relacionadas com o aspecto prático-utilitário, expressar suas respostas e sintetizar conclusões, utilizando diferentes registros e linguagens (gráficos, tabelas, esquemas, além de texto escrito na língua materna e outras linguagens para descrever algoritmos, como fluxogramas, e dados) (BRASIL, 2018, p. 267).

Além das competências expostas no componente de matemática, existem as competências a serem desenvolvidas pelo componente de ciências da natureza.

Compreender conceitos fundamentais e estruturas explicativas das Ciências da Natureza, bem como dominar processos, práticas e procedimentos da investigação científica, de modo a sentir segurança no debate de questões científicas, tecnológicas, socioambientais e do mundo do trabalho, continuar aprendendo e colaborar para a construção de uma sociedade justa, democrática e inclusiva.

Analisar, compreender e explicar características, fenômenos e processos relativos ao mundo natural, social e tecnológico (incluindo o digital), como também as relações que se estabelecem entre eles, exercitando a curiosidade para fazer perguntas, buscar respostas e criar soluções (inclusive tecnológicas) com base nos conhecimentos das Ciências da Natureza (BRASIL, 2018, p. 324)

As duas competências acima direcionam os alunos à compreensão de modelos científicos e a utilização destes para compreender, justificar e tomar decisões coerentes com aquilo que é certo. O ensino de ciências da natureza tem como objetivo principal

gerar a capacidade de refletir sobre fenômenos naturais e encontrar um padrão de comportamento que se repita, tornando possível a previsão de situações.

A BNCC propõe algumas habilidades associadas aos conceitos de movimento periódico ao longo dos 9 anos do ensino fundamental.

- Habilidades associadas a ideia de tempo no 1º ano:

(EF01CI05) Identificar e nomear diferentes escalas de tempo: os períodos diários (manhã, tarde, noite) e a sucessão de dias, semanas, meses e anos.

(EF01CI06) Selecionar exemplos de como a sucessão de dias e noites orienta o ritmo de atividades diárias de seres humanos e de outros seres vivos (BRASIL, 2018, p. 333).

As habilidades associadas ao 1º ano, apesar de estarem dentro de um contexto de situação da pessoa no tempo, podem ser associadas dentro de um contexto de periodicidade. No entanto, essa conexão não é obrigatória e analisando a faixa etária dos alunos dessa etapa do ensino, em torno de 6 anos, é improvável que eles consigam fazer as abstrações que servirão como fundamento para o modelo ondulatório requerido no ensino médio. Além disso, a BNCC de matemática para os alunos do 1º ano propõe que essa faixa etária esteja aprendendo a respeito das operações básicas de soma e subtração.

- Habilidades conectadas a ideia de oscilações que produzem sons, que podem ser conectados diretamente ao modelo de propagação de ondas em corda:

(EF03CI01) Produzir diferentes sons a partir da vibração de variados objetos e identificar variáveis que influem nesse fenômeno (BRASIL, 2018, p. 337).

Apesar da habilidade a ser desenvolvida, de acordo com a BNCC, para os alunos do 3º ano, estar associada diretamente ao modelo de propagação de ondas em corda, o aspecto fenomenológico é o mais adequado a ser abordado. Nessa etapa do ensino fundamental a BNCC, direcionada à matemática, prevê que o aluno comece a aprender sobre a operação de divisão. Para essa etapa, o problema de propagação de ondas em corda pode ser contextualizado em seus fundamentos basilares, definindo-se a ideia de período, frequência e comprimento de onda. No entanto, as relações matemáticas de proporção e conexão entre as grandezas devem ficar para momento futuro.

- Habilidades associadas a compreensão de ondas em situações abstratas no 9º ano:

(EF09CI06) Classificar as radiações eletromagnéticas por suas frequências, fontes e aplicações, discutindo e avaliando as implicações de seu uso em controle remoto, telefone celular, raio X, forno de micro-ondas, fotocélulas etc.

(EF09CI07) Discutir o papel do avanço tecnológico na aplicação das radiações na medicina diagnóstica (raio X, ultrassom, ressonância nuclear magnética) e no tratamento de doenças (radioterapia, cirurgia ótica a laser, infravermelho, ultravioleta etc.) (BRASIL, 2018, p. 351).

No 9º ano, outros modelos de ondas são colocados como habilidades a serem desenvolvidas. O contexto no qual elas são apresentadas, direciona a abordagem dentro de uma relação de efeitos gerados pela interação e uso dessas ondas. Apesar do modelo ondulatório definir as características que tornam essas ondas semelhantes ou diferentes, a habilidade definida pela BNCC não é direcionada a essa compreensão.

O ensino de Física precisa ser organizado baseado em suas várias formas de interpretação e aplicação, de acordo com o nível requisitado para a solução de problemas. O método científico se baseia na construção de hipóteses e em seus testes. A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) define como competência específica três no ensino de ciências.

Investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC) (BRASIL, 2018, p. 558).

Para alcançar tal competência, os alunos necessitam de ferramentas e subsunçores adequados para ancorar as novas ideias produzidas pela investigação. Dessa forma, o ensino de Física direcionado a compreensão dos conceitos de ondulatória, seria mais bem aproveitado dentro de uma concepção de movimento periódico. Para tal competência, existem dois métodos que definem possibilidades para o método científico: a indutiva e a hipotético dedutiva.

O método indutivo afirma a teoria em torno de situações específicas, isto é, a partir de características comuns a sistemas diferentes, se estabelece uma teoria geral. Por exemplo, ao se perceber ondas se propagando em uma corda, estipula-se que toda onda possui um formato senoidal durante sua propagação. No entanto, tal afirmativa é falsa uma vez que as trajetórias das ondas podem desempenhar outros padrões de oscilação, como as ondas triangulares, as longitudinais e as quadradas por exemplo. Dessa forma, a indução realizada em torno de observações nem sempre conduz a uma teoria científica consistente para ser aplicada em modelos variados.

Ao contrário, o método hipotético dedutivo se baseia-se em uma ideia geral a ser deduzida a partir de outras situações. Por exemplo, o modelo ondulatório se comporta dentro de um padrão de movimento periódico, o que permite dizer que toda onda gerada caracteriza uma perturbação que se propaga, onde essa perturbação pode ser definida através do conceito de energia. Perceba que no método dedutivo, a definição de onda é dada a partir de uma ideia geral.

Os dois métodos possuem suas contribuições dentro do processo de construção científica. Ausubel define dois processos de aprendizagem que caracterizam esses momentos, a reconciliação integrativa e a diferenciação progressiva. O processo de consolidação da aprendizagem na estrutura cognitiva do aluno não é algo que possa ser mecanizado e absoluto, as variáveis que definem esse processo de significação serão discutidas ao longo deste trabalho.

Com o método indutivo sendo a forma de introdução de conhecimento e o hipotético dedutivo sendo a consolidação do método científico, teremos a aprendizagem potencialmente significativa estabelecendo novas diretrizes de aplicabilidade. O estabelecimento dessa base científica servirá como ponto de partida para novas concepções de modelos que possibilitarão investigações coerentes com os fenômenos e situações análogas, sendo possível a percepção das semelhanças e diferenças entre os conhecimentos relacionados.

Enquanto a terceira competência específica de ciências da natureza enfatiza a importância do método científico, a primeira competência tratará a respeito de aplicações possíveis que sejam consequência do conhecimento a ser estudado.

Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global (BRASIL, 2018, p. 554).

A propagação de ondas em corda, conteúdo curricular alvo deste trabalho possui aplicações, principalmente, na música. No entanto, este trabalho não se direcionou a finalidade do estudo de acústica produzido pelos padrões harmônicos de ondas estacionárias. Apesar de não tratar o objeto prático final, os conhecimentos aqui expostos podem ser utilizados em diversos modelos de ondulatória.

As habilidades a serem desenvolvidas que são relacionadas ao conteúdo programático de propagação de ondas em corda, colocado pela BNCC, durante o ensino médio estão expostas abaixo:

(EM13CNT101) Analisar e representar, com ou sem o uso de dispositivos e de aplicativos digitais específicos, as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos que priorizem o desenvolvimento sustentável, o uso consciente dos recursos naturais e a preservação da vida em todas as suas formas. (BRASIL, 2018, p. 555)

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

O conteúdo relacionado à propagação de ondas em corda não contempla as habilidades acima em sua completude. É necessário que outras situações e fenômenos sejam utilizados a fim de expandir o escopo de uma situação específica como a propagação em um meio material. Apesar disso, a situação proposta possui uma característica que auxilia o processo de aprendizagem.

Definir modelos científicos sem um exemplo concreto, com o qual os alunos tenham experiência no cotidiano, corresponde a uma didática inadequada à perspectiva da aprendizagem significativa. Diante disso, é necessário se pensar em uma forma de reprodução da situação concreta. A reprodução de um sistema de propagação de ondas em corda é simples e de fácil acesso, basta amarrar uma corda em uma extremidade e a balançar.

Ao longo dos oito anos na Secretaria de Educação do Distrito Federal (SEDF), na interação com as turmas em que fui professor, era perceptível a falta de domínio de certos conceitos basilares, desde o desenvolvimento de cálculos matemáticos simples, até modelagens e construção de modelos para os problemas apresentados. Até mesmo as situações mais simples, como os movimentos dos ponteiros de um relógio não eram percebidos como periódicos. Além da falta de normatização sobre os conteúdos e bases conceituais do ensino fundamental, o ensino para essa faixa etária é o de ciências, que pode ser assumido pelo professor formado em Biologia, Física ou Química. Isso representa uma limitação quanto ao ensino de certos conceitos que serão requisitados em momento futuro, no Ensino Médio.

De acordo com Ostermann et al. (2021), apesar de a BNCC estabelecer normativas quanto as competências e habilidades a serem desenvolvidas em cada ano, o documento não define quais conceitos exatos precisam ser definidos para cada ano ou semestre letivo. Isto é, os alunos não necessariamente teriam contato com algumas estruturas que fundamentam as outras áreas do conhecimento de ciências da natureza.

A ausência de estrutura cognitiva, anterior, consolidada em torno das definições que caracterizam os movimentos classificados como periódicos, nas salas de aula da SEDF, direcionou este trabalho a analisar a efetividade de uma metodologia que fundamentasse os conceitos iniciais de ondulatória para serem utilizados na caracterização de outros modelos.

O objetivo se iniciou por avaliar se existiria diferença na efetividade de uma metodologia em alcançar a aprendizagem significativa baseado na aprendizagem por recepção ou descoberta. Além disso, avaliar os instrumentos pedagógicos que seriam utilizados durante toda a sequência, bem como a forma com que os materiais seriam utilizados. Por fim, avaliar se a aprendizagem significativa alcançaria a tipologia representacional, de conceitos ou proposicional.

Como recurso pedagógico de representação, o uso de um simulador de ondas em corda¹ (COLORADO, 2019) foi utilizado. Apesar da realização do experimento permitir que os alunos possam ter contato visual com o fenômeno em tempo real, ele não nos permite congelar a imagem, fazer medições em tempo real ou transpor a situação dinâmica para a análise estática, dessa forma, tornando o uso do simulador conveniente e adequado dentro de um contexto de medição e visualização do modelo, apresentando as características estáticas e dinâmicas da propagação de uma onda na corda.

Os conceitos cognitivistas ausubelianos são utilizados como fonte originária para a unidade de ensino potencialmente significativa (UEPS), definida e proposta por Moreira (2012). As sequências foram elaboradas a partir do arcabouço teórico definido por ele, dessa forma, a organização metodológica será direcionada dentro de uma perspectiva potencialmente significativa. Sendo caracterizada como significativa ou mecânica de acordo com as definições teóricas apresentadas por eles.

¹ O simulador de ondas em corda está disponibilizado junto à plataforma Phet

As interferências do professor foram fundamentadas dentro de uma perspectiva da aprendizagem por descoberta ou recepção, sendo, esta última possível dentro de dois contextos: uma, com interferência provocada pelos alunos, e, outra, com interferência ativa, sendo o que guiaria o aluno ao longo de todas as atividades.

Durante o processo de formação para aplicação, algumas questões apareceram. Por exemplo, qual seria essa a metodologia mais adequada? O recurso tecnológico facilitaria, de fato, o aprendizado dos alunos? Ou uma questão preliminar, como saber se os alunos dominam as ferramentas tecnológicas necessárias. Ou, se a possibilidade de perceber a onda dentro de uma situação dinâmica facilitaria o processo de aprendizagem significativa fenomenológica. O dinamismo de um vídeo permitiria a fundamentação de relações matemáticas? Os alunos possuiriam aptidão para utilizar as ferramentas de medição?

A nossa proposta não é definir todos os modelos ondulatórios existentes e suas classificações, mas estabelecer os conceitos iniciais em torno da ideia de onda. É plausível que o produto gerado pelo presente trabalho seja aplicado na realidade de outras turmas do ensino fundamental, claro, com as devidas modificações. Caso esses alunos desenvolvam suas estruturas cognitivas e aprendam significativamente as ideias sobre a caracterização de movimentos periódicos, seria esperado uma outra realidade ao alcançarem o ensino médio.

Em geral, os alunos que chegam ao segundo ano do ensino médio não conseguem resolver equações de primeiro grau. Compreender conceitos como período e frequência de um movimento, ou resolver problemas envolvendo funções trigonométricas, ou, ainda, determinar relações baseadas em observações fenomenológicas, torna-se uma tarefa extremamente difícil. O ensino de Física requer a presença de subsunçores, especialmente os associados a operacionalização matemática, uma vez que, para os fenômenos estudados, existe uma previsibilidade e padrão fenomenológico definidos por essas estruturas.

Além dessa problemática, o sistema de educação da SEDF, hoje, estabelece uma carga horária de 4 horas semanais de Física, durante um dos dois semestres letivos. A título de comparação, o sistema privado de ensino do DF possui a mesma carga horária semanal, no entanto, durante todo o ano letivo. Isso representa uma diferença de pelo

menos 50% no tempo do professor dessa disciplina para aplicar as metodologias pedagógicas necessárias. Essa dificuldade estrutural da escola pública soma-se à deficiência conceitual dos alunos e a base matemática precária que muitos deles possuem com a baixa carga horária destinada ao componente curricular de Física.

Existem as abordagens fenomenológica e matemática quando ensinamos física. Compreender a fenomenologia de um evento real significa que os alunos conseguem interpretar e conectar informações, de modo a prever e tomar decisões que resolvam possíveis problemas que se pronunciem para eles. Enquanto isso, a aprendizagem matemática possibilita que as relações entre grandezas sejam evidenciadas com exatidão.

Ausubel foi escolhido devido a afinidade com que o autor deste trabalho possui com as classificações, aos signos e à proposta de aprendizagem dentro da estrutura cognitiva. Apesar de as emoções dos alunos caracterizarem fator relevante dentro do processo de assimilação do conhecimento a ser aprendido, elas não foram levadas em consideração, devido ao modelo cognitivista.

A metodologia de pesquisa foi direcionada à uma perspectiva translacional, avaliando a qualidade do conhecimento a ser aprendido dentro da perspectiva dos próprios alunos. Não se trata de ensinar o modelo ondulatório dentro de uma perspectiva formal, científica e pouco usual, mas de possibilitar que os alunos compreendam fenômenos ao seu redor, além do empirismo relacionado ao senso comum.

Como metodologia de aplicação da sequência didática, a Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), proposta por Moreira (2012), foi escolhida. Tal metodologia direciona a sequência didática ao longo de um caminho, propondo a construção de materiais potencialmente significativos, bem como de organizadores prévios diante das dificuldades apresentadas, além de estabelecer uma rota lógica, a partir dos subsunçores apresentados, e, que se espera a facilitação do processo de assimilação do conteúdo.

Propor uma sequência didática que aborde a temática dentro de várias perspectivas possui suas vantagens e desvantagens. Ao passo que alunos se adaptam melhor a uma estrutura científica indutiva, associada ao processo de ensino classificado como reconciliação integrativa, outros possuem uma estrutura de reflexão que testa as

hipóteses e se adaptam melhor a situações hipotético-dedutivas, explícitas no processo de reconciliação integrativa.

Dessa forma, este trabalho propõe alguns formatos de aplicação metodológica com o ensino de ondulatória, apontando aspectos positivos e negativos durante a pesquisa. Os relatos das aplicações, os objetivos iniciais e as conclusões estão relatados ao longo da dissertação, o que culminou na formação do produto educacional final, bem como os materiais pedagógicos utilizados.

Este trabalho começou a ser aplicado em sala de aula no segundo semestre de 2019. A pandemia do COVID-19, que afetou o mundo inteiro, fez com que as aulas do Distrito Federal fossem suspensas logo antes da segunda aplicação, que seria realizada com algumas mudanças depois de análise de dados e discussão com o meu orientador.

Durante o ano de 2020 e o primeiro semestre de 2021, todas as atividades pedagógicas da SEEDF foram aplicadas dentro da modalidade remota (GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL, 2021). Isso gerou uma variedade de problemas durante a aplicação e análise dos resultados propostos. O baixo poder aquisitivo das famílias dos alunos foi um fator determinante nessa modalidade de ensino, pois a maior parte dos alunos tinha limitado pacote de dados de internet ou, ainda, apenas um smartphone, com usabilidade restrita (visualização, navegabilidade, editabilidade e interações limitadas). Com isso, a participação em aulas síncronas ou a entrega de atividades didáticas foram extremamente reduzidas.

2. Física Ondulatória

2.1. Introdução

Um sistema ondulatório é caracterizado como oscilante em torno de uma posição de equilíbrio, mas, que ao mesmo tempo, tem essa oscilação se propagando. A diferença conceitual entre oscilação e ondas está em “As oscilações correspondem a vibrações, localizadas, ao passo que ondas estão associadas à propagação” (NUSSENZVEIG, 2014, p. 59). Esse é o ponto de partida para compreensão dos movimentos expressos durante a propagação de onda em uma corda.

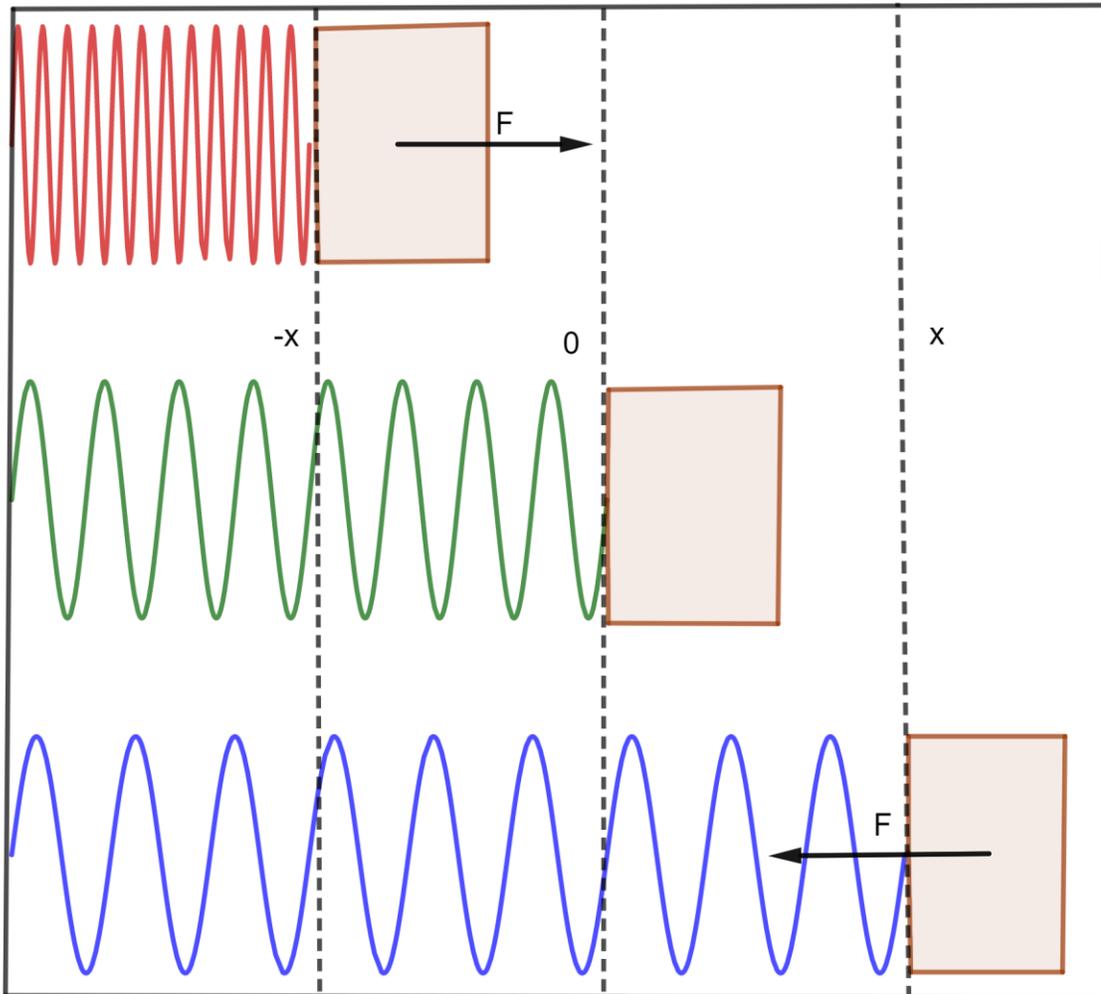
A caracterização do modelo de sistema ondulatório tratado neste trabalho é construída em torno da definição de um movimento que é consequência de uma força restauradora em torno de um ponto de equilíbrio estável. O modelo utilizado que traduz matematicamente a trajetória de uma onda se propagando na corda, $y(x, t)$, é exatamente o mesmo produzido por um oscilador harmônico $x(t)$.

Dessa forma, considere a descrição matemática do oscilador harmônico.

2.2. Oscilador harmônico – Descrição matemática

O oscilador harmônico pode ser caracterizado por uma massa m presa a extremidade livre de uma mola que oscila em torno de um ponto de equilíbrio estável. Esse equilíbrio estável é caracterizado como um estado, para o qual, o objeto sempre tenderá a retornar. Isto é, caso a mola seja comprimida, a massa tenderá a esticar essa mola, ao contrário, caso a mola seja esticada, o objeto tenderá a comprimi-la.

Figura 1 - Força exercida pela mola nas situações de compressão, equilíbrio e distensão



Fonte: Produção própria através do programa Geogebra (2022)

As três situações indicadas acima representam o modelo de um oscilador harmônico nas posições indicadas anteriormente. A imagem indica, respectivamente, a situação da massa m localizada em uma posição de compressão, no ponto de equilíbrio estável do sistema e a situação com a mola distendida.

Quando a mola é retirada da posição de equilíbrio estável, uma força restauradora passa a agir sobre o sistema. Essa força é calculada através da Lei de Hooke, que estabelece uma relação entre a força de uma mola e sua elongação.

$$F = -kx \quad (2.2.1)$$

Para um sistema mecânico clássico, a Lei de Newton relaciona a força com a variação do estado de movimento do sistema cinemático. Comparando a equação 2.2.1

com a segunda Lei de Newton no formato diferencial (2.2.2), podemos transformar um problema de forças em uma equação diferencial ordinária (EDO) da posição com a aceleração indicada na equação 2.2.3 abaixo.

$$F = m \frac{d^2x}{dt^2} \quad (2.2.2)$$

$$\frac{d^2x(t)}{dt^2} = -\frac{k}{m}x(t) \quad (2.2.3)$$

Se definirmos a posição da partícula através de uma combinação linear de duas soluções trigonométricas seno e cosseno, podemos encontrar as derivadas dessas posições em relação ao tempo.

$$x(t) = a\text{sen}(\omega t + \phi) + b\text{cos}(\omega t + \phi) \quad (2.2.4)$$

$$\frac{dx(t)}{dt} = a\omega\text{cos}(\omega t + \phi) - b\omega\text{sen}(\omega t + \phi) \quad (2.2.5)$$

$$\frac{d^2x(t)}{dt^2} = -a\omega^2\text{sen}(\omega t + \phi) - b\omega^2\text{cos}(\omega t + \phi) \quad (2.2.6)$$

$$\frac{d^2x(t)}{dt^2} = -\omega^2[a\text{sen}(\omega t + \phi) + b\text{cos}(\omega t + \phi)] \quad (2.2.7)$$

A partir das equações acima, é trivial perceber que existe uma correlação entre as equações 2.2.4 e 2.2.7.

$$\frac{d^2x}{dt^2}(t) = -\omega^2x(t) \quad (2.2.8)$$

Observe que a equação 2.2.7 está exatamente no formato da equação 2.2.3. Essa relação de igualdade entre as duas equações permite dizer que a equação 2.2.4 é uma solução exata para a equação diferencial definida a partir da relação entre a Lei de Hooke e a segunda Lei de Newton. Tal solução, então, seria a equação de posição do oscilador em relação ao tempo definida por 2.2.4.

É importante ressaltar que a solução geral da EDO representa a combinação linear de outras duas funções que seriam soluções particulares para o mesmo problema. No

entanto, para que seja solução geral, a frequência angular ω precisa ser exatamente a mesma na combinação. Caso elas fossem diferentes, teríamos as equações a seguir,

$$x(t) = a\text{sen}(\omega_1 t + \varphi) + b\text{cos}(\omega_2 t + \phi) \quad (2.2.9)$$

$$\frac{d^2 x(t)}{dt^2} = -a\omega_1^2 \text{sen}(\omega_1 t + \varphi) - b\omega_2^2 \text{cos}(\omega_2 t + \phi) \quad (2.2.10)$$

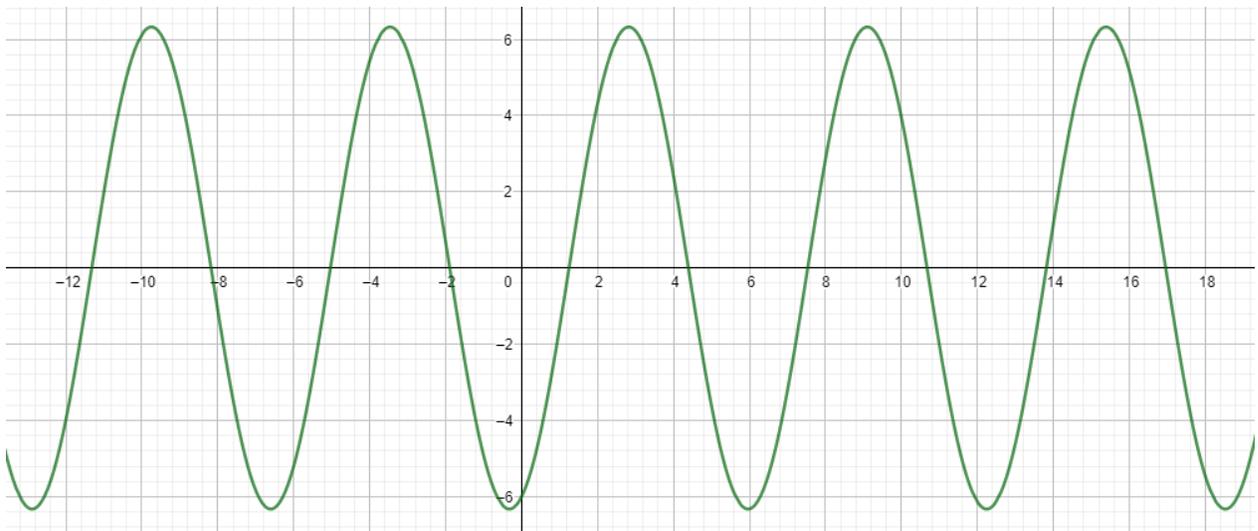
É fácil perceber que, nesse caso, a segunda derivada não pode ser escrita como solução da EDO 2.2.3, uma vez que ela não é equivalente ao produto de uma constante pela função originária.

Observe o gráfico gerado a partir da função $x(t) = 2\text{sen}(t + 4\pi) + 6\text{cos}(t - \pi)$.

Figura 2 - Gráfico gerado através do programa Geogebra para a função indicada

Fonte: Elaboração do autor (2021)

Este gráfico representa a evolução da solução geral da EDO 2.2.3, expresso pela equação 2.2.4, com $a = 2$, $\omega = 1$, $b = 6$, $\varphi = 4\pi$ e $\phi = -\pi$. Essa combinação trigonométrica, apesar de possuir amplitudes e fases diferentes nos dois termos que a



compõem, mantém o padrão gráfico que seria construído por apenas uma função trigonométrica contínua, definida pelo seno ou cosseno. Dessa forma, a solução geral da equação 2.2.4, pode ser reescrita como:

$$x(t) = A\text{sen}(\omega t + \varphi) \quad (2.2.11)$$

Além disso, comparando a EDO 2.2.3 com a equação 2.2.8, a frequência angular para o sistema massa-mola do oscilador harmônico é caracterizada pelas seguintes relações.

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = \frac{2\pi}{\tau} \quad (2.2.11)$$

Além disso, com a solução acima, a velocidade da massa m , será definida pela expressão.

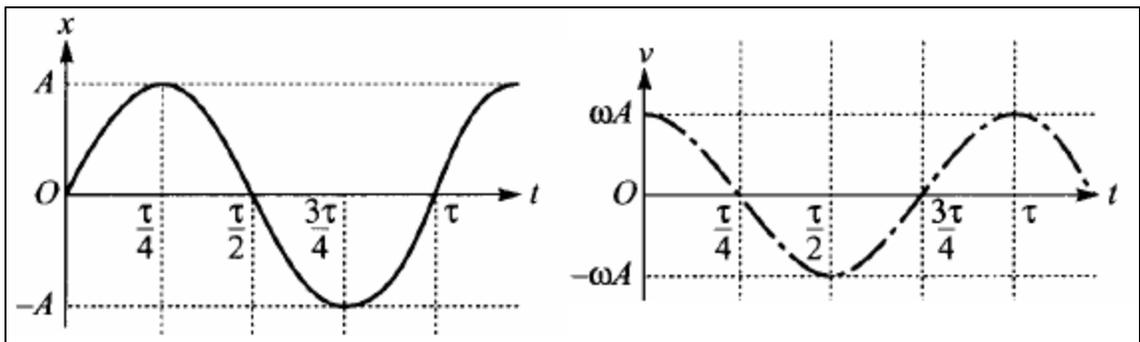
$$v(t) = \omega A \cos(\omega t + \varphi) \quad (2.2.12)$$

Para $\varphi = 0$, as equações de estado cinemático 2.2.11 e 2.2.12 produzem os seguintes gráficos:

Figura 3 - Gráficos da posição e velocidade em função do tempo

Fonte: (NUSSENZVEIG, 2002, p. 122)

O gráfico da posição indicado acima possui o mesmo comportamento para um sistema de propagação de onda, sendo necessário uma adequação das variáveis ao modelo fenomenológico.



Antes de iniciar as relações entre oscilador harmônico e o modelo ondulatório, precisamos definir a energia associada a esse oscilador. Para isso, vamos relacionar a Lei de Hooke, que indica a relação entre força e elongação, com a definição de energia potencial para um sistema de força conservativa.

Lei de Hooke $F(x)$	Sistema de força conservativa $F(U,x)$
---------------------------------------	--

$F = -kx$	$F = -\frac{dU}{dx}$
-----------	----------------------

A partir das relações acima, temos:

$$\frac{dU}{dx} = kx \quad (2.2.13)$$

Integrando em dx dos dois lados:

$$\int \frac{dU}{dx} dx = \int kx dx \quad (2.2.13.1)$$

A solução dessa integral indefinida será, então:

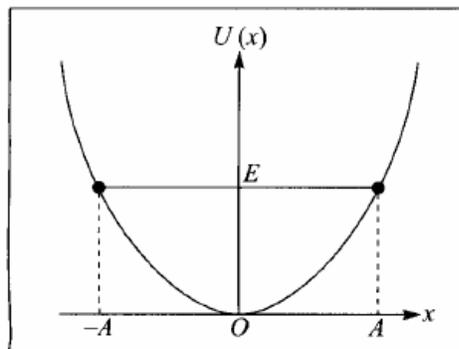
$$U(x) = \frac{kx^2}{2} + C \quad (2.2.13.2)$$

Estabelecendo o ponto de equilíbrio como sendo a posição de energia potencial nula, $U(0) = 0$, chegamos facilmente na equação.

$$U(x) = \frac{kx^2}{2} \quad (2.2.14)$$

O que define uma energia potencial do tipo indicado pelo gráfico abaixo.

Figura 4 - Energia potencial do oscilador harmônico



Fonte: (NUSSENZVEIG, 2002, p. 120)

Para escrever a função $U(x)$ como $U(t)$, relacionamos as equações 2.2.11 e 2.2.14, ficando com:

$$U(t) = \frac{k}{2} A^2 \text{sen}^2(\omega t + \varphi) \quad (2.2.15)$$

Além disso, a partir da equação 2.2.12, podemos escrever a energia cinética para esse oscilador harmônico como sendo:

$$E_c(t) = \frac{m\omega^2 A^2 \text{cos}^2(\omega t + \varphi)}{2} \quad (2.2.16)$$

Utilizando a relação 2.2.11,

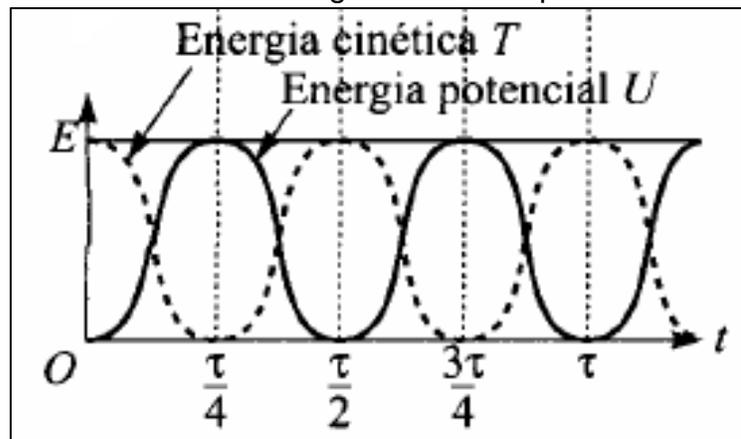
$$E_c(t) = \frac{kA^2 \text{cos}^2(\omega t + \varphi)}{2} \quad (2.2.17)$$

Dessa forma, ao comparar as equações 2.2.15 e 2.2.17, percebemos que a energia potencial e a cinética oscilarão, no tempo, com uma divergência de fase de π radianos entre elas. Se adotarmos $\varphi = 0$, para verificar a representação gráfica, produzimos o seguinte gráfico de energia em função do tempo

Figura 5 - Gráfico das variações de energia cinética e potencial no tempo

Fonte: (NUSSENZVEIG, 2002, p. 122)

Podemos ainda definir a energia total para este sistema, sem amortecimento e dissipações. Tomando a soma das energias cinética e potencial:



$$E_{total}(t) = \frac{kA^2 [\text{cos}^2(\omega t + \varphi) + \text{sen}^2(\omega t + \varphi)]}{2} \quad (2.2.18)$$

Utilizando a identidade trigonométrica, chegamos à expressão:

$$E_{total}(t) = \frac{kA^2}{2} \quad (2.2.19)$$

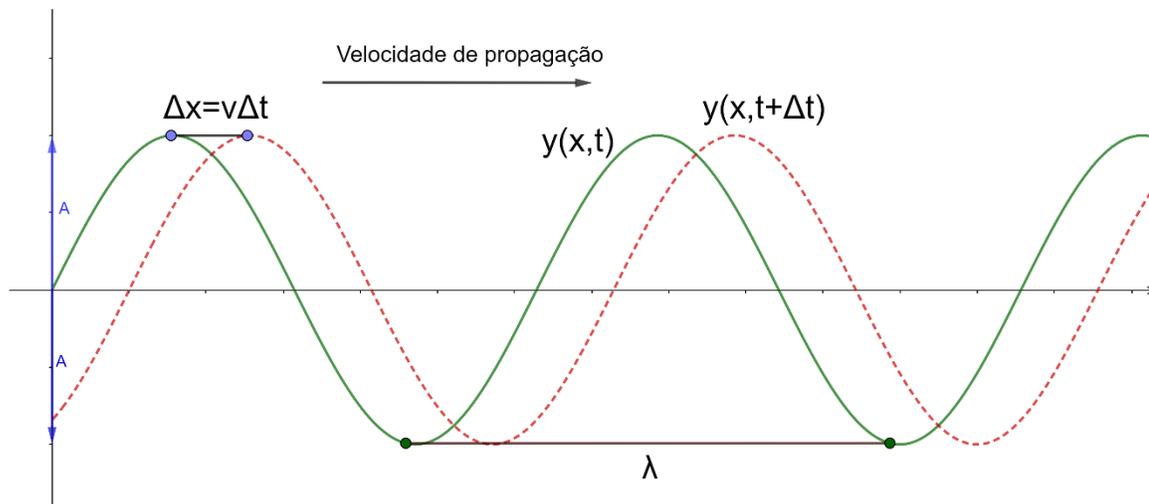
O que é compatível com a interpretação de que ao alcançar a elongação máxima da mola, toda a energia estará na forma da energia potencial com $x = A$.

2.3. Relação oscilador harmônico com propagação de ondas em cordas

Quando observamos a propagação de onda em uma corda, o padrão da trajetória dessa onda é descrito por uma função do tipo senoidal, assim como o encontrado para a trajetória de um oscilador harmônico. No entanto, dois tipos de movimento são evidenciados: o de oscilação da corda e o de propagação da onda.

Dessa forma, analisar a propagação de ondas em cordas é semelhante a análise de um oscilador no tempo. A diferença é a existência de dois movimentos para serem analisados no tempo, enquanto no oscilador harmônico do sistema massa-mola temos apenas o movimento unidimensional.

Figura 6 - Definições do gráfico para o modelo ondulatório



Fonte: Elaboração própria com uso do programa Geogebra (2021)

Como a velocidade de propagação da onda na corda é uniforme, podemos definir a função posição $x(t)$, para um referencial inercial que se propaga em conjunto com a corda através da relação.

$$x'(t) = x - vt \quad (2.3.1)$$

Essa função é útil uma vez que para esse referencial inercial não estático, a onda estaria parada, enquanto o referencial se movendo com velocidade v . Com a onda

parada dentro dos espaços definidos por esse referencial, é trivial perceber a relação entre o modelo de propagação de onda em corda com o oscilador harmônico anteriormente definido. Para definir a função posição, utilizando a semelhança com o caso expresso no oscilador harmônico, na equação 2.2.11, podemos escrever a função abaixo.

$$y(x) = A \cdot \text{sen}(k \cdot x'(t) + \varphi_0) \quad (2.3.2)$$

No referencial estabelecido, quando $x(t)$ é um múltiplo inteiro de um comprimento de onda λ , do tipo $x(t) = n\lambda$, a função seno precisa dar uma volta completa no ciclo trigonométrico, ou seja, percorrer um caminho de 2π radianos. Dessa forma, precisamos estabelecer uma constante k , de tal forma que o produto $k \cdot x(t)$ seja equivalente a um múltiplo inteiro de 2π . Assim, deduzimos a relação abaixo para o número de onda representado pela variável k .

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (2.3.3)$$

Para uma propagação de onda uniforme, a velocidade pode ser escrita como $v = \frac{\lambda}{\tau}$, onde τ representa o período de oscilação da onda. Além disso, podemos utilizar a relação expressa em 2.2.11 em conjunto com as equações 2.3.1, 2.3.3 para reescrever a equação 2.3.2 em sua forma mais conhecida.

$$y(x) = A \cdot \text{sen} \left[\frac{2\pi}{\lambda} \cdot \left(x - \frac{\lambda}{\tau} t \right) + \varphi_0 \right] \quad (2.3.3.1)$$

$$y(x) = A \cdot \text{sen} \left[\frac{2\pi}{\lambda} x - \frac{2\pi}{\tau} t + \varphi_0 \right] \quad (2.3.3.1)$$

$$y(x, t) = A \cdot \text{sen}(k \cdot x - \omega t + \varphi_0) \quad (2.3.4)$$

Para definir a posição a partir da função seno ou cosseno, precisamos perceber que é um caso de convenção e conveniência. A alteração da função trigonométrica pode ser feita simplesmente alterando a constante de fase φ_0 , uma vez que temos a identidade trigonométrica $\text{sen} \left(x + \frac{\pi}{2} \right) = \cos(x)$ indicando a transformação entre as funções a partir da alteração de fase. Dessa forma, os cálculos aqui propostos utilizarão a posição $y(x,t)$

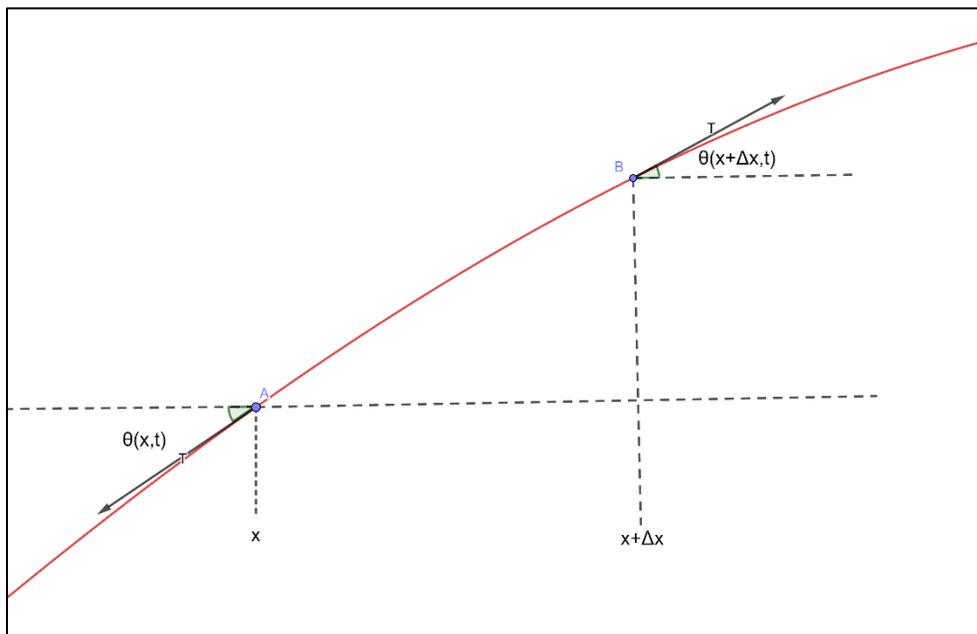
como fundamentada pela variação exposta pelo seno, no entanto, é possível encontrar outras formas de definição com parametrizações diferentes.

2.4. Análise matemática do movimento ondulatório na corda

Podemos considerar o modelo de propagação de onda em corda como o de partículas infinitesimais de massa que estão acopladas umas às outras através de molas. Dessa forma a tensão é transmitida de partícula a partícula. A partir disso, podemos considerar pequenos deslocamentos de tal forma que a variação de comprimento da corda, durante a propagação da onda, seja desprezível.

Essas considerações aplicadas na análise do movimento de uma corda, a partir da equação 2.3.4, conduz a um modelo que nos permite encontrar relações importantes para os movimentos presentes no fenômeno. Tomando a análise infinitesimal das posições em relação ao movimento expresso pela propagação da onda na corda, podemos chegar em conclusões a partir do modelo indicado abaixo.

Figura 7 - Modelo de onda ampliado com a indicação de variação de posições infinitesimais



Fonte: Elaboração própria com uso do programa Geogebra (2021)

Como ponto de partida, vamos analisar as equações de movimento nos pontos A e B. Podemos perceber que o módulo da componente vertical das tensões é indicado por:

$$T_y = T \cdot \text{sen}(\theta(x, t)), \text{ no ponto A} \quad (2.4.1)$$

$$T_y' = T \cdot \text{sen}\theta(x + \Delta x, t), \text{ no ponto B} \quad (2.4.2)$$

Considerando posições onde θ é suficientemente pequeno, próximos a crista ou vale da onda, podemos fazer a aproximação $\text{sen}\theta \approx \text{tg}\theta = \frac{\partial y}{\partial x}$. Com essa aproximação, então as equações 2.4.1 e 2.4.2 podem ser reescritas da seguinte forma.

$$T_y = T \cdot \frac{\partial y}{\partial x}(x, t), \text{ no ponto A} \quad (2.4.3)$$

$$T_y' = T \cdot \frac{\partial y}{\partial x}(x + \Delta x, t), \text{ no ponto B} \quad (2.4.4)$$

A diferença entre essas duas forças nos fornece a força resultante que acelera a corda na posição x . Tomando a razão entre essa diferença e o deslocamento infinitesimal Δx , teremos:

$$\frac{T_y' - T_y}{\Delta x} = T \left[\frac{\frac{\partial y}{\partial x}(x + \Delta x, t) - \frac{\partial y}{\partial x}(x, t)}{\Delta x} \right] \quad (2.4.5)$$

Utilizando a definição para derivadas parciais em conjunto com a característica infinitesimal de Δx , temos a relação abaixo como resultado do termo na equação anterior.

$$\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \left[\frac{\frac{\partial y}{\partial x}(x + \Delta x, t) - \frac{\partial y}{\partial x}(x, t)}{\Delta x} \right] = \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}(x, t) \quad (2.4.6)$$

Substituindo a definição da equação 2.4.6 na equação 2.4.5 e rearranjando os termos, podemos reescrevê-la deixando explícito a expressão para a força vertical na corda.

$$F_y = T_y' - T_y = T \Delta x \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}(x, t) \quad (2.4.7)$$

Utilizando a 2ª Lei de Newton $F = m \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$ para definir a força resultante na direção vertical, teremos:

$$m \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}(x, t) = T \Delta x \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}(x, t) \quad (2.4.8)$$

Reescrevendo a massa da secção infinitesimal Δx como $m = \mu \Delta x$, onde μ indica a densidade linear da corda, obtemos:

$$\mu \Delta x \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}(x, t) = T \Delta x \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}(x, t) \quad (2.4.9)$$

Por fim, reorganizando a ordem das derivadas parciais e das constantes da equação acima, chegamos na relação que nos fornece a velocidade de propagação para ondas se propagando em cordas.

$$\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 = \frac{T}{\mu} \quad (2.4.10)$$

Assumindo $x(t) = x - vt$, teremos a velocidade de propagação para ondas unidimensionais escrita como:

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (2.4.11)$$

Além da velocidade de propagação, podemos encontrar a velocidade de oscilação da onda na corda pela derivada parcial da posição $y(x,t)$ em relação a variável tempo utilizando a equação 2.3.4.

$$\frac{\partial y(x, t)}{\partial t} = -A\omega \cdot \cos(k \cdot x - \omega t + \varphi_0) \quad (2.4.12)$$

Se considerarmos o argumento $\varphi = k \cdot x - \omega t + \varphi_0$, podemos reescrever a equação 2.4.12 como uma função seno, do tipo.

$$\frac{\partial y(x, t)}{\partial t} = -A\omega \cdot \text{sen}\left(\varphi + \frac{\pi}{2}\right) \quad (2.4.13)$$

Além da reescrita da fase, podemos utilizar a identidade trigonométrica $\text{sen}(x + \pi) = -\text{sen}(x)$ para reescrever a equação 2.4.13.

$$\frac{\partial y(x, t)}{\partial t} = Aw \cdot \text{sen} \left(\varphi + \frac{3\pi}{2} \right) \quad (2.4.14)$$

Dessa forma, a velocidade vertical de uma onda se propagando em uma corda pode ser tratada como a posição vertical defasada em uma fase de $+\frac{3\pi}{2}$ e multiplicada pela frequência angular do movimento.

Essa equação nos permite indicar os pontos de velocidade máxima como as posições indicadas pelos argumentos $\varphi = \pi(2n - 1)$ ou $\varphi = 2n\pi$, com n sendo um número inteiro.

Dessa forma, as posições com velocidade máxima para uma onda se propagando em corda serão indicadas pelas posições:

$$y(x, t) = A \text{sen}[(2n - 1)\pi] \text{ ou } y(x, t) = A \text{sen}[2n\pi] \quad (2.4.15)$$

Dessa forma, o modelo ondulatório terá suas posições de velocidade máxima definidas em torno de $y(x, t) = 0$. Isso é totalmente compatível com a situação fenomenológica do modelo, uma vez que a força restauradora sempre irá acelerar o movimento na direção do ponto central, enquanto desacelera o objeto que está se distanciando dessa posição.

2.5. Transmissão de energia

O fenômeno ondulatório não transmitirá matéria durante a sua propagação, apesar da onda que se propaga na corda existir devido a existência de uma força que acelera as partículas da corda, ela apenas oscilará o material em torno de uma posição de equilíbrio estável, não permitindo a propagação de matéria. Dessa forma, é correto afirmar que a onda transmitirá apenas energia.

Para calcular a energia transmitida pela corda, consideremos a componente vertical da tensão dada pela expressão 2.4.3.

$$T_y = -T \cdot \frac{\partial y}{\partial x}(x, t) \quad (2.5.1)$$

Perceba o sinal negativo da tensão como sendo definida a partir da característica da tensão como força restauradora. Considerando as partículas da corda oscilando

exclusivamente na direção y, a componente horizontal da tensão da corda não produzirá trabalho. Dessa forma, podemos definir a potência transmitida pela tensão como sendo o produto dela pela velocidade vertical em determinado ponto.

$$P = T_y \cdot \frac{\partial y}{\partial t}(x, t) \quad (2.5.2)$$

Dessa forma, tomando a equação da posição $y(x,t)$ definida em 2.3.4.

$$y(x, t) = A \cdot \text{sen}(k \cdot x - \omega t + \varphi_0) \quad (2.5.3)$$

Podemos determinar as derivadas parciais que serão necessárias para o desenvolvimento de $\frac{\partial y}{\partial t}(x, t)$.

$$\frac{\partial y(x, t)}{\partial x} = A \cdot k \cdot \text{cos}(k \cdot x - \omega t + \varphi_0) \quad (2.5.4)$$

$$\frac{\partial y(x, t)}{\partial t} = -A \cdot \omega \cdot \text{cos}(k \cdot x - \omega t + \varphi_0) \quad (2.5.5)$$

Substituindo a relação 2.5.1 na equação 2.5.2, ficamos com:

$$P = -T \cdot \frac{\partial y(x, t)}{\partial x} \cdot \frac{\partial y(x, t)}{\partial t} \quad (2.5.2)$$

Com as derivadas parciais indicadas pelas equações 2.5.4 e 2.5.5, temos a potência transmitida como sendo:

$$P = T \cdot A^2 \cdot k \cdot \omega \cdot \text{cos}^2(k \cdot x - \omega t + \varphi_0) \quad (2.5.2)$$

A potência dessa forma, oscila sua transmissão de acordo com a função cosseno ao quadrado. Para que possamos definir uma potência média de transmissão, façamos a seguinte consideração:

$$\text{sen}^2 x + \text{cos}^2 x = 1 \quad (2.5.2.1)$$

$$\overline{\text{sen}^2 x} + \overline{\text{cos}^2 x} = 1 \quad (2.5.2.2)$$

Como as funções trigonométrica de seno e cosseno são simétricas, podemos considerar $\overline{\text{sen}^2 x} = \overline{\text{cos}^2 x}$, gerando dessa forma a seguinte relação.

$$\overline{\cos^2 x} = \frac{1}{2} \quad (2.5.2.3)$$

Se analisarmos a equação 2.5.2 em torno das médias das funções, teremos então a expressão:

$$\bar{P} = T \cdot A^2 \cdot k \cdot \omega \cdot \overline{\cos^2(k \cdot x - \omega t + \varphi_0)} \quad (2.5.3)$$

$$\bar{P} = \frac{1}{2} T \cdot A^2 \cdot k \cdot \omega \quad (2.5.4)$$

Utilizando as definições $v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$ e $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, contidas, respectivamente, em 2.4.11 e 2.3.3. Podemos substituir os valores de T e k , chegando em

$$\bar{P} = \frac{1}{2} v^2 \cdot \mu \cdot A^2 \cdot \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \omega \quad (2.5.5.1)$$

Utilizando $v = \frac{\lambda}{\tau}$, podemos perceber a equação

$$\bar{P} = \frac{1}{2} \mu \cdot A^2 \cdot \omega \cdot v \cdot \frac{\lambda}{\tau} \cdot \frac{2\pi}{\lambda} \quad (2.5.5.2)$$

Como $\omega = \frac{2\pi}{\tau}$, chegamos na expressão para a potência média transmitida, que também é conhecida como intensidade I da onda:

$$I = \bar{P} = \frac{1}{2} \mu \cdot A^2 \cdot \omega^2 \cdot v \quad (2.5.6)$$

Essa expressão nos permite calcular qual seria a potência transmitida pela propagação de uma onda em uma corda.

2.6. Interferência

A interferência de duas ondas partirá do princípio da superposição. Isto é, se duas soluções são possíveis para a equação de onda, então a combinação linear destas também será solução.

Vamos considerar duas ondas que se movem no mesmo sentido ao longo de uma corda. Suas posições verticais seriam definidas pelo sistema de equações a seguir.

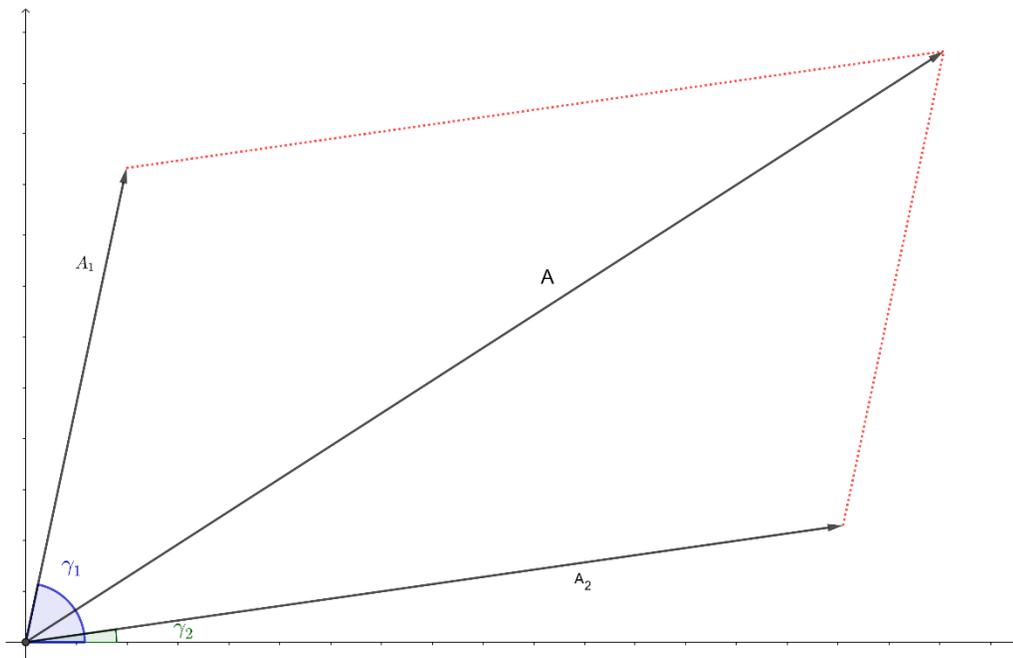
$$\begin{cases} y_1(x, t) = A_1 \text{sen}(kx - \omega t + \varphi_1) \\ y_2(x, t) = A_2 \text{sen}(kx - \omega t + \varphi_2) \end{cases} \quad (2.6.1)$$

Vamos considerar $kx + \varphi_1 = \gamma_1$ e $kx + \varphi_2 = \gamma_2$. O sistema de equações 2.6.1 pode ser reescrito então como:

$$\begin{cases} y_1(x, t) = A_1 \text{sen}(\omega t + \gamma_1) \\ y_2(x, t) = A_2 \text{sen}(\omega t + \gamma_2) \end{cases} \quad (2.6.2)$$

Se desenharmos esses dois vetores para um sistema polar com raio igual a amplitude e ângulo igual a constante de fase, teremos a seguinte representação.

Figura 8 - Representação dos vetores em sistema polar



Fonte: Elaboração própria com uso do programa Geogebra (2021)

Pelo princípio da superposição, a onda produzida pela interferência das ondas indicadas em 2.6.2 é definida por:

$$y(x, t) = y_1(x, t) + y_2(x, t) \quad (2.6.3)$$

A combinação linear das duas soluções da equação de onda propostas, através da representação vetorial é indicada por:

$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\gamma_2 - \gamma_1) \quad (2.6.4)$$

Para verificar a intensidade transmitida pela onda produzida por essa interferência, podemos utilizar a expressão 2.5.6, que nos fornece

$$A = \sqrt{\frac{2 \cdot I}{\mu \cdot \omega^2 \cdot v}} \quad (2.6.5)$$

Assumindo que as grandezas μ , ω e v não são alteradas nas duas ondas em questão, a equação 2.6.3 pode ser reescrita da seguinte forma:

$$I = I_1 + I_2 + 2I_1I_2 \cos(\gamma_2 - \gamma_1) \quad (2.6.6)$$

A partir da relação da intensidade da onda, definimos as relações de interferência construtiva e destrutiva. O valor máximo da intensidade produzida pela interferência será quando $\cos(\gamma_2 - \gamma_1) = 1$. Ou seja, a interferência construtiva é gerada para:

$$\gamma_2 - \gamma_1 = 2n\pi, \text{ com } n \in \mathbb{Z} \quad (2.6.7)$$

Essa relação de interferência construtiva gerará uma intensidade de onda

$$I_{\text{construtiva}} = I_1 + I_2 + 2I_1I_2 = (\sqrt{I_1} + \sqrt{I_2})^2 \quad (2.6.8)$$

Enquanto isso, a interferência destrutiva será gerada pela diferença de fase equivalente a:

$$\gamma_2 - \gamma_1 = (2n + 1)\pi, \text{ com } n \in \mathbb{Z} \quad (2.6.9)$$

Para a interferência destrutiva, a intensidade da onda será

$$I_{\text{destrutiva}} = I_1 + I_2 - 2I_1I_2 = (\sqrt{I_1} - \sqrt{I_2})^2 \quad (2.6.10)$$

Dessa forma, para diferença de fase entre os valores máximos e mínimos, a intensidade da onda estará no plano intermediário indicado pelas equações 2.6.8 e 2.6.10.

É importante ressaltar que a onda produzida pela interferência construtiva não terá necessariamente uma intensidade que é a soma das outras duas intensidades, mas sim a relação matemática expressa pela equação 2.6.8. Da mesma forma, a intensidade

produzida pela interferência destrutiva nem sempre será igual a zero, mas o resultado produzido pela equação 2.6.10.

Em contrapartida, as amplitudes das ondas produzidas serão caracterizadas pela soma linear das amplitudes de acordo com o padrão de interferência produzido pela diferença de fase $\gamma_2 - \gamma_1$.

Caso as ondas estejam se propagando em direções opostas com mesma amplitude e constante de fase, o sistema 2.6.2 é reescrito como:

$$\begin{cases} y_1(x, t) = A \cdot \text{sen}(kx - \omega t) \\ y_2(x, t) = A \cdot \text{sen}(kx + \omega t) \end{cases} \quad (2.6.11)$$

Pelo princípio da sobreposição, temos a onda de interferência:

$$y = y_1(x, t) + y_2(x, t) \quad (2.6.12.1)$$

$$y = A[\text{sen}(kx - \omega t) + \text{sen}(kx + \omega t)] \quad (2.6.12.2)$$

$$y = A[\text{sen}(kx) \cos(\omega t) - \text{sen}(\omega t) \cos(kx) + \text{sen}(kx) \cos(\omega t) + \text{sen}(\omega t) \cos(kx)] \quad (2.6.12.3)$$

$$y = 2A[\text{sen}(kx) \cdot \cos(\omega t)] \quad (2.6.12.4)$$

Como a função posição y desse padrão de interferência é resultado de um produto de funções independentes em x e em t . A onda não se propagará, mas permanecerá em um mesmo ponto produzindo o que conhecemos como padrão de onda estacionário.

A física apresentada nesta seção está diretamente conectada com os conceitos introdutórios de Física ondulatória apresentados e discutidos ao longo deste trabalho.

3. Modelo de aprendizagem cognitivista ausubeliana

3.1. Preâmbulo

A realidade da escola, por muitas vezes, é caracterizada por uma aprendizagem mecânica e com pouco significado. Atividades como cópias de textos, de informações e avaliações que enfatizam e aprovam a capacidade dos estudantes em memorizar informações, muitas vezes descontextualizada de situações reais, tendem a gerar um baixo índice de reflexão e de capacidade de conectar as áreas de conhecimento estudadas a problemas que precisam de respostas.

A teoria ausubeliana direciona a perspectiva de aprendizagem à um significado que forme ideias mais sofisticadas na estrutura cognitiva dos alunos. Para estabelecer esse novo escopo de entendimento, ele busca compreender o que já é sabido, para a partir disso, construir e estabelecer um novo nível de compreensão que poderia classificar a aprendizagem como significativa.

3.2. Introdução

David Paul Ausubel (1918-2008) era filho de imigrantes Judeus que foram para os Estados Unidos. Em seu livro, *Educational Psychology*, é relatada a conclusão de uma de suas experiências com a escola:

Escandalizou-se com um palavrão que eu, patife de seis anos, empreguei certo dia. Com sabão de lixívia lavou-me a boca. Submeti-me. Fiquei de pé num canto o dia inteiro, para servir de escarmento a uma classe de cinquenta meninos assustados (...). A escola é um cárcere para meninos. O crime de todos é a pouca idade e por isso os carcereiros lhes dão castigos (AUSUBEL, 1968, p. 31).

A experiência de Ausubel é algo que aponta para um ensino carregado de um autoritarismo por parte dos professores. Uma época em que os professores faziam correções de comportamento através de coerção e repressão é comumente relatado pelas pessoas que foram alunos até o final da década de 1960.

Pessoalmente, os pais do autor deste trabalho compartilharam experiências como a correção através do instrumento chamado de “palmatória”, experiências como o “cantinho do burro”, onde o estudante era colocado em posição de humilhação devido à falta de respeito à autoridade do professor, e, até mesmo, a correção dos pais diante dos

relatos feitos a respeito dos filhos, no qual eles costumavam fazê-lo por meio de uma agressão que os expunham até à vergonha de “apanhar” na frente dos colegas.

Os pais do autor desse trabalho utilizaram dessa mesma ideia, ensinando e impedindo qualquer tipo de argumentação contrária a imagem de autoridade do professor. O que fosse dito pelos professores a respeito do comportamento, realização de atividades, deveres de casa ou qualquer outro assunto pertinente a disciplina e comprometimento do aluno não poderia ser questionado.

A estrutura que afastava os estudantes da possibilidade de uma relação inocente, simples e amorosa com a escola e marcava um modelo educacional que colocava o estudante como passivo ao ensino, dando ênfase à figura autoritária do professor. Os alunos eram obrigados a simplesmente reproduzir o que era ensinado. Tal pensamento permeava o sistema educacional da época em que o próprio Ausubel foi educado e se propagou durante todo o século XX.

A teoria da aprendizagem significativa, de Ausubel, foi apresentada em 1963, época na qual as teorias behavioristas eram predominantes a respeito da influência do meio sobre o sujeito e que só aprendiam as coisas que eram ensinadas a partir de um estímulo externo ao aprendiz. Sua teoria é fundamentada no cognitivismo e busca uma estrutura capaz de compreender e definir a relação direta do aprendiz com o aprendido. Para o autor, tal relação, para que seja significativa, deverá resultar em processos de recontextualização e reconstrução dos conhecimentos prévios, sejam eles já subsumidos pelo aprendiz ou adquiridos por processos de organização avançada (também conhecida, por efeitos de traduções idiomáticas da obra de Ausubel, como organização prévia). É importante ressaltar que Ausubel não defende e nem define claramente a importância das emoções dentro do processo de aprendizagem.

O objetivo deste trabalho é o de verificar qual seria a abordagem mais efetiva dentro do contexto da aprendizagem significativa. Quais seriam elementos adequados no processo de assimilação, e a elaboração de materiais que possam contribuir no processo de construção da metodologia de outros professores.

3.3. Uma tentativa de responder aos problemas de uma aprendizagem sem significado

Na abertura de seu livro, Psicologia Educacional, Ausubel é enfático em dizer: “Se eu tivesse que reduzir toda a psicologia educacional a um único princípio, diria isto: o fator isolado mais importante que influencia o aprendizado é aquilo que aprendiz já conhece. Descubra o que ele sabe e baseie isso nos seus ensinamentos.” (AUSUBEL, 1968, p. v, tradução nossa). Esse aspecto era menosprezado pelo sistema educacional que vigorava até o final da década de 1960. Dessa forma, a busca por outro que tivesse o estudante como protagonista da aprendizagem passa a ser estudado e pensado dentro do ambiente acadêmico, fato compatível com a ideia ausubeliana de buscar a compatibilidade entre o que está sendo ensinado e o que já existe para ancorar o novo aprendizado.

A escolha de Ausubel como referencial teórico que norteia as bases do presente trabalho vem de uma identificação entre os conceitos apresentados por ele e a visão pedagógica do autor. A aprendizagem significativa que trata da significação dos conceitos e experiências pessoais dentro de um processo de **reflexão**, **sintetização** e **generalização** é o instrumento teórico para a elaboração da sequência da sequência pedagógica apresentada dentro do produto educacional aqui proposto.

Os signos “reflexão”, “sintetização” e “generalização” são palavras pensadas pelo autor deste trabalho com significado definido a seguir, e serão utilizados como representações para identificação do momento em que a aprendizagem se encontra.

A aprendizagem significativa toma como ponto de partida o conhecimento prévio do aluno, um elemento a ser desenvolvido para ancoragem na sua estrutura cognitiva. O processo de assimilação é dinâmico e os signos reflexão, sintetização e generalização serão definidos da seguinte forma:

- **Reflexão:** etapa em que o estudante analisa fenômenos que estão a sua volta, estão conectados aos processos de indução e dedução de ideias e teorias. Processo presente na transição da aprendizagem representacional para a conceitual.
- **Sintetização:** etapa com o objetivo de reunir um conjunto de experiências em torno de algo comum. Uma ideia ou teoria mais geral é formulada e

colocada a prova, ela possui a característica de justificar as situações que são apresentadas como semelhantes. Processo presente na transição da aprendizagem conceitual para a proposicional.

- **Generalização:** capacidade de prever resultados e comportamentos a partir do que foi abordado. As ideias ou teorias passam a se relacionar com outras, podendo explicar outros tipos de fenômenos. Processo que culmina com a aprendizagem proposicional assimilada.

Todos esses processos serão analisados dentro da sequência pedagógica para identificar o nível de aprendizagem que o aluno conseguiu alcançar.

O ensino de Física Clássica objetiva a compreensão de fenômenos que cercam as nossas vidas. Ele compreende tanto o aspecto fenomenológico, quanto o aspecto matemático. O aspecto fenomenológico tratará da observação direta a respeito de eventos e caracterizado pelo conhecimento baseado em senso comum ou outras informações com as quais o estudante teve contato. O aspecto matemático tratará de qualquer medida realizada dentro do sistema e das relações formais entre as grandezas observadas no fenômeno

Por exemplo, o aspecto fenomenológico da propagação de ondas em uma corda possui certas características como periodicidade, deslocamento uniforme, amortecimento, relação da propagação com a fonte, densidade da corda e quaisquer outras características que busquem definir o fenômeno de propagação da onda na corda. Ao passo em que o aspecto matemático estaria representado pelas medidas e relações matemáticas entre elas.

Os dois aspectos no ensino de Física serão cruciais para se caracterizar o aprendizado como significativo. O aspecto fenomenológico nos permite ter uma compreensão qualitativa e uma estimativa do que acontecerá diante de situações análogas que já experimentamos, por exemplo, se pegarmos uma corda, um fio, uma linha ou qualquer objeto que se assemelhe a uma corda e começarmos a balançar, na tentativa de produzir uma onda, conseguimos prever que o padrão ondulatório se repetirá. No entanto, com o aspecto matemático, conseguimos não apenas ter uma visão qualitativa e de aproximação do fenômeno, mas também uma previsão a respeito de casos semelhantes ou novos.

O aprendizado para Ausubel será caracterizado pela capacidade de se agregar conceitos à estrutura cognitiva que possibilitem a compreensão de problemas cada vez mais complexos e que serão base para um novo aprendizado. A teoria ausubeliana e o ensino de Física formam um paralelo compatível no que diz respeito a evolução de conceitos e aquisição de conhecimentos prévios para novos aprendizados.

3.4. Aprendizagem significativa

A teoria ausubeliana tem como objetivo organizar a visão do professor a respeito da estrutura cognitiva do aprendiz e definir estratégias de aprendizagem, bem como classificá-las dentro de um panorama que possibilite buscar formatos pedagógicos para alcançar a aprendizagem significativa. Moreira (2019, p. 160) define essa estrutura de aprendizagem:

Ausubel é um representante do cognitivismo e, como tal, propõe uma explicação teórica do processo de aprendizagem, segundo o ponto de vista cognitivista, embora reconheça a importância da experiência afetiva. Para ele, aprendizagem significa organização e integração do material na estrutura cognitiva. Como outros teóricos do cognitivismo, ele se baseia na premissa de que existe uma estrutura na qual essa organização e integração se processam. É a estrutura cognitiva, entendida como o conteúdo total de ideias de um certo indivíduo e sua organização; ou, conteúdo e organização de suas ideias em uma área particular de conhecimentos. É o complexo resultante dos processos cognitivos, ou seja, dos processos por meio dos quais se adquire e utiliza o conhecimento (MOREIRA, 2019, p. 160).

Dessa forma, a aprendizagem segundo Ausubel pode ser entendida como a capacidade de organizar e integrar conhecimento com a estrutura cognitiva prévia. Essa aprendizagem pode se dar dentro de duas classificações, segundo Ausubel, a aprendizagem **mecânica** e a **significativa**. Dentro de uma leitura rápida, tendemos a imaginar que a aprendizagem significativa é sempre superior a mecânica, uma vez que a palavra mecânica dentro desse contexto nos leva a pensar em uma aprendizagem robotizada, pouco reflexiva e que é facilmente esquecida.

O ensino de Física, objeto deste trabalho, pode ser realizado dentro das duas classificações de aprendizagem proposta por Ausubel. Para isso, a diferença conceitual entre elas será abordada e é fundamental diferenciar os dois modelos de aprendizagem, uma vez que a realidade comporta o uso de ambas.

A aprendizagem **mecânica** é definida como aquela em que o aprendiz assimila por repetição. Ela é necessária diante do cenário onde paramos para aprender sobre algo totalmente novo. Pense na etapa de um bebê aprendendo a falar, por exemplo, é intuitivo as pessoas influenciarem por meio de repetições até que ele seja capaz de repetir e dar significado as palavras.

Para se atestar que um aprendizado foi **significativo** ou mecânico é necessário, portanto, compreender um conceito definido por Ausubel, chamado de “subsumer”. Como é uma palavra que não existe tradução literal no português, a palavra que os acadêmicos utilizam para “traduzir” o conceito posto é o nome de subsunçor. De forma objetiva, subsunçor será a base cognitiva prévia na qual um novo conhecimento será ancorado.

Para Ausubel, aprendizagem significativa é um processo por meio do qual uma nova informação relaciona-se com um aspecto especificamente relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo, ou seja, este processo envolve a interação da nova informação com uma estrutura de conhecimento específica, a qual Ausubel define como conceito subsunçor; ou simplesmente subsunçor, existente na estrutura cognitiva do indivíduo. (...) Estrutura cognitiva significa, portanto, uma estrutura hierárquica de conceitos que são representações de experiências sensoriais do indivíduo (MOREIRA, 2019, p. 161).

Quando a aprendizagem é significativa, a ancoragem do novo conhecimento no subsunçor presente na estrutura cognitiva do aprendiz gera uma ampliação do significado prévio existente. Essa ampliação pode ser dentro de uma estrutura mais formal no quesito de justificar uma ideia anterior com mais um novo exemplo, pode ser a adequação de uma teoria a novas situações problema ou até mesmo a descoberta de uma nova base de conhecimento que servirá para ser explorada dentro de um outro contexto.

Para que uma aprendizagem seja considerada mecânica ou significativa, não basta que a metodologia seja adequada, no sentido de fornecer materiais potencialmente significativos. A relação que o conhecimento aprendido terá com a estrutura cognitiva do aluno é o fator determinante para que possamos classificar a aprendizagem. Neste trabalho, a aprendizagem significativa será analisada a partir dos conceitos utilizados no modelo de propagação de ondas em cordas.

A aprendizagem mecânica se relaciona com a estrutura cognitiva de forma arbitrária e literal, isto é, a nova aprendizagem se adequa a uma forma específica de

aplicação e não é relacionável a outras estruturas de conhecimento. A aprendizagem significativa, por sua vez, seria classificada como substantiva e indireta, isto é, a nova aprendizagem passa a fazer sentido em situações análogas e serve como subsunção para um novo aprendizado.

A essência do processo de aprendizagem significativa é que ideias simbolicamente expressas sejam relacionadas de maneira substantiva (não literal) e não arbitrária ao que o aprendiz já sabe, ou seja, a algum aspecto de sua estrutura cognitiva especificamente relevante para a aprendizagem dessas ideias. Este aspecto especificamente relevante pode ser, por exemplo, uma imagem, um símbolo, um conceito, uma proposição, já significativo (AUSUBEL, NOVAK e HANESIAN, 1968, p. 41).

Dessa forma, podemos afirmar que a aprendizagem significativa não está associada apenas à presença de um subsunção, mas à forma com que a nova aprendizagem se relacionará com outros conhecimentos prévios do aprendiz. Uma das dificuldades encontradas durante a execução do presente trabalho foi o fato de os estudantes estarem “acostumados” com uma aprendizagem mecânica, justificada pelo formato de avaliação presente nas escolas, em que o “decorar” equações, fórmulas e nomenclaturas é o seu principal objeto.

Assim, para que o aprendizado seja considerado significativo, a relação entre o que está sendo ensinado e a estrutura cognitiva do estudante precisa pertencer ao campo da não arbitrariedade e não literalidade. Isso significa que o processo de aprendizagem significativa torna possível a relação do aprendizado com outras situações ou conhecimentos análogos.

Por exemplo, o conhecimento matemático de propagação de ondas em cordas pode ser aplicado dentro de situações em que a classificação fenomenológica, apesar de diferente, obedece a certos padrões de deslocamento e oscilação que podem ser relacionados, como no caso da propagação de onda em superfícies líquidas. Fenomenologicamente, a onda possui uma classificação diferente, duas direções de propagação, mas obedece a mesma relação de frequência gerada pela fonte; além disso, a relações de comprimento de onda e velocidade, quando analisada sob a ótica de uma direção específica de propagação, com relações matemáticas equivalentes às do deslocamento de ondas em cordas tensionadas.

Isto quer dizer que a relação entre o novo conhecimento e a estrutura cognitiva anterior feita pelo aprendiz é um dos fatores decisivos para que o aprendizado alcance a “consolidação cognitiva significativa”, formando uma nova estrutura de subsunções que será ancoradura para novos aprendizados. Nas palavras de Moreira (2019, p. 164):

A outra condição é que o aprendiz manifeste uma disposição para relacionar de maneira substantiva e não arbitrária o novo material, potencialmente significativo, à sua estrutura cognitiva. Esta condição implica que, independentemente de quão potencialmente significativa seja o material a ser aprendido, se a intenção do aprendiz for simplesmente a de memorizá-lo, arbitrária e literalmente, tanto o processo de aprendizagem como seu produto serão mecânicos (ou automáticos). De maneira recíproca, independentemente de quão disposto para aprender estiver o indivíduo, nem o processo nem o produto da aprendizagem serão significativos, se o material não for potencialmente significativo (MOREIRA, 2019, p. 164).

De maneira sintética, a classificação da aprendizagem, significativa ou mecânica, se dará por meio do formato de interação entre a estrutura cognitiva do aprendiz e o novo conhecimento. A metodologia e o material didático precisam ser produzidos dentro de uma estrutura **potencialmente** significativa, uma vez que o objetivo é o de alcançar a aprendizagem significativa. Caso o material elaborado esteja em um sistema puramente mecânico, a aprendizagem significativa proposta por Ausubel será impossibilitada, uma vez que é improvável que o aprendiz crie, por si só, estruturas substantivas e indiretas que relacionem o novo conhecimento com a estrutura subsunçora.

Podemos relacionar o questionamento recorrente dos alunos acerca das razões para aprender algo com uma busca por significado diante daquilo que estamos querendo ensinar. No ensino médio, particularmente, os estudantes estão diante de uma das fases mais delicadas de sua vida, em que o seu futuro depende de uma decisão assertiva relacionada à profissão que eles desempenharão nos próximos anos. Uma maneira de negligenciar essa importante questão é afirmar a necessidade de aprovação no vestibular.

No momento em que a aprovação para um curso superior se torna a resposta principal para a indagação dos estudantes sobre as motivações para aprender física, a aprendizagem significativa já encontrou uma de suas maiores barreiras. Afinal, quando o foco se restringe a alcançar uma nota suficiente para prosseguir à próxima etapa da vida acadêmica, o objetivo deixa de ser buscar o significado e as relações entre áreas de

conhecimento diversas e se reduz à busca pela resposta mais objetiva, direta e que gaste menos tempo durante a realização de uma avaliação. Essa forma de encarar o aprendizado conduz à aprendizagem mecânica, naturalmente, em que a repetição de resoluções de problemas é a forma menos trabalhosa para se alcançar o resultado pretendido.

Por que esperar que os estudantes busquem meios que exigem um processo complexo de reflexão, sintetização e generalização no aprendizado? A simples repetição já teria o potencial de dar o resultado desejado e esperado na avaliação tradicional. Para isso, basta que o aprendiz realize a maior quantidade possível de problemas dentro de uma área específica de conhecimento. Essa é a forma de estudo mais difundida no ambiente escolar, onde a avaliação é centralizada na resolução de problemas comuns a cada área de conhecimento. Na seção que trata a respeito da unidade de ensino potencialmente significativa, no presente trabalho, discutiremos com mais propriedade a temática de avaliação e da proposta do produto educacional.

É importante ressaltar que a aprendizagem mecânica não se relaciona com a significativa de forma excludente, onde define-se uma como prioridade em relação a outra. Mas, elas se relacionam com um caráter contínuo e progressivo, cada uma com sua utilidade.

A aprendizagem mecânica poderia ser conveniente na formação de bases subsunçórias inexistentes ou que apresentem falhas. Enquanto a aprendizagem significativa seria o objeto final da sequência pedagógica. Ao final desse processo, esperamos a ampliação da compreensão e a capacidade de relacionar a aprendizagem adquirida com novas situações e problemas dentro da especificidade do conteúdo aprendido.

Nos anos de experiência profissional do autor deste trabalho, em sala de aula com o ensino de Física para o Ensino Médio, uma dificuldade encontrada rotineiramente é a deficiência de alunos em resolver equações de primeiro grau, conhecimento fundamental para uma vasta cadeia de fenômenos e problemas nessa disciplina. Nesse momento, quando paramos para resolver diversos tipos de exemplos, por mais que expliquemos os

devidos porquê de cada operação, a aprendizagem é essencialmente mecânica, pois o método consiste na repetição sistemática até que se forme a estrutura fundacional para a construção de relações físicas que podem ser traduzidas através das relações matemáticas utilizadas.

Os subsunçores necessários para o aspecto matemático da propagação de ondas em cordas fazem parte do conteúdo programático do 1º Ano do Ensino Médio. As relações de deslocamento que compõem o movimento do tipo uniforme serão utilizadas para conseguir definir o movimento de propagação da onda na corda. Por seu turno, o aspecto fenomenológico de oscilação será estudado durante a aplicação do produto educacional proposto por este trabalho.

Pela experiência com o magistério ao longo dos anos, boa parte dos estudantes não se lembra dos conteúdos por eles estudados no ano anterior e outra parcela ainda tem certas dificuldades em resolver problemas de matemática relacionados a equações lineares. Essa problemática mereceria uma discussão particular, mas que escapa às delimitações desta pesquisa. Como alternativa diante dessa realidade, os problemas para introdução de conteúdos com formalização matemática são explicados passo a passo, enfatizando mecanicamente a resolução de todas as equações que surgirão, até que os alunos demonstrem segurança em finalizá-las com autonomia.

Existe uma previsão diante da ausência ou incompletude de subsunçores que serviriam como ancoradouro para o que está sendo estudado. A esta, chamamos de organizadores prévios (ou avançados), tais como materiais com facilidade de visualização, simplicidade de exposição de conteúdo e praticidade para ancorar a mente do estudante em torno de um aspecto ideário que servirá como base substitutiva ao que foi detectado como inexistente ou insuficiente.

Dessa forma, o objetivo do organizador prévio é justamente definir o subsunçor ausente a partir de uma relação com o novo conteúdo, sem precisar entrar em uma definição formal complexa do conhecimento prévio. Assim, o organizador prévio tem o objetivo de gerar a âncora que substituirá o conceito ausente ou incompleto através de uma relação com o conhecimento a ser estudado.

3.5. Tipologias de aprendizagem significativa

Ausubel distingue ainda três tipos de aprendizagem significativa. A representacional, de conceitos e proposicional.

A aprendizagem representacional pode ser definida como aquela em que os signos verbais são compreendidos e passam a fazer parte da estrutura cognitiva do aprendiz, tornando-o capaz de identificar situações concretas e de dar o nome devido ao fenômeno. É aqui que se inicia o processo de reflexão citado pelo autor deste trabalho, onde a linguagem dominada pelo estudante é confrontada em suas limitações de caracterizar o fenômeno físico.

A aprendizagem representacional é o tipo mais básico de aprendizagem significativa, do qual os demais dependem. Envolve a atribuição de significado, do qual os demais dependem. Envolve a atribuição de significados a determinados símbolos (tipicamente palavras), isto é, a identificação em significado, de símbolos com seus referentes (objetos, eventos, conceitos). Os símbolos passam a significar, para o indivíduo, aquilo que seus referentes significam (MOREIRA, 2019, p. 165).

Neste trabalho, a aprendizagem representacional está associada aos termos “período”, “frequência”, “comprimento de onda” e “amplitude”. Esses signos verbais representam características básicas do movimento de onda em uma corda, mas não totalizam a compreensão fenomenológica do movimento ondulatório.

A aprendizagem de conceitos diferencia-se da aprendizagem representacional dentro do aspecto característico da sintetização do conhecimento aprendido. Isso significa que ao atingir esse estágio de aprendizagem significativa, o aprendiz passa a ser capaz de relacionar os conceitos novos com situações análogas mais imediatas, isto é, que possuam correlação fenomenológica e utilizem os mesmos signos verbais.

A aprendizagem de conceitos é, de certa forma, uma aprendizagem representacional, pois conceitos são também representados por símbolos particulares; porém, são genéricos ou categóricos, representam abstrações dos atributos essenciais dos referentes, isto é, representam regularidades em eventos ou objetos (MOREIRA, 2019, p. 165).

Neste trabalho, a aprendizagem de conceitos está associada a compreensão do fenômeno de geração de onda e propagação de onda; bem como as relações matemáticas oriundas da mecânica do movimento a serem detalhadas, em seção futura de revisão do conhecimento específico. Esse nível de aprendizagem significativa será

caracterizado pela capacidade do aprendiz em utilizar os conceitos aqui estudados dentro de situações que compõe a “união” do conteúdo aqui estudado com outras situações, por exemplo, a relação entre o movimento da fonte (que compõe subsunçor importante) e o movimento propagado ao longo da corda.

O nível de relação entre o que está sendo ensinado e o que o aprendiz já sabe modifica a extensão do subsunçor anterior por meio de uma “ponte de contato”. Por exemplo: a relação entre o período da fonte e o período de propagação da onda, a relação entre a energia empreendida pela fonte e a energia propagada pela onda, a relação entre a força de tensão e o movimento da corda e quaisquer outras relações que serão abordadas e pontuadas na seção específica deste trabalho.

A aprendizagem proposicional será identificada pela capacidade de generalização do conhecimento aprendido dentro de outros problemas que se apresentem à estrutura cognitiva do aprendiz. Esse nível é caracterizado pela compreensão da ideia em seu nível mais completo, onde o aprendiz é capaz de resolver outros sistemas de problemas utilizando o modelo matemático estudado.

A aprendizagem proposicional, contrariamente à aprendizagem representacional, a tarefa não é aprender significativamente o que palavras isoladas ou combinadas representam, mas, sim, aprender o significado de ideias em forma de proposição. De um modo geral, as palavras combinadas em uma sentença para construir uma proposição representam conceitos. A tarefa, no entanto, também não é aprender o significado das ideias expressas verbalmente por meio desses conceitos sob forma de uma proposição, ou seja, a tarefa é aprender o significado que está além da soma dos significados das palavras ou conceitos que compõem a proposição (MOREIRA, 2019, p. 165).

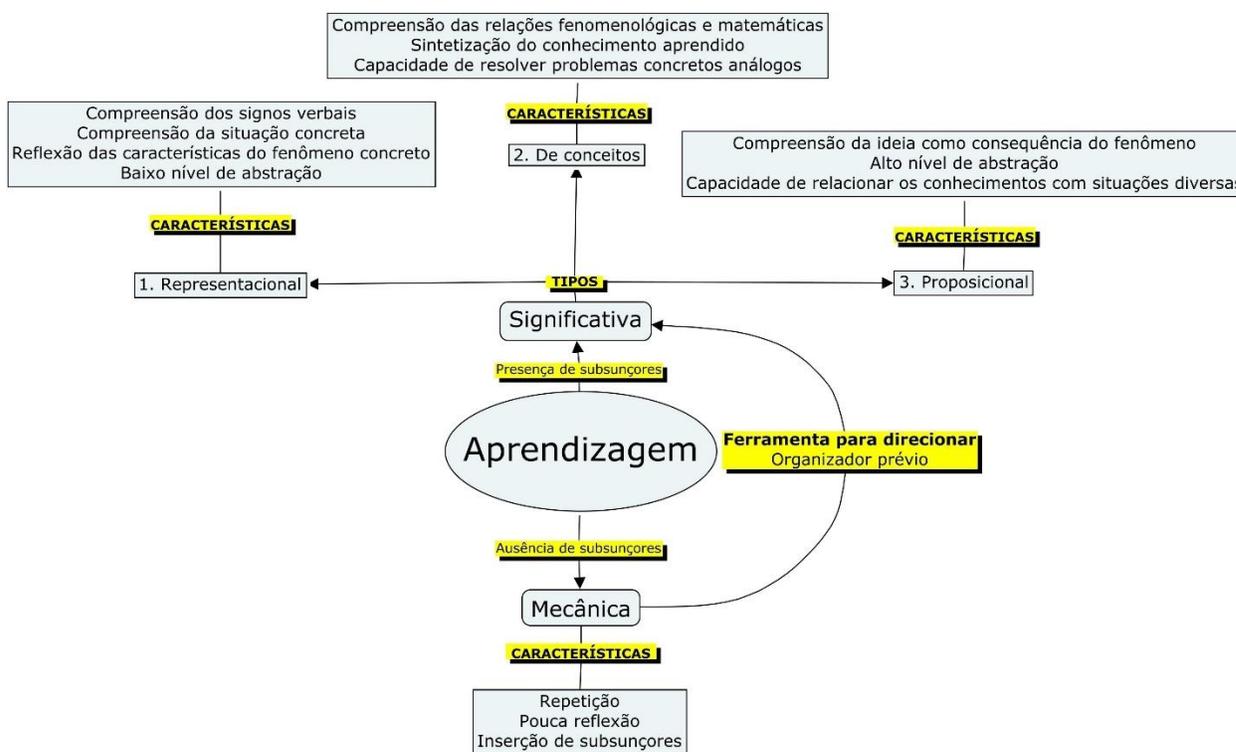
Neste trabalho, a aprendizagem significativa proposicional será alcançada quando o aprendiz conseguir relacionar os conceitos estudados dentro do sistema de propagação de ondas em corda com outras situações que envolvam oscilações e/ou movimentos periódicos. Os conhecimentos abordados aqui, quando ancorados na estrutura cognitiva do aprendiz, servirão como subsunçores para a compreensão do fenômeno de movimento harmônico simples (MHS) e movimentos pendulares, por exemplo.

Além disso, a interação dos conceitos aprendidos com os subsunçores, a serem definidos em seção específica deste trabalho, ressignificarão e expandirão o escopo desses subsunçores. Por exemplo, a estrutura cognitiva do aprendiz era a de ser capaz

de resolver problemas com movimento retilíneo e/ou circular antes da aprendizagem significativa, objetivo alvo deste trabalho. A expectativa é de que o aprendiz realize as tarefas antigas com maior facilidade, bem como seja capaz de resolver problemas que relacionem o movimento periódico de uma fonte com a propagação de onda em um meio, que pode ser ou não uma corda.

Podemos sintetizar a visão a respeito de aprendizagem mecânica e significativa no quadro a seguir.

Figura 9 - Tipologias de aprendizagem significativa na perspectiva ausubeliana



Fonte: Elaboração própria com base em Ausubel (1968) e Moreira (2019)

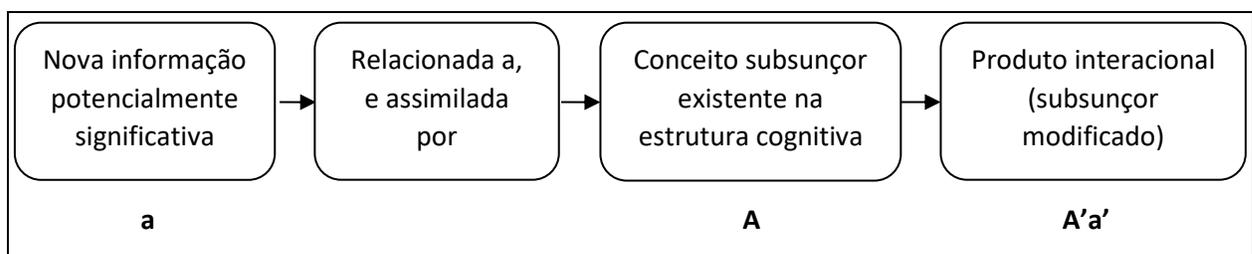
3.6. Processos de Aprendizagem Significativa

A forma como o aprendizado será ancorado na estrutura cognitiva do aprendiz e as conexões que ele fará com as estruturas prévias determinará se a aprendizagem será mecânica ou significativa. Uma análise dos subsunçores existentes por meio de uma avaliação diagnóstica permite o uso de um organizador prévio como material potencialmente significativo que servirá como base para que a aprendizagem significativa seja possibilitada.

Esse processo é um contínuo de interações, significações e ressignificações dentro do ambiente de aprendizagem. A aprendizagem é caracterizada como um **processo** que ocorre dentro do indivíduo, em sua estrutura cognitiva, e, nomeia esse processo como assimilação. Não se trata de simplesmente aceitar um novo conteúdo com base na imagem de autoridade imposta pela escola, mas de agregar a nova ideia as que já existem.

Moreira (2019, p. 166) ilustra o processo de assimilação da seguinte maneira:

Figura 10 - Organização do processo de assimilação



Fonte: Adaptação de (MOREIRA, 2019, p. 166)

O processo de assimilação, indicado na figura acima, estabelece a nova informação potencialmente significativa como o conhecimento “**a**”. O conceito subsunçor existente na estrutura cognitiva, antes da interação com **a**, como **A**. E o produto, após a interação entre **a** e **A**, como **A'a'**.

Voltaremos a essa relação mais à frente. Por ora, é importante destacar que o processo de assimilação é, portanto, aquele em que a estrutura cognitiva do aprendiz não é criada e nem destruída a partir de uma interação com o novo conhecimento potencialmente significativo. Entende-se o processo de assimilação como uma expansão daquilo que já existe.

As etapas do processo de assimilação podem ser definidas a partir de signos verbais que traduzem a característica de relacionamento entre o que está a ser aprendido e o que já se sabe, direcionando a capacidade de resolver e compreender problemas e/ou fenômenos cada vez mais complexos. Por esse motivo, a análise dos resultados deste trabalho tentará identificar qual das tipologias de aprendizagem os alunos conseguiram alcançar através da metodologia proposta, bem como o seu nível, se significativa, parcialmente significativa ou mecânica.

As crianças, por exemplo, estão inseridas em um ambiente de aprendizagem do significado de símbolos escritos, do sistema numeral e são estimuladas a desenvolver suas habilidades manuais. Ao passo em que essas crianças evoluem, essa estrutura desenvolvida em sua fase infantil passaria a ser utilizada como base para o que elas virão a aprender, como por exemplo, a escrita de textos que expressem claramente suas ideias e a criação com a resolução de sentenças matemáticas que representem problemas concretos.

Apesar desse exemplo genérico, existem, na Física, exemplos diversos e variados da evolução e requisição de subsunçores. No ano de 2011, o autor deste trabalho estava em uma de suas aulas de Física Quântica. O professor fez uma abordagem utilizando a ressignificação de descritores clássicos para descritores quânticos, transformando o que eram variáveis em operadores, possibilitando a resolução de problemas quânticos com a equação de Schrödinger.

Ele fez uma análise entre a física clássica com a física quântica, utilizando argumentos de uma Física estocástica que até hoje eu não compreendo com profundidade. Entramos no campo de uma discussão filosófica a respeito de ciência, culminando na seguinte pergunta: “Como eu vou saber qual o melhor modelo físico? Se o modelo quântico é mais genérico que o clássico, sendo o clássico a redução estocástica para a determinística, o quântico seria melhor?”.

Em síntese, a resposta do professor foi a seguinte: Veja bem, o que é definido como melhor? Essa é uma resposta complexa, mas vou te dar a seguinte. A melhor teoria não é a que resolve a maior quantidade de problemas possíveis, mas aquela que resolve o problema de forma mais simples. Por exemplo, você não precisa de Física quântica para resolver o problema de um objeto caindo; a mecânica de Newton é suficiente e simples para esse problema específico. Então eu diria que a melhor teoria é aquela que resolve a maior quantidade de problemas dentro do seu escopo de ação.

Essa experiência indica que a busca não deve ser pelo conhecimento que possibilita resolver o maior nível de problemas possíveis. Mas, por aquele conhecimento que é pertinente diante do que precisa ser resolvido. As respostas mais complexas não

são, necessariamente, as melhores. De forma análoga, o melhor aprendizado físico não será aquele por meio do qual o aprendiz é capaz resolver os problemas imediatos, mas o que dará a condição para que ele consiga compreender fenomenologicamente os conceitos, capacitando-o a formalizar matematicamente, resolvendo e chegando ao resultado esperado.

As estruturas matemáticas serão consideradas como subsunçores, que podem estar ou não inseridos na estrutura cognitiva dos estudantes. O novo conhecimento potencialmente significativo será caracterizado pela fenomenologia do movimento ondulatório que se propaga em uma corda. As relações matemáticas expressas pelas operações básicas a serem desenvolvidas como equações são conseqüências da interação entre a presença dos subsunçores e a compreensão do fenômeno.

O processo de assimilação inserido no exemplo apresentado na Figura 10, analisado de uma perspectiva do ensino da temática geral e no do contexto deste trabalho, definirá o seguinte:

a: Aspectos fenomenológicos do processo de formação e propagação de onda em uma corda.

A: Compreensão do movimento uniforme, capacidade de formação e resolução de problemas matemáticos, 3 Leis de Newton (Inércia, Lei fundamental e Ação e Reação), período e frequência.

A'a': Relação entre fonte geradora da onda e propagação (influência do meio e características). Aspecto fenomenológico e matemático.

O processo de formação do **A'a'** através da assimilação de um conteúdo potencialmente significativo não significa que ele passou pelo processo de aprendizagem significativa por completo. Após a ancoragem do novo conteúdo ao subsunçor, o aprendiz ainda passará por um tempo caracterizado pela indisponibilidade de dissociação entre as duas estruturas.

A estrutura cognitiva do aprendiz, portanto, passará por um processo de tentativa de reduzir os conceitos aprendidos, buscando compreender a ideia que conecta o novo

conhecimento ao subsunçor. Nessa etapa de reduzir o conhecimento a algo mais simples e econômico, teremos um segundo estágio de assimilação: a obliteradora.

O signo verbal “obliteradora” passa a ideia de algo que está a ser obliterado, partido ou destruído. É justamente isso que acontece nessa fase da assimilação; porém, não se trata da destruição absoluta do que foi aprendido, mas uma ressignificação de **A'a'**, que é traduzido em um único conhecimento, que representaremos por **A''**.

Essa representação de **A''** indica que o que antes era dissociável entre dois conhecimentos **A'a'**, que se relacionavam por meio de uma conexão subsunçória prévia, passa a se tornar indissociável. Dentro do contexto deste trabalho, atingir esse grau de assimilação indica que o aprendiz foi capaz de compreender o fenômeno ondulatório não como um caso específico e particular de movimento ou sistema dinâmico, mas que alcançou o nível de abstração de conhecimento suficiente para caracterizar e fazer analogias com outros tipos de conhecimento. Essa é a etapa em que a assimilação permite a criação de um novo subsunçor, no caso um adequado para que se inicie o processo de construção dos outros tipos de onda.

É importante ressaltar que a representação de **A'** como uma estrutura subsunçória única não é absoluta; pelo contrário, estima-se que, como produto de outras interações de assimilação do passado, ela possa ter uma estrutura mais forte ou fraca a depender do processo dentro do qual ela foi formada.

Para uma análise detalhada dessas estruturas seria conveniente para um ambiente de acompanhamento individual, onde cada aluno seria analisado de acordo com a linha de pensamento e ideias que eles exporiam durante o processo de interação entre o novo conhecimento e a estrutura cognitiva prévia. Como este trabalho foi pensado para um grupo de alunos dentro de uma escola, essa análise detalhada dá lugar a uma compreensão média qualitativa relativa ao que os estudantes apresentam como trabalho e conclusão de atividades em uma plataforma virtual.

O processo de assimilação traduz a forma como o novo conhecimento se ancorará na estrutura cognitiva do aprendiz e como esse aprendizado nela será retido, dando gênese a uma estrutura de subsunçores novos e correlacionados com os anteriores.

Essa assimilação pode acontecer dentro de duas estruturas: a aprendizagem significativa por descoberta ou por recepção, distinguidas pelo formato de interação entre o aprendiz e o meio com o formato pelo qual a nova aprendizagem será proposta.

A aprendizagem por descoberta significativa se baseia no formato de apresentação de um novo problema a ser resolvido. Em vez de o aprendiz ser apresentado ao novo conteúdo em sua forma final, a resolução do problema será a base para que o novo conteúdo seja aprendido de forma significativa. Esses problemas são apresentados como proposições, direcionando o novo conhecimento diretamente para a aprendizagem significativa proposicional. No entanto, para que essa aprendizagem seja possível, é necessário que o aprendiz possua uma “base de conhecimento relevante e previamente adquirido” (AUSUBEL, NOVAK e HANESIAN, 1968, p. 61).

Durante a elaboração do produto educacional deste trabalho, uma das sequências didáticas foi pensada dentro de um método baseado na aprendizagem por descoberta. No entanto, diante de dificuldades apresentadas durante a aplicação, explicitadas na metodologia, foi necessária a readequação visando ao aproveitamento do tempo, que era curto no final de 2019.

A aprendizagem significativa por recepção, apesar de aparentar um contexto de passividade do aprendiz e um formato pautado na aprendizagem mecânica, não é caracterizada dessa forma. Pelo contrário, ela “[...] é importante na educação porque é o mecanismo humano por excelência de aquisição e armazenamento de grande quantidade de ideias e de informações representadas por qualquer campo de conhecimento” (AUSUBEL, NOVAK e HANESIAN, 1968, p. 39).

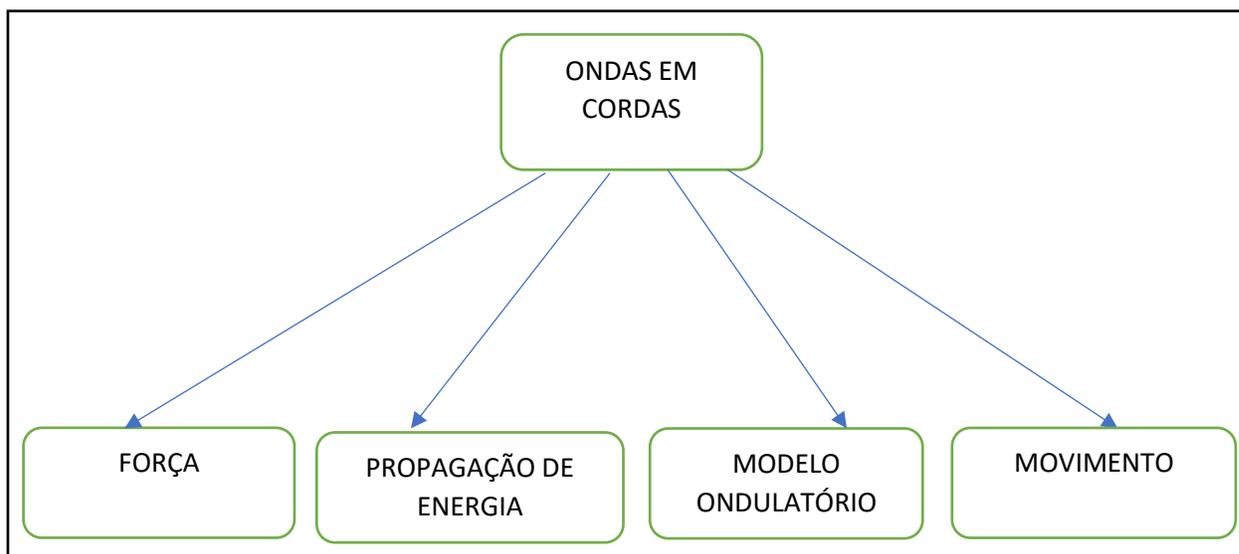
Segundo Ausubel, Novak e Hanesian (1978), a aprendizagem significativa por recepção é a mais efetiva, uma vez que o papel do professor dentro do processo de aprendizagem é crucial para que as novas aprendizagens se ancorem de forma lógica, precisa e genérica dentro da estrutura cognitiva do aprendiz. O professor é detentor das conexões entre os conceitos, do domínio que permite a resolução de proposições, o estabelecimento de analogias e, principalmente, os pontos de contato entre novos conhecimentos a serem aprendidos no futuro e os conhecimentos que comportam os

subsunçores que serão requisitados. Devido a isso, a aprendizagem por recepção é a mais efetiva no quesito de aquisição de conhecimento, uma vez que as conexões a serem estabelecidas estão inseridas dentro de um contexto significativo, que o próprio mestre já precisou elaborar.

A metodologia de passagem de conhecimento significativo por recepção pode se dar dentro de dois modelos: a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa.

Na diferenciação progressiva, o novo aprendizado é apresentado em sua forma geral e diferenciado dentro de situações problema de forma gradual, enfatizando suas particularidades e semelhanças com a teoria geral.

Figura 11 - Diferenciação progressiva.



Fonte: Elaboração própria (2021)

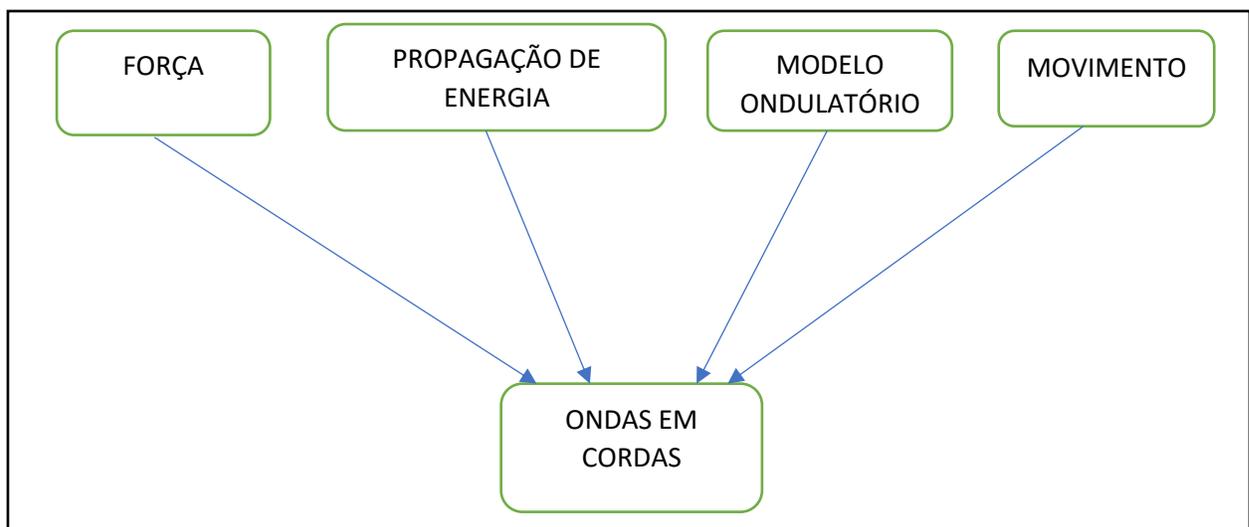
A diferenciação progressiva, no contexto deste trabalho, tratará em um primeiro momento de abordar a temática geral a respeito dos conceitos de ondulatória. Essa primeira etapa geralmente ocorre dentro de um aspecto de aprendizagem significativa representacional, em que são definidos os signos verbais a serem utilizados, tais como: período, frequência, comprimento de onda, conceito de onda, energia, entre outros.

Após essa base representacional formada, a diferenciação progressiva passa a existir, ao passo em que se diferenciam os tipos de onda por meio de exemplos fisicamente concretos ou abstratos, nos quais as ondas passam a assumir uma classificação quanto a sua natureza: mecânica ou eletromagnética; além de uma

classificação quanto a sua vibração: transversal ou longitudinal. Outra classificação possível seria quanto as direções de propagação: unidimensional, bidimensional ou tridimensional.

A reconciliação integrativa, por sua vez, trata do processo inverso. É o aprendizado em que as semelhanças e diferenças entre determinadas situações específicas, possibilitam a formação de um rearranjo, de uma recombinação e ressignificação de conceitos e proposições.

Figura 12 - Reconciliação integrativa.



Fonte: Elaboração própria (2021)

Esses dois modelos de compreensão da estrutura de ensino e aprendizagem tomam como base a classificação da forma de aprendizagem de Ausubel. Para Ausubel, a aprendizagem se relaciona com a estrutura cognitiva do aprendiz com três classificações: subordinada, superordenada ou combinatória.

Na aprendizagem subordinada, a nova informação terá significado diante da interação com os subsunçores. Isso implica que o sentido da aprendizagem só será possível a partir da estrutura a qual ela é subordinada.

Na aprendizagem superordenada, o conceito geral, a ideia ampla, será formado a partir da reflexão e assimilação dos conceitos menos desenvolvidos que já existiam na estrutura cognitiva do aprendiz. É quando o aprendiz consegue transformar conhecimentos particulares e específicos em conhecimentos gerais e que possuem um escopo de aplicação mais geral.

Na aprendizagem combinatória, não existirá uma estrutura propriamente dita de subordinação ou superordenação diante do novo aprendizado. O novo conhecimento possuirá uma estrutura ampla e relevante na estrutura cognitiva, terá o formato de uma proposição que não poderá ser assimilada por outra.

O processo de aprendizagem significativa pode ser direcionado dentro das duas perspectivas: tanto a diferenciação progressiva quanto a reconciliação integrativa. Na aprendizagem significativa por recepção, as duas abordagens podem ser utilizadas de forma independente ou cíclica.

No formato independente, estabelece-se uma metodologia direcionada à diferenciação progressiva ou à reconciliação integrativa. Dentro do modelo de diferenciação progressiva, o novo conhecimento se relacionará à classificação superordenada ou combinatória. Enquanto isso, o ensino por meio da reconciliação integrativa produz uma relação de aprendizagem subordinada, em que o novo conhecimento precisará da estrutura subsunçória prévia para fazer sentido.

No formato cíclico, a aprendizagem de determinado conceito passará pelos dois formatos de apresentação. Neste trabalho, os conceitos de ondulatória serão abordados, em um primeiro momento, por diferenciação progressiva, para, em seguida, por um processo de reconciliação integrativa. O formato cíclico foi escolhido devido à amplitude de variações possíveis de estrutura cognitiva presente em conjuntos grandes de aprendizes, como no caso das turmas com cerca de 30 estudantes.

4. Breve revisão bibliográfica em trabalhos análogos no MNPEF

O Mestrado Nacional Profissionalizante em Ensino de Física (MNPEF) constitui uma rede integrada por 58 instituições públicas de ensino superior e que desde 2013 já titulou 2.058 estudantes, professores de ciências/física, que desenvolveram um conjunto significativo de dissertações e produtos educacionais em diferentes temas (FERREIRA et al., 2021).

Embora não seja a única via de formação continuada (pós-graduação *stricto sensu*) na área de ensino de física, o Programa é a maior iniciativa dessa natureza, portando uma produção bibliográfica com tamanho e impacto significativos. Dessa forma, trataremos neste capítulo de algumas das temáticas que já foram alvo de trabalho de pesquisa por outros professores do MNPEF e que estão relacionadas ao conteúdo curricular de movimento periódico e ondulatória.

Pesquisando a respeito de trabalhos produzidos pelo programa Mestrado Nacional Profissionalizante em Ensino de Física (MNPEF), em seu site (SBF, 2021), encontramos vinte e sete dissertações relativas ao ensino de ondulatória. Escolhemos quatro desses trabalhos, sendo dois do nosso Polo, Universidade de Brasília, e dois de outros Polos para uma análise mais detalhada sobre similitudes e diferenças entre eles e o nosso.

4.1. Utilização de vídeos e softwares para o ensino de movimento harmônico simples, interferência em ondas e Efeito Doppler – Jorge Coelho (2016)

Coelho concluiu sua dissertação no ano de 2016, no polo Universidade de Brasília do programa Mestrado Nacional Profissionalizante em Ensino de Física (MNPEF), o mesmo ao qual o presente trabalho está vinculado. A temática abordada por ele está direcionada a Movimento Harmônico Simples (MHS), Interferência e percepção do efeito Doppler a partir dos conceitos abordados.

Algumas observações feitas por ele, no Colégio Militar de Brasília (CMB), são comuns a certas observações pontuadas no presente trabalho. Em sua atividade diagnóstica, J. Coelho afirma:

(...) Isso fornece indícios de que as turmas realmente podem ser consideradas heterogêneas, corroborando o que é um princípio pedagógico de organização de ensino do Sistema Colégio Militar. Além disso, ficou evidente o pouco

conhecimento de Funções trigonométricas para descrição de movimentos. Quando os discentes foram indagados pelo professor em sala de aula sobre o porquê de utilizarem Função do 1o grau e Função do 2o grau como alternativas relataram que o movimento da roda é uniforme então a função deve ser do primeiro grau e como o pistão tem velocidade variável deveria ser uma função do segundo grau. (COELHO, J., 2016, p. 40 e 41).

Essa heterogeneidade presente nas turmas colabora para que os alunos, com diferentes níveis de aprendizado, estrutura cognitiva e comportamentos possam contribuir com o processo de aprendizagem uns dos outros. Enquanto isso, existe, também, a possibilidade de que os alunos não se entendam e que seja criado um ambiente de contraposição e rejeição que afetaria consideravelmente o trabalho a ser desenvolvido. Este último caso não foi apresentado no trabalho de J. Coelho, mas está colocado como ponto de observação no presente trabalho.

Para J. Coelho, professor da rede CMB no ano de 2016, o ensino de ondulatória enfrenta algumas dificuldades relacionadas a estrutura subsunçória dos alunos. Perceber movimentos que não são, lineares, gera estranheza nos alunos, sendo necessário um certo cuidado nas devidas reparametrizações. Dessa forma, a ferramenta utilizada por ele foi a modelagem do MHS como a componente horizontal de um movimento circular.

Poucos alunos conheciam o Movimento Hármonico Simples conforme o diagnóstico apontou. Assim, após a intervenção do professor voltando ao vídeo e caracterizando tal movimento foi utilizada a simulação no software Modellus X (figura 3.3) a fim de reproduzir os movimentos da roda e do pistão. Para tal foi salientada a necessidade de se utilizar funções trigonométricas, onde seus elementos: amplitude, frequência e velocidade angular foram explicados e caracterizados. Assim, ficou verificado que a projeção do movimento circular em um dos eixos ortogonais descreveria adequadamente um movimento oscilatório. (COELHO, J., 2016, p. 41).

Tal reparametrização conduz às equações do MHS devido às simetrias existentes no problema. No entanto, a fenomenologia não conduz naturalmente a tal percepção, a partir da estrutura subsunçória dos alunos do Ensino Médio, uma vez que eles ainda apresentam dificuldades na utilização de funções trigonométricas. A metodologia proposta por ele não se restringiu apenas a instituição do MHS como componente horizontal de um movimento, mas utilizou outros recursos como: vídeos e simuladores para permitir a visualização do que foi definido na atividade inicial.

Além disso, o trabalho de Coelho se direcionou a caracterização do Efeito Doppler pelos conceitos estudados anteriormente. E em sua conclusão, ele pontua:

O movimento harmônico simples e a ondulatória são usualmente os objetos de conhecimento que apresentam um índice acentuado de dificuldade de compreensão por parte dos estudantes do segundo ano do ensino médio. A estrutura matemática requerida para a descrição dos fenômenos que motivam esses assuntos é robusta e usualmente o discente não dispõe dessa linguagem para realizar a mediação entre os fenômenos e sua formulação. Assim, o desinteresse e pouca motivação para sua compreensão se torna comum e fomenta o baixo aproveitamento escolar. Desta forma, modificar a metodologia e utilizar sequências didáticas próximas UEPS pôde proporcionar uma alternativa eficaz para a compreensão do objeto do conhecimento e desenvolvimento de habilidades e competências que proporcionam o letramento científico adequado para integrar, e possivelmente superar, o conhecimento do senso comum pelo científico. (COELHO, J., 2016, p. 55).

Coelho também informa a respeito da rotina e alguns costumes desenvolvidos na rotina de trabalho do CMB. Para ele:

(...) A falta de suporte do livro didático adotado causou um incômodo nos alunos os quais estão habituados a utilizar esse instrumento como única fonte de estudo. Isso aconteceu pois não estava disponível, como um dos assuntos abordados no livro, o tema Movimento Harmônico Simples. Assim, algo que poderia ser bom, o trabalho independente de um livro conservador, não foi compreendido pelos alunos os quais ficam numa posição confortável na formatação de uma aula tradicional que os considera meros recipientes de técnicas de resolução de exercícios. (COELHO, J., 2016, p. 38).

Essa característica, consequência do modelo tradicional de ensino e, muitas vezes, focado apenas na resolução de exercícios, pode dificultar a execução de uma sequência pedagógica que utilize outros meios de aprendizagem. Para a escola pública, local de aplicação do presente trabalho, essa resistência não foi observada. Ao contrário do que é exposto no trabalho de J. Coelho, o trabalho com foco fenomenológico despertou interesse por parte dos alunos.

No entanto, o ensino de Física não está pautado apenas em um modelo de abordagem: dicotômica entre fenomenologia e matemática. De fato, esse ensino compreende os dois aspectos para que a aprendizagem possa ser significativa para os alunos. Esses pontos levantados por J. Coelho fazem parte da nossa pesquisa. No entanto, o foco aqui está na proposição de uma UEPS que introduza os conceitos básicos para posterior aplicações em modelos análogos aos apresentados.

4.2. Aplicação do monocórdio e o uso de elementos musicais perceptuais como estruturantes para o ensino de conceitos de física ondulatória – André Coelho (2016)

O trabalho de A. Coelho foi aplicado em uma escola particular da rede Salesiano. Em sua atividade diagnóstica, ele fez a separação dos grupos baseado na nota de cada aluno, misturando alunos de diferentes desempenhos, o que faz sentido dentro de um contexto de formação de grupos heterogêneos. Além disso, ele levou em conta os relacionamentos entre os alunos, fator importante para evitar desentendimentos e prejuízos associados a falta de confiança entre os membros durante o andamento da prática educacional.

O trabalho de A. Coelho utiliza uma das temáticas de maior interesse por parte dos alunos, a compreensão da música. O processo de formação de ondas, de propagação e de interação que temos com ela a partir dos nossos sentidos são aspectos que possuem um poder considerável associado a motivação e interesse dos alunos.

Como Ausubel define o interesse do aluno como fator crucial para que a aprendizagem possa ser significativa, seria esse um fator de convergência dos alunos para a sequência proposta. Como A. Coelho relata em seu trabalho:

Tendo em vista as dificuldades inerentes ao ensino de conceitos de física ondulatória e o seu relativamente elevado grau de abstração, nos propusemos a conceber um produto educacional que tivesse maior conexão com contextos concretos que apresentassem um potencialmente elevado grau de apelo intuitivo e motivacional. Um exemplo disso é a música (CROCKER, 1963; HARTMANN, 1975; WOOD, 2007; PAKER, 2009; GOTO, 2009; HAN, 2011; MOURA, 2011; SANTOS, 2013; CATELLI, 2014; BOWLING, 2015; COELHO, 2015; LAGO, 2015). Adicionalmente, ela permite uma abordagem prática que se compatibiliza com o nosso interesse pela estratégia experimental. Nesse sentido, um produto educacional que seja capaz de aliar física, música, matemática, teoria e experimentação pode, se bem idealizado e confeccionado, mostrar-se um bom instrumento didático-pedagógico (COELHO, A., 2016, p. 14).

Ele define como subsunçores alguns conceitos que não estão divulgados expressamente nos livros didáticos de Física para o Ensino Médio.

(...) identificamos que constituem subsunçores os conceitos musicais de consonância e dissonância, intensidade sonora, além dos conceitos de sons graves e agudos. Esses últimos estão relacionados diretamente com os conceitos físicos de amplitude e frequência de oscilação, enquanto que, os conceitos musicais de consonância e dissonância tem relação direta com os conceitos físicos de mesmo nome. (COELHO, A., 2016, p. 56).

Os conceitos apontados como consonância e dissonância, apontados por A. Coelho, apesar de interessantes dentro do ramo musical, geralmente não são trabalhados nos livros de Física, o próprio autor deste trabalho teve o primeiro contato com tais conceitos ao ler a dissertação de André, o que foi construtivo.

A percepção que os alunos tiveram na atividade diagnóstica revela uma certa naturalidade e capacidade na classificação de sons em harmônicos (consonantes) ou não (dissonantes). Apesar disso, no presente trabalho, tais conceitos não foram considerados como relevantes, uma vez que o escopo deste trabalho se restringe aos conceitos básicos de ondulatória que seriam aplicáveis para os diferentes modelos de ondas encontrados na natureza, inclusive, nas ondas sonoras produzidas por um instrumento musical.

Utilizar ferramentas como as propostas por André possui uma série de benefícios. Um dos comentários dele relacionado às respostas que os alunos apresentaram baseado na intuição ao escutar o som: “(...) esse elemento intuitivo e perceptual pode ser de fato considerado algo comum aos alunos, o que significa, para nós, que pode ser utilizado como ponto de partida para a construção de conceitos físicos.” (COELHO, A., 2016, p. 57) sugere que a ferramenta ideal a ser utilizada em sala de aula para construir conceitos físicos deve analisar a capacidade dos alunos em interagir com tais ferramentas.

Apesar das ferramentas utilizadas por A. Coelho serem diferentes dos materiais propostos neste trabalho, o objetivo final, também, se direciona a compreensão dos conceitos de período, frequência, comprimento de onda e velocidade de uma onda na corda. O autor deste trabalho não possui nenhum tipo de domínio relacionado a música, não maneja um violão com maestria e nem compreende a melhor forma de se usar um violão para fins didáticos, por esse motivo, a utilização de simuladores, ferramentas de edição de vídeo e animações foram escolhidas como ponto de partida, uma vez que existe maior segurança por minha parte.

O trabalho desenvolvido por A. Coelho ampliou a percepção a respeito de certas aplicabilidades de conceitos físicos na música. Apesar disso, algumas diferenças importantes precisam ser registradas:

1. A escola em que André aplicou o produto era da rede particular.
2. O professor aparentava possuir certo domínio com o violão, envolvendo os alunos na atividade.
3. Um equipamento parecido com um frequencímetro está registrado na foto 15, da página 69.

Apesar dessas diferenças, o relato de A. Coelho expõe algo comum de acontecer nas salas de aula, independente de ambiente, público e capacidades do professor:

Os grupos deveriam seguir o passo a passo descrito no roteiro experimental, mas nem todos conseguiram realizá-los, pelo menos inicialmente. Além dos problemas técnicos supracitados, alguns alunos simplesmente não leram apropriadamente o roteiro e estavam tentando copiar o que o grupo vizinho fazia. Logo que isso foi detectado, o professor orientou os alunos a lerem com atenção o roteiro e garantiu que eles entendessem o que deveria ser feito. Todos esses problemas levaram a prática a demorar muito mais do que o previsto e apenas medida de frequência para cada tensão efetuada sobre a corda foi feita por grupo (no roteiro está prevista a realização de, pelos menos, três medições). (COELHO, A., 2016, p. 69).

Essa experiência de aplicação de uma sequência didática em laboratório coloca algumas questões. Os alunos realmente se sentem motivados para fazer atividades no laboratório? O estabelecimento de uma metodologia para laboratório garante sucesso na assimilação de conceitos? O que define uma interação potencialmente significativa no laboratório? O roteiro de laboratório é suficiente como instrução?

Algumas das possíveis respostas para essa pergunta foram vivenciadas por A. Coelho:

(...) aqueles que se permitiram refletir sobre a prática a consideraram muito proveitosa sobre os aspectos: a) epistemológico: esses alunos relataram que mudaram a forma de ver as equações que utilizam para resolver problemas físicos, pois agora compreendem que elas devem refletir o comportamento observável do referido fenômenos e que muitas dessas equações são aproximações para casos ideais. Adicionalmente, ficou mais claro que uma aproximação para um caso ideal nem sempre descreve algo que não existe (por conseguinte algo inútil), mas que essas aproximações podem dar resultados próximos o suficiente. b) instrumental: alguns desses alunos relatam que entendem melhor o porquê estudam tantas funções na disciplina de matemática e ficaram surpresos ao saberem que a maior parte delas (ou a totalidade) foram “encomendadas” ou demandadas de uma necessidade de descrever algum fenômeno. Para mim, esse foi o ponto alto da aplicação desse produto educacional e certamente mudou a forma com eu enxergo o laboratório de física e a sua importância na formação de um estudante. (COELHO, A., 2016, p. 107).

Quando o sistema educacional estabelece a avaliação como alvo principal do labor dos alunos, estes são colocados, naturalmente, em uma espécie de modelo de trocas,

onde a quebra da inércia deles geralmente está associada a uma recompensa caracterizada como uma pontuação na média escolar. Conforme relatado por André, o laboratório de Física possui a capacidade de significar conceitos abstratos que geralmente são colocados para os alunos sem um processo de aplicação e vivência.

No entanto, o objetivo da escola nem sempre está associado ao ensino significativo com as devidas aplicações. Por vezes, o interesse maior da comunidade escolar é o de alcançar a aprovação em um vestibular para ingresso no ensino superior. Apesar desse interesse imediato, um ensino que consiste em decorar equações e aplicar de forma, quase que alienada, a certos problemas, possui limitação quanto à retenção de conhecimento e possibilidade de aplicações das ideias que constituem tais modelos.

Compreender Física a partir da fenomenologia, aplicando devidamente as relações matemáticas às situações propostas é o caminho que retira o estigma de que estudar física é difícil, que matemática não serve para nada e que ciência é para gênios. Como conclui A. Coelho:

(...) A cultura da escola não favorecia um engajamento muito grande dos alunos o que foi frustrante a princípio, mas compreensível posteriormente. Alguns alunos ficaram marginalizados, por escolha própria, nas últimas atividades da sequência didática, pois faltaram às aulas, ou simplesmente não estavam dispostos a investigar os fenômenos mais maduramente. Não seria exagero afirmar que em quase todas as turmas de ensino médio esse tipo de aluno está presente, porém, para aquele aluno que se interessou e se permitiu refletir sobre os assuntos propostos essa sequência se mostrou bastante rica. Não preparamos os alunos que participaram da prática para resolverem questões de vestibulares, mas os preparamos para, caso seja de interesse particular, sejam capazes de compreender fenômenos mais complexos e, principalmente, compreendam melhor os fenômenos ondulatórios que lhes são comuns. (COELHO, A., 2016, p. 108).

Dessa forma, um ensino de Física que coloque o aluno na posição ativa em busca de seu aprendizado é apenas um passo a ser dado em nosso sistema educacional. O avanço nos modelos pedagógicos é essencial nesse processo de reconstrução da forma como os alunos se relacionam com a escola.

4.3. Desenvolvimento de uma unidade de ensino potencialmente significativa para o ensino do conceito de ondas – Graziely Santos (2015)

O trabalho de Graziely foi desenvolvido no polo MNPEF da UFES e aplicado na cidade de Vitória-ES em uma escola onde a professora era a diretora. A dificuldade relatada por ela na interação com os alunos devido à figura de autoridade:

Foi bem estranho, pois nem eu, nem eles, estávamos à vontade. Os alunos ficaram receosos, tinham vergonha de perguntar, de conversar, de sentar numa posição menos convencional, como normalmente fariam longe de uma suposta “figura de autoridade” (SANTOS, 2015, p. 37).

Esse relato expõe a forma como os alunos, principalmente os adolescentes do Ensino Médio, lidam com a estrutura escolar. Essa “figura de autoridade” era constituída pelo cargo de diretora da escola, o que me soa estranho, uma vez que na sala de aula, o professor deveria possuir o mesmo “respeito” que a diretora. No entanto, devido às diferenças culturais entre o Distrito Federal e o Espírito Santo, esse fato pode sofrer influências que a modifiquem ou não.

A dissertação produzida por Graziely Santos teve como objetivo a fundamentação dos conceitos envolvidos no modelo de ondulatória, assim como este trabalho. As metodologias utilizadas por ela continham rodas de conversa, discussões informais em sala de aula fomentadas por questões provocadoras, mapas conceituais, diagramas, roteiros, listas de exercícios e o uso do simulador de ondas em corda disponível na plataforma PHET, também utilizado neste trabalho.

A questão colocada por ela em seu produto: “Afim, é o surfista que se desloca na onda ou é a onda que carrega o surfista?” (SANTOS, 2015, p. 81) possui uma característica interessante: Ela coloca em questão a compreensão visual de “onda carregando o surfista” como constituidora de uma ideia geral, característica do método científico indutivo. No entanto, não é nada intuitivo para que os alunos cheguem à compreensão de que onda não carrega matéria, ainda mais, considerando a cidade em que o produto dela foi aplicado, Vitória-ES, uma cidade litorânea em que os alunos provavelmente visualizem tal fato diariamente.

Todos esses materiais foram utilizados para tratar do escopo do modelo ondulatório quase que completamente. Na página 40 da dissertação, Santos relata os conteúdos que serão tratados durante a sequência:

análise qualitativa do movimento harmônico, amplitude, ciclo, frequência, período, comprimento de onda, pulsos em cordas, análise qualitativa e quantitativa da relação de interdependência entre frequência e período, evidenciando a relação da razão inversa entre essas grandezas, definição de ondas de acordo com a direção de propagação: transversal ou longitudinal, velocidade de propagação de onda, ondas em duas dimensões, mudança de meio da onda e frequência constante, análise qualitativa da reflexão da onda, análise qualitativa da refração da onda, análise qualitativa da difração, análise qualitativa da interferência, e, por fim, as características do som: altura, timbre e intensidade sonora.

A quantidade de conteúdo curricular presente na proposta de Graziely não está bem detalhada ao longo de seu trabalho. Existem pontos desses conteúdos listados que não foram, sequer, abordados. O produto educacional disponibilizado por ela não lista as metodologias aplicadas para o ensino de cada conceito. O próprio uso do simulador como instrumento não conduz os alunos a uma experiência de interação ativa.

Apesar do formato desenvolvido e proposto por Santos em seu produto final não estar bem detalhado, as experiências relatadas por ela ao longo de sua dissertação traziam relatos e percepções bem organizados e que contribuíram significativamente para a proposta deste trabalho.

Os diagramas construídos pelos alunos na atividade diagnóstica retratam bem a experiência que alguns deles possuem com certas ocasiões em que o signo “onda” aparece. Geralmente, quando os alunos tentam definir algo, eles costumam citar exemplos associados àquela palavra. Isso foi percebido no relato de aplicação do produto de Santos.

Por fim, observando a dissertação de Santos, ficou um questionamento. Será que os recursos didáticos propostos e executados por ela alcançaram o que poderia ser chamado de eficiente? A experiência de Graziely, com o comprometimento dos alunos,

seria a mesma se ela não fosse diretora da escola? A quantidade de conteúdos e o fato da sequência ser longa prejudicam o processo de assimilação? Precisamos consolidar a assimilação para depois associar os conteúdos a outros, ou será que podemos executar nossa metodologia sem as devidas pausas para avaliações e consolidações?

4.4. Softwares educacionais aplicados ao ensino de Física: uma proposta didática para o ensino do oscilador harmônico – Joerbed Gonçalves (2019)

O trabalho de Joerbed Gonçalves foi aplicado na escola José de Anchieta, na cidade de Pinheiro, no estado do Maranhão. É uma escola estadual pública. A turma era de segundo ano do Ensino Médio, sendo a idade média dos alunos em torno de 15 anos, com 27% desses alunos no mercado de trabalho. Apesar de ser uma escola da cidade de Pinheiro, possuía alunos de outros municípios, e outros da zona rural.

O diagnóstico realizado por Gonçalves demonstrou que os conceitos de período, frequência, força restauradora e amplitude aplicados em situações externas ao modelo de ondulatória não estavam assimilados na estrutura cognitiva dos seus alunos, o que é um fator que também foi observado para os alunos, com os quais o autor deste trabalho ministrou aulas.

Os registros dos alunos, contidos no trabalho de Gonçalves, demonstram uma certa dificuldade dos alunos em definir conceitos relacionados a oscilações como período, frequência e força restauradora. Após esse diagnóstico, Gonçalves utilizou o modelo de aulas expositivas tradicionais para construir tais significados e preparar os alunos para a atividade que ocorre a partir do uso do *software* “Modellus”.

Um ponto colocado por Gonçalves em sua conclusão:

(...) criamos a estratégia do organizador prévio. Essa estratégia possibilitou o alcance do objetivo da pesquisa, pois a partir dela que foi possível fornecer a ligação entre as ideias que não são familiares nos estudantes com aquelas que ainda serão desenvolvidas. Para que tais conhecimentos básicos fossem desenvolvidos, ministramos aulas tradicionais e observamos que houve um certo avanço na aprendizagem dos conceitos adquiridos referentes ao tema a ser trabalhado. Quando aplicamos as atividades no laboratório de informática a partir de simulações computacionais, os avanços foram ainda mais significativos. (GONÇALVES, 2018, p. 111).

Esse trecho da conclusão de Gonçalves indica uma certa necessidade em se reavaliar a concepção de avaliação. Um rendimento maior em uma avaliação por escrita em que existe uma resposta certa, possível de ser decorada, indica que a aprendizagem alcançou o status de significativa, como proposta por Ausubel? Outro ponto em que esse trabalho se preocupa em analisar é a estrutura conceitual proposta pela estrutura chamada organizador prévio, conforme tratado na seção 3.4:

(...) O objetivo do organizador prévio é justamente definir o subsunçor ausente a partir de uma relação com o novo conteúdo, sem precisar entrar em uma definição formal complexa do conhecimento prévio, mas gerar justamente o conceito ausente através da relação com o conhecimento a ser estudado.

O organizador prévio não depende de uma definição formal e complexa, então, uma aula nos moldes tradicionais poderia constituir-lo? Ou o subsunçor deficitário seria trabalhado a partir de uma nova estrutura, como se fosse um conhecimento novo a ser aprendido?

A partir disso, a estrutura proposta para o organizador prévio que contribuiria com a ausência dos subsunçores requeridos na atividade diagnóstica será pensada a partir de uma relação mais direta e objetiva, sem a necessidade da constituição de uma aula teórica específica para tal. É importante ressaltar, que o organizador prévio ancoraria o conceito ausente dentro da própria estrutura de aprendizagem proposta pelo modelo ondulatório.

Além disso, Gonçalves utiliza o *software* “Modellus” após a definição de todos os conceitos de forma teórica em uma aula expositiva. O que coloca o programa não como base de fundamentação do novo conteúdo, mas como objeto de aplicação dos conceitos definidos por ele. Essa estrutura não me pareceu conduzir os alunos a um processo de aprendizagem significativa, mas a mecânica, com o “Modellus” sendo a base de ancoragem visual para os conceitos avaliados.

4.5. Contribuições gerais da revisão bibliográfica para a proposição educacional desta Dissertação

Os trabalhos de Jorge Coelho (2016) e André Coelho (2016) expõem uma dificuldade no estabelecimento de uma sequência didática efetiva para o ensino de ondulatória. Enquanto Jorge aponta para a dificuldade dos alunos associados à

compreensão de movimentos que não são classificados como lineares, propondo uma série de recursos pedagógicos, André aponta uma abordagem com a utilização de música como ponto de partida. Nos dois modelos, as sequências relataram uma certa resistência por parte dos alunos, dos pais e da estrutura escolar.

Jorge precisava se preocupar com a adaptação dos alunos em utilizar um material que não fosse o livro didático da escola, e, que nem estava contido como temática deste livro. Além disso, existia uma preocupação relacionado a equipe de professores, com eventuais desgostos que poderiam ser gerados, somando-se à pressão do CMB para ensinar o que garantiria a aprovação no vestibular.

André também relata certa resistência associada aos pais e a organização escolar. Estes interessados na aprovação dos alunos em vestibulares, sem uma preocupação ativa associada a forma com que a aprendizagem seria assimilada por eles.

Nas duas realidades, os professores se preocupam com uma certa política estrutural para poder fazer o seu trabalho. No entanto, é importante salientar que tais estruturas possuem um grau, razoavelmente, menor para as escolas públicas, tornando reduzidas as barreiras para a aplicação de novos produtos educacionais, dando, ao professor, uma maior liberdade para analisar os processos de assimilação dos conteúdos propostos.

Enquanto isso, os trabalhos produzidos por Santos (2015) e Gonçalves (2019) me fizeram questionar se a ordem da sequência influenciaria o formato de interação dos alunos com as atividades propostas. Além disso, quais seriam as motivações abordadas durante a sequência, como constituir um processo de avaliação que exponha a aprendizagem significativa e como a relação de “autoridade” influencia no processo de ensino aprendizagem em sala de aula.

A escola pública no Distrito Federal possui uma certa “fama” de ser inadequada quando o assunto é preparar para vestibulares, consolidar conhecimento e ter um trabalho organizado. A liberdade que é dada aos professores para cumprirem seu trabalho, na escola pública da SEDF, possui a característica de permitir a execução de um trabalho de excelência, mas, por outro lado, se não houver um compromisso do professor, certos objetivos de aprendizagem podem não ser alcançados.

As políticas públicas e reorganizações estruturais que a educação vem sofrendo na última década pode alterar muitos paradigmas na estrutura educacional do país. Enquanto, os trabalhos citados foram propostos durante a época dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs), o presente trabalho foi proposto durante a transição para a Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Os alvos de aprendizagem da BNCC não estão atrelados a currículo, mas centralizados na ideia de competências e habilidades.

Além dessas diferenças na estrutura organizacional entre as escolas, outro fator extremamente relevante é a carga horária destinadas ao componente curricular de Física. No Distrito Federal, para a escola pública, essa carga horária é constituída por 4 horários de 45 minutos semanais durante um semestre, enquanto nas escolas particulares, esse horário chega a ser o mesmo disponibilizado por semana e durante todo o ano.

A baixa carga horária semanal disponibilizada pela escola pública do Distrito Federal torna impraticável a formação de aulas que contemplem todos os conteúdos a serem trabalhados durante o ano. Com o novo Ensino Médio, ainda existem incertezas associadas ao tempo para se trabalhar conceitos de Física. Dessa forma, o presente trabalho se restringiu aos conceitos mais basilares que permitam os alunos classificarem e compreender fenômenos ondulatórios em geral, sendo possível de ser aplicado para a realidade do Ensino Fundamental, com as devidas alterações, bem como para o Ensino Médio, com os devidos acréscimos.

Por fim, como a base matemática associada à ondulatória, obtida com as funções trigonométricas, os conceitos foram tratados fenomenologicamente. Apenas aplicações matemáticas mais simples, que ocorrem no modelo de propagação de ondas em uma corda, foram usadas. Um dos objetos de pesquisa tentará averiguar se existe diferença entre a utilização do recurso virtual antes ou depois de uma abordagem teórica expositiva, além, de quando seria adequado tal abordagem. Além disso, construiremos uma proposta de organizador prévio para ser utilizado como ponto de partida para conceitos que serão utilizados durante todo o desenvolvimento do conteúdo de ondulatória.

5. Metodologia

Os signos verbais da aprendizagem significativa representacional serão o ponto de partida para identificação e consolidação das âncoras que servirão como base de compreensão fenomenológica e de reconhecimento de padrões que caracterizam o conhecimento a ser estudado. Para que tal aprendizagem seja clara, foi pensado um modelo de transição do concreto para o abstrato utilizando filmagem e animação computacional para representá-las.

A segunda etapa da sequência destinará seu foco ao estabelecimento de relações entre as grandezas propostas e abordadas na primeira etapa, bem como a ênfase em um organizador prévio que resume os conceitos representacionais e que serão úteis ao longo do estudo. A partir dessa etapa, o simulador de ondas em corda será utilizado como ponto de partida para que os estudantes compreendam as grandes variações possíveis para a propagação de ondas em cordas, uma vez que o exemplo concreto abordado na aprendizagem representacional não possui a mesma disponibilidade de variações para as grandezas envolvidas.

O referencial teórico que define e classifica o objetivo final da UEPS proposta será justamente a aprendizagem significativa de Ausubel. Como mencionado, esta aprendizagem envolve os níveis representacional, de conceitos ou proposicional.

A aprendizagem significativa proposicional, tal como concebida por Ausubel, é o objetivo final do produto educacional desenvolvido neste trabalho. Para atingir tal nível de aprendizagem, onde os conceitos aprendidos se tornam ideias a partir de fenômenos que possibilitam a formação de proposições que os justifiquem, teremos a abordagem abstrata teórica. Isto é, usa-se analogias entre o modelo de propagação de ondas na corda para estabelecer as ideias gerais sobre as características que diferenciam e que são comuns nos vários tipos de ondas que conhecemos: mecânicas ou eletromagnéticas; transversais, longitudinais e mistas.

5.1. Pesquisa translacional

A complexidade com que um conhecimento é apresentado pode definir o fracasso de uma sequência pedagógica. Dessa forma, o produto educacional final foi proposto a

partir da testagem de rotinas pedagógicas fundamentadas e ancoradas dentro de perspectivas de aprendizagem e metodologia diferentes.

A princípio, a aplicação de um produto educacional no formato de UEPS foi pensado para se avaliar criticamente qual seria o método mais efetivo na concretização de uma aprendizagem significativa. Esse primeiro produto educacional, aplicado no ano de 2019, foi avaliado e certas modificações seriam propostas.

A partir dessas modificações, uma reaplicação seria realizada a fim de detectar possíveis instrumentos que tornariam o conhecimento mais acessível. A pesquisa translacional consiste basicamente em tornar um conhecimento formal e complexo, em acessível e simples.

O conhecimento do senso comum, apesar de ser confrontado com a perspectiva científica é o que os alunos sabem. Para o cognitivismo, esse pode ser um subsunçor conveniente dentro do processo de ensino e aprendizagem. Mas, para que esse conhecimento seja acessível, é necessário que exista uma análise criteriosa e intencional do que é apresentado no diagnóstico.

Dentro dessa perspectiva, é importante que exista uma preocupação com a translação do conhecimento para que a produção intelectual e acadêmica produza seus efeitos na sociedade:

O termo translacional sugere que resultados de pesquisa existem, estão à mão, mas devem ser traduzidos à linguagem da prática. [...] os resultados dessa pesquisa estão publicados e muitos deles poderiam ser trazidos à sala de aulas, ou seja, transladados à prática ao invés de ficarem restritos à academia. Nessa translação a participação dos professores seria indispensável. (MOREIRA, 2018, p. 74-75)

Dessa forma, alguns dos fatores que foram analisados durante a aplicação das sequências se direcionaram a engajamento dos alunos com as atividades, discussões a partir das provocações realizadas, conclusões e capacidade de julgar as próprias afirmações. Em resumo, os momentos em que os alunos demonstrassem a construção de conhecimento em torno do modelo ondulatório.

Apesar disso, antes que a reaplicação da primeira proposta da sequência didática fosse possível, a pandemia impossibilitou que ela fosse realizada dentro dos mesmos

parâmetros da anterior. A modificação para o ensino remoto exigiu uma readequação dos parâmetros analisados.

Na primeira modalidade, o interesse era em verificar se existiria alguma influência relacionada a forma de aprendizagem desejada, se por descoberta ou por recepção com diferentes níveis de interferência do professor. Como o instrumento de interação em tempo real foi retirado da realidade da escola, sendo possível, apenas, a execução de atividades virtuais propostas, a variação da metodologia aplicada consistiu em analisar possíveis divergências nos resultados para diferentes ordens e modelos de atividades.

Com essa mudança, uma nova reaplicação foi realizada a fim de pesquisar os efeitos da grande disponibilidade de materiais. Dessa forma, propondo uma tentativa de contribuir de forma significativa para a translação do conhecimento a respeito do modelo ondulatório para a escola pública do Distrito Federal.

5.2. Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS)

A sequência didática adotada como organizadora deste trabalho está dentro do modelo, proposto por Marco Antônio Moreira, chamado de Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS). A UEPS se baseia na premissa de que não há ensino sem aprendizagem; uma vez que o ensino é considerado como meio e a aprendizagem como fim, sendo esta última classificada como significativa.

A UEPS possui uma série de diretrizes e parâmetros que devem ser levados em consideração na sua elaboração. Apesar de Moreira utilizar outros autores como marco teórico para justificar a sua proposta de UEPS, bem como alguns termos técnicos definidos por eles, este trabalho se restringirá à proposta de Moreira (MOREIRA, 2012), a qual foi abordada no livro Teorias da Aprendizagem (MOREIRA, 2019).

Para elaborar a UEPS, Moreira (2012) define aspectos sequenciais para a sua construção, levando em consideração que todo material integrante da sequência possua a característica de ser potencialmente significativa de acordo com as diretrizes abordadas na seção anterior.

5.2.1. Etapa 1 – Definindo alvo de aprendizagem.

O primeiro item a ser definido é o tópico específico com os aspectos declarativos e procedimentais adequados ao conteúdo em que serão inseridos. Isto é, definiremos os subsunçores abordados em outras situações que serão requisitados a partir de estruturas análogas pelos processos de reflexão, sintetização e generalização.

5.2.2. Etapa 2 – Verificação e abordagem de subsunçores.

Em seguida, ocorre a criação ou proposição de estratégias para verificação se os subsunçores estão consolidados na estrutura cognitiva do estudante. Nessa etapa, a sequência passa a ser construída de fato na prática. Enfatizando que não é a criação de um material que apenas verifique a presença ou ausência dos subsunçores que serão requisitados, mas a construção de uma rotina potencialmente significativa que permita o aprendizado desses subsunçores, especialmente pelos alunos que não os possuam.

Nessa etapa, a rotina potencialmente significativa pode estar enquadrada como um material, uma lista de exercícios, uma situação problema hipotética ou concreta, o estabelecimento de mapas conceituais ou mentais ou qualquer estratégia de intervenção pedagógica dentro do escopo de ação didática do professor. O propósito central é conduzir o aluno a externalização dos subsunçores que estão consolidados em sua estrutura cognitiva, certos ou errados, bem como estratégias de correção e/ou afirmação do que será verificado de acordo com o nível de aprendizagem dos subsunçores apresentada: representacional, de conceitos ou proposicional.

Um exemplo de classificação da aprendizagem dos subsunçores denominados como período e frequência segue abaixo:

1. Representacional: O estudante consegue definir os períodos dos ponteiros presentes no relógio.
2. De conceitos: O estudante consegue definir a frequência dos ponteiros de um relógio a partir do seu período.
3. Proposicional: O estudante consegue definir a relação entre segundos e hertz, bem como a relação entre minutos e rpm. Aplicando os conceitos nas

relações apresentadas pelo relógio ou pelo movimento circular, por exemplo.

5.2.3. Etapa 3 – Relacionando fenômeno com estruturas prévias.

Estabelecimento de situações problema concretas e que introduzam o conteúdo em sua forma mais básica. No momento de introdução da situação fenomenológica a ser estudada, os pontos de conexão entre o fenômeno e os subsunçores precisam ser claros, enfatizando aqui a aprendizagem em seu nível representacional, dando nome a conceitos novos que definem o fenômeno e utilizando ferramentas pedagógicas como ponte entre o novo conhecimento e os subsunçores em nível elementar.

Nessa etapa, a consolidação dos organizadores prévios ganha relevância, uma vez que os conhecimentos a serem aprofundados e as relações a serem estabelecidas terão a abordagem nessa etapa como ponto de ancoragem e referência. Por esse motivo, a rotina pedagógica é extremamente importante e é crucial que se organize um material ou estratégia potencialmente significativa simples e objetiva que será utilizada ao longo de toda a UEPS.

5.2.4. Etapa 4 – Estabelecendo pontos de diferenciação progressiva.

A UEPS estabelece um período de diferenciação progressiva, enquanto a aprendizagem representacional foi o objetivo da etapa 3, aqui objetiva-se a aprendizagem de conceitos que permitam a abstração dos signos formulados na etapa anterior aplicados a novas situações envolvendo o mesmo fenômeno.

Como exemplo, uma vez que o conceito de comprimento de onda foi estabelecido, os alunos devem conseguir relacionar partes múltiplas ou fracionárias com uma unidade de comprimentos de onda. Aqui eles começam a utilizar as ferramentas matemáticas de proporção e simetria para estabelecer relações que permitam a caracterização da onda de acordo com os signos definidos na etapa 3.

Aqui, não basta que o aluno consiga entender e definir o que representa um comprimento de onda, um período, uma frequência ou até mesmo calcular a velocidade de propagação de onda a partir de dados diretos, mas é necessário que a aprendizagem

permita ao aluno definir relações de proporcionalidade a partir do padrão que seria o fundamental.

A aprendizagem de conceitos passa por um nível de abstração que permite a resolução e estabelecimento de relações análogas às situações concretas. É esperado que o estudante consiga definir relações entre distância de propagação, velocidade de propagação e tempo por exemplo.

5.2.5. Etapa 5 – Retomar os conceitos mais gerais com nível maior de complexidade.

Nessa etapa, o estabelecimento de uma nova situação problema que seja definida a partir dos conceitos estudados, porém, com maior nível de complexidade é requerida. As semelhanças e diferenças entre o novo problema e o inicial devem ser apontadas de forma clara, esclarecendo os pontos de ancoragem e os de divergência.

Diante das relações expostas e consolidadas nas etapas anteriores direcionadas ao modelo de ondulatória na corda, será proposto uma análise do processo de reflexão de ondas em extremidades fixas e soltas, bem como a interferência entre pulsos. A formação de padrões de ondas estacionárias não foi abordada devido a dificuldades em manter esse padrão com o simulador de ondas em corda utilizado. No entanto, seria um ponto de estudo adequado como sequência dentro da UEPS proposta no produto educacional desenvolvido por este trabalho.

5.2.6. Etapa 6 – Conclusão da unidade e busca da reconciliação integrativa a partir da diferenciação progressiva.

A UEPS apontou semelhanças e diferenças em todo o processo de construção da aprendizagem. Neste momento, a conclusão dos conceitos é direcionada a aprendizagem proposicional de Ausubel, consolidando o que foi aprendido como novos subsunçores que integram a estrutura cognitiva do aprendiz possibilitando um novo aprendizado que traduz a ideia. Esse nível de aprendizado, com alto nível de abstração consegue explicar situações diversas que possuam relações análogas.

O que se espera dentro da estrutura de ondulatória proposta neste trabalho é que os conceitos de comprimento de onda, período, frequência, velocidade de propagação,

reflexão de onda e interferência sejam integrados na estrutura cognitiva do aluno. Essa integração possibilitaria a compreensão de situações semelhantes de propagação de ondas, como por exemplo, as ondas eletromagnéticas ou de outros tipos de ondas mecânicas.

A aprendizagem proposicional dos conceitos aqui exemplificados, facilitaria a compreensão desses mesmos conceitos em situações fenomenológicas análogas, a partir de um processo de esclarecimento dos pontos de semelhança e divergência a partir da natureza ou das direções de oscilação e propagação das ondas.

5.2.7. Etapa 7 e 8 – Avaliação

As etapas 7 e 8 propostas por (MOREIRA, 2012) tratam do processo de avaliação da UEPS. Ele propõe que o processo de avaliação seja feito ao final de cada etapa da UEPS, sendo necessário uma avaliação somativa ao final da etapa 6 a fim de verificar a capacidade que o aluno tem de evidenciar os conceitos aprendidos e aplicá-los dentro de situações problema propostos.

No entanto, a UEPS será considerada efetiva se, somente se, a avaliação de desempenho dos alunos evidenciar o significado da aprendizagem proposta. Isto é, não basta que o resultado da avaliação somativa final seja acima da nota média padrão, a avaliação deve ser pensada de forma potencialmente significativa, evidenciando situações diversas de complexidade ao longo de toda a UEPS. Em suas palavras: “A aprendizagem significativa é progressiva, o domínio de um campo conceitual é progressivo; por isso, a ênfase em evidências, não em comportamentos finais.” (MOREIRA, 2012, p. 5).

5.2.8. Aspectos transversais

(MOREIRA, 2012) define alguns aspectos transversais que devem permear toda a UEPS como pontos de relevância no momento de elaborar a sequência. O primeiro deles é uma busca por diversificar as estratégias de ensino, de forma a atingir diversos níveis de aprendizagem, mas sempre evidenciando e buscando o questionamento ao invés do estabelecimento de perguntas que conduzam o aluno a respostas prontas.

Outro ponto que (MOREIRA, 2012) aponta como aspecto transversal é a sugestão de que os alunos proponham situações problemas novas que sejam análogas às apresentadas, produzindo um ambiente de maior participação. Em último lugar, a UEPS precisa ser direcionada a atividades colaborativas entre os alunos, mas também existe a previsibilidade de atividades individuais.

Esse último parágrafo aponta uma preocupação de Moreira em estabelecer uma rotina participativa, em que os estudantes sejam ativos no processo de ensino e aprendizagem. Foi uma das dificuldades encontradas neste trabalho, estabelecer uma rotina pedagógica de colaboração entre os alunos dentro de um cenário de ensino remoto imposto pela pandemia da COVID-19 foi impossível como será exposto e explicado na seção de construção do produto educacional aqui proposto.

6. UEPS inicial

6.1. Introdução

Esta UEPS está baseada na aprendizagem proposta por Ausubel. Nessa teoria, o conceito central é o da aprendizagem significativa, a qual passa por três momentos: a aprendizagem representacional, a de conceitos e a proposicional. Para alcançar a aprendizagem significativa proposicional, o aluno precisa compreender a ideia sobre um dado assunto e, posteriormente, conseguir aplicá-la em situações fenomenológicas diversas da original, apontando semelhanças e diferenças entre elas no processo de construção do conhecimento.

Neste trabalho, foram propostas três rotinas pedagógicas: uma fundamentada na aprendizagem por descoberta, com o problema sendo apresentado aos estudantes para que eles desenvolvam por conta própria o que se espera; outra na aprendizagem por recepção com baixa intervenção do professor, sendo o papel do professor, conduzir o ambiente de construção do conhecimento de forma passiva, reagindo as colocações dos estudantes e requisições apresentadas por eles; e, a última na aprendizagem por recepção com alta intervenção do professor, aplicada dentro de um contexto onde o professor é o principal agente do processo de ensino aprendizagem. Essa rotina é a mais utilizada dentro do sistema de ensino tradicional, o que conduz, em geral, a aprendizagem de forma mecânica, porém muitas vezes inevitável dentro de realidades que ocorrem nas salas de aula de uma escola pública do Distrito Federal.

6.2. Subsúncos e objetivos de aprendizagem

Subsúncos que se espera encontrar:

- Conceito de velocidade em um Movimento Uniforme.
- Entendimento do senso comum sobre geração e percepção sonora.
- Uso de régua e cronômetro.

Conceitos iniciais envolvidos:

- Caracterização da onda quanto à oscilação.
- Noções de período e frequência aplicados ao caso de ondulatória.
- Definição de onda.

- Caracterização do comprimento de onda.

Conceitos intermediários envolvidos:

- Relação entre período e frequência.
- Relação entre velocidade, comprimento de onda e frequência.
- Reflexão de ondas em extremidades fixas e livres.
- Interferência de pulsos.

Conceitos avançados envolvidos:

- Processo de formação do som em instrumentos de corda.
- Processo de formação do som nas cordas vocais.
- Processo de percepção sonora (ouvido humano).

6.3. Método de aplicação

ETAPA I: COLETA DOS SUBSUNÇORES DA TURMA, DIAGNÓSTICO.

Duração: (2 aulas) – 1 dia.

- Nessa etapa, teremos perguntas direcionadas no intuito de verificar quais são os conhecimentos, baseados no senso comum, que os alunos possuem. Os alunos serão orientados a estabelecer grupos de até 3 alunos e a criar um diário das próximas aulas, fazendo as anotações de todas as discussões. As perguntas serão colocadas no quadro uma após a outra com intervalo de tempo suficiente entre elas para respondê-las.
 1. O que é uma onda? (tempo estimado: 7 minutos)
 2. Para que serve uma onda? Exemplifique. (tempo estimado: 5 minutos)
 3. Explique o processo de formação e propagação de uma onda citada na questão anterior. (tempo estimado: 8 minutos)
 4. Explique: como você percebeu a onda citada? (tempo estimado: 5 minutos)
 5. Faça um esquema para representar uma onda. (tempo estimado: 10 minutos)

- Ao final das perguntas, foram passados alguns vídeos em torno do que foi discutido em sala de aula sobre a fonte que gera as ondas citadas ao longo da discussão.

ETAPA II: IDENTIFICANDO O SIMULADOR

Previsão: (2 aulas) – 1 dia.

- Aqui, utilizamos o simulador de ondas em cordas (COLORADO, 2019). Nesse encontro, o objetivo consiste na verificação das ferramentas disponíveis no simulador.
 - A atividade foi direcionada à conceituação dos descritores apontados no simulador. A abordagem aconteceu dentro de três padrões de aprendizagem: o baseado na descoberta, na recepção e em uma mistura entre esses dois, onde as intervenções do professor foram menos presentes.

ETAPA III: COLETA DE DADOS E VERIFICAÇÃO DE ALGUMAS RELAÇÕES

Previsão: (4 aulas) – 2 dias.

- Nessa etapa, os alunos foram direcionados a selecionar algumas propriedades específicas e a registrar o ocorrido, bem como coletar dados através das ferramentas de medição do próprio simulador. Também verificarão os padrões de interferência para 2 pulsos de ondas enviados ao longo da corda.
- Uma vez familiarizados com as ferramentas do simulador, assumindo que eles saibam utilizar régua e disponibilizando o material caracterizado como organizador prévio associado ao roteiro da terceira aula, foram direcionados à segunda parte da aula. Os alunos deveriam construir e preencher a tabela, como exemplificado a seguir e instruído no roteiro de aula 3, no anexo I.

Amplitude:		
Tensão:		
Amortecimento:		
Frequência (f)	Comprimento de onda (λ)	Produto (f. λ)

ETAPA IV: DISCUSSÃO TEÓRICA

Previsão: (2 aulas) – 1 dia.

- O professor abordou, através de aula expositiva, os conceitos científicos de ondulatória e explicitou a relação matemática, que permite obter a velocidade de propagação, encontrada pelos alunos na extração de dados do simulador.
- As classificações de ondas quanto ao movimento de oscilação e propagação foram dadas como:
 - Transversal ou longitudinal.
 - Unidimensional, bidimensional e tridimensional.

ETAPA V: AVALIAÇÃO E CONCLUSÕES

Previsão: (2 aulas) – 1 dia.

- Foi aplicado um teste para verificar os conhecimentos adquiridos dos alunos ao longo da aplicação do produto. Após a aplicação, foi feita a análise de dados, discutido com o orientador e sugeridas possíveis modificações para uma nova aplicação no semestre seguinte.

6.4. Primeira aplicação

A primeira aplicação do produto estava prevista para acontecer no período de 04/11/19 a 20/11/19. Durante a semana do dia 11 a 22 de novembro de 2019, o professor teve uma luxação no punho direito, ficando impossibilitado de comparecer ao trabalho e atrasando, por isso, a aplicação do produto para o dia 29 de novembro até 06 de dezembro de 2019.

A primeira versão do produto educacional foi aplicada para um total de 3 turmas de 2º Ano do Ensino Médio, em uma escola pública da região de Taguatinga-DF, totalizando 88 alunos, sendo divididos da seguinte forma:

- Turma A: 29 alunos.
- Turma B: 31 alunos.
- Turma C: 28 alunos.

As aulas aconteciam nos dias de segunda e quarta, com aulas duplas totalizando 1 hora e 40 minutos. No entanto, devido ao tempo de deslocamento entre uma aula e outra, a ambientação e a preparação para iniciar a aula, o tempo médio efetivo de aula está em torno de 1 hora e 30 minutos.

6.4.1. Fase I: Verificação de subsunçores e introdução de conceitos iniciais.

No primeiro dia, os alunos foram instruídos a elaborarem um diário de anotações, onde eles escreveram tudo o que foi feito, concluído e entendido ao longo das aulas seguintes. A motivação para que eles fizessem era a de que isso serviria como instrumento de construção do conhecimento, sendo, portanto, parte da avaliação de todo o processo.

Como primeira atividade utilizaram as perguntas escritas no quadro com a formação de grupos com 3 pessoas. Eles foram instruídos a anotarem todas as observações a respeito de cada atividade proposta no diário. Os alunos então discutiam entre si qual a “melhor” resposta para cada uma das perguntas feitas. Seguem abaixo, exemplos de temas ou assuntos que surgiram durante as discussões entre eles, obtidos através de observação direta:

6.4.1.1.1. Turma A

1. O que é uma onda?

- É energia.
- É vibração.
- Tem alguma coisa a ver com oscilação.
- Onda de mar.

- Batimento cardíaco.
- Assisti muito Avatar, vocês não vão me dizer que onda é diferente do que eu vi lá.

2. Para que serve uma onda? Exemplifique.

- Já respondi na 1.
- As ondas do mar têm energia.
- Os grupos da turma começaram a interagir.
- A gravidade com a lua que faz a movimentação das ondas.
- Onda de calor.

3. Explique o processo de formação e propagação de uma onda citada nas questões anteriores.

- Eu não sei.
- Aí você complicou demais professor.
- Como é o processo de formação de uma onda do mar?
- Professor, existe onda solar?

4. Explique: como você percebeu a onda citada?

- Olhando.
- Professor, como assim?
- Vendo.

5. Faça um esquema para representar uma onda.

- Já fiz na 3.
- Desenhar é comigo mesmo.
- Ai professor, não sei desenhar.

6.4.1.1.2. Turma B

1. O que é uma onda?

- É uma onda do mar.
- É física, então tá falando do mar.
- Radioatividade.

- A onda tem matéria, onda não tem matéria. (Discussão de um grupo)
- São energias que carregam energia através de um meio.

2. Para que serve uma onda? Exemplifique.

- São vibrações, pensa na vibração sonora.
- Serve para transmitir energia.
- Onda não fica parada, ela anda.
- Os alunos lembraram de um professor anterior que cobrava relatórios nos anos anteriores.
- A onda sonora se propaga em 3 dimensões, tipo, se eu bato na mesa, o som vai até o fundo da sala.
- A onda é gerada na natureza.

3. Explique o processo de formação e propagação de uma onda citada nas questões anteriores.

- Pode pesquisar professor?
- Onda mecânica é o quê? Grupo que consultou o livro.
- São produzidas por cargas elétricas aceleradas.
- Ondas eletromagnéticas andam no vácuo.
- Muitos alunos dessa turma recorreram aos celulares como objeto de pesquisa nesse tópico.
- Luz é uma forma de onda.

4. Explique: como você percebeu a onda citada?

- Eu posso dizer que os estudos históricos da bomba de Hiroshima validam a observação da onda radioativa?
- Na TV, no rádio, no Wi-Fi dentre outros equipamentos.
- As ondas são pequenos feixes de luz que se juntam.

5. Faça um esquema para representar uma onda.

- Pode desenhar?
- A onda é um tipo de coisa que tem que juntar outra coisa.

6.4.1.1.3. Turma C

1. O que é uma onda?

- É o que tem no mar.
- Existem várias ondas, onda sonora.
- É algo que tem volume e que está em constante movimento.
- Luz.

2. Para que serve uma onda? Exemplifique.

- Transmitir força.
- Sem onda não existe praia.
- Para te derrubar, os alunos começaram a lembrar das experiências na praia.
- As cores têm diferentes comprimentos de onda.

3. Explique o processo de formação e propagação de uma onda citada nas questões anteriores.

- O que é propagação?
- O efeito doppler faz um planeta que está longe ficar vermelho e um próximo ficar azul.
- A vibração que se propaga no espaço.
- Alguns alunos disseram que não sabiam responder essa questão.
- As placas tectônicas se mexem e geram as ondas.

4. Explique: como você percebeu a onda citada?

- Olhando.
- Senti ela me levando.

5. Faça um esquema para representar uma onda.

- Fazer um esquema, vou desenhar uma ondinha com o surfista dentro.
- Os alunos estavam disputando para ver quem desenhava melhor.

Ao final da atividade, com as turmas eufóricas depois da última pergunta, eu fiz uma abordagem conceitual bem breve sobre as ondas que eles mais citaram, as ondas

do mar. Eles fizeram associação da formação dessas ondas com as marés e com os movimentos das placas tectônicas, no entanto, não fizeram associação com os ventos.

Para tratar a respeito da formação dessas ondas, o vídeo “Ciência explica - Como as ondas se formam?”² (UFSCAR, 2017), foi a estratégia didática proposta. O vídeo foi bem aceito e o instrumento de animação de desenhos utilizado nele é uma das ferramentas que parte dos alunos domina e que, inclusive, foi utilizada em outros projetos feitos por eles na escola.

Após esse momento, os alunos foram orientados a envolver o pescoço com suas mãos e a produzir um som grave e um som agudo. Eles brincaram uns com os outros falando das vozes produzidas por eles. Ao perceberem a diferença de vibração pelo tato, eles questionaram o som que possuiria maior vibração. A resposta para essa pergunta foi associada ao som grave. Eles foram instruídos a estimarem pelo tato, a quantidade de vibrações por segundo realizadas pelas suas cordas vocais e, ao invés, de produzirem um som grave e outro agudo, a alterarem gradativamente a frequência da voz observando as vibrações de suas cordas vocais. Esse formato de alterar gradualmente o som produzido conduziu os alunos a conclusão de que na verdade o som agudo possui “maior vibração”, que transforma a vibração em uma sensação de contínuo.

Ao final dessa atividade, um vídeo de laringoscopia³ (CASTRO, 2013) mostrando as cordas vocais de um falsete feminino foi projetado. O vídeo foi acessado pelo sítio. Os alunos fizeram comparações das cordas vocais do vídeo, percebendo a vibração de sua própria voz ao tentar imitar o som produzido pela mulher.

Falando sobre voz, fizemos uma discussão sobre percepção sonora, ferramentas que produzem sons e como esse som interfere nas nossas vidas. Um vídeo sobre o espectro de frequência audível⁴ (TREATY, 2016) pelo ouvido do ser humano, variando um som com frequência entre 20 Hz e 20kHz foi projetado. Os alunos foram instruídos a perceberem a oscilação da película da caixa de som disponibilizada, verificando e

² O vídeo foi disponibilizado como fonte de informação associado à formação das ondas no mar.

³ O vídeo foi disponibilizado como fonte de informação associado ao processo de formação da onda sonora pelas cordas vocais.

⁴ O vídeo foi disponibilizado como curiosidade a respeito da capacidade de ouvir determinadas frequências, bem como comparar a capacidade dos próprios estudantes em perceber diferentes sons.

justificando justamente o fato de que uma maior frequência produz a sensação, pelo tato, de que não existe uma oscilação sendo executada naquele momento.

6.4.1.1.4. Conclusões sobre o primeiro dia de aplicação

Analisando as discussões feitas em sala de aula, foi constatado que a primeira pergunta “O que é uma onda?” os remete, diretamente à imagem da onda gerada no mar. Em sua maioria, os alunos afirmaram já ter ido à praia. No entanto, mesmo aqueles que alegaram nunca ter “sentido” a onda na praia, utilizaram da justificativa de saber como é através do que tinham visto na televisão. Isso traduz o poder da imagem para a formulação de modelos mentais, direcionando a aprendizagem para o nível representacional.

Os pontos levantados pelos alunos, na primeira pergunta, revelam que o pensamento acerca do conteúdo de ondulatória que iríamos estudar está alicerçado em experiências com a televisão, vídeos divulgados em redes sociais, filmes e/ou percepções dadas através de acontecimentos ou reflexões relacionadas a fenômenos presenciados por eles.

A informação que eles obtiveram através desses instrumentos, que não é direcionada à reflexão fenomenológica, apesar de tratar sobre os signos que definem ondulatória, não possibilitou que eles fossem capazes de abstrair o conceito e aplicá-las em situações concretas, definindo características como periodicidade, percebendo a diferença entre oscilação e deslocamento e definindo a utilidade de propagação de energia e o que isso representa. Isso expõe a necessidade de direcionar a sequência potencialmente significativa para a busca do segundo nível de aprendizagem proposto por Ausubel, a de conceitos, ancorando as novas ideias na aprendizagem representacional que foi proposta nesse primeiro dia.

A segunda pergunta “Para que serve uma onda? Exemplifique” objetivou a caracterização conceitual da utilidade do modelo a ser estudado. A divergência entre a aprendizagem representacional e a de conceitos ficou exposta na interação entre os alunos. Alguns apontavam para a representação de que a onda transportava energia, e, enquanto outros questionaram sobre o que significava transportar energia, aqueles que

afirmavam a primeira observação tentavam explicar e dar respostas, mas encontravam dificuldade em definir com clareza o significado do que seria propagação energia.

Durante esse momento ficou claro que uma provocação, por parte do professor, seria mais apropriada para começar a abordagem do conteúdo proposto. Na proposta para o produto seguinte, um experimento será realizado como instrumento balizador das ideias, buscando gerar uma discussão direcionada dentro da situação concreta, com a utilização dos signos linguísticos que os alunos possuem em busca da compreensão e do desenvolvimento do senso crítico a respeito do fenômeno. O experimento pensado foi a realização do exercício conhecido como corda naval.

Uma das expectativas para a terceira pergunta era de que os alunos pesquisassem no livro didático. Justamente por ser mais complexa, apesar da expectativa, a quantidade de alunos que buscou o livro como fonte foi baixa. A maior parte dos alunos utilizou a internet com a ferramenta de pesquisa google para buscar uma forma de responder à questão proposta. Em sua maioria, os alunos em todas as turmas se sentiram intimidados e ficaram receosos em responder de forma equivocada a questão, e, como não era uma atividade avaliativa formal, alguns preferiram não registrar as suas respostas, apenas permanecendo na discussão.

A terceira pergunta promoveu uma interação entre todos os grupos, onde um tentava ajudar o outro na construção de uma resposta consistente. Alguns alunos comentaram sobre situações envolvendo conceitos de relatividade e eletromagnetismo, apontando definições como a luz sendo onda eletromagnética e a distorção do espaço diante de grandes massas como curvas que definiriam um fenômeno ondulatório.

Alguns desanimaram com a atividade e precisaram ser assistidos no sentido de que a resposta deles não precisava estar necessariamente certa. Que seria bom o registro de suas respostas para comparação futura, uma vez que o processo de aprendizagem proposto é baseado na expansão de suas capacidades em compreender fenômenos e estabelecer as relações. Para esses estudantes, a frustração diante da dificuldade em estabelecer uma resposta provocou uma barreira para o restante da etapa de aprendizagem.

As perguntas quatro e cinco direcionadas à busca do modelo mental que eles criaram a respeito dos fenômenos de ondulatória foi a que gerou mais interação: conversas, brincadeiras e risos. Os alunos se divertiram comparando seus desenhos, brincaram uns com os outros diante da “falta de criatividade” de uns e do “excesso” de outros. Os alunos que estavam apáticos voltaram a interagir com os colegas, mas não se dispuseram a registrar suas respostas.

A mediação com os vídeos feita após as perguntas gerou uma discussão bastante interessante sobre a forma como as coisas acontecem ao redor deles. Eles manifestaram surpresa e alegria ao entenderem a capacidade do corpo humano de realizar processos de emissão e percepção de sons. Conseguiram associar o comportamento ondulatório com o “sentir” a batida no ouvido quando um som grave está tocando, dentro do estilo musical funk, rap ou qualquer gênero do interesse deles.

Dentro do aspecto pedagógico, considerei como ótimo a atividade de exposição e abordagem com os vídeos. Todas as turmas foram receptivas de forma geral, participaram de forma ativa e promoveram uma discussão dentro da temática proposta, expondo inclusive os pontos de confusão entre as informações recebidas por eles através de fontes não formais e os conceitos corretos que justificariam tais situações, como por exemplo, a transmissão de matéria através de uma onda.

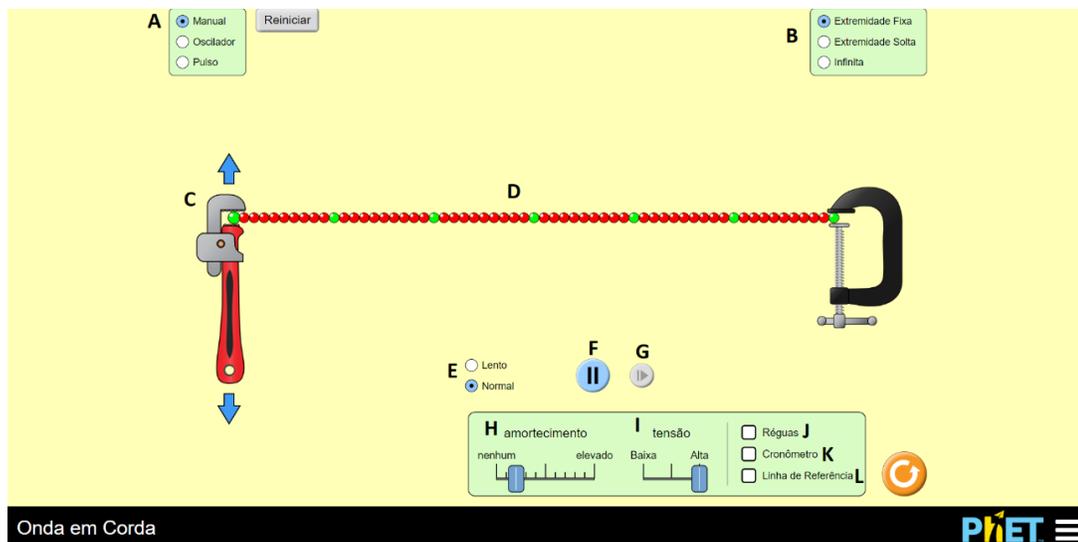
6.4.2. Fase II: Ambientação com a plataforma do simulador.

O segundo dia foi reservado para ambientação das ferramentas do simulador de ondas em corda da plataforma PhET⁵ (COLORADO, 2019). Antes do início das aulas, o simulador foi aberto em cada computador do laboratório de informática, enquanto um foi projetado pelo professor no quadro branco para explicação da atividade do dia.

⁵ O simulador de ondas em corda utilizado durante todo este trabalho está na plataforma virtual PhET.

O objetivo principal desse dia é de que os estudantes conseguissem compreender a funcionalidade de cada ferramenta indicada pelas letras A a L na imagem abaixo:

Figura 13 - Descritores a serem conceituados no simulador



Fonte: Elaboração própria com auxílio do simulador de ondas em corda da plataforma PhET(2019)

Para isso foram propostas 3 rotinas diferentes, sendo duas delas direcionadas à aprendizagem por recepção, uma com intervenção total na aula e outra com intervenção parcial por meio de roteiro e suporte do professor. Outra rotina foi direcionada à aprendizagem por descoberta.

O objetivo secundário para essa etapa do produto educacional foi testar a receptividade e a interação produzida através de três abordagens com focos distintos. As classificações de aprendizagem que foram a base de desenvolvimento da rotina pedagógica, para cada turma, foram as seguintes:

- A → Aprendizagem por recepção com pouca intervenção do professor.
- B → Aprendizagem por descoberta.
- C → Aprendizagem por recepção com maior intervenção do professor.

A escolha dos tipos de aprendizagem para cada turma foi feita baseada no rendimento e perfil de interação apresentado pelas turmas previamente no semestre. A aprendizagem que foi caracterizada como pouca intervenção foi a fusão entre as duas rotinas, por recepção e descoberta, ao passo em que a maior intervenção é caracterizada

basicamente com a aprendizagem por recepção aplicada durante toda a rotina pedagógica.

A turma A apresentava um rendimento geral mediano, mas as aulas, frequentemente, possuíam interação e questionamento entre os próprios estudantes acerca do que estava sendo tratado. Para esta turma foi escolhida a aprendizagem por recepção, mas com baixa intervenção do professor. O foco da metodologia baseia-se em intervenções como provocações através de perguntas e questionamentos que verificam ou falseiam os argumentos dos estudantes.

A turma B possuía o maior rendimento escolar das três testadas. Ela foi escolhida para testar a aprendizagem por descoberta. Apesar do rendimento geral da turma ser o maior entre as três analisadas havia, nesta turma, uma polarização sobre esse rendimento e de frequentes embates entre os alunos com melhores notas e os piores gerando uma expectativa de dificuldade interação entre eles.

A turma C possuía um rendimento inferior ao das outras duas turmas. Além disso, a turma apresentava uma característica de polarização relacional geral. Devido a essa dificuldade de interação para produção de trabalhos em grupo e a baixa expectativa relacionada a existência consolidada de subsunçores, a aprendizagem por recepção com forte intervenção do professor foi escolhida.

6.4.2.1.1. Turma A

Para a turma A foi feita uma breve demonstração, de 7 minutos, indicando as mudanças no padrão de propagação ondulatória ao longo da corda do simulador devido a alterações dos descritores selecionados para a simulação.

Após isso, os alunos foram instruídos a continuar os registros no seu diário de campo, indicando para aquele dia com as suas próprias palavras o que cada uma das letras, de A a L, indicadas na imagem representariam. Ao final da primeira aplicação, os alunos tiveram muita dificuldade em escrever e conectar as palavras que definiriam as funções das ferramentas do simulador.

A grande maioria não conseguiu avançar além da descrição E, conversavam uns com os outros e questionavam quando algum deles escrevia algo a respeito de um dos

descritores. O descritor que gerou a maior discussão foi o descritor A. A seguir, alguns dos registros que considere mais pertinentes na análise:

- Descritor A:
 - “A diferença entre manual, oscilador e pulso é do aparelho que vai gerar a onda”
 - “O manual não tem movimento constante, o oscilador é constante e o pulso é só a parte de cima da onda”
 - “Os 3 geram uma onda que vai morrendo ao longo do caminho, então não depende de quem está gerando”
- Descritor B:
 - “Vai dizer até onde a onda vai”
 - “Como a onda acaba antes de chegar lá, não faz diferença, só muda o que vai esticar a corda”
 - “Dependendo da extremidade, vai mudar a forma como o pulso volta”
- Descritor C:
 - “Vai depender do que marquei no A”
- Descritor D:
 - “É onde a onda vai andar”
 - “É a corda que se alonga quando a onda passar”
 - “É o que mata a onda”
- Descritor E:
 - “Vai falar a velocidade com que a onda anda na corda”
 - “É o tempo que a onda vai levar pra chegar do outro lado”
- Descritor F:
 - “É o pause, a imagem congela”
- Descritor G:
 - “Faz a onda andar só um pouquinho, é o que ela anda em um segundo”
 - “É onde a onda vai estar imediatamente depois desse instante”
 - “É o intervalo entre uma imagem e outra, o monitor é 60 fps, então seria um intervalo de tempo de 1 dividido por 60 segundos”

- Descritores H:
 - “Vai dizer o peso da corda, quanto mais pesada, mais rápido a onda morre”
 - “Vai dizer até onde a onda vai poder ir”
 - “Indica o tempo de vida da onda”
- Descritores I:
 - “Vai dizer a velocidade da onda”
 - “Indica o quão longe essa onda irá”
- Descritores J:
 - “É a régua, para medir a distância no computador”
- Descritores K:
 - “É para medir o tempo, a gente tem que soltar o cronometro para dar inicio a contagem do tempo”
- Descritores L:
 - “Serve para ter um referencial”

Esses registros mostram o envolvimento da turma com o assunto estudado. No entanto, ficou claro que o tempo de duas aulas, uma hora e trinta minutos, não foi suficiente para que os alunos conseguissem finalizar a atividade proposta. O simulador foi disponibilizado através de um link para o representante de turma via whatsapp e compartilhado entre eles para que pudessem finalizar a atividade em casa.

Na turma A, com leve intervenção do professor, foram dadas apenas direções do que precisava ser feito no início da aula e intervenções diante de dúvidas colocadas pelos alunos. A turma já havia estabelecido um relacionamento de empatia com o professor e vice-versa, o que resultou no sentimento de liberdade com menos medo de errar diferentemente do que ocorria com as outras duas turmas.

Por ser uma turma mais unida e questionadora, a conversa entre eles em busca de conceitos bem definidos acabou permitindo que eles finalizassem até o descritor E. No entanto, apesar de não terem conseguido avançar substancialmente dentro do que o professor esperava, o dia foi considerado como produtivo, uma vez que as discussões promovidas eram confrontadas por exemplos que os próprios estudantes propunham uns aos outros.

Apenas quatro alunos conseguiram finalizar a atividade até o último descritor. No entanto, esse grupo agia de forma isolada, sendo um grupo que em avaliações prévias já possuíam bons resultados. Quando solicitados a ajudarem o professor com a explicação e questionamentos aos outros grupos, apenas aceitavam os conceitos definidos por eles, os quais estavam de acordo com o livro didático. Tinham certa dificuldade em utilizar e aceitar os conceitos dos outros estudantes como balizadores e âncoras para a aprendizagem significativa.

6.4.2.1.2. Turma B

A segunda aula para a turma B foi proposta dentro de um contexto de aprendizagem por descoberta. A instrução foi a mesma, no entanto, o formato da atividade do dia foi para que eles utilizassem o simulador, explorando seus recursos e registrando no diário de campo cada funcionalidade indicada pelos descritores de A a L.

No estilo de aprendizagem proposto, a intervenção do professor foi requisitada quase que de forma constante, muitos alunos ficaram chamando-o a fim de tirar dúvidas e conferir se suas descrições estavam compatíveis com a realidade. Foi detectado uma dificuldade dos alunos em definir e escrever de forma coesa e coerente o que estava sendo observado. Alguns alunos, apesar de conseguirem explicitar a ideia por meio da fala, não conseguiram transcrever suas observações, o que sugere uma limitação no domínio da linguagem escrita.

A maioria dos estudantes que tinham suas dúvidas respondidas durante o atendimento não conseguiu ajudar os colegas que estavam com problemas semelhantes. Isso permite supor que os estudantes podem ter realizado a atividade proposta de forma pouco reflexiva, dentro de uma aprendizagem representacional e sem o significado desejado.

Para essa turma, com a aprendizagem por descoberta, eles não conseguiram definir significativamente o que os descritores representavam dentro da simulação. As duas aulas não foram suficientes para que eles finalizassem a atividade.

Uma proposta possível seria a elaboração de um roteiro mais detalhado. No entanto, talvez seja necessária uma mudança de paradigma de uma aprendizagem

mecânica - baseada em repetição, na memorização de conceitos para a avaliação e na fala do professor – para uma aprendizagem significativa conforme definido por Ausubel. Isso passa por todo um processo de mudança social e cultural a respeito da visão que a própria sociedade tem de aprendizagem.

Dessa forma, a aprendizagem por descoberta foi colocada de lado neste trabalho, uma vez que a sua implementação, como mencionado, exigiria muitas adaptações a prática pedagógica desenvolvida na escola onde atuei. Fica, no entanto, como proposta a ser seguida em outra oportunidade.

Nos quinze minutos finais dessa turma, percebendo a dificuldade e desânimo provocados pela frustração de não conseguir cumprir a atividade com êxito, o professor fez uma abordagem geral, tratando e comentando sobre aspectos disponibilizados no simulador. Os estudantes estavam visivelmente cansados e não aparentavam estar muito receptivos às informações apresentadas. O diário de campo dos estudantes não teve acréscimos significativos, com a exceção de dois alunos que finalizaram as descrições do simulador de forma satisfatória, os outros permaneceram apenas nos descritores A e B.

6.4.2.1.3. Turma C

A turma C foi instruída por meio de aula expositiva tratando dos signos fonte, comprimento de onda, período, frequência, amplitude e propagação de forma introdutória. Essa instrução durou trinta minutos, o restante das uma hora e quinze minutos foi disponibilizada para que eles tentassem fazer a descrição das funcionalidades do simulador.

Seguem algumas descrições feitas por essa turma:

- Descritor A:
 - “Ele define o tipo de fonte que produz a onda.”
 - “Vai desenhar uma onda completa ou parte dela, eu posso controlar ou automatizar”.
 - “A fonte define se é manual e caótico ou automático e simétrico”
- Descritor B:

- “Define a distância limite pra onda.”
- “Pode ser irrelevante dependendo do amortecimento.”
- “Vai existir reflexão ou não, a fixa e a solta mudam o tipo de pulso que retorna.”
- Descritor C:
 - “Vai depender do que marquei no A.”
 - “É a fonte.”
- Descritor D:
 - “É o que oscila.”
 - “É a corda.”
 - “As bolinhas só sobem e descem, mas a onda propaga”
- Descritor E:
 - “A onda vai rápida ou devagar.”
- Descritor F:
 - “É o pause, a imagem congela.”
- Descritor G:
 - “É tipo o slow motion da câmera do celular.”
 - “Um quadro é passado, são 2 imagens congeladas.”
- Descritor H:
 - “Ele diz o quanto a onda perde de amplitude na propagação.”
 - “Limita a distância percorrida pela onda.”
 - “Quanto mais amortecimento, menos longe a onda chega.”
 - “Ela faz o movimento ter menos impacto.”
- Descritor I:
 - “É muito parecido com o E.”
 - “Força que transmite a onda.”
 - “Diz a velocidade de propagação e oscilação”
- Descritor J:
 - “É a régua, para medir distância.”
- Descritor K:

- “É para medir o tempo, a gente tem que soltar o cronômetro para dar início a contagem do tempo.”
- Descritor L:
 - “Serve para ter um referencial.”
 - “Facilita o uso da régua e do cronômetro.”

A turma C teve debates e ajuda mútua entre os estudantes para finalizarem as tarefas, o que foi uma surpresa. Eles utilizaram os signos verbais definidos anteriormente a atividade e conseguiram em sua grande maioria chegar na definição do descritor H. Oito alunos conseguiram finalizar a atividade completamente presencialmente e o restante levou a atividade para finalizarem em casa.

A quantidade de conceitos em branco foi o mais reduzido das três turmas, tendo apenas a de um aluno que se recusou a fazer todas as atividades propostas. Comprovando a teoria proposta por Ausubel, o desejo de se aprender é requisito indispensável para que possa ocorrer o aprendizado, sendo este, significativo.

6.4.2.1.4. Conclusões sobre o segundo dia de aplicação

A conclusão geral do segundo dia de aplicação da sequência didática é que para a aprendizagem por descoberta ser adequada, ela deve ser sistêmica. Isso envolve experimentação e capacitação em diversas áreas de ensino, com metodologias que tornem o estudante a peça central no aprendizado, incluindo mudanças no próprio processo de avaliação.

A aprendizagem por recepção com baixa intervenção do professor revelou-se adequada na turma que apresentava relacionamentos questionadores e com a presença de subsunçores adequados.

A aprendizagem por recepção, onde o professor atua de forma totalmente ativa, traz pouca reflexão e favorece a aprendizagem mecânica, não significativa. O aluno adquire informações, mas tem dificuldade para relacioná-las e aplicá-las em situações diversas. Apesar do caráter dessa aprendizagem ser distante da potencialmente significativa proposta por Ausubel, onde é esperado a consolidação de uma estrutura

subsunçória para novos conteúdos, foi constatado pode ser adequada diante da necessidade de estabelecer novas estruturas de ancoragem cognitiva.

Por exemplo, o conteúdo de propagação de ondas em cordas visto de forma mecânica poderia ser consolidado significativamente, se, ao final do processo de aprendizagem, for formada a base subsunçória para o restante dos conhecimentos associados ao fenômeno de ondulatória. Uma vez que esse fenômeno, com a característica de ser visualmente perceptível, poderia ser útil como instrumento de analogia pela aprendizagem proposicional facilitando o processo de compreensão, por semelhança e diferença, ao ser comparado aos modelos ondulatórios de outras naturezas e características.

A turma B, que teve a abordagem mais destoante das três, foi a que apresentou maior desafio. Ao final da aula, a produção foi considerada baixa e, assim, uma abordagem expositiva e objetiva foi necessária de forma a prepará-los para o prosseguimento da sequência. Para que a aprendizagem por descoberta seja eficiente, outros dados e outros formatos precisariam ser modelados e testados.

A aprendizagem mecânica é consagrada como a que funciona sendo a forma como os estudantes estão “acostumados”. Alterar esse paradigma requer uma realocação e readaptação do formato do sistema educacional, entre outras remodelagens sociais. No entanto, isso não quer dizer que a médio ou longo prazo, essas mudanças não seriam produtivas e nem que não valha a pena investir dentro de uma abordagem direcionada à aprendizagem por descoberta.

Pelo contrário, é necessário que os alunos entendam a divergência entre informação e conhecimento, sendo capazes de refletir, sintetizar e generalizar toda e quaisquer informação dentro de sua estrutura cognitiva. Esse seria o processo de aprendizagem significativa, que os permite julgar informações com conceitos que definem o que é e o que não é correto ou adequado dentro do problema analisado.

Devido ao rendimento escolar de parte da turma ser considerado excelente, a proposta da turma B será alterada para uma aprendizagem por recepção com baixa intervenção do professor. É esperado, que apesar dos eventuais problemas de

relacionamento que se desenvolvem entre os alunos, uma resposta de questionamento e comparação seja alcançada ao longo das próximas atividades, onde eles consigam definir substancialmente os conceitos e ideias que serão os objetivos nas próximas etapas desta sequência.

A turma C foi escolhida como a turma com maior intervenção devido ao perfil dos alunos apresentar maior dificuldade e menor índice de participação de atividades dentro do contexto geral da escola. Um grupo de oito estudantes (aproximadamente 26% da turma) não costumam participar das aulas de forma ativa, no entanto, quando os conceitos foram apresentados e a atividade foi proposta, sete deles se dedicaram a conceituar os aspectos do simulador. Talvez porque estávamos no final do ano e praticamente todos eles corriam sérios riscos de reprovação. De qualquer forma, foi uma surpresa ver a interação apresentada nesse dia da atividade, o que fugiu do padrão apresentado pela turma durante todo o semestre.

A turma, de forma geral, não apresentou dificuldade em definir os conceitos dos descritores propostos. No entanto, a discussão não foi tão ampla quanto a da turma A, a exposição teórica antes da atividade provavelmente vetou quaisquer conceitos ou pensamentos que eles poderiam ter para definir o que os descritores representam.

Apesar dos conceitos terem sido melhor definidos dentro de um aspecto qualitativo pela turma C, a discussão foi pobre e o registro considerado mecânico e de baixo potencial significativo, uma vez que os conceitos foram reduzidos a explicação inicial e ao que os alunos com maior rendimento escolar passavam para os outros. No entanto, para avaliar o sucesso da metodologia aplicada para a turma C, seria necessário avaliar a capacidade que esses alunos teriam de aplicar os conceitos e ideias apresentados por essa rotina a modelos ondulatórios de diversas naturezas e classificações.

Apesar da turma C ter apresentado o maior índice de resolução total da atividade considerando as três abordagens propostas, a mista entre descoberta e recepção aplicada na turma A foi considerada, pelo autor deste trabalho, a mais exitosa e adequada dentro do perfil apresentado pelas turmas.

Um ponto considerado interessante foi o desejo dos alunos pelo link do simulador. Eles perceberam que a plataforma PHET possui simulações de outras áreas do conhecimento e de outros temas e pediram para que o link do simulador fosse enviado no grupo de whatsapp da turma para finalização da atividade e que eles pudessem testar outras coisas. A busca pelo link da turma A e da turma C foi mais evidente que a da turma B, conforme mencionado anteriormente, a turma focada na aprendizagem por descoberta finalizou a atividade bem frustrada e desanimada, aceitando a abordagem teórica ao final da aula feita pelo professor.

Isso foi uma surpresa, uma vez que a interação da turma C que possui o pior rendimento geral das três turmas foi mais ativo que a interação da turma B que possuía o melhor rendimento geral comparado as três turmas.

6.4.3. Fase III: Medições, registros e conclusões.

O atraso na aplicação devido a luxação no punho do professor fez com que a atividade programada para o terceiro dia, com 4 aulas, fosse condensada em uma atividade presencial com 2 aulas para tratar do formato dos instrumentos de medida no simulador e com a finalização dessas medições sendo feitas como atividade domiciliar.

Durante a aula presencial, as turmas tiveram um comportamento semelhante, demonstraram certa dificuldade em utilizar a régua digital e o cronômetro, bem como um nível de interação quanto a dúvidas e a ajuda entre eles próprios.

6.4.3.1.1. Turma A

Os alunos apresentaram maior proatividade para iniciar as medições com o simulador em relação as outras duas turmas. Após uma breve explicação do que eles precisariam construir, os estudantes fizeram suas escolhas e começaram a construir a tabela com a ajuda do roteiro de aula. Para essa turma, não foi feita uma demonstração prática da construção da tabela, o roteiro de aula foi lido com eles e a instrução foi de que eles comessem a realizar a atividade tomando como ponto de partida, o registro no diário da aula anterior.

Dos 29 alunos: três (10,3%) faltaram no dia, dois (6,8%) se recusaram a fazer a atividade alegando que não conseguiriam e os outros vinte e quatro (82,7%) iniciaram a

atividade em sala de aula. A maior parte dos alunos que fizeram a atividade conseguiram completar até a quarta tabela de coleta de dados, um grupo de sete estudantes finalizou a atividade e percebeu que o produto “ λf ” era constante quando não se alterava a tensão da corda, perguntando ao professor o porquê de tal fato.

O roteiro de aula foi considerado eficiente na aplicação para essa turma, uma vez que os estudantes utilizaram o que estava escrito para justificar as medições realizadas e na organização das tabelas. A quantidade de convocações do professor nessa turma foi bem abaixo das outras, sendo necessário prestar assistência apenas para aqueles estudantes que possuíam maior deficiência de pré-requisitos, três dos alunos dessa turma afirmaram nunca ter utilizado uma régua para medir comprimento e nem o cronômetro para tempo. Os estudantes que conseguiam preencher a tabela, chamavam o professor para verificar se tudo estava certo e davam seguimento na atividade quando sim, ao passo em que a resposta negativa era suficiente para que procurassem um colega para auxiliá-los.

6.4.3.1.2. Turma B e C

Para as turmas B e C, o professor fez a abordagem teórica e construiu no quadro uma das tabelas do roteiro, durante a realização da atividade de construção das tabelas com as medidas do simulador, os alunos fizeram poucas perguntas ao professor e interagiram uns com os outros para compararem os registros de situações semelhantes.

A turma B fez poucos questionamentos ao professor e, com exceção de quatro estudantes (12,9%), conseguiram finalizar ao menos três tabelas com medidas coerentes com o simulador. Seis alunos (19,3%) faltaram nesse dia. O roteiro de aula 3 do Anexo I foi disponibilizado via whatsapp para o grupo da turma ao final da aula com as instruções para a finalização da atividade em casa.

O caráter da aprendizagem por descoberta, inicialmente utilizado na turma B nas aulas do dia 2, exigia uma postura mais ativa, por parte dos alunos, e, que os subsunçores da atividade estivessem bem consolidados na estrutura cognitiva. Apesar desse aspecto ter gerado frustração e angústia nos alunos nas aulas anteriores, a

abordagem com foco na aprendizagem por recepção e baixa intervenção do professor não foi rejeitada por eles.

Os alunos dessa turma manipularam os dados registrados nas tabelas. A divisão da atividade em grupos foi autorizada, uma vez que poderia favorecer a discussão dos resultados encontrados pelos integrantes do grupo. Apesar disso, foi observado a cópia das atividades, sem questionamentos e críticas relacionadas aos valores encontrados. A turma era bem polarizada, existia um grupo que possuía o melhor rendimento da turma e foram os únicos a compararem respostas e questionarem as medidas, ao passo que os outros grupos com rendimento geral mais baixo permaneceram isolados e não compartilharam suas tabelas.

A abordagem teórica tratando dos objetivos da aula 2, listados pelo professor, foram suficientes para que os estudantes conseguissem utilizar as ferramentas do simulador. No início da aula, antes dos alunos começarem a atividade, foi necessária fazer a demonstração e construção detalhando a utilização da régua digital e do cronômetro no simulador.

Na turma C, a abordagem do terceiro dia seguiu os padrões definidos no início da aplicação do produto. Os estudantes presentes conseguiram completar até a terceira tabela, sendo que os estudantes com melhor desempenho escolar da turma, 5 deles, conseguiram finalizar a atividade e, ao mesmo tempo, ajudar os colegas.

Para as turmas B e C, o roteiro de aula disponível no Anexo I foi considerado ineficiente, uma vez que os alunos, de forma geral, não conseguiram utilizar o material orientador e absorver os conceitos do organizador prévio por si só. A maior parte deles sequer fez a leitura do roteiro, reduzindo o material escrito a fala explicativa do professor no início da aula.

6.4.3.1.3. Conclusões sobre o terceiro dia de aplicação

A atividade de uso dos instrumentos de medição presentes no simulador foi considerada útil para percepção dos padrões periódicos presentes na propagação de ondas em corda. Os estudantes das três turmas que conseguiram preencher adequadamente as tabelas questionaram o fato dos produtos λf estarem muito próximos

para situações em que a tensão, amplitude e amortecimento não sofriam alteração. Ademais, na turma A foi notado que a tensão seria a única dessas grandezas que influencia no referido produto.

Para a turma A, com a aprendizagem orientada pelo formato de recepção do professor com baixa intervenção, onde eles precisavam tirar suas próprias conclusões, a etapa da sequência didática aqui expressa foi considerada um sucesso. Os estudantes dessa turma conseguiram experimentar o simulador e chegar à conclusão principal para esse dia: a percepção de que deve existir alguma grandeza que expressa o produto λf . Na próxima etapa será caracterizada como a definição de velocidade de propagação através de aula expositiva teórica.

Apesar de as turmas B e C, como um todo, não evidenciarem de forma significativa a compreensão e análise crítica do que eles estavam anotando como dados, alguns deles apontaram o produto λf constante como uma coincidência. A maioria duvidou que as medidas estivessem corretas devido à constância indicada por esse produto ao se mudar apenas a frequência de oscilação da corda. Então, no final, simplesmente deixaram anotados os dados da forma que encontraram e não argumentaram justificativas para esse fato.

Analisar o perfil da turma e buscar a metodologia mais adequada, que alcance os objetivos didático pedagógicos estabelecidos para cada etapa da sequência é algo que exige instrumentação e prática. Uma aprendizagem focada exclusivamente na descoberta, onde se espera a capacidade de síntese e inferência bem desenvolvidas exige uma mudança de paradigmas no entendimento do que é aprender para os alunos, os colocando totalmente no protagonismo da aprendizagem.

Ao contrário, uma aprendizagem por recepção que analisa a importância do professor como instrumento de provocação ou mesmo de imposição do conhecimento requer que o professor defina balizadores de posicionamento ativo ou passivo, sendo ele a peça mais importante na aprendizagem.

Para Ausubel, as relações em sala de aula não definem de forma clara as estruturas de aprendizagem potencialmente significativa. No entanto, o desempenho das

turmas A e B, com a mesma abordagem de aprendizagem – por recepção e baixa intervenção do professor, foram destoantes.

De forma específica, na turma A, os alunos apresentaram argumentações, criticaram uns aos outros e as interações ilustraram a tentativa de compreender e abstrair os conceitos que estavam implícitos durante a medição. O perfil de uma turma caracterizada pela capacidade de interação entre os próprios estudantes e de lidar com as diferenças de opiniões foi berço para que a aprendizagem fosse aplicada, alcançando o objetivo proposto.

Na turma B, apesar da presença dos subsunçores e do perfil de maior rendimento das três turmas, a interação entre os alunos caracterizou a aplicação da terceira etapa como de baixo potencial significativo. A escolha da aprendizagem por recepção com baixa intervenção do professor, apesar de ter sido feita idealizando o favorecimento das discussões e o compartilhar de ideias, não alcançou seu objetivo, uma vez que a turma estava bem dividida e havia “rixas” entre alguns alunos.

Qualitativamente, a quantidade de questionamentos feitos pelas duas turmas foi bastante diferenciada entre si. Enquanto na turma A houve interações entre seus membros possibilitando a construção de conhecimento mediado pelo professor, a turma B apresentou uma característica de “dominância intelectual”, onde os estudantes com bom rendimento definiram de forma absoluta o que deveria constar em cada registro, sendo pouco questionados e dominando o que os outros alunos deveriam fazer.

No terceiro dia ficou evidente que uma aprendizagem por recepção, nos moldes tradicionais, onde o professor expõe o que se precisa saber é pouco produtivo no quesito criatividade. Os alunos que foram submetidos a aprendizagem por recepção, da turma C, onde o professor atuou de forma ativa e constante, apresentaram baixo índice de questionamento e reduziram o momento de medição e crítica das medidas ao julgamento de certo ou errado para alcançar a pontuação da atividade.

No entanto, é importante ressaltar que devido à ausência da presença de subsunçores e de uma estrutura cognitiva bem fundamentada da turma C, a aprendizagem por recepção com baixa intervenção do professor seria inadequada diante

da dificuldade em se estabelecer âncoras e chegar ao processo de síntese do conhecimento a ser trabalhado.

Definir a metodologia mais adequada para cada turma, dessa forma, passa por uma análise do perfil de relacionamento, da existência dos subsunçores que são requeridos para a nova aprendizagem e do interesse da turma, de forma geral, referente a compreensão dos conceitos, relações e ideias em torno de um conteúdo. Alcançar a aprendizagem significativa proposicional de Ausubel requer o modelo de aprendizagem por descoberta. No entanto, o modelo da aprendizagem por recepção foi o que forneceu a base metodológica para o andamento da sequência.

6.4.4. Fase IV: Sintetização dos resultados e apresentação teórica formal

Para o quarto dia de aplicação da sequência, o modelo de aprendizagem utilizado foi baseado na aprendizagem por recepção e, nesse caso, não existiram diferenças metodológicas significativas entre as turmas. A definição dos conceitos de forma científica foi feita para confrontar as ideias e observações dos alunos. A diferença da aplicação da metodologia entre as turmas para esse dia baseou-se nas constatações e observações realizadas por cada uma delas.

Os alunos trouxeram suas tabelas e registros no diário para fazer seus apontamentos, foram incentivados a alimentar as definições registradas de ondas no primeiro dia com os conceitos de comprimento de onda, período, frequência e velocidade de propagação definidos nos dias dois e três. A instrumentação caracterizada pela medição no simulador foi a que eles mais recorreram na tentativa de exemplificar o próprio modelo de ondulatória gerado por eles.

Após esse momento de compreensão dos signos e conceitos, denominados como aprendizagem representacional e de conceitos por Ausubel, a apresentação do modelo ondulatório a partir da propagação de ondas em corda foi feita buscando a compreensão da ideia por trás do fenômeno, direcionando a aprendizagem para uma característica proposicional, onde a ideia é consolidada para ser utilizada em momento futuro. O objetivo pedagógico é que seja facilitado o processo de compreensão e definição de

novos modelos por analogia, através de estruturas de semelhança e diferenciação com as estudadas nas cordas.

A metodologia que serviu como base para o dia quatro foi a diferenciação progressiva e reconciliação integrativa, proposta por Ausubel. Os modelos ondulatórios apresentados pelos vídeos no primeiro dia: a onda formada no mar, a onda sonora produzida pela vibração das cordas vocais e a onda sonora de diferentes frequências foram modeladas pelo professor.

Para expor os conceitos de semelhança e diferenciação, foi apresentada a classificação de ondas quanto ao movimento: transversais, longitudinais e mistas. A compreensão e diferenciação dos movimentos de oscilação e propagação foi fundamental para que os alunos compreendessem com exatidão a classificação de ondas quanto ao movimento e formação.

Além disso, as relações expressas pela medição no terceiro dia de aplicação da sequência aqui proposta foram expostas para todas as turmas.

6.4.4.1.1. Turma A

A turma A foi a que apresentou melhor interação com os conceitos que estavam sendo expostos. Eles tentaram justificar seus próprios modelos, tentando adaptar os signos utilizados por eles aos signos definidos pelo professor. Eles identificaram os dois tipos de movimento presentes na propagação de onda na corda, mas não os diferenciaram. Utilizaram a oscilação vertical para questionar a velocidade de propagação apresentada como constante. Um grupo de alunos apresentou um argumento importante e que vale ressaltar:

“Professor, como a velocidade é constante se a onda sobe e desce, ela não vai mudando? Chega a zero, inverte sentido? Como pode ser constante?”

Tal questionamento foi considerado produtivo, uma vez que um dos objetivos traçados era da separação entre movimento de propagação e movimento oscilatório, sendo caracterizados, respectivamente, como movimento uniforme e movimento periódico. Os alunos não foram apresentados a equação de onda no formato senoidal,

mas apenas a compreensão conceitual de que analisar a oscilação de um ponto material passaria por outra equação, que não a expressa pela relação $v = \lambda f$.

Esse momento foi propício e facilitou o processo de compreensão da diferenciação entre ondas transversais, longitudinais e mistas. Os modelos foram apresentados de acordo com as classificações abaixo:

- **Onda na corda:** Transversal e unidimensional.
- **Onda no mar:** Mista e bidimensional.
- **Onda sonora produzida pelas cordas vocais e caixa de som:** Longitudinais e tridimensionais.

6.4.4.1.2. Turma B e C

As turmas B e C apresentaram os conceitos de forma científica, mas descontextualizados das atividades realizadas no simulador e dos conceitos apontados no segundo dia. Apesar da metodologia aplicada nos dias anteriores, os estudantes com maior desempenho da turma B apresentaram as definições, tais como o livro as definiam e, além disso, apontaram as informações encontradas em sítios da internet. A turma C apresentou apenas os conceitos obtidos do livro didático.

Apesar da metodologia aplicada nas duas turmas possuírem características diferentes no sentido de interferência do professor, a reação geral das turmas foi semelhante. Isso indica, que a afirmação de Ausubel, de que o interesse em aprender do aluno é fundamental no processo de ensino aprendizagem, é um fato que deve ser levado em consideração no planejamento pedagógico, além de uma análise cuidadosa a respeito das relações interpessoais que influenciam positivamente ou negativamente no processo de construção do conhecimento.

As cópias do livro didático relativas aos conceitos envolvidos nos assuntos estudados estão disponibilizadas no anexo II deste trabalho.

A definição apresentada pelos estudantes da **turma B**, quando provocados, com os vídeos passados no primeiro dia desta sequência direcionado a movimento de oscilação e propagação foi a seguinte:

- **Onda transversal:** Vibração perpendicular a propagação.
- **Onda longitudinal:** Vibração paralela a propagação.
- **Onda mista:** Junção da transversal e longitudinal.

Apesar de corretas as três definições, foi constatado que os alunos apenas repetiram os conceitos apontados pelo livro, sem aplicação direta aos fenômenos que estavam sendo apresentados e disponibilizados pelo livro. Ao instruí-los a classificar então a onda na corda, no mar e as sonoras produzidas pela corda vocal e percebidas pelo ouvido humano, foi percebido que eles não conseguiram aplicar de forma consistente os conceitos dentro dos processos fenomenológicos apresentados.

O professor precisou apontar e definir as diferenças entre o que seria movimento de oscilação e propagação. Após essa definição, os conceitos apresentados pelos alunos foram aplicados dentro dos sistemas propostos, chegando na definição:

- **Onda na corda:** Transversal.
- **Onda no mar:** Mista.
- **Onda sonora produzida pelas cordas vocais e caixa de som:** Longitudinais.

Foi necessário um novo momento com os estudantes para definir o que seriam ondas unidimensionais, bidimensionais e tridimensionais quanto a classificação, a partir, da propagação dessas ondas através do espaço. Após essa definição, os próprios alunos conseguiram chegar nas classificações corretas de cada fenômeno ondulatório apresentado. Um ponto interessante foi o apontamento de um aluno relacionando a onda produzida pelas cordas vocais a onda produzida pelo violão.

Enquanto isso, na **turma C**, a definição apresentada pelos alunos se restringiu a definição de ondas mecânicas e eletromagnéticas dadas pelo livro. A questão é que as perguntas estavam direcionando a classificação de onda, relacionada aos movimentos de oscilação e propagação e não a natureza da onda.

Essa definição descontextualizada da pergunta indicou a presença do entendimento da aprendizagem como memorização, caracterizando uma aprendizagem mecânica. O fato de ter sido utilizada uma aprendizagem por recepção, com alta

intervenção do professor, e, apesar de tornar a execução pedagógica com menor complexidade, essas ações não despertaram nos alunos a busca pela aprendizagem proposicional.

Definir um planejamento pedagógico que lide com a ausência crônica de subsunçores de uma turma, direcionando-a para uma aprendizagem significativa, dentro do padrão proposicional de Ausubel é um desafio. Os alunos, com idade média de 16 anos, dentro do 2º ano do ensino médio, estão acostumados com o padrão de memorização para alcançar a aprovação, situação essa que resiste à mudança para outro padrão pedagógico que busque outro modelo de aprendizagem, que não seja a mecânica.

O professor indicou que a classificação quanto à natureza da onda se diferencia da classificação quanto aos movimentos presentes na onda. Fez toda a abordagem teórica de forma expositiva e a direcionou para a classificação dos fenômenos apresentados desde o primeiro dia de aplicação desta sequência didática. No entanto, afirmou que os fenômenos ondulatórios escolhidos foram baseados dentro de um aspecto em que eles percebessem o fenômeno dentro de uma base concreta de visualização e experimentação.

6.4.4.1.3. Conclusões sobre o quarto dia de aplicação

A metodologia de ensino baseada na aprendizagem por recepção com baixa intervenção do professor mostrou-se a mais adequada dentro do processo de formação de alunos que alcançam a aprendizagem significativa proposicional. Isso se justificaria devido a constatação de que a turma A foi a que apresentou melhor desempenho qualitativo, dentro do processo de formação de conceitos e aplicação destes aos fenômenos apresentados. No entanto, a intervenção do professor não é algo absoluto e unânime, não existe uma fórmula definitiva a respeito das interações que deveriam ser feitas para se alcançar a aprendizagem significativa proposicional.

Outros fatores devem ser levados em consideração, uma tentativa de construir uma visão em torno das estruturas cognitivas apresentadas pelos alunos da turma é fundamental para traçar a melhor estratégia pedagógica. O próprio Ausubel, afirma que

a estrutura pedagógica não poderá ser classificada como significativa, mas sim como potencialmente significativa. Isso implica que as relações de sala de aula podem tornar uma sequência didática adequada ou não.

Isso foi o apresentado pelas turmas A e B. O fato da alteração da rotina pedagógica da turma B ter sido realizada apenas no segundo dia não foi o que influenciou de forma absoluta o desenrolar da sequência, mas, os relacionamentos, polarizações de estruturas cognitivas e resistências entre os relacionamentos dos alunos foram os aspectos qualitativos mais influentes dentro do processo de desenvolvimento da UEPS aqui aplicada.

6.5. Conclusões gerais e estratégias para uma próxima aplicação dessa metodologia

No quinto e último dia de aplicação da UEPS aqui proposta, foi realizado uma avaliação somativa, dentro dos moldes tradicionais. A avaliação somativa aplicada aos alunos foi a disponibilizada no anexo III deste trabalho.

O processo de composição de pontuação das notas abaixo foram os seguintes:

- Diário, tabelas e registros: 1,5 pontos.
- Avaliação somativa aplicada ao final da sequência: 1,5 pontos.
- Total: 3,0 pontos.

O registro da pontuação total alcançada pelas três turmas está indicada na tabela abaixo:

Tabela 1 - Notas alcançadas pelos alunos disponibilizada pela plataforma i-educar

Turma A		Turma B		Turma C	
chamada	Nota desta Avaliação	chamada	Nota desta Avaliação	chamada	Nota desta Avaliação
2	2,00	1	1,25	1	1,25
3	2,00	2	1,40	2	2,50
4	2,30	3	2,50	5	2,25
5	0,75	4	0,75	6	2,00
7	2,00	5	1,50	7	---
8	1,30	6	1,45	8	---
9	1,25	7	---	9	---
10	0,70	8	0,50	13	2,25
11	0,80	9	1,25	15	1,75
12	1,75	10	0,75	16	1,40
13	0,70	11	0,50	17	2,75
14	---	12	1,40	20	---
16	2,00	15	3,00	21	---
18	1,30	17	2,25	22	1,75
19	---	18	1,00	23	1,80
20	2,25	19	2,10	24	2,50
22	---	20	---	25	2,50
23	1,75	21	1,30	26	---
24	0,75	22	2,25	29	1,80
27	1,70	23	1,45	30	1,60
28	1,70	24	1,20	31	1,80
29	0,75	25	---	32	1,25
30	2,30	26	1,45	33	---
31	1,75	27	---	34	1,20
32	---	29	1,45	35	---
33	2,05	30	---	36	0,70
35	2,25	33	2,50	37	1,80
37	---	34	---	39	1,50
39	1,00	35	---		
		36	1,70		
			0,50		

Fonte: Elaboração própria (2019)

A soma total de pontuação da turma A foi de 37,1 pontos, gerando uma média aritmética de 1,55 para os alunos que cumpriram e entregaram as atividades propostas. Já para a turma B, a soma de pontuação foi de 35,4 pontos, gerando uma média aritmética de 1,48 em relação aos 24 alunos que cumpriram a tarefa. Enquanto isso, a turma C somou 36,35 pontos para os 20 alunos, gerando uma média aritmética de 1,82 pontos por aluno que entregou as atividades.

Tomando as médias aritméticas alcançadas pelas três turmas como parâmetro de definição de qual seria a melhor metodologia a ser aplicada, seria aquela em que a intervenção do professor fosse mais presente. No entanto, o modelo de avaliação escolhido precisaria ser aprimorado. Ora, a turma em que as colocações de aprendizagem apresentaram teor mecânico alcançou o melhor rendimento das três turmas. Isso indica que a avaliação proposta possui um teor mecânico indicado pela memorização e preenchimento adequado de dados e conceitos.

De forma geral, a abordagem metodológica com ênfase na aprendizagem por descoberta será descartada nas próximas UEPS propostas neste trabalho. A abordagem pela aprendizagem por recepção com alta intervenção do professor será denominada apenas como aprendizagem por recepção, ao passo em que a aprendizagem por recepção com baixa intervenção do professor será denominada aprendizagem por recepção-descoberta.

Os modelos de onda no mar e onda sonora expostos pelos vídeos serão apresentados apenas no último dia da UEPS, a fim de proporcionar a compreensão fenomenológica das classificações em transversal, longitudinal ou mista, bem como as unidimensionais, bidimensionais e tridimensionais.

Como instrumento provocador para início das discussões no primeiro dia da UEPS, a oscilação em cordas será realizada em sala de aula. Para isso, uma corda naval e cordas de diferentes densidades serão amarradas em um ponto fixo e é esperado que os estudantes cheguem a conclusões que influenciem a oscilação da corda como tensão e densidade linear da corda. É esperado que ao invés dos signos conceituais expressos, eles utilizem termos de domínio do senso comum como, por exemplo, esticar, estiramento, força, peso e comprimento.

Para o segundo e terceiro dia, a metodologia não sofrerá alterações, sendo a aplicação, conceituação e medição instrumentos que foram considerados um sucesso dentro da perspectiva de compreensão conceitual e o estabelecimento de relações matemáticas.

A avaliação somativa aplicada ao final da UEPS será repensada, buscando, enfatizar pontos conceituais e o processo de construção realizado pelos alunos durante toda a sequência. A ideia é buscar uma avaliação que não seja baseada na aprendizagem mecânica, mas que possa mensurar o nível significativo de do conhecimento aplicado a situações fenomenológicas diversas.

7. UEPS adaptada para o ensino remoto

7.1. Introdução

Ao final da primeira aplicação do produto no ano de 2019, percebi a necessidade de sugerir algumas mudanças metodológicas para buscar alcançar um resultado mais satisfatório. Os problemas mais graves apresentados durante a execução da primeira versão do produto educacional foram:

1. O roteiro de estudos apresentado no anexo I apresentou baixo potencial significativo, uma vez que os alunos não conseguiram compreender o que estava escrito com clareza. Uma possível justificativa para isso pode ser a dificuldade que os alunos possuem de interpretar um texto escrito.
2. Para estabelecer uma discussão direcionada, com o exemplo concreto, estava previsto a utilização de cordas com diferentes densidades. Tais cordas seriam amarradas em um ponto fixo e os alunos deveriam perceber as diferenças dos movimentos de propagação de onda nessas cordas. No entanto, devido ao cenário de pandemia que acometeu o mundo e a consequente suspensão das aulas presenciais na Secretaria de Educação do Distrito Federal, todo o planejamento foi modificado.
3. O sistema de aulas remotas impossibilitou a demonstração experimental do caso concreto, ao invés do experimento realizado em sala de aula, um vídeo instrucional do exercício físico, conhecido como “corda naval”, foi disponibilizado em conjunto com outros vídeos a fim de que os alunos pudessem ter sua estrutura cognitiva direcionada ao fenômeno que estudaríamos.
4. As aulas expositivas foram gravadas e disponibilizadas na plataforma “Google Sala de Aula”, ferramenta utilizada pela SEDF para as aulas no estilo remoto que iniciaram em março de 2020 e duraram, exclusivamente nessa modalidade, até julho de 2021.

7.2. Método de aplicação

A readequação do produto educacional, proposto por este trabalho, do ensino presencial para o ensino a distância mediado pelas ferramentas virtuais passou por diversas dificuldades. Enquanto no ensino presencial, o contato e as interações

permitted a qualitative analysis of the learning, enabling the questioning of the arguments presented by the students, in distance teaching, this interaction was not possible and even nonexistent due to the difficulty of the students in participating in activities in vivo on the platform "google meet".

Utilized the simulator (COLORADO, 2019) for the construction of waves on a string, within the routines proposed to follow. The central idea of this phase of application of the product was to verify if there were significant differences between the proposed sequences A, B or C. The basis for evaluation were the activities proposed, the answers and/or comments of the students on the online platform referring to the activities, as well as all the material produced by the students and returned during the sequences.

The evaluation was not qualitative, once that the interactions and characteristics of the distance teaching made the interactions "in vivo" between the professor and the students. The standard model for thinking the sequences below was that of a Potentially Significant Learning Unit (UEPS) proposed by Moreira, directing the sequence to be evaluated at the instant and the format more adequate for the use of the simulator during the sequence, at the beginning, at the end or even during it.

The students presented their difficulties in accessing the platform, as the lack of equipment and limited internet access. Due to these difficulties, some recommendations were suggested by the school's board. Among them:

- For recorded classes, do not exceed 15 minutes.
- For classes "in vivo", record them and make them available on the platform "google classroom".
- Care with very extensive activities.
- Use the didactic book for the activities.
- Make available the 1-week deadline for delivery of activities. However, a notice from SEEDF allowed that the students could carry out the proposed activities at any time, as long as, before the end of the school year.
- Elaborate activities, preferably, within the "google forms" due to the practicality for the students to register their answers. For activities

por escrito, instruir os alunos no processo de registro por foto e upload do documento.

Essas recomendações foram consideradas justas e coerentes diante do cenário que pegou o mundo inteiro de surpresa. Dessa forma, as três sequências propostas abaixo foram adaptadas a realidade, contexto e dificuldade dos alunos. A atividade de usar o simulador para registrar dados e medidas foi substituída por uma atividade de leitura para uma determinada imagem. Apesar disso, o link de acesso ao simulador foi disponibilizado para aqueles que possuíam um computador como atividade complementar. Para os alunos que optaram pelo material impresso, foi utilizado exclusivamente o livro didático para fins de cumprimento de atividades, tornando a sequência proposta impossível de ser aplicada para eles.

As três sequências a seguir foram aplicadas para um total de seis turmas no ano de 2020, sendo três delas no primeiro semestre e outras três no segundo semestre. As turmas foram nomeadas paralelamente as sequências neste trabalho: turma A com a sequência A; turma B com sequência B e turma C com sequência C. No entanto, no segundo semestre, devido à dificuldade, cansaço e pedidos de simplificação das atividades apresentado pelos alunos junto à supervisão para o final do ano, a abordagem B, mais próxima de uma abordagem tradicional foi a escolhida para as três turmas restantes do segundo semestre de 2020, as que serão nomeadas como D, E e F. Além disso, a abordagem B foi escolhida para ser aplicada nas turmas D, E e F para verificar se o tempo das videoaulas de mais de 30 minutos era, de fato, determinante na quantidade de visualizações.

Apesar de três turmas terem sido submetidas a mesma sequência, foi possível comparar os resultados de uma mesma sequência para grupos de alunos diferentes. No entanto, é importante ressaltar que apesar de as turmas apresentarem características diferentes, os alunos de toda a escola, em geral, estavam com dificuldade no uso das ferramentas virtuais como mediadoras da aprendizagem. Apresentaram queixas relacionadas ao medo de serem contaminados com o coronavírus, à perda de parentes, à indisposição para estudar entre outras causas. Esses problemas, na verdade, alcançaram boa parte da população no cenário da pandemia no ano de 2020.

A sequência aplicada para a turma A foi aplicada na série do 2º ano do ensino médio de uma unidade de ensino vinculada à regional de Taguatinga, parte integrante da secretaria de educação do Distrito Federal. A sequência didática seguiu a respectiva ordem: abordagem exemplificativa, uso do simulador e abordagem teórica.

A sequência B, aplicada para as turmas B, D, E e F, foi considerada a mais exitosa dentro do ambiente de ensino remoto durante o primeiro semestre de 2020. A ordem de aplicação para a sequência B se pautou na respectiva ordem: Abordagem teórica, uso do simulador e avaliação.

A sequência C foi direcionada à um perfil em que o simulador foi utilizado como recurso audiovisual na introdução dos conceitos iniciais de ondulatória. A ideia de período, frequência, comprimento de onda e velocidade de propagação foram iniciadas dentro da plataforma do próprio simulador. A sequência foi orientada com a respectiva ordem de aplicação: Uso do simulador em conjunto com a abordagem teórica, para depois ser realizada uma abordagem exemplificativa em torno do fenômeno de interferência.

7.3. Aplicação e resultados

7.3.1. Fase I: Verificação de subsunçores e introdução de conceitos iniciais.

7.3.1.1. Turma A

A primeira fase aplicada para a turma A consistiu em uma atividade online, com o objetivo de provocação fenomenológica e diagnóstico de subsunçores, disponibilizada na plataforma Google Classroom.

Foram disponibilizados para os alunos os “links” para 4 vídeos disponíveis na plataforma “Youtube”. O objetivo era a criação de um contato com exemplos de aplicações dos conceitos de ondulatória. Os vídeos foram os seguintes:

- Ondas na corda naval (BERTOLUCI, 2017)
- Ondas no mar (DINIZ, 2016)
- Som nas cordas vocais (CASTRO, 2013)
- Frequência audível (TREATY, 2016)

Uma atividade de perguntas e respostas foi disponibilizada através da plataforma “Google Formulários” para que os alunos pudessem registrar o que entendiam a respeito dos fenômenos apresentados nos vídeos, bem como uma possível ideia a respeito do modelo ondulatório.

As perguntas foram feitas de forma genérica no intuito de verificar a existência de possíveis pré-conceitos na estrutura cognitiva dos alunos. Devido a mudança repentina do ensino presencial para a distância, a observação desses subsunçores não poderia ser feita através de uma interação pessoal, o que dificultou a verificação desses conhecimentos prévios. Nos formulários, foi perceptível que a grande maioria dos alunos sequer abriram os vídeos da atividade, muitas respostas discursivas estavam repetidas e 7 dos 20 alunos que registraram respostas simplesmente responderam “não sei” ou “não entendi”.

Esses problemas não foram apresentados exclusivamente nas atividades propostas por essa sequência didática, mas durante todas as atividades propostas no ano de 2020. Apesar do baixo rendimento, em geral, nas atividades pedagógicas propostas durante o ano, essa foi a única saída encontrada, diante da pandemia, para que os prejuízos pedagógicos não fossem ainda maiores.

Questões do google formulários.

1. Baseado nos 4 vídeos assistidos, marque a(s) alternativa(s) ou responda no campo "outro" aquilo que você consegue associar ao conceito de onda:

- I.** É uma oscilação que se propaga em um meio material.
- II.** Não precisa necessariamente de um meio material para se propagar.
- III.** Transmite energia.
- IV.** Transmite matéria.
- V.** É um evento que se repete no tempo.
- VI.** Obedece a um padrão de repetição.
- VII.** Possui pontos altos e baixos.
- VIII.** É gerada por uma fonte.
- IX.** Pode possuir simetria ou não.

X.

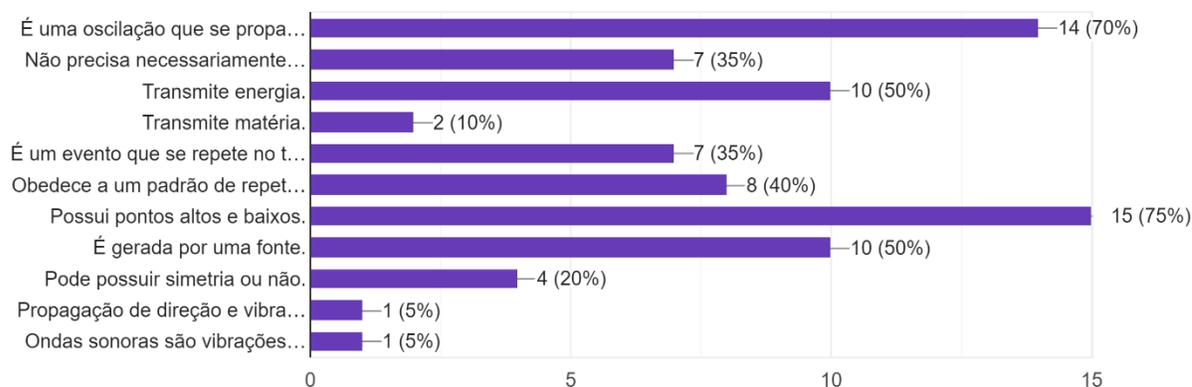
XI. Outro:

A primeira pergunta foi colocada como caixa de seleção para facilitar a sistematização dos dados e propor respostas que tem potencial significativo para integrarem a estrutura cognitiva dos alunos nas próximas atividades. O objetivo foi de introduzir nos alunos uma estrutura de reflexão que possibilitasse a definição inicial dos signos que seriam utilizados em momento futuro.

Figura 14 - Respostas selecionadas pelos alunos para a pergunta 1

Baseado nos 4 vídeos assistidos, marque a(s) alternativa(s) ou resposta no campo "outro" aquilo que você consegue associar ao conceito de onda:

20 respostas



Fonte: Elaboração própria (2020)

Para as opções selecionadas como respostas da primeira questão é perceptível que as observações dos alunos foram direcionadas prioritariamente a ideia de perturbação se propagando ao longo do meio. Os padrões de onda dos vídeos propostos tratam de ondas mecânicas e as respostas registradas foram compatíveis com tal fenômeno.

O conceito de que onda transmite matéria, que não está correto, foi registrado por apenas 2 dos 20 alunos que responderam a atividade. As duas últimas respostas registradas no formulário: “Propagação de direção e vibração” e “Ondas sonoras são vibrações que ao penetrarem no nosso ouvido produzem sensações auditivas”, foram registradas no campo **X (Outro)**, sendo uma resposta escrita exclusivamente por ele.

2. Escreva uma justificativa exemplificativa (citando um exemplo) do porquê das respostas na questão anterior.

Para a pergunta dois que exigia uma resposta discursiva, 10 dos 20 alunos que cumpriram a atividade responderam “não saber”. Dos alunos que responderam:

- Apenas três alunos mencionaram os fenômenos sugeridos pelos vídeos.
- Um deles copiou um trecho da internet sobre o espectro audível do som.
- Dois mencionaram que a onda carrega energia, mas não matéria.
- Um falou sobre altos e baixos da onda do mar, diferenciando o mar calmo do agitado.
- Um mencionou que cada onda possui uma forma diferente de propagação e uma função específica, o que está parcialmente errado.

Apesar de a questão ser direcionada a construção de uma justificativa exemplificativa, os alunos não apontaram para um exemplo concreto específico. A resposta mais coerente apresentada por um aluno foi a seguinte:

“É gerada de uma fonte pois ela precisa ser liberada de algum lugar; Possui pontos altos e baixos tem lugares que as ondas atingem pontos mais altos e pontos mais baixos; Obedecem a um padrão de repetição pois as ondas são emitidas frequentemente; É um evento que se repete no tempo pois tem certa duração.” Apesar de não contextualizar a resposta com um exemplo concreto, apresentou justificativas imediatas e que não foram copiadas do livro didático ou de uma página na internet. O que sugere uma reflexão em torno da questão colocada.

3. Como você descreveria a diferença entre as 4 ondas visualizadas nos vídeos, as ondas na corda naval, no mar, as produzidas pelas cordas vocais e as que representam o som audível pelo ouvido humano?

Apenas 10 dos 20 alunos (50%) tentaram responder essa pergunta. Além dos alunos que responderam não saber ou não entender, três alunos copiaram as respostas afirmando a existência de três formatos de onda: a sonora, a mecânica e a eletromagnética. No entanto, isso foi uma interrogação, porque se eles tivessem de fato

pesquisado, perceberiam que a onda sonora é um tipo de onda mecânica, mas não seria possível a escrita do nome eletromagnético sem uma pesquisa sobre os tipos de onda. Uma possível justificativa está presente em um comportamento comum nas escolas, uma pesquisa que pega pontos distantes de um texto, sem as devidas contextualizações que ele possui, ou, a conhecida “leitura dinâmica”, em que o contexto não é compreendido, mas apenas os nomes colocados.

Dos alunos que fizeram a atividade de forma coerente, apenas um apontou as diferenças entre as ondas como sendo as fontes que as geravam. “Corda naval o impulso e o movimento que é feito; no mar, se formam a partir do sopro do vento na superfície do mar; as produzidas pelas cordas vocais quando o diafragma e os músculos do tórax empurram o ar para fora dos pulmões isso produz a vibração das cordas vocais e conseqüentemente o som; Som audível pelo ouvido humano o martelo que fica próximo ao tímpano recebe a vibração transmitida pela onda sonora ao ouvido.” Tal informação estava presente nos vídeos enviados e como apenas um apontou para esses fatos, isso indicaria que os alunos não assistiram os vídeos com as devidas explicações antes de responderem a atividade proposta.

Outros alunos apontaram para a força que faz a corda naval oscilar, que cada onda tem uma função e energia diferentes e outros mencionaram apenas duas das situações apresentadas, não as quatro como solicitado no enunciado da questão.

4. Descreva quais as semelhanças que você consegue observar entre as ondas visualizadas nos vídeos.

As respostas mais relevantes para essa pergunta trataram a respeito da fonte e da forma de propagação, bem como o formato desenvolvido pelas ondas no meio. Um conceito apontado por alguns estudantes é o de que a onda transmite força, som e agitação. Outra colocação feita pelos estudantes foi a de que todas as ondas sobem e descem e que a velocidade de todas elas sempre são as mesmas.

As respostas expõem que existem conceitos nas estruturas cognitivas dos alunos associados à ondulatória, no entanto, o significado científico do que é traduzido como força, velocidade e energia indicaram que eles não fizeram distinção entre esses

conceitos. As informações apresentadas não foram contextualizadas com os vídeos colocados.

Essa característica de informações que não possuem pontos de conexão com similaridades e antagonismos estabelece o foco principal da metodologia a ser aplicada. A busca ativa pela aprendizagem significativa é o objetivo final, onde a aprendizagem representacional consolidaria as ideias na estrutura cognitiva, permitindo que os alunos reconheçam semelhanças e diferenças.

As respostas indicaram que os conceitos aprendidos nos anos anteriores não foram consolidados dentro dessa aprendizagem representacional. Eles conseguem expor os signos, no entanto, não conseguem fazer diferenciações importantes entre eles, como a ideia apresentada de que força, velocidade e energia tratam essencialmente das mesmas coisas.

5. Por que as ondas da corda naval desaparecem ao longo da propagação?

As respostas dos estudantes foram direcionadas dentro de quatro características: a força que diminui ao longo da corda, a falta de energia, a interferência entre as ondas e a velocidade que se perde.

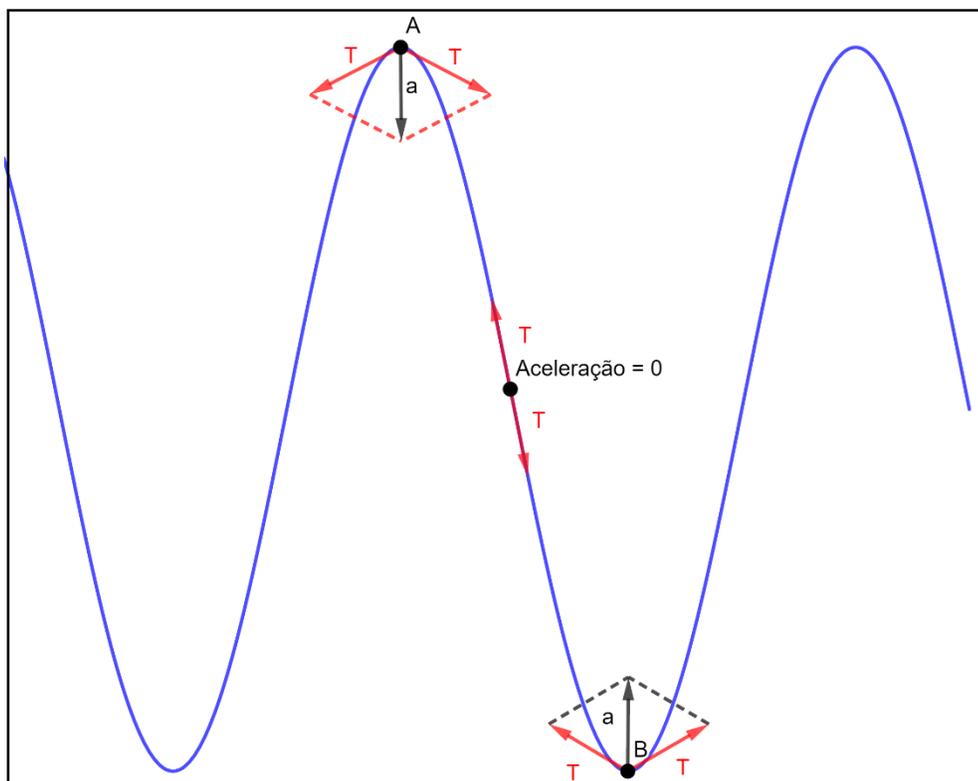
Essas respostas traduzem o efeito visualizado, mas não apontam para a causa científica real que gera esse tipo de efeito. Apesar de todas essas pontuações feitas pelos alunos estarem, de certa forma, coerentes com a fenomenologia do problema, nenhuma delas apontou para a força de resistência da corda como geradora dessa perda de amplitude ao longo da propagação.

As respostas que mencionaram a interferência entre as ondas e, inclusive, caracterizou-as como interferência destrutiva indicou que esses alunos pesquisaram a respeito da redução de uma onda, no entanto, não pegaram a informação contextualizada à pergunta realizada. Isso pode indicar um baixo nível de reflexão diante de informações apresentadas.

É importante ressaltar que a perda de força mencionada pelos alunos, apesar de “coerente”, não é verdadeira. Ora, se a força ao longo da corda fosse reduzida, teríamos

pontos de diferentes acelerações, o que faria a corda perder a sua uniformidade. A ideia do contexto de força está associada diretamente a aceleração, o que ocorre para que as acelerações não possuam o mesmo módulo em posições diferentes da corda é o deslocamento do vetor tensão e não a alteração no seu módulo, conforme explicitado na seção 2.4.

Figura 15 - Diagrama de forças para a propagação de onda em corda



Fonte: Elaboração própria com uso do programa Geogebra (2020)

Na corda naval, o diagrama de forças não foi desenhado e nem representado pelos próprios alunos. No entanto, as conclusões que foram colocadas no formulário diagnóstico apontaram para essa grandeza como algo que seria a justificativa para a perda de energia. É importante perceber que o argumento central quando tratado a respeito da força resultante seria válido, no entanto, as forças do sistema não foram abordadas com o que os alunos deveriam ter aprendido no 1º ano do Ensino Médio.

O conceito mais importante está ligado à conexão entre força e trabalho, que seria justamente a resposta correta para a pergunta realizada. No entanto, nenhuma resposta apontou para esse tipo de relação; as que mencionaram energia simplesmente afirmaram que ela diminui, sem analisar o que existe no sistema para que essa perda ocorra.

Apesar de uma única resposta ter mencionado o nome dissipação, ela não registrou o que deveria gerar essa dissipação. Além disso, outras respostas que falavam de um freio na velocidade não apontaram os dois tipos de movimento, apenas se restringiram à queda de velocidade como justificativa da pergunta proposta.

O ensino dentro da proposta significativa de Ausubel, na característica de proposicional seria caracterizada pela capacidade dos alunos em utilizar conceitos anteriores dentro de perguntas como essa. O fato dos alunos utilizarem conceitos já estudados de forma descontextualizada e equivocada quanto ao sentido real do que representa cada uma dessas grandezas indica que a aprendizagem significativa permaneceu em seu primeiro estágio, a aprendizagem representacional, onde se compreende o significado de certos signos. Eu arriscaria dizer que aqueles alunos que desenvolveram um pouco além dessa aprendizagem, alcançaram no máximo a aprendizagem de conceitos.

O ensino de Física está pautado na compreensão e sistematização de fenômenos para que seja possível prever comportamentos e evoluções de sistemas. Um conceito que não atinge a aprendizagem proposicional se torna rígido e é impossibilitado de ser colocado diante de situações análogas. No entanto, o nível de aprendizagem desses conceitos apresentados pelos estudantes possibilita que a aprendizagem significativa, em seu maior nível de dificuldade, seja alcançada dentro do estudo de um novo fenômeno. Um processo possível para que isso ocorra é justamente o que está colocado neste produto educacional. Uma UEPS que objetiva a aprendizagem significativa de ideias que sejam aplicáveis dentro de sistemas análogos, apontando suas semelhanças e antagonismos.

6. Por que as ondas do mar possuem a zona de quebra e como elas são formadas?

As respostas para essa pergunta, em sua maioria, registraram a explicação contida no vídeo. Apontaram o ponto de contato entre a onda e a areia da praia como principal fonte de “quebra da onda”. O processo de formação dessas ondas também foi apontado de forma clara e objetiva, assim como a explicação do vídeo explicava, dando a causa dessa formação como a interação entre o mar e os ventos.

Outro ponto colocado pelos estudantes foi a refração e difração que a onda sofre como sendo a justificativa de contornar o obstáculo da praia. No entanto, tais fenômenos não justificam a quebra das ondas. Mais uma vez, são respostas que apresentam baixa reflexão e sintetização dos conceitos apontados como justificativas. O significado real e as ideias que são bases desses conceitos precisam ser contextualizados dentro das perguntas e questionamentos propostos.

7. Tente explicar o processo de formação da voz e sua propagação até a percepção da voz pelo ouvinte.

Os pontos apontados pelos estudantes foram coerentes com o modelo apresentado nos vídeos. Todas as respostas apontaram as pregas vocais e a interação com o ar como sendo responsáveis pela emissão de som. No entanto, a segunda parte da sugestão que trata da propagação e percepção da voz foram abordadas por apenas quatro alunos.

7.3.1.2. Turma B, D, E e F

Para essa fase da UEPS, uma [videoaula](#) acompanhada de exercícios no “google formulários” foi disponibilizada. As videoaulas e os exercícios estão dentro de modelos que se assemelham com a estrutura de ensino tradicional. Isto é, uma abordagem teórica com imagens e vídeos é feita dando significado aos nomes que serão utilizados, bem como apresentando relações que serão requisitadas durante os exercícios.

Figura 16 - Instrução para conceitos iniciais de ondulatória

The screenshot shows a Moodle activity page. At the top, it says 'MATEUS SOUSA DE MEDEIROS postou uma nova atividade...Data de entrega: 17 de set. de 2020 23:59'. Below this, there are statistics: 23 Entregues, 6 Trabalhos atribuídos, and 1 Com nota. The main text of the activity says: 'Item postado em 10 de set. de 2020 Editado às 6 de out. de 2020. Bom dia! Hoje começaremos a tratar sobre a temática de ondulatória. Como atividade inicial, assista o vídeo abaixo e responda o formulário de questões logo em seguida. Atenciosamente, Professor Mateus Medeiros'. At the bottom, there are two activity links: 'Exercícios - Período, freq... Formulários Google' and 'Período, frequência e co... Vídeo do YouTube 35 minut...'. The video thumbnail shows a sine wave.

Fonte: Elaboração própria (2020)

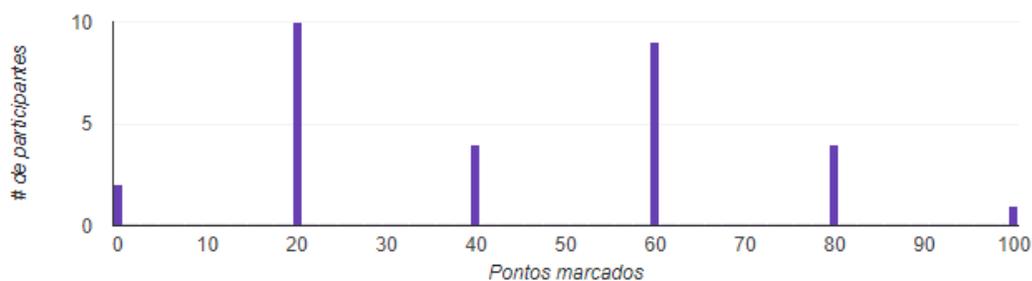
O vídeo encaminhado tratava dos conceitos de período, frequência, comprimento de onda, velocidade de propagação e das relações entre eles. Ao final alguns exercícios eram feitos como exemplo de como aquele conteúdo seria avaliado.

Apesar de o vídeo ter sido encaminhado como instrução para 4 turmas diferentes que totalizavam 111 alunos, os registros do YouTube indicaram apenas 38 visualizações. O vídeo foi gravado com 35 minutos de duração, o que é um tempo menor do que o de uma aula completa. No entanto, para a modalidade remota, a duração do vídeo se mostrou uma barreira para que a própria aula fosse assistida pelos alunos.

Figura 17 - Gráfico de desempenho turma B



Distribuição do total de pontos

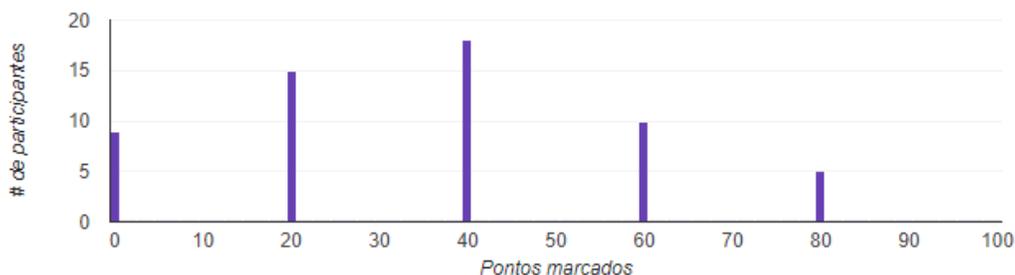


Fonte: Elaboração própria (2020)

Figura 18 - Gráfico de desempenho turmas D, E e F juntas



Distribuição do total de pontos



Fonte: Elaboração própria (2020)

A atividade que gerou esses resultados está disponibilizada no anexo VI deste trabalho. A questão com a menor quantidade de acertos foi a que exigia dos alunos a extração do valor do comprimento de onda para uma imagem, para depois calcular a velocidade de propagação e definir o tempo para que ela percorresse uma distância de quatro centímetros. Essa questão é a terceira exposta no Anexo VI. O índice de acerto dessa questão foi de apenas 16% no caso da turma B e de 15,7% no somatório das respostas das outras três turmas.

Esse baixo valor de acerto era o esperado para a questão colocada, caso os alunos estivessem respondendo de forma aleatória. Nesse caso, a diferença entre a quantidade de questões certas e erradas não tem conexão com o nível de dificuldade exigido pela própria questão.

As médias aritméticas gerais registradas pelas diferentes atividades ficaram em patamares próximos. Um fator interessante é o da disponibilidade de materiais para que os alunos fizessem suas pesquisas e encontrassem informações para a realização das atividades propostas. Como o Youtube indicou o registro da baixa quantidade de visualizações, é plausível que os alunos tenham pesquisado outras fontes de informação que os direcionasse à compreensão dos conceitos exigidos pela atividade avaliativa: período, frequência, velocidade de propagação e suas relações.

As questões com a maior quantidade de acertos, acima de 50%, foram as que tratavam dos conceitos de período e frequência aplicadas a situações reais. Ao invés disso, as questões que exigiam a leitura de um tamanho baseado na escala disponibilizada pela imagem sequer atingiram 20% de acertos. Essas porcentagens foram próximas entre as quatro turmas, o que indica que a metodologia produz resultados similares dentro de um contexto com aulas remotas.

Uma outra diferença importante de ser ressaltada é de que as três turmas que fizeram a atividade no segundo semestre tiveram uma taxa de cumprimento médio da atividade de 55%, enquanto as turmas que realizaram a sequência no segundo bimestre apresentaram uma taxa média de 80%. Essa informação é coerente com a observação de que os estudantes passam a ficar menos empenhados quando já possuem certeza da

aprovação, uma vez que esses estudantes deixaram de entregar as atividades ao final do ano.

7.3.1.3. Turma C

Antes de dar início à fase de abordagem dos signos e conceitos da propagação de ondas em corda, uma atividade diagnóstica foi colocada como forma de coletar informações a respeito do entendimento prévio que os alunos construíram durante suas interações com informações fora do ambiente próprio de aprendizagem da disciplina Física.

ANEXO: Questões do google formulários.

1. De acordo com seu entendimento, qual(is) da(s) opção(ões) abaixo você associa com a palavra "onda"?

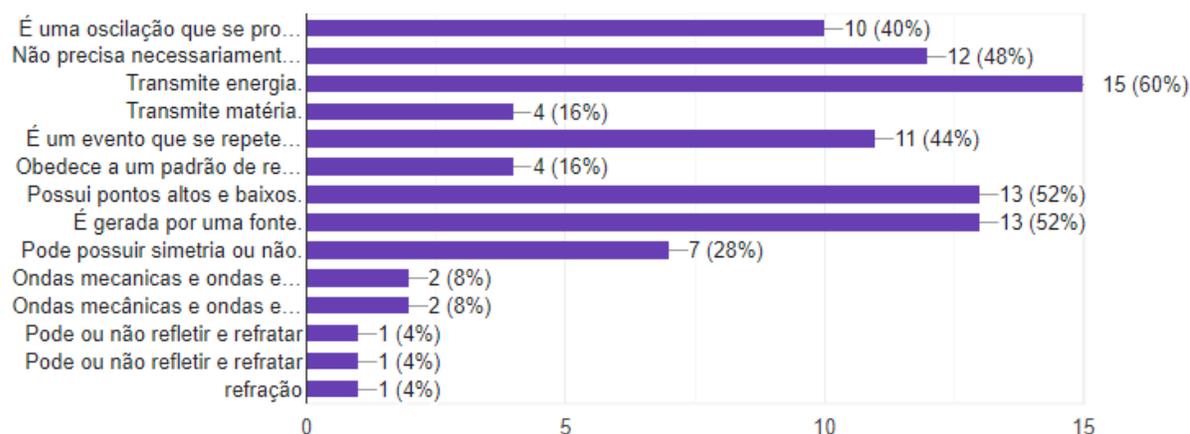
- I. É uma oscilação que se propaga em uma meio material.
- II. Não precisa necessariamente de um meio material para se propagar.
- III. Transmite energia.
- IV. Transmite matéria.
- V. É um evento que se repete no tempo.
- VI. Obedece a um padrão de repetição.
- VII. Possui pontos altos e baixos.
- VIII. É gerada por uma fonte.
- IX. Pode possuir simetria ou não.
- X. Outro:

As opções para a pergunta 1 foram colocadas como caixas de seleção. Essa opção foi escolhida para facilitar a sistematização da coleta de dados, para verificar as outras opções que não estão contidas dentro das 9 primeiras, uma opção de resposta discursiva curta foi introduzida ao final da atividade.

Figura 19 - Respostas selecionadas pela turma C

De acordo com seu entendimento, qual(is) da(s) opção(ões) abaixo você associa com a palavra "onda"?

25 respostas



Fonte: Elaboração própria (2020)

As opções selecionadas pelos alunos da turma C se concentraram majoritariamente nas respostas sobre transmissão de energia, necessidade de uma fonte, pontos altos e baixos e a não necessidade de meio material para propagação da onda. Alguns pontos com conceitos cientificamente equivocados apresentaram uma quantidade considerável de seleções como: é uma oscilação que se propaga em meio material (40% dos alunos que realizaram a atividade) e pode possuir simetria ou não (28%). As demais respostas apresentaram uma quantidade reduzida de seleções.

Dois conceitos externos às nove opções disponibilizadas foram colocados: a possibilidade de ocorrer reflexão ou refração, e, a existência de ondas mecânicas e eletromagnéticas. No entanto, apesar de ser uma possibilidade de interação da onda com objetos externos ou com outras ondas, as colocações feitas pelos alunos continham apenas o título de tais conceitos, não tendo sido apresentado uma contextualização para o que foi apontado. Isso indica uma leitura pouco reflexiva de fontes externas. No entanto, foi considerado como ponto positivo devido ao interesse demonstrado por eles, apesar da baixa capacidade de sintetização e aplicação de informações.

2. Escreva de forma sucinta uma justificativa exemplificativa (citando um exemplo) do porquê da(s) marcação(ões) ou da resposta em "outros" da questão anterior.

A grande parte das respostas para a pergunta dois foi colocada dentro da concepção de ondas mecânicas e eletromagnéticas. A orientação de uma escrita exemplificativa pareceu não ter sido compreendida pelos alunos. Apesar da expectativa de encontrar respostas que relacionasse diretamente um fenômeno ondulatório específico com as opções selecionadas anteriormente, isso não foi encontrado.

Por exemplo, a opção que informa a respeito da necessidade de meio material para propagação de onda, seria adequada dentro de um exemplo de onda mecânica como a onda produzida em uma corda, o som e a onda do mar, mas não seria correta para ondas eletromagnéticas como, por exemplo, a onda de rádio, microondas, infravermelho. As respostas mais coerentes registradas pelos alunos dentro do que era esperado foram as seguintes:

1. “As ondas produzem diversos movimentos, já que elas são formas de transmissão de energia (mecânica ou eletromagnética), como o movimento que ocorre quando lançamos uma pedra dentro de um rio.”
2. “As ondas mecânicas diferente das ondas eletromagnéticas , precisam de um meio material para se propaga. (Ex: se alguém gritar no vácuo ninguém vai escutar nada porque ali não existe moléculas de ar, que iriam transmitir o som) Transmite energia e não matéria: quando o surfista está no pico muitas ondas vão passar por eles, eles sobem e descem , mas permanecem no mesmo lugar.”
3. “E gerada por uma fonte por que as ondas tem tendência a se formar pelo ventania ou pelas placas tectônicas. Possui pintos altos e baixos por que ondas sobem e descem. Um evento que se repete no tempo por que em vários momentos dos dias, semanas e anos as ondas são formadas frequentemente.”
4. “E gerada por uma fonte, porque ela tem que ter algum lugar para sair. Possui pontos altos e baixos, tem lugares que as ondas atingem mais alta, e outros pontos que ela atinge mais baixa, depende da sua frequência. Obedece a um padrão de repetição, pois as ondas são emitidas frequentemente. E um evento que se repete no tempo, ele tem certa duração (precisa de um tempo).”

As respostas que apresentaram menor coerência com a pergunta foram:

1. “Refletir: fenômeno físico que ocorre quando uma mudança no material é produzida ou produz uma mudança no seu projeto Refletir: fenômeno físico que ocorre quando uma onda atinge ou limita um meio e retorna ao centro.”
2. “Por que ela é um inverso da sua frequência”
3. “Ondas criadas em águas (rios, mares etc.), ondas de calor, provocadas pela forte energia do Sol e por último um fenômeno muito raro, mas não descartados por cientistas, o famoso encontro entre dois buracos negros criando ondas no espaço tempo.”
4. “De acordo com a sua natureza, as ondas classificam-se em dois grupos: Ondas mecânicas é ondas eletromagnéticas”

Apesar de a orientação ter sido a proposta de um exemplo como forma de relação com o que foi selecionado na primeira pergunta, grande parte das respostas apresentou o nome de mecânica e eletromagnética, bem como a ideia de reflexão e refração. São signos utilizados pela Física para classificar e analisar a fenomenologia do problema. No entanto, os alunos parecem não ter conseguido associar uma resposta à pergunta correspondente.

Esse último fato apresentado é preocupante, pois o ensino de física parte de uma ideia baseada em investigação científica. Os fenômenos são reais e cada signo e conceito utilizado possuem seu valor dentro da interpretação de um sistema, no caso, ondulatório. Essa característica de dissociação entre o conhecimento aprendido e o fenômeno tratado dificulta o processo de aprendizagem significativa, uma vez que o significado estará baseado no uso de um nome fora de contexto, um “chute” dentro da linguagem usual.

3. Cite 2 exemplos de ondas com as quais você já interagiu:

Apesar de não ter sido realizada nenhuma abordagem a respeito da classificação de ondas em mecânicas e eletromagnéticas, muitas respostas apresentaram tais nomes com exemplos de cada uma delas.

- I. “Ondas mecânicas: Ondas marítimas, sísmicas é sonoras
Ondas eletromagnéticas: micro-ondas é internet sem fio”

II. “ondas eletromagnética(tv,radio),ondas mecânicas (alto-falante)”

Algumas respostas para essa pergunta estavam repetidas para alunos diferentes, o que sugere cópia. No entanto, os alunos apresentaram dois fenômenos conforme foi solicitado no comando da questão. As ondas mais mencionadas nessa pergunta foram: ondas sonoras, ondas de internet, luz e as ondas do mar.

4. Explique como as 2 ondas citadas na questão anterior são formadas e percebidas por você.

As respostas para a quarta questão foram bem fundamentadas. Os alunos apresentaram respostas bem elaboradas e que parecem ter sido geradas a partir de pesquisas feita por eles. Seguem algumas respostas:

1. “as ondas eletromagnética são formadas por dois campos variáveis,um elétrico e outro magnético,que se propagam,essa propagação pode ocorrer no vácuo e em determinados meios materiais,como exemplo temos o radio que tem ondas FM,TV com ondas luminosas. As ondas mecânicas precisam de partículas para se propagarem ou seja não se propaga no vácuo,exemplo de onda mecânica e o auto-falante que e utilizado para produzir ondas sonoras.”
2. “Marítimas: o vento bate na água formando as ondas, quanto mais forte for o vento maior a onda. Sonoras: variações de pressão que se propagam através do meio”
3. “Luz: formada a partir de um ponto (por exemplo sol) onde se propaga pelo “vácuo” até atingir partículas na superfície terrestre, e assim por causa do efeito Doppler e Rayleigh as enxergamos como azul no céu. Som: onda motora que se propaga apenas em meios materiais que, por efeito de colisão carrega energia potencial, transformando-as em assim ao chegar em nosso sistema auditivo é traduzida na forma de som.”
4. “Sinal de celular tenho por mim que é formada por uma torre que emite o sinal aos chips. E a onda vocal é quando o diafragma e os músculos do tórax empurram o ar para fora dos pulmões, isso produz a vibração das cordas vocais e conseqüentemente o som, as ondas vocais.”

Enquanto isso, algumas respostas apresentaram signos científicos corretos, mas um contexto conceitual equivocado:

1. “As ondas de rádio são ondas eletromagnéticas, ou seja, são ondas formadas pela oscilação simultânea de um campo elétrico e de um campo magnético perpendiculares entre si; **A maioria das ondas se formam a partir do sopro do vento na superfície do mar.**”
2. “As ondas sonoras estão presentes em praticamente tudo o que fazemos. A corda de um instrumento musical vibra ao ser tocada e **forma uma onda estacionária por causa das extremidades fixas da corda.**”
3. “Ondas sonoras: são percebidas pela **pausa entre ela** e o volume
Ondas de internet: pela força do **sinal q é gerado atrás de um aparelho**”

As respostas dos alunos para uma atividade diagnóstica foram consideradas bem elaboradas. Apesar de erros conceituais, eles demonstraram um certo grau de entendimento a respeito dos modelos de onda. O processo de formação, propagação e percepção de ondas foi abordado acima do esperado.

Os modelos de onda abstratos (som, rádio, raio-x, luz, ondas eletromagnéticas em geral) foram abordados com maior recorrência que os fenômenos concretos (ondas em corda e ondas no mar). Essa característica foi bem divergente da apresentada pela turma A em atividade semelhante.

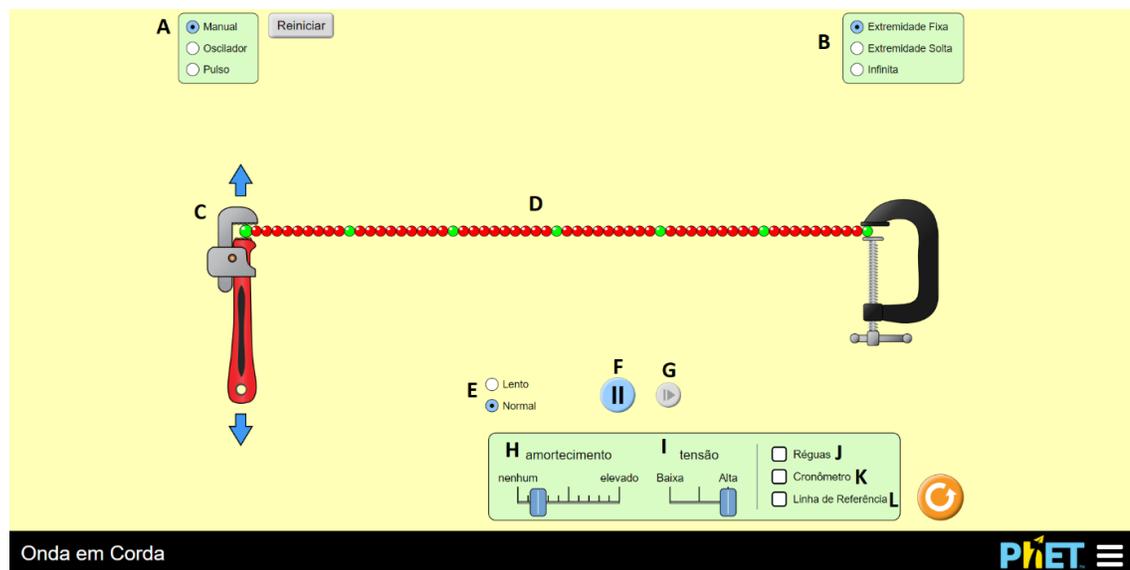
A omissão dos vídeos apresentados na turma A foi considerada eficiente diante das respostas registradas pela turma C. Por esse motivo, os vídeos serão utilizados em outro momento da sequência didática, dentro do processo de diferenciação progressiva para o ensino das classificações dos modelos de onda: mecânico ou eletromagnético; transversal, longitudinal ou misto.

7.3.2. Fase II: Modelo ondulatório e uso do simulador

7.3.2.1. Turma A

A fase II da proposta de UEPS foi dividida em duas atividades online, disponibilizadas em dois dias diferentes. Considerando que a modalidade de ensino remoto, em conjunto com a ausência de recursos eletrônicos e virtuais dos alunos, impossibilitou a interação com eles em tempo real, a etapa de mensuração dos dados do simulador, proposta na primeira aplicação, foi substituída por outras duas etapas.

Figura 20 - Imagem do simulador na configuração manual



Fonte: Elaboração própria com uso do simulador de ondas em corda (2020)

7.3.2.1.1. Etapa I: Ambientação com a plataforma do simulador.

A primeira etapa consistiu na mesma atividade de ambientação do produto anterior com as ferramentas disponibilizadas pelo simulador. Uma imagem com os descritores nomeados de A a L foi disponibilizada para nortear a atividade. Para verificar a capacidade dos alunos em cumprir instruções por escrito, o seguinte texto foi apresentado como direcionamento para o cumprimento da atividade.

As respostas que eram esperadas dos alunos consistiam em:

- A: Define o tipo de fonte da onda.
- B: Define o limite e o formato da conexão ao final da corda.
- C: Representa a fonte.
- D: Representa a corda ao ser percorrida pela oscilação gerada na fonte.

- E: Define a velocidade com que verei a onda se propagar.
- F: Play/Pause
- G: Permite a passagem de 2 centésimos de segundo.
- H: Define o quanto a onda enfrentará de resistência.
- I: Interfere na velocidade com que a onda se propaga na corda.
- J: Permite o uso de uma régua digital.
- K: Libera um cronômetro para medir o tempo de movimento.
- L: Permite definir um referencial horizontal.

Como está indicado pela imagem abaixo, apenas 5 atividades das 28 foram devolvidas, sendo duas cumpridas de forma indevida, outras duas em branco e apenas uma feita dentro dos padrões colocados pela instrução. Para essa turma, como um todo, as atividades que não compunham pontuação no bimestre não eram feitas de forma apropriada. Outras atividades do semestre que possuíam pontuação igual ou inferior a 1,0 ponto também não eram devolvidas pela maioria dos alunos.

Figura 21 - Instrução para ambientação com o simulador

MATEUS SOUSA DE MEDEIROS postou uma nova atividade...Data de entrega: 18 de set. de 2020 23:59

Item postado em 11 de set. de 2020 Editado às 15 de set. de 2020

Bom dia alunos,
As ondas se propagando em uma corda estão bem indicadas através do vídeo "21 Exercícios com a CORDA NAVAL Para um Treino POWER | Sérgio Bertoluci", passado na atividade 09. Vamos começar tratando a respeito dessas ondas e para isso, vamos fazer uso de um simulador.

A atividade de hoje é para que vocês possam se ambientar com o simulador que estaremos utilizando nas próximas aulas. Para isso, acessem o simulador através do link abaixo.

O trabalho de hoje é para que vocês possam indicar em uma folha, com as suas palavras, o que cada uma das funções indicadas na imagem abaixo, pelas letras de A a L, fazem.
Não se esqueçam de devolver com a foto ou documento indicando suas respostas.

Por exemplo:
A função J(régua) me disponibiliza uma régua para fazer medições em centímetros dentro do simulador.

Atenciosamente,
Professor Mateus Medeiros

	Onda em Corda - Ondas ... https://phet.colorado.edu/pt...		2- Imagem atividade.png Imagem
--	--	--	-----------------------------------

Fonte: Elaboração própria (2020)

Essa atividade não foi cumprida com sucesso pela turma. Apenas um aluno enviou a resposta para a instrução que foi passada a partir da imagem. Um ponto a ser levado em consideração é a dificuldade que os estudantes têm de permanecer com duas janelas abertas: uma com a imagem que indica a letra correspondente a cada descritor e outra com o simulador para verificar as funcionalidades.

Definir a causa da baixa entrega na atividade é algo difícil. Existem dificuldades como o acesso a instrumentos eletrônicos e virtuais, a indisponibilidade de sinal de internet em alguns momentos do dia, a dificuldade financeira dos alunos, a necessidade que alguns deles tiverem de trabalhar para contribuir no sustento de casa, até a baixa pontuação das atividades que induzem os alunos a não serem compromissados com a realização efetiva delas, além de outros fatores humanos, que são imprevistos.

O aluno que enviou a resposta de forma coerente, a encaminhou no seguinte formato:

Figura 22 - Respostas registradas por um dos alunos

Letra A: Muda o objeto que faz a onda na corda
Letra B: Muda o instrumento que fica na extremidade
Letra C: O objeto faz gerar a onda até a extremidade
Letra D: É a corda que faz a onda
Letra E: Muda a velocidade do instrumento (Lento e normal)
Letra F: Ele da pausa
Letra G: Ele acelera a velocidade
Letra H: Ele faz a corda fazer menos ondulações
Letra I: Aumenta a tensão da corda
Letra J: Mostra uma régua na extremidade
Letra K: Aparece um cronômetro
Letra L: Aparece uma linha para mostra a referencia da corda

Fonte: Registro através da plataforma google sala de aula (2020)

Das descrições feitas por ele, a única equivocada é a referente a letra G. O descritor não acelera a velocidade, ela simplesmente permite que o simulador conte um intervalo de tempo de exatamente dois centésimos de segundo. Apesar dos erros de

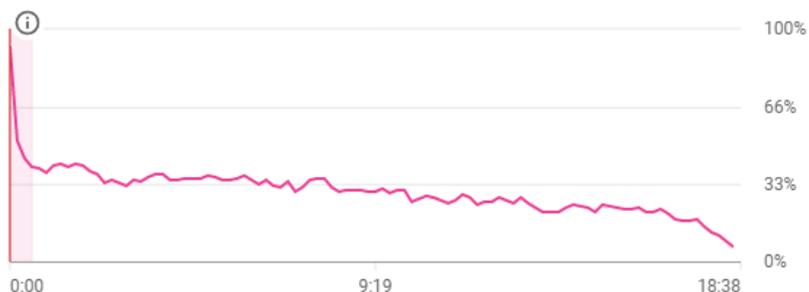
português, as outras descrições estão compatíveis com o que acontece no simulador ao alterar cada função.

7.3.2.1.2. Etapa II: Medindo com as ferramentas do simulador.

Na segunda etapa, uma [videoaula](#) e uma atividade pela plataforma “google forms” foi proposta. A diferença da atividade de mensuração da aplicação anterior, proposto para a modalidade de ensino presencial, para esta aplicação, proposta para o ensino à distância, foi o fato de não ser aberto para o registro de valores medidos em tabelas, mas, de fazer a leitura de medidas indicadas pelas imagens feitas dentro do próprio simulador.

Apesar da videoaula conter todas as instruções, comentar sobre o modelo de ondulatória e explicitar como utilizar a régua e o cronômetro disponibilizados pelo simulador, bem como demonstrar exemplos que são extremamente semelhantes aos da atividade, os alunos não foram engajados pelo vídeo. O gráfico de engajamento, disponibilizado pelo “Youtube”, para o vídeo em questão, expõe o tempo que os alunos destinaram a observação da metodologia aplicada.

Figura 23 - Gráfico de engajamento médio com o vídeo



Fonte: Gráfico gerado pelo Youtube (2020)

O eixo vertical indica a quantidade de pessoas que permaneceram assistindo ao vídeo até o momento indicado pelo eixo horizontal. A média dos alunos que assistiram até o final foi um tanto quanto reduzida, o que indica uma dificuldade em permanecer focado. A plataforma do YouTube disponibiliza o seguinte texto para entendermos a retenção de público para um vídeo.

Figura 24 - Exemplos de modelos de gráfico de retenção

Entenda a retenção de público

As porcentagens podem ultrapassar os 100%, já que os espectadores podem voltar para assistir uma sequência mais de uma vez.



Quando a linha do gráfico está achatada, significa que os espectadores estão assistindo aquele trecho do vídeo do início ao fim.



Quedas graduais indicam que os espectadores perdem o interesse ao longo do tempo.



Os picos aparecem quando mais espectadores estão assistindo, assistindo outra vez ou compartilhando um ou mais momentos de um vídeo.



Quedas indicam que os espectadores estão pulando aquele trecho do conteúdo ou fechando o vídeo durante a reprodução dele.

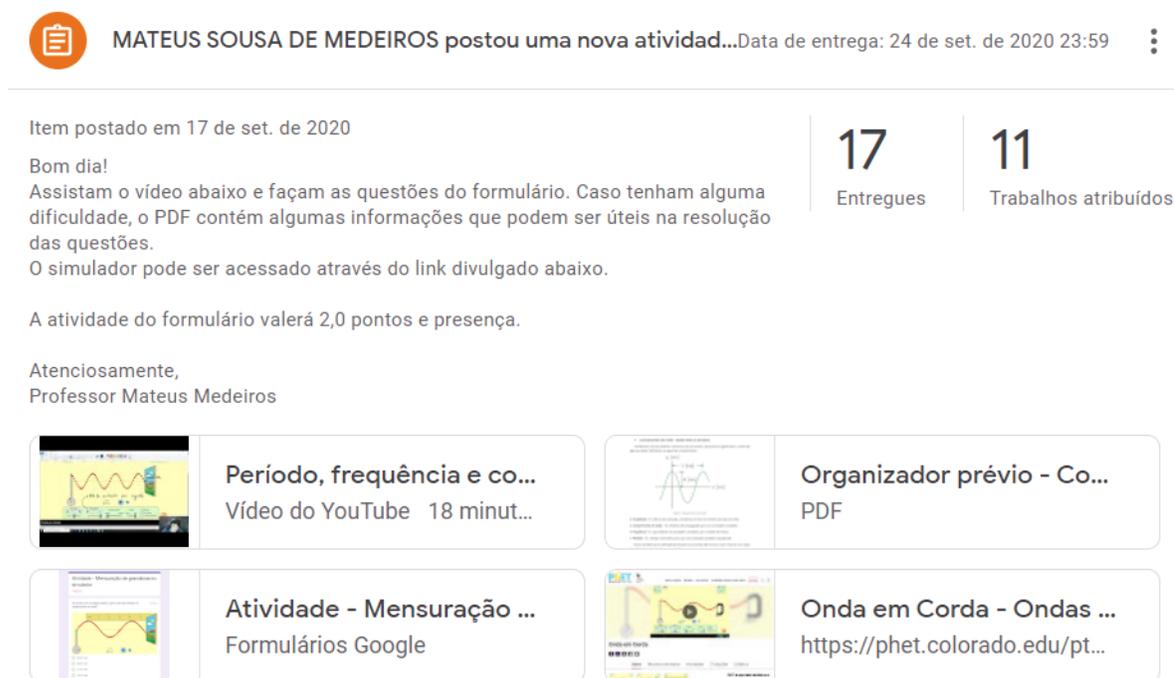
Fonte: Youtube (2020)

A perda de interesse do público pelo vídeo geralmente está associada ao não entendimento do que está sendo visto, à complexidade de informações apresentadas e ao interesse em se ver aquilo que está colocado. O problema apresentado por essa baixa retenção não foi algo pontual, mas sistemático, aparecendo num conjunto de situações que mostram o distanciamento do aluno do conhecimento a ser aprendido.

A maior queda de visualizações, desconsiderando as quedas anteriores aos 30 segundos, ocorre no instante de 10:09. O limite de tempo para os vídeos sugeridos pela direção da escola era de 15 minutos, o que é compatível com os resultados demonstrados pelo gráfico de engajamento. Isso indica a importância de levar em consideração a capacidade humana de manter a concentração e o foco, sendo necessário tomar precauções para não prolongar as atividades de ensino remoto.

Além da videoaula, o roteiro de aula disponibilizado no anexo I foi enviado para que eles pudessem fazer a leitura e ter um primeiro contato com os subsunçores direcionados à medição e aos signos utilizados para representar grandezas do modelo ondulatório. A instrução foi enviada da seguinte forma:

Figura 25 - Instruções encaminhadas aos alunos na plataforma Google Classroom



MATEUS SOUSA DE MEDEIROS postou uma nova atividade...Data de entrega: 24 de set. de 2020 23:59

Item postado em 17 de set. de 2020

Bom dia!
Assistam o vídeo abaixo e façam as questões do formulário. Caso tenham alguma dificuldade, o PDF contém algumas informações que podem ser úteis na resolução das questões.
O simulador pode ser acessado através do link divulgado abaixo.

A atividade do formulário valerá 2,0 pontos e presença.

Atenciosamente,
Professor Mateus Medeiros

17 Entregues | 11 Trabalhos atribuídos

- Período, frequência e co...
Vídeo do YouTube 18 minut...
- Organizador prévio - Co...
PDF
- Atividade - Mensuração ...
Formulários Google
- Onda em Corda - Ondas ...
<https://phet.colorado.edu/pt...>

Fonte: Elaboração própria (2020)

A atividade de mensuração disponibilizada para os alunos está localizada no anexo IV deste trabalho. O objetivo dela é verificar se os alunos conseguiriam utilizar as ferramentas da etapa anterior de forma coerente e contextualizada para fazer as devidas medições no simulador. Devido às dificuldades apresentadas pelos alunos com o ensino remoto, já mencionadas anteriormente, a atividade em que eles deveriam utilizar o simulador para criar suas tabelas de registro de medidas foi substituída por essa atividade em que a situação já está posta.

Figura 26 - Resultados da atividade de mensuração para a turma A

Mediano 20,97 / 100 pontos	Mediana 20 / 100 pontos	Intervalo 0 - 60 pontos
--------------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------

Distribuição do total de pontos



Fonte: Elaboração própria (2020)

A média aritmética da atividade para essa turma alcançou o valor de 20,97%. Esse valor é considerado baixo, uma vez que a videoaula possuía todas as instruções detalhadas do que deveria ser feito para cada questão. A quantidade de respostas certas para questões objetivas em que se deve fazer a leitura do valor medido por uma régua, bem como a quantidade de oscilações presentes em uma imagem foram demasiadamente baixas.

As questões que exigiam a compreensão do uso de régua e cronômetro foram as com menor taxa de acertos (média de 13%), enquanto isso, as questões que avaliavam o entendimento de frequência e período tiveram uma taxa de acertos média de 30%. A atividade apresentou uma característica com baixíssimo rendimento, o que implica na necessidade de reavaliar o formato de construção do material anterior à avaliação.

Como afirmado por Ausubel, o interesse do aluno é o pré-requisito primordial para que a aprendizagem significativa seja possível. Como o gráfico possuiu um baixo engajamento, outras estratégias devem ser pensadas como forma de alcançar o interesse dos alunos. Isso pode incluir a mudança do vídeo em questão ou a utilização de outras estratégias para que eles tenham desenvolvido capacidades necessárias para a atividade de mensuração, que possui um caráter prático.

7.3.2.2. Turma B, D, E e F

A segunda fase da sequência B teve como objetivo expor os conceitos teóricos acerca do modelo ondulatório em conjunto com a aplicação deles no simulador. Essa fase teve apenas uma etapa, consistindo em uma atividade online.

Diferente da sequência A, não existiu uma atividade para que os alunos descrevessem as funcionalidades do simulador. Os conceitos de período, frequência, velocidade de propagação, comprimento de onda e interferência já tinham sido expostos através das videoaulas anteriores. Dessa forma, o objetivo da atividade aqui proposta era o de relacionar os conceitos vistos e avaliados nas duas últimas atividades com a imagem dinâmica produzida pelo simulador.

7.3.2.2.1. Etapa I: Abordagem teórica

A segunda etapa da fase de abordagem teórica consistiu na ênfase sobre as relações entre velocidade de propagação, comprimento de onda e frequência, acrescidas das definições de interferências do tipo construtiva e destrutiva.

Figura 27 - Instrução a respeito da atividade sobre velocidade de propagação e interferência



MATEUS SOUSA DE MEDEIROS postou uma nova atividade... Data de entrega: 18 de set. de 2020 23:59

Item postado em 11 de set. de 2020 Editado às 6 de out. de 2020

Bom dia!!
A atividade de hoje consiste em trabalharmos os conceitos de velocidade de propagação de uma onda e os conceitos de interferência entre 2 ondas.

Para isso, assista o vídeo e responda o formulário.
O formulário valerá 2,0 pontos na média do 2º Bimestre e a frequência da semana.

Atenciosamente,
Professor Mateus Medeiros

23 Entregues | 7 Trabalhos atribuídos

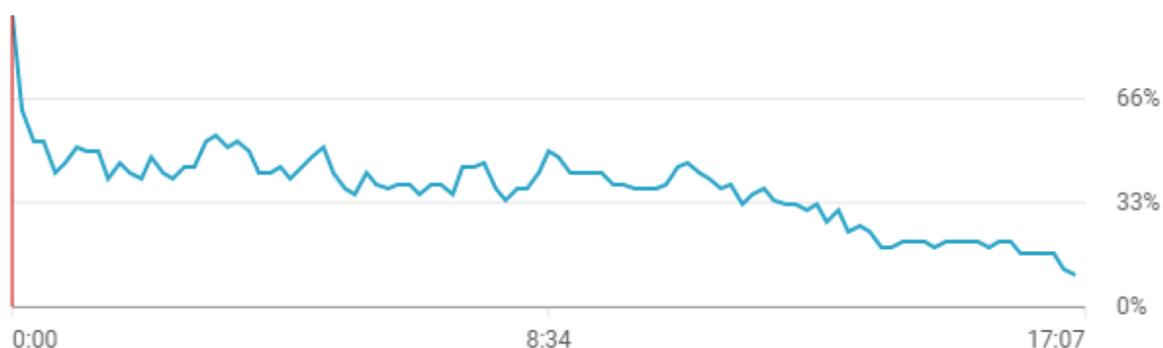
Exercícios - Velocidade d...
Formulários Google

Velocidade e Interferênci...
Vídeo do YouTube 17 minut...

Fonte: Elaboração própria (2020)

Na [videoaula](#) gravada foi utilizado o recurso do Power Point, a imagem de uma webcam e uma mesa digitalizadora. O vídeo possuía 17 minutos e foi utilizado em todas as sequências didáticas aqui propostas. No entanto, a videoaula foi disponibilizada em momentos diferentes. Enquanto na sequência anterior, essa temática foi abordada na última atividade, nesse segundo modelo, foi realizada como recurso pedagógico antes da introdução do simulador.

Figura 28 - Retenção média do vídeo de velocidade de propagação e interferência



Fonte: Youtube (2020)

Como abordado pela sequência A, na etapa II da fase III, o gráfico da figura 31 mostra que o vídeo possui considerável queda de visualizações após 10 minutos, além de apresentar um comportamento de visualizações que sugerem o pulo de certos momentos que seriam importantes para a compreensão do que está sendo colocado. Para um vídeo que foi disponibilizado para mais de 200 alunos, o valor de apenas 62 visualizações sugere que os alunos procuraram outras fontes de informação a respeito de velocidade de propagação e interferência ou que marcaram as respostas de forma aleatória, uma vez que o questionário foi elaborado dentro de um modelo que permitia isso.

O questionário está disponibilizado no anexo VII deste trabalho e os resultados estão expostos nos gráficos abaixo.

Figura 29 - Resultados da atividade para a turma B



Distribuição do total de pontos

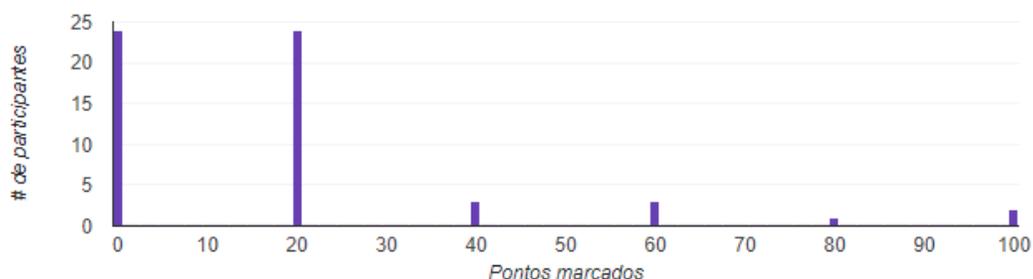


Fonte: Elaboração própria (2020)

Figura 30 - Composição dos resultados para as turmas D, E e F



Distribuição do total de pontos



Fonte: Elaboração própria (2020)

Os resultados do questionário aplicado expõem uma razoável diferença entre as médias aritméticas totais. Isso é compatível com o fato de a maioria dos alunos não terem assistido ao vídeo. A verificação de que o tempo do vídeo influencia diretamente na quantidade de visualizações ficou clara devido aos resultados semelhantes.

Como consequência disso, as videoaulas produzidas para a próxima aplicação será de no máximo 15 minutos. Os temas abordados pelos dois vídeos anteriores serão divididos e sintetizados para que essa economia de tempo não implique em ausência de conceitos e ideias importantes a respeito do modelo ondulatório.

7.3.2.2.2. Etapa II: Mensuração de grandezas no simulador

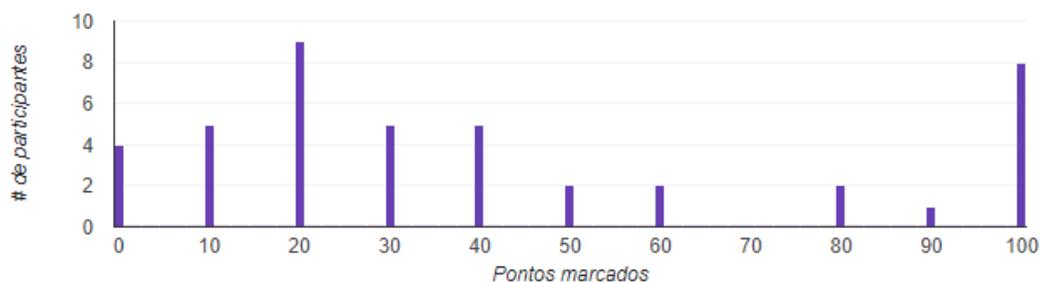
A atividade de mensuração colocada no anexo IV foi o instrumento selecionado para que os alunos pudessem fazer as devidas leituras. No entanto, nenhum tipo de material pedagógico foi colocado como instrução para a utilização de uma régua. Como os resultados da atividade anterior tinham sido baixos em todas as quatro turmas aplicadas, a atividade de mensuração ficou com a pontuação de 2,0 pontos na média bimestral como forma de incentivo para que os alunos cumprissem a atividade com compromisso.

Os resultados para as turmas foram os seguintes:

Figura 31 - Resultados da atividade de mensuração para a turma B



Distribuição do total de pontos

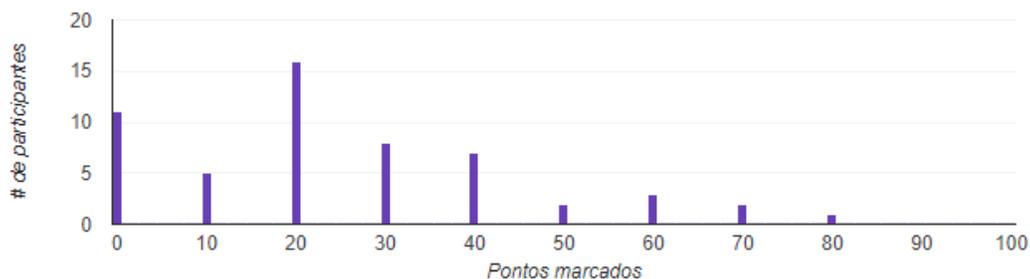


Fonte: Elaboração própria (2020)

Figura 32 - Resultados da atividade de mensuração para as turmas D, E e F



Distribuição do total de pontos



Fonte: Elaboração própria (2020)

Como observado, a média aritmética da turma que realizou a atividade no primeiro semestre novamente foi consideravelmente maior do que a realizada pelas turmas do segundo semestre. A única variável que foi alterada entre esses dois cenários foi o momento em que as atividades foram realizadas.

Isso indica que para o ensino remoto, as estratégias pedagógicas de avaliação são extremamente importantes dentro do exercício do magistério. A diversidade de fontes de informação e de metodologias disponibilizadas na internet para que os alunos possam cumprir com suas obrigações, ao mesmo tempo em que facilita o processo de aquisição de informação, dificulta a compreensão do conhecimento que é exato e geralmente apresenta o desenvolvimento de ansiedade no quesito leitura, onde os alunos não costumam ler as sentenças escritas por completo, mas pulando certas palavras.

7.3.2.3. Turma C

A segunda fase da sequência aplicada para a turma C foi dividida em duas etapas de apresentação teórica, utilizando o simulador durante a definição do modelo e dos signos associados à ele.

7.3.2.3.1. Etapa I: Introdução dos conceitos iniciais de ondulatória com o simulador

O material elaborado como roteiro de aula no anexo I sofreu algumas alterações que estão indicadas no anexo IX. Esse material foi colocado como organizador prévio, informações sintetizadas e objetivas que pudessem auxiliar os alunos na realização da atividade de mensuração.

Além do organizador prévio, uma [videoaula](#) contextualizando os conceitos de período, frequência e comprimento de onda foi disponibilizada. O simulador foi o plano de fundo de toda essa videoaula, com desenhos e nomeações das estruturas de uma onda.

A atividade através do “Google Forms” indicada no anexo IV foi disponibilizada como forma de avaliação dos conceitos trabalhados durante a videoaula e pelo organizador prévio.

Figura 33 - Instrução para atividade de mensuração de grandezas.

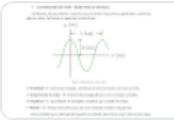
 MATEUS SOUSA DE MEDEIROS postou uma nova atividade...Data de entrega: 18 de set. de 2020 23:59

Item postado em 11 de set. de 2020 Editado às 6 de out. de 2020

Bom dia!
Assistam o vídeo abaixo e façam as questões do formulário. Caso tenham alguma dificuldade, o PDF contém algumas informações que podem ser úteis na resolução das questões.

A atividade do formulário valerá 2,0 pontos e a presença dessa semana.

Atenciosamente,
Professor Mateus Medeiros

	Atividade - Mensuração ... Formulários Google		Período, frequência e co... Vídeo do YouTube 18 minut...
	Conceitos básicos de on... PDF		

Fonte: Elaboração própria (2020)

A videoaula com 18 minutos de duração apresentou um gráfico de retenção semelhante para os outros vídeos.

Figura 34 - Gráfico de retenção da videoaula utilizando o simulador para tratar dos conceitos envolvidos com o fenômeno ondulatório

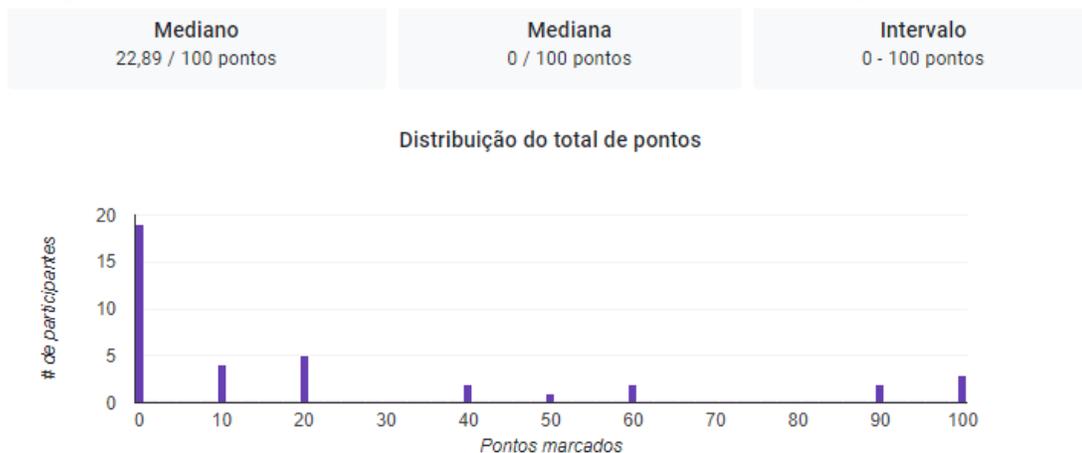


Fonte: Youtube (2020)

O gráfico, no entanto, demonstra que aos 8 minutos ocorre a maior queda de visualizações. Esse momento é caracterizado pelo início da exposição dos signos que serão utilizados como representação de aspectos da onda como frequência, amplitude, comprimento de onda, período e velocidade de propagação.

Apesar de o vídeo ter apresentado um maior índice de visualizações em relação aos outros vídeos de mesma duração (32 visualizações), o desempenho registrado pelos alunos na atividade de mensuração foi muito baixa, conforme gráfico abaixo.

Figura 35 - Gráfico com o desempenho total na atividade de mensuração para turma C



Fonte: Elaboração própria (2020)

Apesar de certas questões serem extremamente semelhantes as que foram abordadas na videoaula, as respostas dos alunos não foram adequadas. Isso quer dizer que o material elaborado não foi utilizado pelos alunos de forma significativa e a videoaula não foi acompanhada. O gráfico de retenção de público foi coerente com os resultados apresentados.

7.3.2.3.2. Etapa II: Propagação de onda e interferência

Figura 36 - Instrução da etapa III para a sequência C

MATEUS SOUSA DE MEDEIROS postou uma nova atividade...Data de entrega: 24 de set. de 2020 23:59
⋮

Item postado em 17 de set. de 2020 Editado às 6 de out. de 2020

Bom dia turma!

Assistam o vídeo abaixo e façam a atividade do formulário.
A atividade valerá 2,0 pontos e a presença do dia.

Atenciosamente,
Professor Mateus Medeiros

22
Entregues

8
Trabalhos atribuídos

Exercícios - Velocidade d...
Formulários Google

Velocidade e Interferênci...
Vídeo do YouTube 17 minut...

Fonte: Elaboração própria (2020)

Como as videoaulas não estavam sendo acompanhadas de forma adequada pelos alunos e as atividades estavam apresentando respostas dentro de um certo padrão de escolha aleatória, a etapa III foi direcionada à videoaula sobre os conceitos de velocidade e interferência em conjunto com a avaliação disponibilizada no anexo VII.

A pontuação destinada à atividade avaliativa foi informada como sendo de 2,0 pontos. O intuito era verificar se os alunos fariam a atividade com maior dedicação em relação à atividade anterior.

Figura 37 - Resultado da atividade avaliativa para a etapa III da sequência C



Fonte: Elaboração própria (2020)

Como apresentado pelo gráfico de distribuição de pontuação acima, os resultados foram extremamente próximos dos apresentados pela etapa II. A baixa quantidade de visualizações das duas videoaulas indica que os alunos não estavam empenhados dentro das rotinas pedagógicas propostas, mas, que apenas estavam selecionando as respostas de forma aleatória.

7.3.3. Fase III: Avaliação

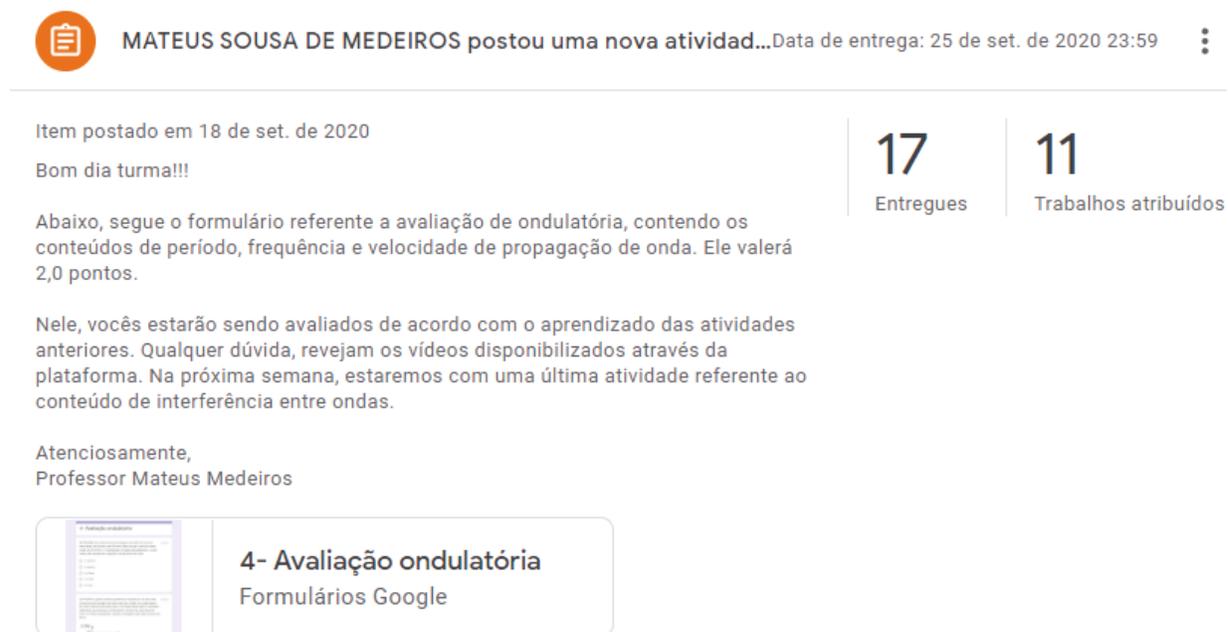
A terceira fase da sequência se direcionou a avaliar os resultados da sequência. Para o ensino remoto, as discussões em torno de avaliação, sem a possibilidade de interação humana presencial, foi dividida em dois momentos de avaliação. O modelo tradicional foi o escolhido, uma vez que era difícil esperar que os alunos se adequassem a qualquer outro método de avaliação que não fosse o formulário.

7.3.3.1. Turma A

7.3.3.1.1. Etapa I: Avaliação dos conceitos gerais de ondulatória

No anexo V deste trabalho estão as questões disponibilizadas como avaliação para os conceitos de ondulatória abordados nas atividades e vídeos anteriores. A instrução foi disponibilizada aos alunos na plataforma Google Classroom, conforme abaixo:

Figura 38 - Instrução da avaliação sobre a temática de ondulatória abordada



 MATEUS SOUSA DE MEDEIROS postou uma nova atividade...Data de entrega: 25 de set. de 2020 23:59

Item postado em 18 de set. de 2020

Bom dia turma!!!

Abaixo, segue o formulário referente a avaliação de ondulatória, contendo os conteúdos de período, frequência e velocidade de propagação de onda. Ele valerá 2,0 pontos.

Nele, vocês estarão sendo avaliados de acordo com o aprendizado das atividades anteriores. Qualquer dúvida, revejam os vídeos disponibilizados através da plataforma. Na próxima semana, estaremos com uma última atividade referente ao conteúdo de interferência entre ondas.

Atenciosamente,
Professor Mateus Medeiros

 **4- Avaliação ondulatória**
Formulários Google

17 Entregues | 11 Trabalhos atribuídos

Fonte: Elaboração própria (2020)

Propositamente o formulário foi postado sem outro material pedagógico abordando, de forma simplista, os conceitos de velocidade de propagação. Conforme no anexo V, as situações problema apresentadas possuem maior nível de detalhamento e seria necessário que as relações entre velocidade de propagação, comprimento de onda, período e frequência estivessem bem consolidadas.

Um fato curioso é o resultado dessa atividade possuir um rendimento superior ao da atividade anterior. Enquanto o material pedagógico, da atividade anterior, foi diversificado em videoaula, roteiro de instrução e a disponibilização do simulador, o material suporte para fazê-lo, na atual atividade, foi inexistente. Além disso, é importante ressaltar que as atividades possuíam pesos diferentes na composição da média

bimestral, esperando que os alunos cumprissem a “avaliação” com maior afinho e cuidado.

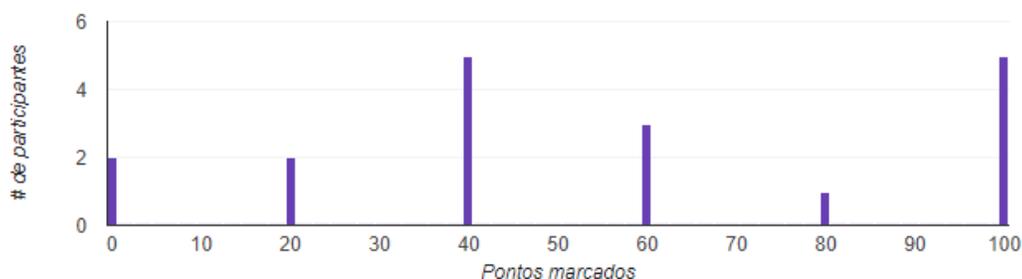
O resultado dessa segunda atividade, nomeada como “avaliação”, foi o seguinte:

Figura 39 - Resultados da atividade avaliativa sobre os conceitos básicos de ondulatória

Informações



Distribuição do total de pontos



Fonte: Elaboração própria (2020)

O que é interessante é o fato de que apesar da atividade possuir menos recursos didáticos direcionados à realização dela, os resultados aparentam um considerável antagonismo. Isto é, a atividade com maior suporte pedagógico apresentou média de 20,97%, enquanto a atividade com menor suporte pedagógico, 55,56%. Tal resultado não é compatível com as estratégias pedagógicas elaboradas. No entanto, o peso estabelecido para a pontuação bimestral foi considerado fator decisivo para que os alunos cumprissem as atividades com um melhor desempenho.

Apesar de as estratégias pedagógicas serem direcionadas a aprendizagem significativa, a base de motivação e busca dos alunos pelo conhecimento se reduz a pontuação alcançada. Dessa forma, por mais significativo que seja o material, mais interessante ou mais inovador, a pontuação continua sendo o objetivo final deles. O que coloca as seguintes questões: Deveríamos mudar o sistema de avaliação para alterar o foco de engajamento dos alunos? Isso seria suficiente? A BNCC possibilita essa mudança com a abordagem de habilidades e competências no lugar de uma abordagem conteudista? São pontos a se pensar.

No ensino remoto, a avaliação qualitativa não foi possibilitada devido à dificuldade de acesso e interação pessoal apresentada com os alunos da escola em que este trabalho foi desenvolvido. Por esse motivo, as bases que sustentaram as avaliações se pautaram na resolução de problemas, nas observações de imagens e na leitura de textos.

7.3.3.1.2. Etapa II: Exposição teórica e avaliação dos conceitos de velocidade de propagação e interferência

Uma [videoaula teórica](#) foi gravada tratando os temas de velocidade de propagação e interferência. O simulador não foi incluído e os gráficos apresentados como forma de caracterização de onda foram gerados através da plataforma Geogebra.

Figura 40 - Instrução para a aula e avaliação sobre velocidade de propagação e interferência

 MATEUS SOUSA DE MEDEIROS postou uma nova atividade...Data de entrega: 25 de set. de 2020 23:59

Item postado em 24 de set. de 2020

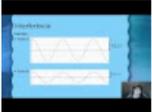
Bom dia turma!! Essa é a nossa última atividade do semestre!!! Ela valerá ponto e a frequência da semana, vocês tem até amanhã para finalizá-la, após isso estarei fechando as notas e as presenças do nosso curso.

13 Entregues

15 Trabalhos atribuídos

Abaixo segue um vídeo explicando sobre os conceitos de velocidade de propagação e padrões de interferência. A atividade estará avaliando os conceitos de interferência.

Atenciosamente,
Professor Mateus Medeiros

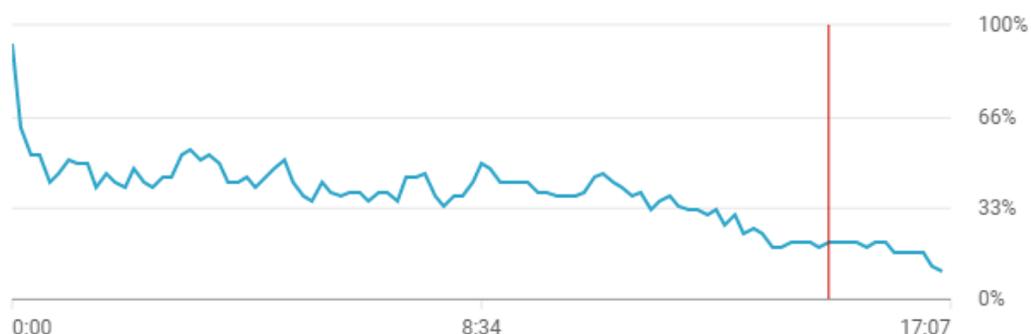
 **Velocidade e Interferênci...**
Vídeo do YouTube 17 minut...

 **5- Avaliação interferência**
Formulários Google

Fonte: Elaboração própria (2020)

O gráfico de retenção do público para o vídeo desenvolvido foi o seguinte:

Figura 41 - Retenção de público para a aula de velocidade de propagação e interferência



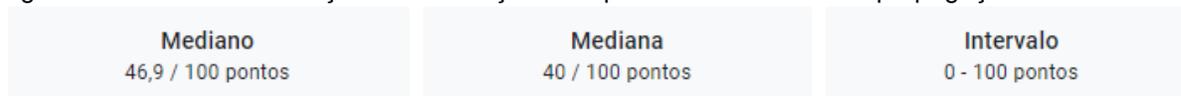
Fonte: Youtube (2020)

Como o gráfico do vídeo apresentado na figura 3, aos 10 minutos, o público sofria uma grande perda. As grandes variações de picos de visualização indicam também que trechos do vídeo estavam sendo pulados durante a visualização, o que sugere uma certa impaciência dos alunos em ver tudo o que estava sendo colocado.

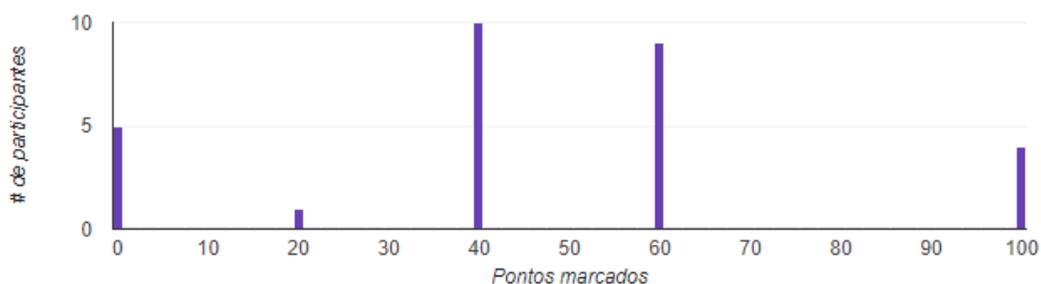
Ao observar as figuras 25 e 17 apresentadas, podemos constatar que as visualizações do vídeo teórico deixam os expectadores mais impacientes com o andamento da aula. Enquanto isso, o gráfico do vídeo que utilizou o simulador e apresentava maior dinamismo em relação a aula teórica, apresentou características mais suaves.

Os resultados da avaliação a respeito de velocidade de propagação e interferência foram os seguintes:

Figura 42 - Resultado alcançado na avaliação a respeito de velocidade de propagação e interferência



Distribuição do total de pontos



Fonte: Elaboração própria (2020)

A média aritmética para a atividade dessa etapa foi próxima à da atividade anterior, apresentando as médias aritméticas de 46,9% e 55,56% respectivamente. No entanto, o desvio padrão foi menor, o que indica a concentração de resultados próximos à média. Apesar de a média ser próxima, é importante perceber que a quantidade de alunos que cumpriu essa última atividade foi apenas de 13 alunos.

Ao final do ano letivo, é comum que os alunos que apresentam rendimento superior aos demais tenham uma redução em sua produtividade durante as aulas presenciais. No ensino remoto, essa característica foi amplificada, alunos com as médias altas durante o primeiro bimestre, apresentaram uma queda considerável na qualidade das atividades produzidas no segundo.

A escola é organizada em semestralidade e os alunos tem contato com Física durante apenas um semestre, dessa forma, eles produzem atividade buscando a média de 5,0 pontos, e, quando a atingem, simplesmente param de fazer as atividades restantes. Isso foi um fator que dificultou bastante a análise dos resultados como exitosa ou não.

7.3.3.2. Turma B, D, E e F

7.3.3.2.1. Etapa I: Avaliação dos conceitos iniciais de ondulatória.

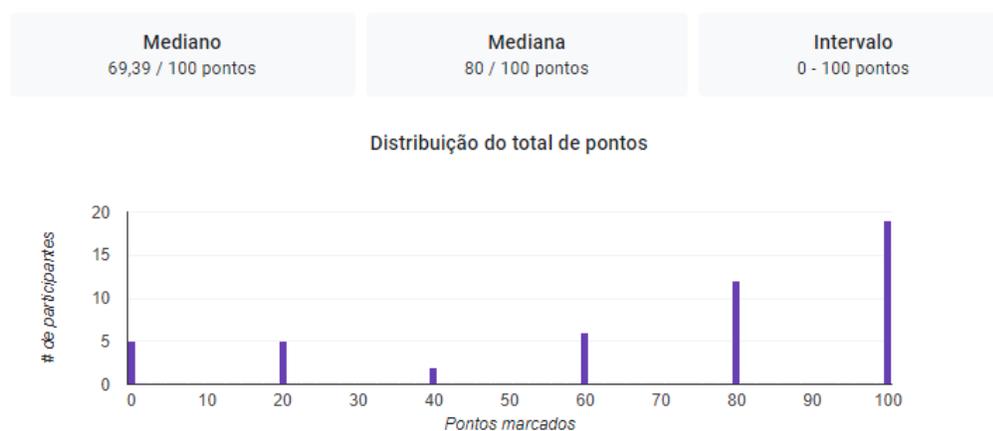
A avaliação contida no anexo V foi disponibilizada na plataforma Google Sala de Aula para que os alunos colocassem em prática os conceitos de comprimento de onda, frequência, período e das relações contidas entre elas através das equações:

$$v = \lambda \cdot f \quad (1)$$

$$T = \frac{1}{f} \quad (2)$$

Os conceitos que dão origem às equações 1 e 2 foram trabalhados dentro de videoaulas contidas ao longo da sequência B. Na avaliação aqui proposta, foram selecionadas 5 questões de vestibulares, onde quatro delas requeriam a utilização dessas equações aplicadas às situações problema colocadas. Enquanto isso, uma questão foi proposta para avaliar se os estudantes compreendiam o conceito de período de forma adequada.

Figura 43 - Resultado geral da turma B para a avaliação de ondulatória



Fonte: Elaboração própria (2020)

A média aritmética de 69,39% da turma B foi uma surpresa. Enquanto as atividades anteriores apresentaram um rendimento inferior a 50%, a avaliação dos conceitos gerais apresentou um salto considerável. O índice de acertos foi maior para as questões em que tabelas, gráficos e desenhos precisavam ser interpretados (79%, 73% e 78% para os três tipos de questões).

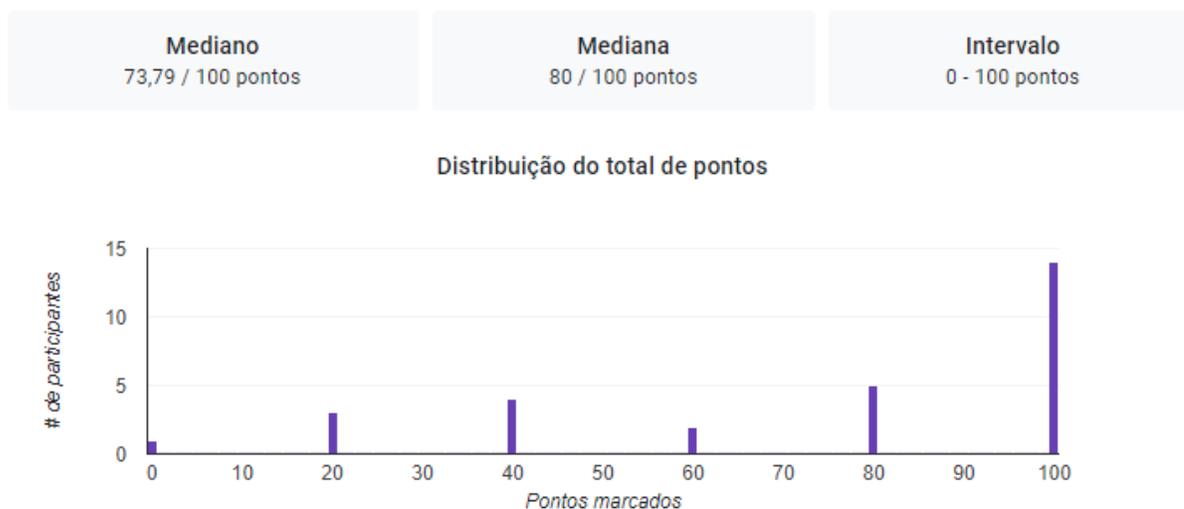
O formato da avaliação é um dos pontos que mais requerem atenção do professor. Afinal, é ao redor dela que os alunos colocam suas expectativas; a pontuação de uma avaliação costuma ser o fator mais relevante dentro na atenção deles. No entanto, não apenas isso, mas também a possível utilidade prática do que está sendo estudado com o futuro deles, também é um outro ponto de motivação para uma dedicação a uma dada atividade.

Estávamos no final do ano, alguns deles começam a pensar em vestibulares, PAS e Enem nessa época do ano. Como foi uma avaliação construída com as referências dos

locais onde as questões foram colocadas, talvez, tenha sido um fator que fez com que os estudantes buscassem realizar a atividade com maior esmero.

Para avaliar se esse foi um resultado que, de fato, poderia ser repetido, a mesma atividade foi aplicada nas turmas D, E e F.

Figura 44 - Resultado geral para as turmas D, E e F na avaliação dos conceitos de ondulatória



Fonte: Elaboração própria (2020)

A média aritmética e a distribuição de pontos para as três turmas foram praticamente as mesmas. A semelhança entre os dois gráficos possibilita avaliarmos a construção da avaliação e o momento de aplicação como adequados dentro dos objetivos dos alunos da escola em que essa proposta pedagógica foi aplicada.

Os alunos apresentaram uma certa satisfação nos comentários que fizeram a supervisão pedagógica da escola. Eles colocaram o interesse deles pelas aulas dentro de um formato semelhante ao utilizado em cursinhos, com o foco dentro da resolução de questões de vestibulares e ENEM. Dessa forma, apesar dos resultados colocados durante a sequência referentes aos conceitos abordados terem sido baixos, as atividades direcionadas a questões de vestibulares demonstrou despertar um maior interesse neles.

7.3.3.2.2. Etapa II: Interferência e avaliação final.

A [videoaula](#) gravada com a utilização do Power point e das imagens feitas pelo programa Geogebra foi colocada como atividade de abordagem teórica.

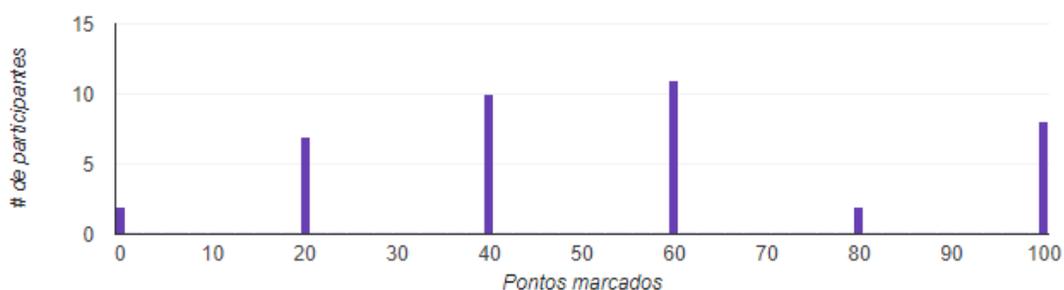
O mesmo vídeo foi utilizado em outras etapas de outras sequências. A duração desse vídeo era de 17 minutos e continha uma exposição objetiva do conteúdo, além de resumir o que foi realizado em outras etapas da sequência e, assim, direcionando o processo de reconciliação integrativa. Além disso, introduziu os conceitos de interferência através de exemplos.

Observe os gráficos de desempenho geral apresentado pelas turmas.

Figura 45 - Resultado turma B para a atividade de interferência



Distribuição do total de pontos

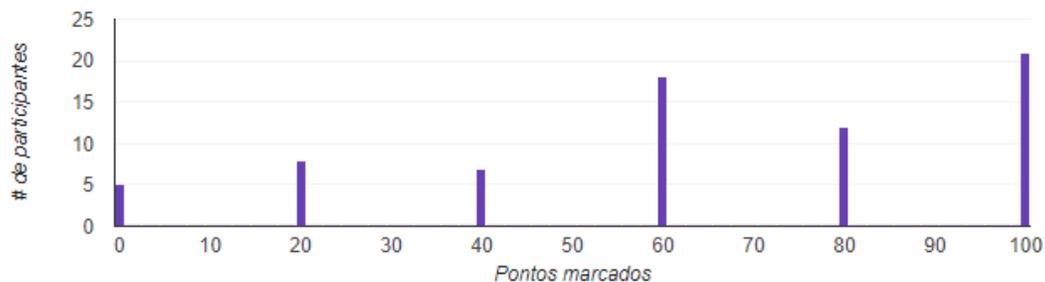


Fonte: Elaboração própria (2020)

Figura 46 - Resultado das turmas D, E e F para a atividade de interferência



Distribuição do total de pontos



Fonte: Elaboração própria (2020)

A avaliação de interferência foi baseada em duas frentes: na interpretação de imagens e construção do modelo de interferência por sobreposição e no estabelecimento dos signos de construção e destruição. Outros nomes distratores (Polarizante, Reflexiva e Impactante) foram disponibilizados como opção nas questões de classificação do tipo de interferência baseado na fase entre duas ondas.

As médias gerais para as turmas aplicadas foram semelhantes, para a turma B, foi de 54%, enquanto as turmas D, E e F apresentaram média de 64,51%. A quantidade de acertos nas questões conceituais também foi próxima, na turma B, as duas questões apresentaram média de acerto de 62,4% e 40%, enquanto nas outras turmas, a média foi de 67,6% e 57,7%.

Os desempenhos das turmas D, E e F foi relativamente superior aos da turma B. As atividades anteriores dessa sequência apresentaram rendimento inferior para as turmas D, E e F quando comparadas a turma B, isso foi justificado pelo fato de parte dos alunos já estarem com suas aprovações garantidas. Enquanto isso, essas duas últimas atividades, que apresentaram o nome avaliação na plataforma, apresentaram um resultado diferente, sendo que as últimas turmas apresentaram um resultado levemente superior aos da turma B.

O título da atividade parece ser importante para que os alunos possam identificar o que precisam cumprir. O simples título “avaliação” pareceu ter criado um maior senso de responsabilidade e esmero com a atividade a ser realizada.

7.3.3.3. Turma C

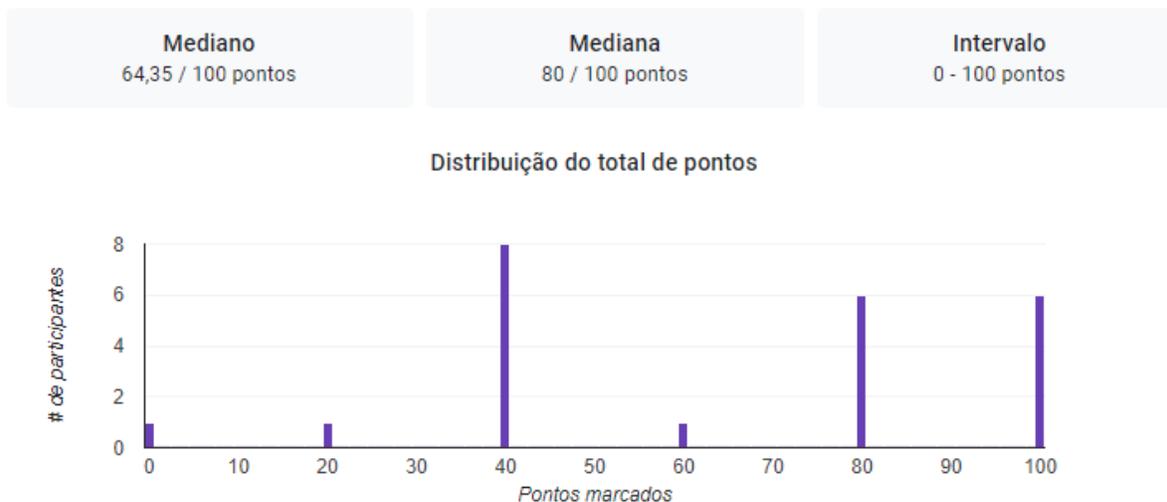
7.3.3.3.1. Etapa I: avaliação conceitos gerais de ondulatória

A atividade avaliativa do anexo V foi disponibilizada com o nome de avaliação. Um padrão que é repetido em todas as sequências escolhidas é o resultado associado ao título “avaliação”. Os alunos apresentaram resultados dessas atividades muito superiores, na média, do que as atividades de exercícios.

Mesmo que as atividades com exercícios valham pontuação explicitada no corpo da orientação, o título “avaliação” gera comprometimento com o que está sendo colocado. Apesar disso, o uso do material pedagógico disponibilizado não apresenta

nenhum registro de aumento, o que dificulta a análise da causa desse aumento na média apresentada.

Figura 47 - Resultados para a atividade avaliativa sobre conceitos gerais de ondulatória

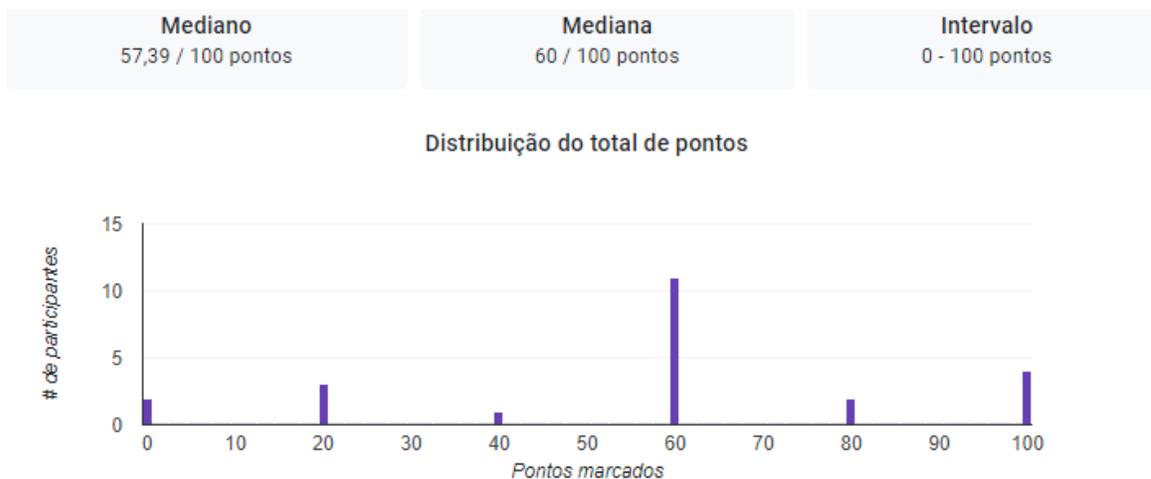


Fonte: Elaboração própria (2020)

7.3.3.3.2. Etapa II: Avaliação interferência (2 aulas – 1 atividade online)

A temática de interferência já havia sido colocada para os alunos na videoaula da etapa III da fase II. No entanto, devido à baixa quantidade de acessos, a videoaula foi colocada novamente como parte da orientação no google sala de aula. Paralelamente, foi aplicada avaliação a respeito de situações de interferência ricas em interpretação de imagens, conforme anexo VIII. Os resultados dessa avaliação foram:

Figura 48 - Resultados avaliação de interferência para a turma C



Fonte: Elaboração própria (2020)

A média aritmética apresentada de 57,39% também foi superior as atividades iniciais da sequência. Isso atesta a influência que o título tem sobre as ações que os alunos tomarão associadas a atividade.

7.4. Conclusões gerais sobre a aplicação de 2020

A troca repentina do ensino presencial para o ensino remoto, sem a possibilidade de opção por parte dos estudantes gerou uma série de dificuldades de adaptação com as rotinas e propostas pedagógicas a serem desenvolvidas na UEPS.

As aulas ao vivo pela plataforma “Google Meet” não tiveram uma boa adesão do grupo de alunos. Devido à não obrigatoriedade, a maior parte deles preferiram se dedicar exclusivamente a realização de atividades do google sala de aula, sem a necessidade de participar das aulas ao vivo que o grupo de professores disponibilizou.

O aspecto do aluno ser colocado em uma posição ativa no próprio aprendizado encontrou algumas barreiras. A maioria deles não possuía um computador para acessar os materiais disponíveis. Participaram da sequência didática através, quase que exclusivamente, de smartphones, sem as ferramentas adequadas para utilizar o simulador. Isso foi a maior barreira para o estabelecimento de atividades interativas com essa ferramenta. Dessa forma, o simulador foi utilizado como recurso audiovisual em videoaulas a fim de facilitar o processo de abordagem didática.

Além disso, o simulador possibilitou a geração de imagens com ondas e pulsos se propagando. Com o uso do simulador nas videoaulas em conjunto com o as mesmas imagens sendo utilizadas em atividades avaliativas, era esperado que os alunos conseguissem fazer as leituras apropriadas nessas atividades de comprimento de onda, período e frequência. No entanto, em geral, o desempenho não acompanhou essas expectativas.

Isso foi justificado pela baixa quantidade de visualizações das videoaulas. No ensino remoto, a posição ativa do aluno com as ferramentas disponibilizadas é responsabilidade quase que exclusivamente dele. A falta de contato e interação humana aliada a busca pela média 5,0 de 10,0 na escola favorece uma posição em que o aluno

não se compromete com os materiais disponibilizados e nem com as avaliações a serem realizadas.

Grande parte dos alunos envolvidos nas atividades propostas nessa sequência apenas cumpriram as atividades que garantiriam a sua aprovação na escola, o que revela uma certa necessidade de repensarmos o processo de avaliação. O objetivo é que os conhecimentos sejam sedimentados de forma significativa. No entanto, se o interesse passa a ser simplesmente a média na escola, a própria aprendizagem significativa é impossibilitada.

Lidar com essa problemática é algo que permeia o exercício do magistério desde o início da minha carreira. A posição dos alunos em se contentar com o mínimo na escola pública dificulta o processo de ensino, da mesma forma que a dificuldade em aprender produz o desinteresse. Assim, se faz necessário a constante busca por motivar e significar os conteúdos estudados.

É impossível estabelecer uma aprendizagem significativa se o estudante não quiser aprender. Considero esse um dos pontos mais relevantes dentro das relações que conduzem os alunos à aprendizagem. Boa parte dos alunos das escolas públicas em que trabalhei apresentaram baixa expectativa de sonhos e de alcance acadêmico, a maior parte deles se contentava em trabalhar no mesmo ofício dos pais e em ter o mínimo como salário.

As três primeiras turmas apresentaram essa mesma característica. Apesar de a sequência ter sido aplicada dentro da modalidade remota, no início do ano de 2020, ainda tivemos um contato presencial, antes do início da suspensão das aulas terem começado. Nesse momento presencial, essas eram falas recorrentes entre os alunos.

1. “Professor, eu quero ser mecânico como meu pai”.
2. “Professor, meu pai tem uma elétrica, eu vou trabalha lá”
3. “Professor, tu sabes quanto eu ganho com diária de faxina?”

São exemplos de posições que definem uma direção para o significado a ser estabelecido para o conhecimento proposto, mas que direcionam a aprendizagem a uma baixa expectativa de concretude. Apesar disso, existe uma minoria de estudantes que

deseja seguir carreira acadêmica, cursar o ensino superior e alcançar salários maiores através do estudo.

A rotina pedagógica não apresentou diferenças significativas ao ser aplicada dentro do ensino remoto. As três sequências apresentaram pontos fortes e fracos, mas, algumas coisas serão alteradas na elaboração do produto final. Os pontos mais relevantes foram:

1. As videoaulas precisam de um material de apoio simples e objetivo. Para isso, será elaborado um organizador prévio a ser ancorado em um vídeo curto a respeito dos conceitos utilizados: período, frequência, comprimento de onda e movimento de propagação e oscilação.
2. A utilização do simulador necessita de um ponto de ancoragem. O organizador prévio será elaborado dentro de uma estrutura que explicita a passagem da situação concreta para a simulação através de uma animação.
3. As atividades avaliativas serão reorganizadas de acordo com as etapas da sequência proposta.
4. A aprendizagem dos conceitos de período, frequência, comprimento de onda, velocidade de propagação e as relações entre elas serão o alvo deste produto educacional. Dessa forma, a próxima sequência possuirá diferentes abordagens de forma a se complementarem dentro desses conceitos.

Apesar da proposta a ser elaborada possuir um interesse estabelecido pelo professor de forma prévia, é importante ressaltar que o produto educacional trata da elaboração de um material pedagógico a ser pesquisado como efetivo ou não dentro dos parâmetros estabelecidos. Para esse produto final, a expectativa estará em torno da capacidade dos alunos em compreender os conceitos de período, frequência, comprimento de onda e velocidade de propagação, bem como as relações entre todas essas grandezas.

O objetivo final não é o de tratar todas as formas de classificação e todos os fenômenos que perpassam o modelo ondulatório, mas que os alunos consigam olhar para esse modelo e perceber a existência dos conceitos abordados.

8. Reaplicação da UEPS

8.1. Introdução

Ao final da segunda aplicação da nossa proposta pedagógica no ano de 2020, na modalidade de ensino remoto, foram feitas algumas observações que alteraram parte do corpo do produto educacional.

O material para diagnóstico e sondagem das bases estruturais que compunham o conteúdo de fenômeno ondulatório foi retirado. O diagnóstico sem a interação humana promovida pelas interações presenciais não foi muito proveitoso, uma vez que o questionamento e provocações por parte do professor foram impossibilitadas devido a não interação em tempo real.

Apesar de a ferramenta Google Meet possibilitar o encontro e discussões em tempo real, ela não foi efetiva quando utilizada em outros momentos do ano de 2020. Apenas quatro dos mais de cem alunos compareceram nas reuniões quando realizadas, o que fez o uso dessa ferramenta não ser cogitado para o novo produto educacional.

A escola pública do Distrito Federal em que o produto estava sendo aplicado possui uma comunidade com dificuldades financeiras em sua maioria. O pacote de dados de internet não era suficiente para que os alunos pudessem estar conectados sempre que necessário, além da inexistência de computador na maioria das famílias. Toda essa realidade dificultou o andamento das sequências aplicadas no ano de 2020. Dessa forma, para o ano de 2021, o material pedagógico foi simplificado, mas algumas videoaulas foram mantidas.

O organizador prévio, segundo Ausubel, precisa ser criado a fim de facilitar o processo de retomada dos subsunçores que serão requisitados ao longo da sequência. O objetivo central deste produto educacional foi consolidado em torno da busca por um método que origina a aprendizagem representacional dos conceitos de período, frequência, comprimento de onda e velocidade de propagação.

As animações e edições de vídeo presentes no organizador prévio foram elaborados por um animador profissional sob instrução do autor deste trabalho. A ideia central era a de elaborar um recurso audiovisual que traduzisse o processo de

transformação de uma situação real (caracterizada pelo exercício de corda naval) em uma animação. Era esperado que esse processo de transição possibilitasse os alunos compreender o modelo ondulatório como a característica de um sistema físico real.

Em todas as atividades diagnósticas aplicadas no ano de 2020, a caracterização de um padrão ondulatório como algo periódico, que se repete no tempo de acordo com a fonte geradora, foi mencionada e enfatizada pelos alunos. Dessa forma, conclui-se que os alunos possuíam em sua estrutura cognitiva a percepção de que um padrão de onda atravessa o sistema de movimento periódico é algo plausível e possível.

O ensino remoto, apesar de não possibilitar a interação em tempo real, possui uma certa vantagem que é a disponibilidade do material pedagógico para quando o aluno desejar acessar. A elaboração das atividades propostas pela SEEDF foi orientada dentro desse padrão de disponibilidade, até o fim do ano letivo. Os alunos poderiam cumprir as atividades quando desejassem; no entanto, para ajudá-los na organização, foram estipulados prazos na plataforma, sem prejuízo em caso de entrega atrasada.

Durante o ano letivo de 2020, muitas mudanças e alterações nos protocolos de avaliação, organização e exigência foram realizadas pela SEEDF. Na retomada das atividades, dentro do modelo remoto, foi prometido a disponibilização pelo governo de dados para que os alunos acessassem a plataforma online, no entanto, isso não foi colocado em prática. Os alunos que tinham acesso à internet, puderam participar das atividades na modalidade remota, enquanto os alunos que não o tinham, puderam solicitar a impressão de materiais pela escola para realização das atividades e consequente pontuação.

As atividades remotas começaram sendo orientadas ao registro de faltas quando não finalizadas. No entanto, ao fim do ano, uma nova portaria informou o abono de todas as faltas devidas à essas atividades e os alunos foram aprovados quando possuíam nota suficiente para isso.

No ano de 2021, iniciamos o ano letivo dentro da modalidade de ensino remoto devido a pandemia. Durante o primeiro semestre, os alunos aparentaram estar mais adaptados à plataforma do google sala de aula do que no ano anterior. Enquanto no ano

de 2020, os alunos apresentaram uma série de dúvidas relacionado a forma de devolução das atividades pela plataforma, se deveriam fazê-lo em software de edição de texto, em foto, em vídeo ou em PDF, no ano de 2021, essas perguntas não foram feitas na plataforma “Google Sala de Aula”.

Essa terceira aplicação do produto não foi diferenciada através das rotinas e formatos de abordagem do conteúdo. Um único produto educacional foi proposto, trabalhando alguns pontos do material pedagógico disponibilizado. Algumas avaliações foram mantidas a fim de analisar se o desempenho nessas avaliações seria alterado de certa forma pela mudança no material disponibilizado.

8.2. Método de aplicação

As videoaulas, gifs e atividades de exercício e avaliações foram organizados dentro do padrão proposto por Moreira na concepção da UEPS. Conforme mencionado anteriormente, a atividade diagnóstica a respeito dos subsunçores se mostrou ineficaz dentro da modalidade de ensino remoto, apesar de ela conseguir sondar a estrutura cognitiva dos alunos, foi pouco proveitosa no sentido de confrontar os argumentos apontados pelos alunos devido a indisponibilidade de interação em tempo real.

Figura 49 - Instrução da primeira atividade na plataforma google sala de aula



The screenshot shows a Google Classroom activity post. At the top, it says 'MATEUS SOUSA DE MEDEIROS postou uma nova atividade: 28- ... Data de entrega: 28 de jun. 23:59'. Below this, it indicates 'Item postado em 21 de jun. Editado às 19 de jul.' and 'Bom dia estudantes, hoje não teremos reunião do meet.' To the right, there are statistics: '17 Entregues' and '9 Trabalhos atribuídos'. The main instruction reads: 'Assistam o vídeo abaixo e façam a atividade do formulário. Esse formulário valerá 1,0 ponto da média bimestral de vocês.' The post is signed 'Atenciosamente, Professor Mateus Medeiros'. At the bottom, there are two attachments: 'Exercícios - Período, freq... Formulários Google' and 'Propagação de onda.mp4 Vídeo'.

Fonte: Elaboração própria (2021)

No primeiro momento, o vídeo produzido, tratando dos conceitos de ondulatória expondo a transformação da situação real para a simulação, será acompanhado de cinco exercícios, disponibilizados no anexo X, para verificar a compreensão dos alunos sobre a capacidade de fazer a leitura e conversão de medidas.

Para a segunda atividade, o simulador foi disponibilizado em conjunto com o gif produzido, uma outra atividade para avaliar a capacidade dos alunos em medir as grandezas, disponibilizada no anexo IV, indicadas no simulador e uma videoaula instrucional abordando os mesmo conceitos da primeira atividade, mas utilizando o simulador (COLORADO, 2019) como plano de fundo.

Figura 50 - Instrução da segunda atividade na plataforma google sala de aula

MATEUS SOUSA DE MEDEIROS postou uma nova atividade: 29- Aplica... Data de entrega: 2 de jul. ⋮

Item postado em 25 de jun. Editado às 19 de jul.

Bom dia pessoal!

Nesse domingo, alguns de vocês estarão realizando o PAS referente ao 1º Ano do Ensino Médio. Antes de tudo quero desejar a vocês uma excelente prova e que vocês possam colher os resultados de todo trabalho árduo e preparo para esse dia. Não teremos reunião do google meet hoje.

A atividade de hoje consiste na adaptação relacionada a um simulador de ondas em corda disponível no sítio: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/wave-on-a-string disponibilizado no link abaixo "Onda em Corda".

Dessa forma, se organizem da seguinte forma:

1º) Assistam o vídeo no Youtube explicando como os conceitos vistos na atividade 28 será abordada no simulador e como utilizar algumas das ferramentas disponibilizadas.

2º) Abram o simulador do link abaixo e vejam como vocês podem controlar a onda, tentando definir como cada variação interfere no padrão ondulatório produzido. (DICA: Utilizem a extremidade infinita para que as ondas não se sobreponham).

3º) Respondam o formulário como atividade avaliativa que comporá 1,0 ponto na média do 2º Bimestre de vocês.

O GIF "Propagação de onda" disponibilizado abaixo é uma revisão rápida dos conceitos que foram estudados na atividade 28.

Atenciosamente,
Professor Mateus Medeiros

	Atividade - Mensuração ... Formulários Google		Período, frequência e co... Vídeo do YouTube 18 minut...
	Onda em Corda - Ondas ... https://phet.colorado.edu/pt...		Propagação de onda.gif Imagem

Fonte: Elaboração própria (2021)

Para a terceira atividade, a [videoaula teórica expositiva](#) utilizando os slides do power point em conjunto com os gráficos do geogebra foi disponibilizada. Em conjunto com a videoaula, a atividade avaliativa do anexo VII foi colocada para verificar o nível de sedimentação do conhecimento na estrutura cognitiva dos alunos. Para essa atividade, as questões avaliaram prioritariamente as relações entre as grandezas velocidade de

propagação, comprimento de onda e frequência, além do nível de entendimento a respeito da amplitude gerada pela interferência de duas ondas.

Figura 51 - Instrução da terceira atividade na plataforma google sala de aula



MATEUS SOUSA DE MEDEIROS postou uma nova atividade: 30- Velocid... Data de entrega: 5 de jul.

Item postado em 28 de jun. Editado às 19 de jul.

Bom dia estudante.

20 Entregues

6 Trabalhos atribuídos

Segue uma aula a respeito dos temas de velocidade de propagação e interferência com alguns problemas recorrentes. Lembrem-se das atividades passadas, onde trabalhamos os conceitos fundamentais e atentem-se para a formalização delas.

A seguir, façam a atividade avaliativa do formulário abaixo.

Atenciosamente,
Professor Mateus Medeiros

Atividade Avaliativa - Vel...
Formulários Google

Velocidade e Interferênci...
Vídeo do YouTube 17 minut...

Fonte: Elaboração própria (2021)

Para a quarta atividade, uma outra [videoaula](#) gravada com o auxílio do simulador foi feita para explicitar a reflexão de onda em extremidades fixas ou livres, bem como tratar dos signos utilizados dentro do processo de interferência e reflexão. Além do simulador, um outro programa conhecido como “Microsoft Whiteboard” foi utilizado para registro de escrita realizada em uma mesa digitalizadora Huion HS64.

Figura 52 - Instrução da quarta atividade na plataforma google sala de aula

MATEUS SOUSA DE MEDEIROS postou uma nova atividade: 31- Re... Data de entrega: 9 de jul. 23:59

Item postado em 3 de jul. Editado às 19 de jul.

Bom dia estudantes, segue vídeo explicativo a respeito da reflexão de ondas utilizando pulsos.

17 Entregues | 9 Trabalhos atribuídos

Assistam o vídeo e realizem a atividade no google formulário logo em seguida.

Atenciosamente,
Professor Mateus Medeiros

4- Avaliação interferência
Formulários Google

Reflexão de pulso e inter...
Vídeo do YouTube 11 minut...

Fonte: Elaboração própria (2021)

Na quinta e última atividade desta sequência didática, uma avaliação foi encaminhada com exemplos de questões utilizadas em exames de admissão ao ensino superior. Apesar de ser uma avaliação já criticada ao longo deste trabalho, ela se mostrou conveniente dentro de uma realidade em que avaliações discursivas, orais e qualitativas estavam indisponíveis.

Figura 53 - Instrução da quinta atividade na plataforma google sala de aula

MATEUS SOUSA DE MEDEIROS postou uma nova atividade: 32- At... Data de entrega: 9 de jul. 23:59

Item postado em 5 de jul.

Olá estudantes,

18 Entregues | 8 Trabalhos atribuídos

Essa é a atividade final do 2º Bimestre de vocês. O prazo de entrega será para essa próxima sexta-feira (09/07)
Que vocês possam finalizar tudo em paz e ir para as férias desfrutar desse tempo de descanso.

Atenciosamente,
Professor Mateus Medeiros

5- Avaliação ondulatória
Formulários Google

Adicionar comentário para a turma...

Fonte: Elaboração própria (2021)

O método de aplicação tratou dos conceitos envolvidos no modelo ondulatório dentro de vários tipos de abordagem. A utilização do simulador, por si só, não apresentou resultados aparentemente superiores nas sequências propostas anteriormente. Devido a isso, vários formatos de abordagem do mesmo assunto foram disponibilizados com o objetivo de alcançar a aprendizagem significativa dos conceitos básicos.

Várias atividades em sequência avaliavam a aplicação desses conceitos em situações semelhantes e era esperado que os resultados apresentados pelos alunos fossem apresentando um aumento de desempenho. O vídeo que introduz o organizador prévio, apesar de apresentar informações resumidas e objetivas, não trata das possibilidades de aplicações práticas em situações reais. Para isso, outras videoaulas, em outros formatos foram encaminhadas como forma de diversificar a abordagem dos conceitos.

Esta sequência didática se concentrou na aprendizagem significativa dos conceitos de período, frequência, velocidade de propagação, velocidade de oscilação e nas relações entre essas grandezas. Não foi objetivo o estudo e aplicação de todos os conceitos nos mais variados tipos de onda: mecânica ou eletromagnética; longitudinal, transversal e misto. No entanto, a base conceitual formada por essa sequência didática seria a conquista do objetivo deste produto educacional, uma vez que as diferentes classificações de modelos ondulatórios são baseadas em diferenças fenomenológicas específicas.

8.3. Aplicação e resultados

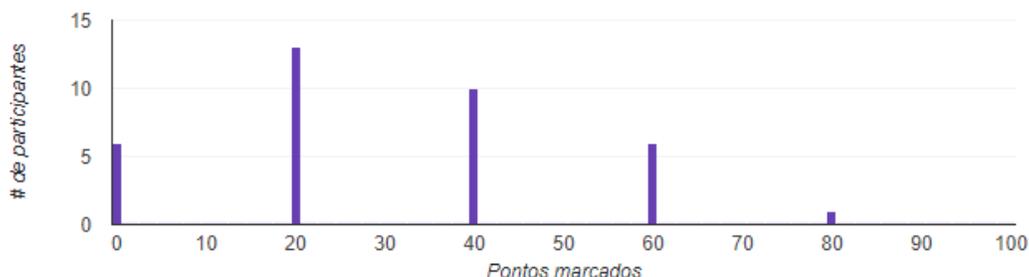
8.3.1. Fase I: Diagnóstico e introdução.

O [vídeo](#) que trata dos princípios de ondulatória enfatizando a transição de uma experiência real para uma animação foi disponibilizado na plataforma google drive. Nela, o histórico de visualizações e os gráficos de retenção de público não são gerados. A atividade a seguir foi elaborada a fim de detectar o que os alunos possuíam como conceito desenvolvido acerca de período, comprimento de onda e frequência para sistemas periódicos, que não sejam necessariamente, o de ondas.

Figura 54 - Gráfico de desempenho para a primeira atividade

Mediano 30,56 / 100 pontos	Mediana 20 / 100 pontos	Intervalo 0 - 80 pontos
--------------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------

Distribuição do total de pontos



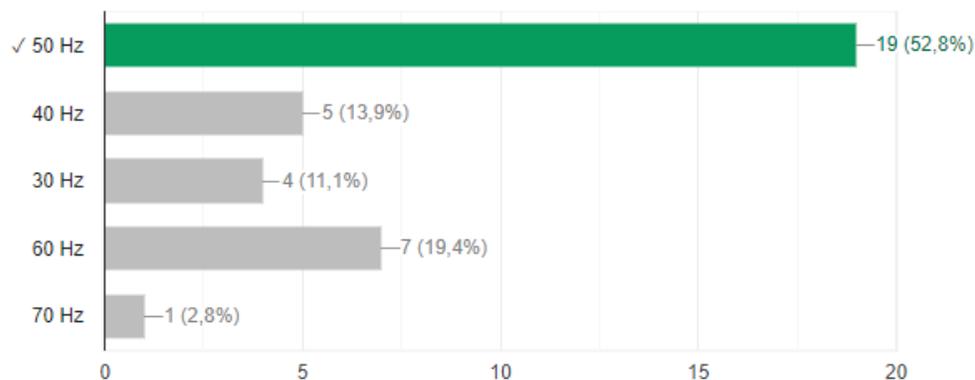
Fonte: Elaboração própria (2021)

Apesar da média geral na primeira atividade não ter sido alta, alguns dados são interessantes. Os alunos conseguiram realizar em sua maioria (53%) a conversão entre as escalas de rotações por minuto e hertz, apesar das unidades de medida não serem tratadas na videoaula. Esse resultado sugere que eles fizeram uma pesquisa a respeito de tal conversão.

Figura 55 - Resultado para a questão 1 da primeira atividade

O motor de um carro durante a aceleração, indica 3000 rpm (rotações por minuto). Qual a sua frequência, medida em Hertz (oscilações por segundo - Hz)?

19 / 36 respostas corretas



Fonte: Elaboração própria (2021)

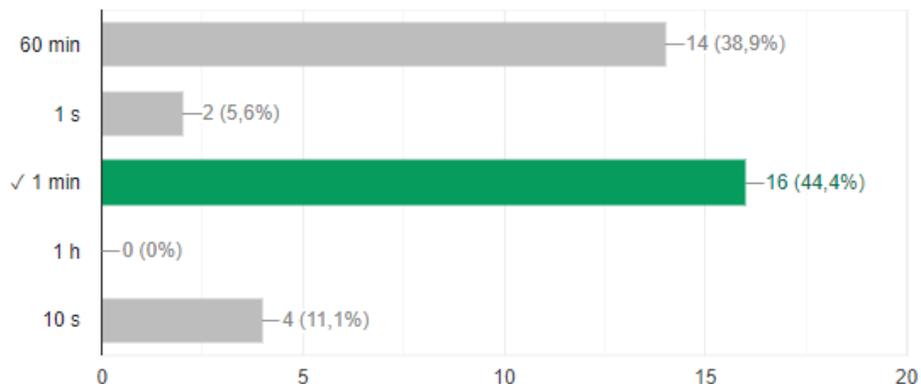
Para a questão que avaliava a compreensão do que seria o período do ponteiro dos segundos para um relógio, o resultado não foi tão significativo. Apesar de ser uma pergunta simples (“qual o período dos ponteiros dos segundos em um relógio?”), o acerto de apenas 45% foi muito baixo. Apesar da seleção correta ser baixa, a opção de 60

minutos também teve um alto índice de marcações, deixando claro que os alunos costumam olhar para o número desacompanhado da unidade de medida, um problema comum durante as aulas ministradas durante a minha carreira.

Figura 56 - Resultado para a questão 2 da primeira atividade

O ponteiro dos segundos de um relógio possui um período equivalente a:

16 / 36 respostas corretas



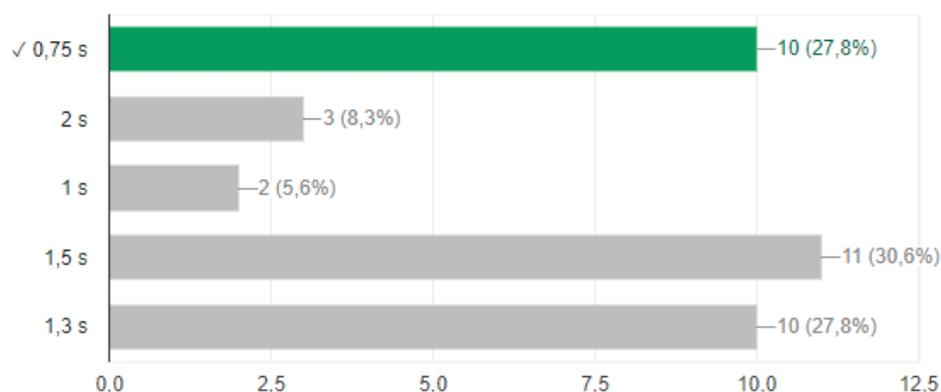
Fonte: Elaboração própria (2021)

Para a questão em que estava sendo avaliado a capacidade dos alunos em compreender o tempo para um ciclo completo a partir de uma informação sobre rotações por minuto. O resultado foi bem divergente; três opções foram selecionadas com frequência. No entanto, a opção correta não foi a que teve maior quantidade de seleções. A opção que indicaria o valor da frequência em Hertz foi a mais escolhida. Essa opção foi colocada justamente para verificar se os alunos compreenderiam a diferença entre período e frequência e perceberiam que nessa questão, não estava sendo pedido a frequência, mas o período.

Figura 57 - Resultado para a questão 3 da primeira atividade

A cadência de uma bicicleta é definida como a velocidade de giro dos pedais, medida em RPM. Um sensor identifica que um ciclista está com uma cadência de 80 rpm. Qual o tempo, em segundos, para que esse ciclista complete uma pedalada?

10 / 36 respostas corretas



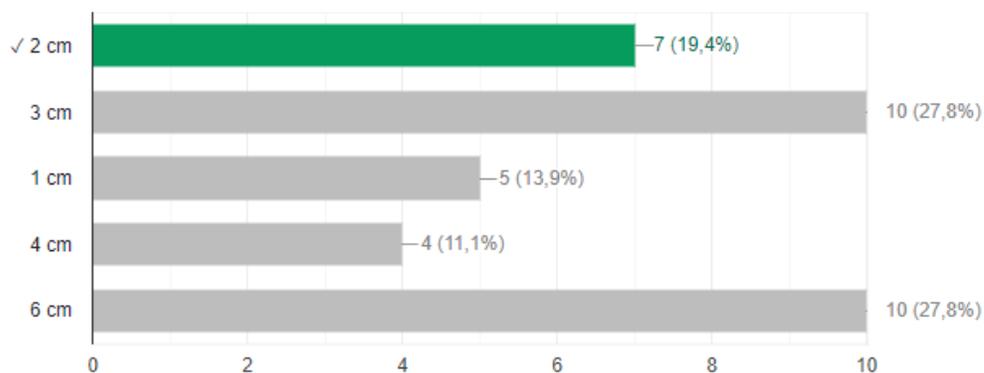
Fonte: Elaboração própria (2021)

Para a atividade de leitura de uma medida a partir de escalas, o desempenho dos alunos foi mínimo. No enunciado em que eles foram instruídos a medir o comprimento de onda para uma imagem, o acerto foi de apenas 19,4%, sendo as medidas erradas com maior seleção.

Figura 58 - Resultado para a questão 4 da primeira atividade

Assumindo que os eixos estão na escala centímetro. Qual o comprimento da onda abaixo?

7 / 36 respostas corretas



Fonte: Elaboração própria (2021)

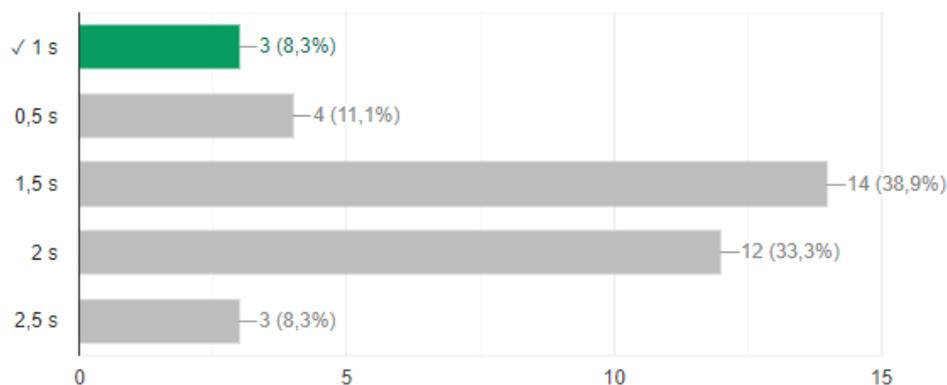
A última questão era bem mais elaborada do que as outras dessa primeira atividade. Ela foi colocada aqui para verificar a capacidade que eles teriam desenvolvido a partir do vídeo de relacionar as grandezas colocadas. Sem surpresas, foi a questão

com o menor desempenho de todas elas e com uma distribuição de respostas que indicaria “chutes”.

Figura 59 - Resultado para a questão 5 da primeira atividade

Assumindo que os eixos estão na escala centímetro, que a frequência dessa onda é de 2 Hz. Determine quanto tempo a onda leva para se propagar por 4 cm.

3 / 36 respostas corretas



Fonte: Elaboração própria (2021)

O vídeo gerado com a animação não foi suficiente para que os alunos conseguissem cumprir a atividade proposta. A conexão entre os conceitos utilizados no vídeo com a ideia de movimento periódico não é tão simples de ser feita. Como atividade inicial, o objetivo era verificar se eles conseguiriam abstrair as ideias contidas para uma classificação mais geral de movimento, no caso, o periódico.

Para que o vídeo fosse melhor aproveitado, uma aula com interação em tempo real seria importante para discussão das observações e dos conceitos que estão implícitos durante todo o vídeo. No entanto, a aprendizagem focada nessa primeira etapa é justamente a representacional, que se ocupa e direciona a compreensão dos signos que serão utilizados durante toda a sequência.

Julgar se esses signos foram devidamente alocados na estrutura cognitiva dos alunos foi o ponto de análise diante das avaliações seguintes. Todo novo conhecimento precisa de tempo para ser acomodado na estrutura cognitiva; uma sequência efetiva é aquela que atinge seu objetivo ao final, possibilitando evidências da aprendizagem significativa proposicional.

8.3.2. Fase II: Utilizando o simulador e o [GIF](#) como recursos audiovisuais para o ensino dos conceitos de período, frequência, comprimento de onda e velocidade de propagação.

A instrução para a segunda atividade foi a mais densa e complexa de todas da sequência. A quantidade relativa de visualizações da [videoaula](#) utilizando o simulador apresentou um aumento considerável quando comparada com as da aplicação anterior. Foram 17 visualizações, em relação aos 50 alunos das duas turmas, nesse período.

Figura 60 - Indicação das 17 visualizações do vídeo da fase II no período de aplicação
O vídeo foi assistido 17 vezes durante as datas selecionadas



Fonte: Youtube (2021)

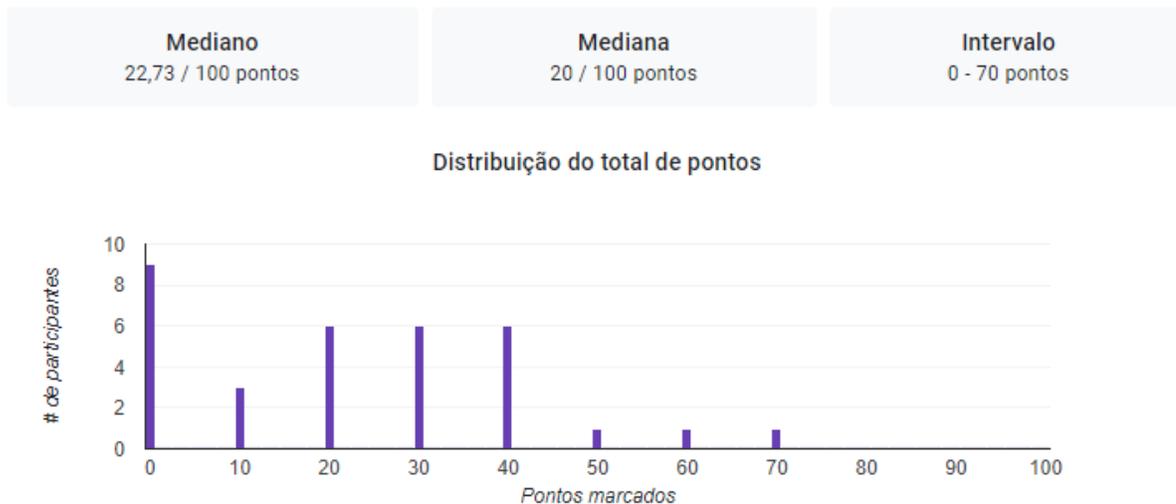
Isso pode ser apenas uma coincidência, no entanto, o vídeo de transposição do real para a animação pode ter sido um fator motivador para que os alunos compreendessem o modelo exposto pelo simulador. Esse entendimento pode ter sido justamente o que permitiu que eles visualizassem a videoaula.

Com o aumento da quantidade de visualizações em relação ao total de alunos da videoaula, era esperado um maior rendimento na atividade de mensuração disponibilizada no anexo IV e alvo da avaliação para o material pedagógico nesse dia. Apesar desse aumento relativo quando comparado ao ano anterior, é importante ressaltar que a quantidade de visualizações permaneceu baixa.

Mesmo com algumas questões similares tendo sido mencionadas, com detalhes sobre o uso dos instrumentos de medida, na videoaula, grande parte dos alunos não

responderam a atividade de forma adequada. O resultado geral apresentado está indicado abaixo.

Figura 61 - Resultado geral da segunda atividade



Fonte: Elaboração própria (2021)

A distribuição das respostas para cada questão dessa atividade foi bem alta. Não existiu uma questão com as respostas dos alunos concentradas em um único item. Isso indicaria que eles não cumpriram a atividade com atenção, mas que simplesmente selecionaram as opções de forma aleatória. Um dos pontos que pode ter contribuído para essa postura, foi a longa instrução e a quantidade de quatro materiais anexos, gerando muita informação e dificuldade na interpretação do que eles deveriam fazer.

Outro fator que tornou a instrumentação do simulador ineficiente, foi o fato de a maioria dos alunos usarem apenas smartphones para acompanhar as funcionalidades do “Google Sala de Aula”. Apesar de a atividade avaliativa estar direcionada aos instrumentos de medição do simulador, a falta de visualizações da videoaula disponibilizada pode ter sido um fator crucial para que os resultados acima.

8.3.3. Fase III: Videoaula com exposição teórica dos conceitos básicos de onda e interferência.

Para a fase III, uma aula expositiva teórica utilizando o power point foi proposta como instrumento pedagógico que direciona ao processo de reconciliação integrativa. Enquanto as fases I e II apresentaram uma característica de definição de signos e conceitos por meio do processo de diferenciação progressiva, a fase III é proposta como

sendo um instrumento de sintetização e ordenamento de toda informação disponibilizada nas fases anteriores.

Novamente, para essa videoaula aplicada nas duas turmas, o índice de visualizações foi bem superior aos apresentados no ano anterior. Para as duas turmas em que houve a aplicação do produto educacional, o número de visualizações no período de disponibilidade para os alunos foi de treze, inferior às da atividade anterior. No entanto, com relação ao tamanho das duas turmas, as visualizações foram proporcionalmente superiores.

Figura 62 - Indicação das 13 visualizações do vídeo da etapa III no período de aplicação

O vídeo foi assistido 13 vezes durante as datas selecionadas

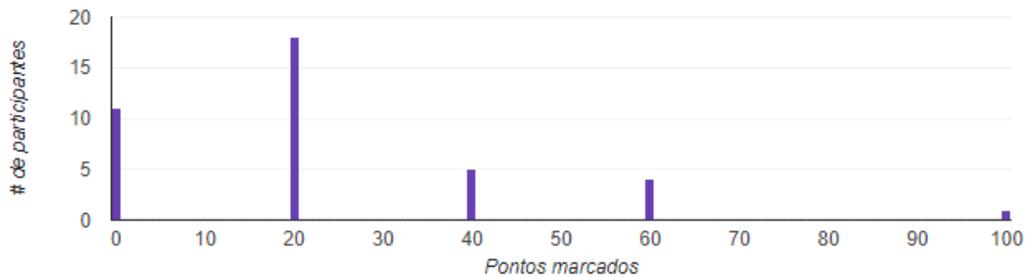


A atividade avaliativa aplicada nessa etapa foi a contida no anexo VII. O intuito era verificar se as relações entre velocidade de propagação, período, frequência e comprimento de onda estavam consolidadas, além dos conceitos de amplitude gerada por padrões de interferência.

Figura 63 - Resultado da atividade da fase III



Distribuição do total de pontos



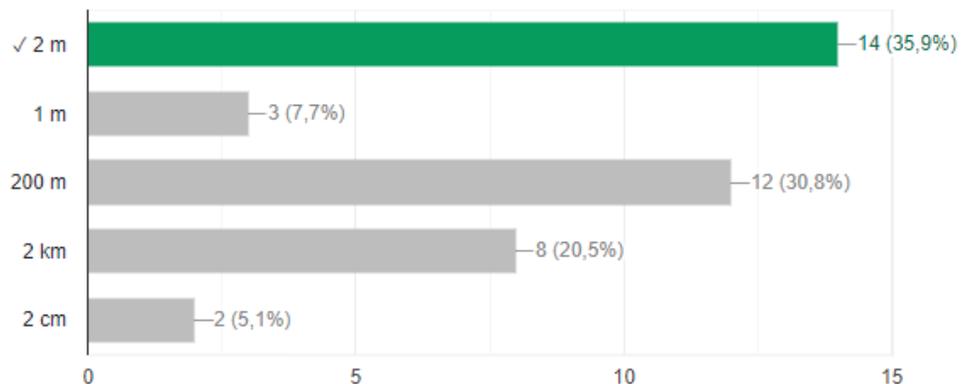
Fonte: Elaboração própria (2021)

A média aritmética foi bem próxima da atividade anterior. No entanto, uma diferença ocorreu nas resoluções das questões dessa fase. A concentração de respostas foi bem maior do que as apresentadas anteriormente. Isso sugere que os alunos não apenas selecionaram de forma aleatória, mas que tentaram acertá-las. As distribuições de marcação estão elencadas em ordem crescente de acerto.

Figura 64 - Questão com o maior índice de acerto na atividade três

Uma onda se propaga em uma corda com velocidade de 20 m/s. Assumindo que a fonte geradora dessa onda oscila com uma frequência de 10 Hz. Qual o comprimento de onda?

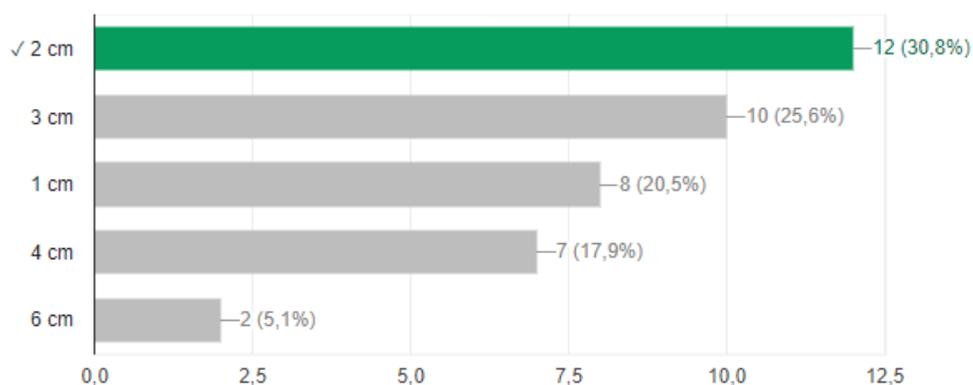
14 / 39 respostas corretas



Fonte: Elaboração própria (2021)

Figura 65 - Questão com o segundo maior índice de acerto na atividade três
Assumindo que os eixos estão na escala centímetro. Qual o comprimento da onda gerada pela interferência das duas ondas indicadas no instante abaixo?

12 / 39 respostas corretas



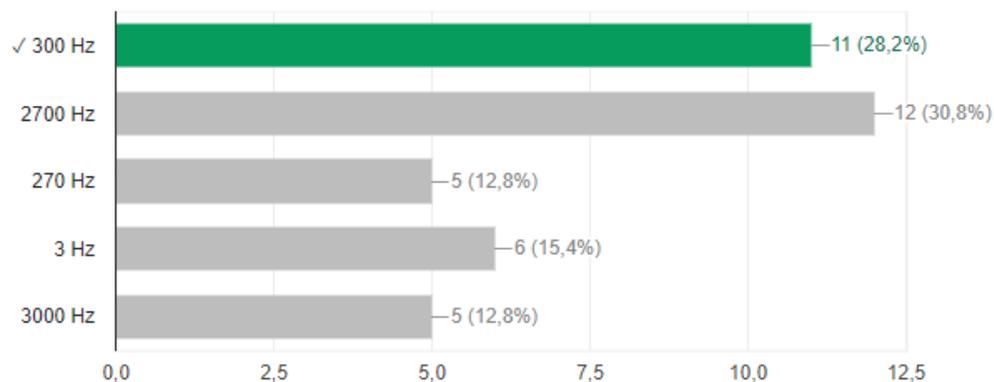
Fonte: Elaboração própria (2021)

As duas figuras acima mostram as duas questões com os maiores índices de acerto. Apesar disso, o percentual não ultrapassou os 40%, o que é baixo. As duas respostas apresentadas com maior frequência na figura 64 foram a que indica 2 metros e a de 200 metros. A primeira, correta, é encontrada pela divisão da velocidade pela frequência, que indica o comprimento de onda. A segunda, errada, é encontrada por meio da multiplicação dos dois valores disponibilizados na questão. Isso poderia indicar que os alunos observaram a operação matemática que gera o resultado, o produto. No entanto, mais importante do que saber observar a operação matemática envolvida, é o formato com que as variáveis se relacionam.

Já para a questão apontada na figura 65, a distribuição de respostas selecionadas pelos alunos foi mais próxima. Como é a primeira atividade em que eles estão sendo avaliados referente ao conteúdo de interferência, é provável a existência de confusões associadas à estrutura cognitiva e aos signos utilizados.

Figura 66 - Questão com o terceiro maior índice de acerto na atividade três
Uma onda possui comprimento de 30 cm. Assumindo que ela se propaga ao longo de uma corda com velocidade de 90 m/s. Qual a frequência de oscilação da fonte dessa onda? OBS: Atenção na unidade de medida utilizada.

11 / 39 respostas corretas



Fonte: Elaboração própria (2021)

Na questão com índice intermediário de acertos, um fato curioso é o da existência de uma opção incorreta sendo mais escolhida do que a correta. Novamente, como na primeira questão aqui mencionada, a opção com maior quantidade de seleções é resultado da multiplicação das duas grandezas mencionadas no texto.

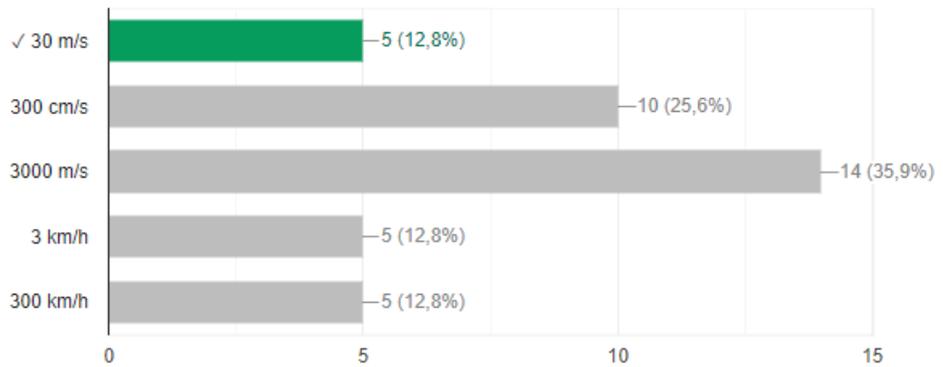
A estrutura cognitiva dos alunos, dessa forma, possui a multiplicação de valores como sendo a operação que resultará na resposta. Apesar de a velocidade de propagação ser apresentada como o produto de outras duas grandezas, era importante que os alunos fizessem a diferenciação da relação de forma apropriada.

O ensino de física não deve ser baseado na aplicação de equações. Por esse motivo, toda essa sequência aborda cuidadosamente o significado de cada grandeza e a correspondente relação matemática que decorre da análise do modelo fenomenológico. No entanto, a falta de uso desses recursos, por parte dos alunos, foi crucial para que o desempenho registrado fosse aquém do que era esperado.

Figura 67 - Questão com o segundo pior índice de acerto na atividade três

Qual a velocidade de uma onda, que se propaga em uma corda, com comprimento de onda 60 cm e frequência 50 Hz? OBS: Atenção na unidade de medida da resposta.

5 / 39 respostas corretas



Fonte: Elaboração própria (2021)

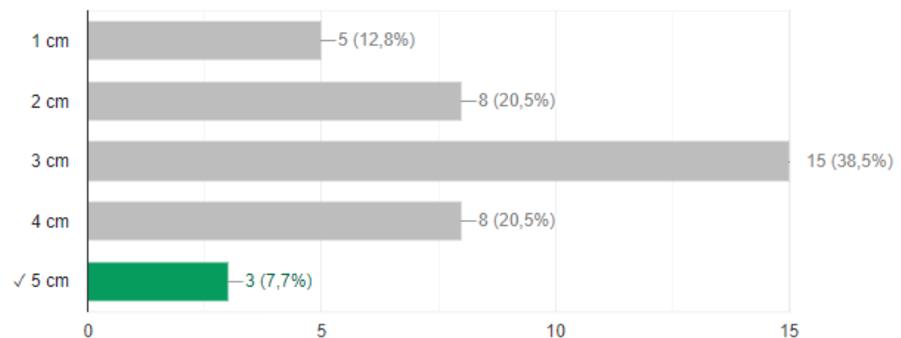
Na questão acima, é visível e notório que os alunos não visualizam de forma apropriada a unidade de medida utilizada. A grande parte deles, mesmo na questão com enunciado que direciona especificamente a relação multiplicativa entre comprimento de onda e frequência, sequer percebeu a unidade de medida indicada por centímetros.

Isso expôs a necessidade de enfatizar a importância das unidades de medida no cotidiano e nas relações que os alunos utilizam. É importante ressaltar que toda essa tratativa está exposta nas videoaulas anteriores, mas que parece não ter sido consolidada na estrutura cognitiva deles.

Figura 68 - Questão com o pior índice de acerto na questão três

Assumindo que os eixos estão na escala centímetro. Qual a amplitude da onda gerada pela interferência das duas ondas indicadas no instante abaixo?

3 / 39 respostas corretas



Fonte: Elaboração própria (2021)

A questão com o menor índice de acertos foi justamente a que trata da interferência construtiva entre dois padrões ondulatórios com a mesma frequência. A maior quantidade de respostas selecionadas pelos alunos simplesmente foi direcionada a onda de maior amplitude. A maioria deles não parece ter visto ou sequer pesquisado quais seriam os efeitos da interferência construtiva.

8.3.4. Fase IV: Videoaula com simulador e exposição teórica a respeito do processo de reflexão e interferência.

A fase IV foi elaborada com o objetivo de permitir os alunos realizarem associações entre a reflexão de uma onda e o tipo de extremidade refletora do meio onde ela se propaga. Além disso, eles deveriam reconhecer os padrões de interferência que seriam formados pelo encontro de ondas.

A videoaula com o uso do simulador e do Microsoft Whiteboard teve apenas quatro visualizações no período de disponibilidade para essa turma. Não foi encontrado um motivo para poucas visualizações, embora possa se supor que a mudança de realidade e os problemas enfrentados pelo isolamento possam ter contribuído de forma significativa para tal fato. Além disso, o engajamento apresentado pelas turmas com as atividades virtuais propostas por esta sequência didática foi extremamente baixo.

Figura 69 - Visualizações da videoaula sobre reflexão de pulsos e padrões de interferência

O vídeo foi assistido 4 vezes durante as datas selecionadas

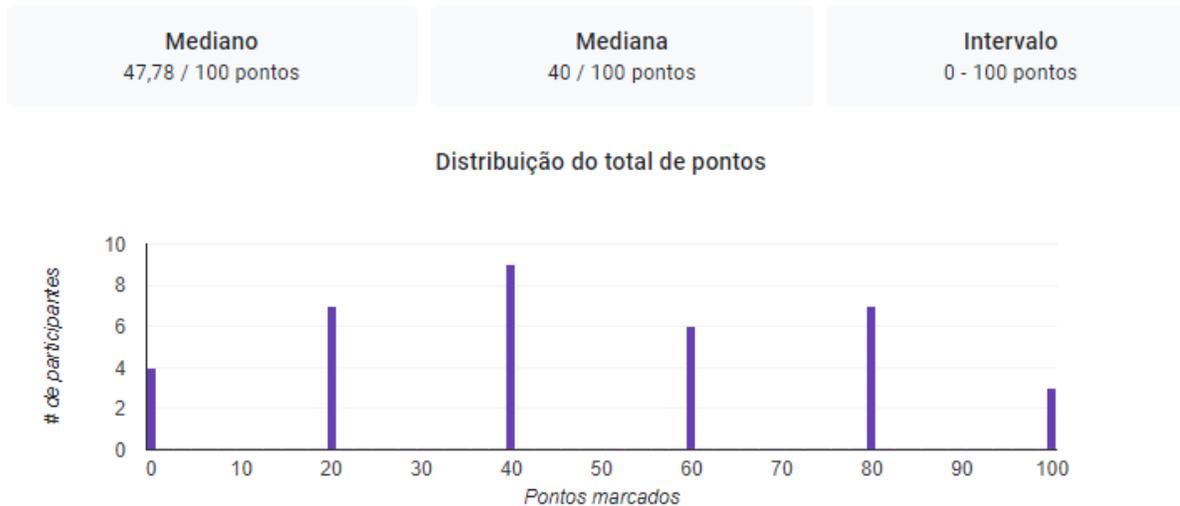


Apesar do baixo número de visualizações, o desempenho dos alunos na atividade proposta (Anexo VIII) foi bem acima das médias apresentadas nas outras atividades.

Como estávamos em finalização de semestre, as atividades avaliativas podem ter sido cumpridas com mais afinco e atenção por parte dos alunos. Apesar da baixa quantidade de visualizações da videoaula, um fator que pode ter contribuído com a melhora da média geral da atividade foi a tratativa a respeito dos conceitos ligados aos padrões de interferência abordada na atividade anterior a esta.

Na atividade proposta pela fase III, são feitos questionamentos a respeito do comprimento de onda e amplitude gerados por um padrão de interferência dentro dos mesmos moldes da atividade atual. Para essas duas questões colocadas, o acerto foi de 7%, referente à aprendizagem do conceito de amplitude produzido pela interferência e 31% para o comprimento de onda. Dessa forma, os desempenhos abaixo relacionados seriam justificados não pela proposta pedagógica contida no vídeo, mas pelo conjunto de informações disponibilizadas durante toda a sequência e por toda a aprendizagem que, apesar de não ter sido demonstrada nas atividades anteriores, pode ter sido concretizada nesta última.

Figura 70 - Resultados para a avaliação da quarta atividade



Fonte: Elaboração própria (2021)

A média aritmética não foi alta; no entanto, é notável a diferença do resultado dessa última atividade para as outras. Enquanto as médias se mantinham na faixa de 20 a 30 por cento anteriormente, pela primeira vez na sequência, a média total das atividades realizadas alcançou o patamar de 47%.

Esse aumento considerável na média da atividade pode ter sido justificado pelo fato de ter sido a primeira atividade da sequência que utilizou o nome “avaliação” em sua descrição. Pode-se supor que na atividade da fase III, anterior a esta, a atividade chamada de “atividade avaliativa” não causou o mesmo impacto nos alunos para que eles se empenhassem em cumpri-la de forma adequada. Isso indicaria que o título da atividade “avaliação” gera engajamento dos alunos com a atividade.

Conjecturar uma justificativa para o resultado superior da fase IV em relação as demais é algo difícil e complexo. As variáveis presentes na análise de uma avaliação são extensas. Por exemplo, o aluno pode ter indicado sinais de compreensão do fenômeno; ainda assim, ter simplesmente copiado a resposta de outro; além disso, a falta de interação entre professor-aluno impede que um diagnóstico mais preciso seja realizado em torno do objeto avaliação.

Apesar disso, a avaliação pode ter alcançado patamares superiores pelo simples fato de a base das questões terem sido propostas a partir de imagens, o que facilita o processo de compreensão. No entanto, a atividade de mensuração proposta na fase II, rica em imagens, não obteve o mesmo resultado. Comparando essas duas avaliações, da fase II com a IV, os resultados parecem indicar que os alunos possuem maior facilidade em compreender o fenômeno produzido pela interferência de ondas do que em medir grandezas para uma única onda.

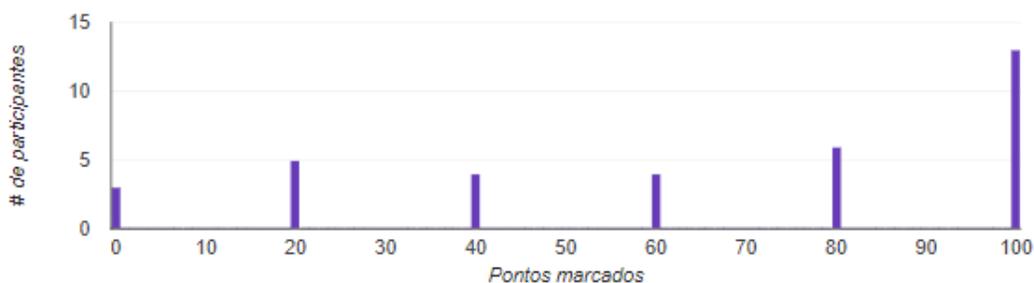
8.3.5. Fase V: Avaliação final.

A última fase da sequência didática proposta foi a avaliação da aprendizagem significativa em torno dos conceitos de ondulatória. O objetivo de toda a sequência foi na aprendizagem significativa dos conceitos de comprimento de onda, frequência, período, propagação e oscilação presentes nos modelos de uma onda em corda, bem como no modelo produzido pela interferência entre duas ou mais ondas.

Figura 71 - Desempenho geral para a avaliação final



Distribuição do total de pontos



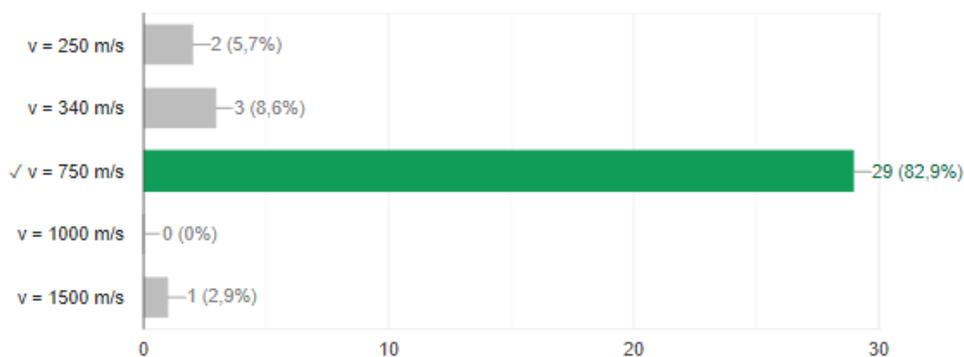
Fonte: Elaboração própria (2021)

O resultado geral da turma para a avaliação final foi surpreendente. Enquanto nas atividades iniciais, o desempenho médio permanecia até o limite de 30%, na penúltima atividade alcançou o patamar de 47%, nesta última, alcançar o patamar dos 65% de média geral foi uma surpresa completa.

Apesar da média geral apresentar o valor de 65%, o ensino remoto impossibilitou quaisquer conclusões precisas. No entanto, observando os gráficos das distribuições das respostas, podemos perceber os pontos que mais tiveram déficits.

Figura 72 - Respostas registradas pelos alunos na questão com o maior índice de acertos (UFPR/2019) O gráfico abaixo apresenta a frequência f de uma onda sonora que se propaga num dado meio em função do comprimento de onda λ dessa onda nesse meio. Com base nesse gráfico, assinale a alternativa que expressa corretamente o módulo da velocidade do som v no meio considerado, quando a frequência da onda sonora é de 25 Hz.

29 / 35 respostas corretas



Fonte: Elaboração própria (2021)

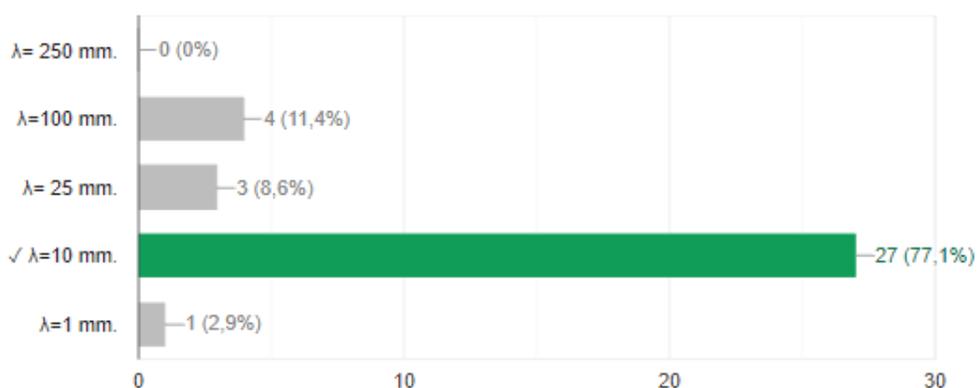
O grande índice de acerto para uma questão que exigia a leitura de um gráfico com a conexão entre a informação deste e a interpretação de um comando indicaria que os alunos compreenderam a relação exposta por $v = \lambda f$. No entanto, como a relação multiplicativa era traduzida justamente pelo produto das duas grandezas relacionadas, isso precisaria ser mais bem analisado em outras questões e abordagens, como por exemplo, uma situação em que se solicitaria o comprimento de onda, a frequência ou até mesmo o período de um fenômeno ondulatório.

Enquanto isso, em segundo lugar no número de respostas certas, similar ao anterior, está uma questão em que a relação é exatamente a mesma. No entanto, em vez de ser informado a frequência de forma direta, o período é a grandeza utilizada para tratar da característica de repetição do movimento. Essa simples alteração buscou avaliar se os alunos conseguiram compreender as relações e outras formas de exposição, como, por exemplo, trazer o período de uma onda e não a frequência (como nos exemplos utilizados ao longo da sequência didática).

Figura 73 - Respostas registradas pelos alunos na questão com o segundo maior índice de acertos

(UFPR/2020) Uma onda sonora se propaga num meio em que sua velocidade, em módulo, vale 500 m/s. Sabe-se que o período dessa onda é de 0,00002 s. Considerando os dados apresentados, a onda nesse meio apresenta o seguinte comprimento de onda :

27 / 35 respostas corretas



Fonte: Elaboração própria (2021)

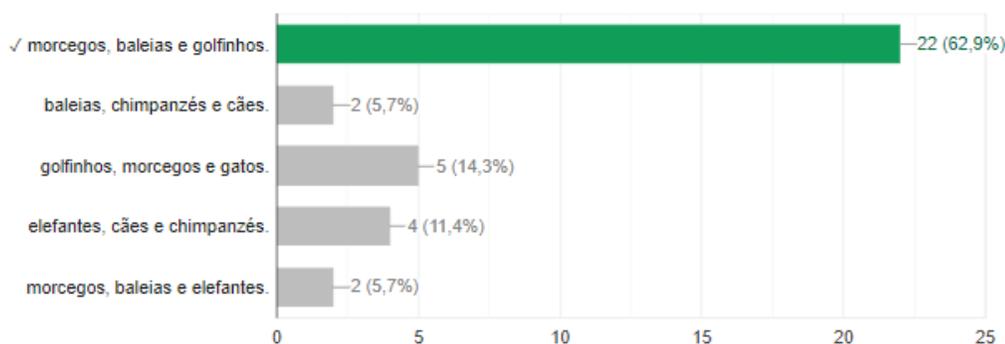
Buscando a terceira questão que tem a função de avaliar as relações $v = \lambda f$ e $T = \frac{1}{f}$, o resultado segue o padrão, embora certa divergência das respostas comece a aparecer. Nessa terceira questão, não é suficiente que os alunos realizem os cálculos

propostos, mas é esperado que eles consigam relacionar os resultados a uma tabela que expõe as frequências audíveis por diversos tipos de animais.

Figura 74 - Respostas registradas pelos alunos na questão com o terceiro maior índice de acertos

(UEFS BA/2017) Ondas sonoras são ondas mecânicas, produzidas pela deformação do meio por onde se propagam. Dependendo da frequência da fonte emissora dessas ondas, elas podem ou não ser detectadas pela orelha humana e pelas orelhas de outros animais. A tabela apresenta as faixas de frequências detectadas por alguns animais. Considere uma onda sonora propagando-se pelo ar com velocidade de 340 m/s. Se o comprimento de onda dessa onda for igual a 5 mm, dos animais indicados na tabela, ela poderá ser detectada apenas por

22 / 35 respostas corretas



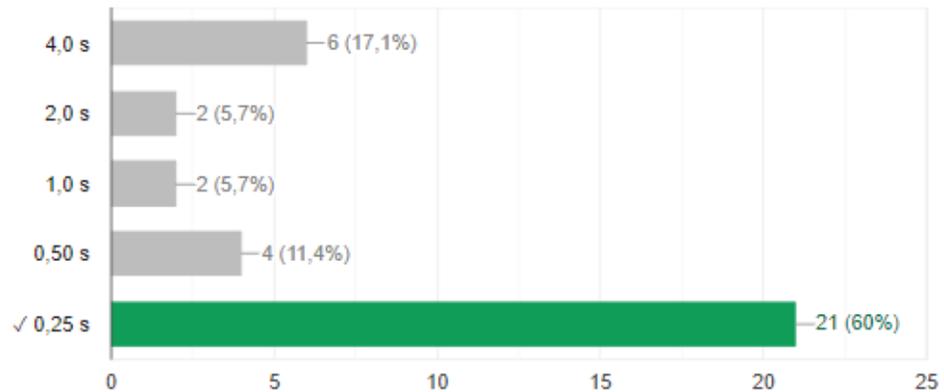
Fonte: Elaboração própria

A questão que possuía o nível mais básico conceitual não foi a que obteve o maior índice de acertos. Apesar disso, registrou 21 respostas corretas contra 29 da questão com o maior número de acertos. Essa variação poderia ter sido ocasionada devido a facilidade da questão, pois como resultado de anos de experiência como docente, observo que os alunos não organizam o raciocínio com cuidado quando se deparam com uma questão de aparência “fácil”.

Além disso, existe o fato de que a questão não associa o conceito de período e frequência dentro do modelo ondulatório estudado durante a sequência, o que representou a necessidade de o aluno em utilizar o conceito para onda se propagando em corda no modelo de oscilação de um barco devido as ondas do mar.

Figura 75 - Respostas registradas pelos alunos na questão com o quarto maior índice de acertos (Mackenzie SP/2017) Um pescador observa que seu barco oscila na direção vertical, para baixo e para cima 200 vezes em 50 s. O período de uma oscilação do barco é

21 / 35 respostas corretas



Fonte: Elaboração própria (2021)

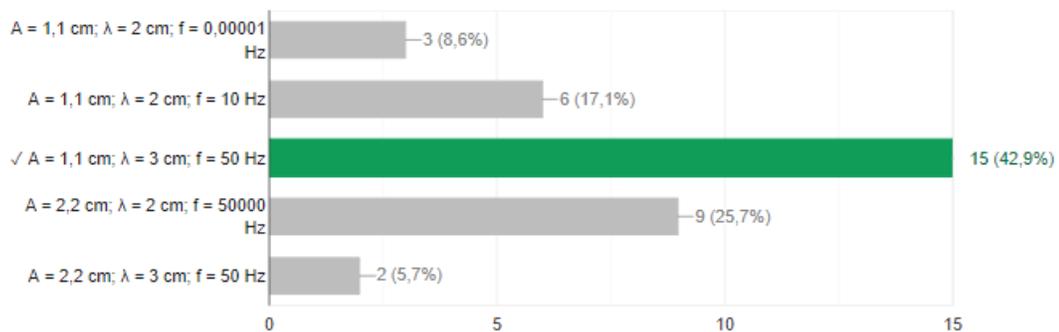
Definir com exatidão a causa dessa menor quantidade de acertos não foi possível devido ao ensino com acesso remoto. No entanto, as análises aqui feitas são úteis para a elaboração de um produto educacional final destinado ao ensino à distância.

Como podemos perceber, a distribuição de respostas para essas quatro primeiras questões foi extremamente baixa. Isto é, o número de alunos que selecionou respostas equivocadas foi bem reduzida. Isto pode ser explicado ou pelo fato de grande parte deles ter compreendido de forma significativa os conceitos e relações propostos, ou pelo fato de os alunos terem copiado as respostas de seus colegas.

Figura 76 - Respostas registradas pelos alunos na questão com o menor índice de acertos

(UNIFOR CE/2018) A figura a seguir representa um trecho de uma onda que se propaga a uma velocidade de 150 m/s. Com relação a essa figura, qual item representa corretamente a amplitude (A), o comprimento de onda (λ) e a frequência (f)?

15 / 35 respostas corretas



Fonte: Elaboração própria (2021)

Analisando a distribuição de respostas para a questão com a maior dificuldade de todas as cinco disponibilizadas nessa avaliação, não houve surpresa de ser a com menor número de acertos. No entanto, o índice de acertos ainda foi considerado alto em se tratando do nível de dificuldade e exigência da questão.

Os alunos precisavam analisar os dados e informações contidos em uma imagem e relacionar com a grandeza de velocidade dado pela questão para encontrar as três características solicitadas. A distribuição de respostas certas e erradas indicou que os alunos não copiaram as respostas uns dos outros. No entanto, é impossível saber como eles realizaram a atividade proposta e dentro de quais circunstâncias isso ocorreu.

De forma geral, a avaliação final dessa terceira aplicação do produto se sobressaiu às mesmas avaliações aplicadas nos produtos anteriores. Os alunos, no entanto, não acessaram as aulas anteriores de acordo com os dados fornecidos pela plataforma YouTube, o que implica em um sucesso nessa avaliação final sem uma causa conhecida e um motivo claro.

8.4. Conclusões gerais sobre a aplicação de 2021

Partindo da premissa de que o resultado foi gerado com honestidade por parte dos alunos, o resultado geral de toda a sequência direciona a remodelação da avaliação, principalmente nas atividades iniciais. Introduzir outras situações nas atividades propostas, além de propagação de onda em corda, apresentou um baixo índice de acertos. Apesar de os conceitos abordados durante a sequência serem, teoricamente, trabalhados no ano anterior durante o conteúdo de mecânica, a maior parte dos alunos alegou nunca ter tido contato com tais ideias.

A atividade a respeito do uso dos instrumentos de medição será proposta após uma atividade de identificação das grandezas e signos presentes no modelo ondulatório, e não, em conjunto como foi disponibilizado na fase II. Para isso, em vez de a atividade proposta na fase I ser direcionada à avaliação diagnóstica dos signos e conceitos de período e frequência aplicados em situações anteriores, ela conterá imagens de padrões ondulatórios para identificação das características trabalhadas no vídeo.

O vídeo de transição de uma situação real para a animação apesar de curto e objetivo não aborda todos os conceitos e relações em níveis de detalhamento suficientes. Dessa forma, o GIF produzido será incluído durante toda a sequência didática afim de relacionar o conhecimento abordado com a informação anterior pelo processo de reconciliação integrativa.

Avaliar a capacidade pedagógica que os três vídeos, utilizados nesta última sequência didática, como elementos para os alunos obterem conhecimento tornou-se uma tarefa impossível. Em primeiro lugar, devido à incapacidade de avaliar pelas interações entre professor e aluno; em segundo lugar, porque o número de visualizações dos alunos foi extremamente baixa, indicando que eles estavam preocupados em alcançar a média 5,0 para aprovação, se dedicando o mínimo possível.

O produto educacional gerado e proposto por esse trabalho pressupões que os alunos utilizem o que foi construído para obter conhecimento. Toda sequência foi idealizada em um formato que pudesse ser acessado por todos os alunos, tendo sido testada dentro de um ambiente remoto. No entanto, a quantidade de acessos, visualizações e interação com os materiais produzidos foram demasiadamente baixos.

É importante ressaltar que este produto educacional foi aplicado em uma escola pública do Distrito Federal, onde a maioria dos alunos não tinha acesso livre a um computador e à internet, o que foi considerado fator importante para o baixo engajamento deles com os materiais disponibilizados.

9. Considerações finais

A criação de uma sequência didática, dentro dos modelos estabelecidos por Moreira para a UEPS, conduz o professor, naturalmente, a um processo de reflexão sobre os materiais a serem criados e disponibilizados. O modelo ausubeliano de aprendizagem significativa busca analisar a alteração cognitiva devida ao confronto com novo conhecimento.

Ao longo do processo de pesquisa, a teoria cognitivista ausubeliana apresentou o limite de não ser suficiente para uma justificativa associada à diferentes resultados para uma sequência didática idêntica. Apesar da concepção de que o interesse do aluno é fator crucial para que o material potencialmente significativo alcance o seu objetivo, as interações humanas durante a fase presencial se mostraram fator de forte influência sobre o processo de assimilação.

Apesar da limitação da teoria ausubeliana em analisar o ambiente de aprendizagem dentro da perspectiva de interação entre o aluno e o material, os resultados parecem indicar que a situação emocional dos alunos interfere diretamente no seu empenho e dedicação.

Para a primeira aplicação da sequência didática, foi notado uma possível incompatibilidade entre o sistema educacional e a metodologia visando a aprendizagem por descoberta. Tal aprendizagem requereria uma busca ativa dos alunos pela aprendizagem proposta, no entanto, o formato com que eles se relacionam com o ambiente escolar está pautado em primeiro lugar na avaliação tradicional e no desejo de alcançar a média 5,0 para aprovação na escola pública.

Dessa forma, o modelo pedagógico baseado na aprendizagem por descoberta se demonstrou pouco efetivo para os processos de assimilação necessários e visados pelo planejamento. Tal aprendizagem possui, em tese, uma estrutura compatível com os objetivos da aprendizagem significativa. No entanto, para que ela seja possível, seria necessária uma proposição de alteração sistêmica do modelo de ensino, inclusive na estrutura da avaliação.

O novo Ensino Médio propões certas diretrizes que possibilitariam essa referida mudança sistêmica. Mas, enquanto ela não é concluída, o modelo baseado na aprendizagem por recepção com baixa intervenção do professor, poderia ser uma possibilidade que adaptaria os alunos a nova realidade de “exigência”. Mas, mesmo assim, a estrutura proposta pelo novo Ensino Médio não é garantia de que o sistema comportará adequadamente a aprendizagem por descoberta. Isso exige de nós, professores, uma postura de comprometimento em oferecer as melhores metodologias que já conhecemos, além de compartilharmos uns com os outros ideias que contribuam com o aprimoramento de todos.

Os pontos de ancoragem e diagnóstico presentes na atividade da seção 6.4.1 revelam que os alunos, em sua maioria, tiveram contato com certas informações que caracterizam a ideia do signo “onda”. Conforme exposto no trabalho de André Coelho, os conceitos intuitivos e experimentais presentes no cotidiano dos alunos constitui um excelente ponto de partida para que o modelo fosse definido. Sendo, dessa forma, possível a constituição de uma aprendizagem do modelo ondulatório a partir de quaisquer situações que permitam a visualização concreta do fenômeno relacionado.

Assim, existe uma necessidade de se pensar em modelos de transição do modelo concreto para o abstrato. Em alguns momentos, foi observado que os alunos não se adaptavam muito bem à realidade virtual exposta pelo uso do simulador e pelas ideias contidas em vídeo que expunham visualmente o modelo ondulatório. Dessa forma, seria prudente a inclusão de materiais que propusessem a transição de uma ideia dinâmica e concreta, exposta nos vídeos e possíveis experimentos a serem realizados em sala de aula, para uma representação estática e abstrata, caracterizada pela imagem e modelos gerados para um certo instante de tempo.

Durante as sequências didáticas, aplicadas à distância, um fator extremamente relevante veio à tona. Foi observado uma definição do referencial teórico ausubeliano, na seção 3.4 deste trabalho:

A outra condição é que o aprendiz manifeste uma disposição para relacionar de maneira substantiva e não arbitrária o novo material, potencialmente significativo, à sua estrutura cognitiva. Esta condição implica que, independentemente de quão potencialmente significativa seja o material a ser aprendido, se a intenção do

aprendiz for simplesmente a de memorizá-lo, arbitrária e literalmente, tanto o processo de aprendizagem como seu produto serão mecânicos (ou automáticos). De maneira recíproca, independentemente de quão disposto para aprender estiver o indivíduo, nem o processo nem o produto da aprendizagem serão significativos, se o material não for potencialmente significativo. (MOREIRA, 2019, p. 164)

Essa variável foi observada em todas as turmas, nas quais as sequências foram aplicadas. Um fator que pode ter contribuído significativamente para isso consistiu, no fato, da maioria dos alunos não possuírem instrumentos adequados para a interação remota, como falta de computadores (só utilizando smartphones), pacote de internet limitado, dificuldades de permanência nos acessos aos sites, dificuldades em acessar as ferramentas dos aplicativos, mesmo sendo integrantes de uma geração que possui acesso ostensivo às redes sociais.

Essa realidade, em conjunto com baixas expectativas de futuro profissional a partir da educação, apresentadas pela maioria dos alunos, foi determinante para que os processos encontrassem barreiras na busca pela aprendizagem significativa proposicional. Dessa forma, é necessário a busca por uma diretriz nacional e local por parte dos responsáveis pela Educação mostrando aos alunos a necessidade, cada dia mais, de estudos mais avançados para se ter reais oportunidades no mercado de trabalho.

Sem os recursos necessários, sem os subsunçores matemáticos, sem a interação presencial imposta pela pandemia, e, em conjunto com boa parte da população tendo suas emoções testadas ao limite, era difícil exigir uma posição firme e comprometida dos alunos com relação aos estudos, organização e rotinas, as quais foram totalmente alteradas nesse período.

Apesar da aprendizagem significativa em seu maior nível de complexidade, definido por Ausubel como proposicional, não ter sido alcançada, os materiais produzidos por este trabalho possuem a característica de **potencialmente** significativos, uma vez que dentro de certas condições, ela poderia ser adequada. Isto é, os materiais aqui desenvolvidos podem colaborar significativamente para o planejamento e ação pedagógica de outros professores, inclusive de componentes curriculares que não sejam a Física, como Ciências e Matemática, por exemplo.

O uso de tecnologias que facilitem o processo pedagógico é cada vez mais difundido no ambiente escolar. Apesar disso, a simples disponibilidade do recurso não foi suficiente para que os alunos alcançassem, em sua maioria, o que seria a aprendizagem significativa proposicional. Com isso, a animação produzida por este trabalho, buscava tornar a transição do caso concreto para o abstrato mais suave, visando contribuir para que os alunos relacionassem os conteúdos trabalhados com as situações reais que os envolvem.

As imagens, vídeos e projetos utilizados no “Adobe After Effects” e “Cinema 4D” estão disponíveis para edição em [material de transição](#). O [vídeo](#), transpõe o concreto para o abstrato, e, foi classificado como organizador prévio, uma vez que ele fazia referência direta ao conteúdo que estava sendo exposto de forma objetiva e simplificada, sem definir detalhadamente cada um dos conceitos e relações envolvidas.

As imagens, os vídeos, as animações e os recursos podem ser utilizados nos mais variados níveis de aprendizagem. Para o ensino fundamental, o objetivo não é o de analisar situações complexas de ondas estacionárias, sons produzidos e modelos matemáticos que os definem, mas apenas compreender a fenomenologia que nos possibilita definir o modelo ondulatório, tratando dos conceitos de período, frequência e comprimento de onda.

Os recursos foram utilizados em turmas do segundo ano do Ensino Médio, uma vez que não foi disponibilizado esse tipo de material para estes alunos, enquanto integrantes do ensino fundamental. Como observado ao longo do trabalho e das aplicações realizadas, os alunos do Ensino Médio não apresentaram o domínio de conceitos subsunçórios, as atividades diagnósticas aplicadas revelaram que os significados dos signos tratados estavam em seus níveis mais básicos de entendimento, dificultando a aplicação destes no que seria necessário.

Dessa forma, para alunos que não possuem os subsunçores adequados, seja matemático ou fenomenológico, uma definição cuidadosa foi necessária. A sala de aula não é um ambiente de tratamento exclusivamente individual, então, a metodologia e sequência aplicada foi direcionada aos níveis mais básicos de compreensão do que

seriam os conceitos ensinados. Além disso, o ensino remoto impossibilitou que um diagnóstico mais apurado fosse realizado, uma vez que fazer uma análise qualitativa, consequência de interação, não fosse possível.

Enquanto muitas aplicações, com rotinas variadas foram analisadas ao longo deste trabalho, buscando ativamente por alguma que fosse “melhor” do que a outra, foi constatado que não existe, necessariamente, uma metodologia que produza resultados melhores na aprendizagem significativa dos alunos. Isto, talvez pela ausência de interação real, talvez pelas dificuldades associadas ao poder aquisitivo dos alunos, talvez pelo baixo engajamento consequência do momento de pandemia, ou, talvez pelo baixo potencial significativo do material aqui produzido.

O ponto é que concluir algo, de forma absoluta, na realidade do tempo em que este trabalho foi proposto, seria algo imprudente. Apesar disso, os materiais aqui desenvolvidos ainda podem ser aprimorados, a fim de maximizar a eficiência dentro do contexto apresentado em cada sala de aula. Para os problemas tratados nos trabalhos de A. Coelho (2016) e J. Coelho (2016), uma proposta que transicionasse o concreto para o abstrato seria necessário. E, o vídeo em conjunto com a animação dinâmica, fazendo as devidas pausas para caracterização do modelo estático usualmente utilizado, parece ser uma boa proposta.

Diante de tudo isso, escolher a melhor metodologia na verdade envolve inúmeras variáveis. Foram observadas, neste trabalho, a importância do conhecimento de perfil da turma, dos potenciais relações que eles desenvolveriam com a metodologia, do interesse em suas vidas pessoais e, inclusive, da afinidade e conhecimento do professor em torno dos instrumentos utilizados na metodologia escolhida, fato este observado durante a leitura do trabalho de André Coelho (2016), e, verificado durante o uso da corda naval como instrumento inicial pelo presente autor.

A atividade física é algo que os alunos possuem certo apreço na escola. Por exemplo, um dos momentos mais esperados por eles, antes do tempo de pandemia, eram as aulas de educação física. Utilizar um exercício como a corda naval como ponto de

partida tem suas vantagens, e, se analisarmos bem, podemos relacionar conceitos de física a todos os exercícios nas mais diversas modalidades.

Neste trabalho, a base é a corda naval para caracterização do movimento ondulatório, mas o professor pode utilizar quaisquer outro de sua preferência para adequação e proposição de outros conteúdos, o que pode tornar a atividade mais interessante e auxiliar o processo de construção por meio da interação presencial, ou a contextualização de um fenômeno para o ensino remoto.

Por fim, o produto educacional proposto como conclusão deste trabalho pode contribuir significativamente para o ensino de relações matemáticas e do modelo ondulatório. Essas possibilidades poderiam ser aplicadas tanto no ensino fundamental, quanto no ensino médio, com as devidas alterações propostos de acordo com os objetivos dos professores atuantes.

10. Referências

- AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Educational psychology: a cognitive view**. 2. ed. ed. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1968.
- BERTOLUCI, S. **XTREME21**, 2017. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=a9vuwm2-5Jk>>. Acesso em: out. 2019.
- BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: Ministério da Educação, 2018.
- CASTRO, H. Heitor Castro. **Falsete Feminino Laringoscopia Cordas Vocais 2504**, 2013. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=RcUT2erWqko&ab_channel=HeitorCastro>. Acesso em: out. 2019.
- COELHO, A. L. M. D. B. **Aplicação do monocórdio e o uso de elementos musicais perceptuais como estruturantes para o ensino de conceitos da física ondulatória**. Brasília: Dissertação Mestrado Profissionalizante em Ensino de Física, v. 1, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.unb.br/handle/10482/22208>>.
- COELHO, J. L. D. A. **Utilização de vídeos e softwares para o o ensino de movimento**. Brasília: Dissertação Mestrado Profissionalizante em Ensino de Física, v. 1, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.unb.br/handle/10482/23063>>.
- COLORADO, U. O. University of Colorado Boulder - PhET. **PhET**, 2019. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/wave-on-a-string>.
- DINIZ, S. **Sergio Diniz**, 2016. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=feRyKj7bY1M>>. Acesso em: out. 2019.
- EAPE. **Curso de produção de material didático**, 2020. Disponível em: <<https://www.youtube.com/channel/UCHKuu41Sr6--eTI5SZhVaKQ>>. Acesso em: 01 jul. 2020.
- FERREIRA, M. et al. Análise de temas, teorias e métodos em dissertações e produtos educacionais no MNPEF. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, 2021.
- GONÇALVES, J. D. S. **Softwares educacionais aplicados ao ensino de Física: uma proposta didática para o ensino do oscilador harmônico**. Maranhão: Dissertação de mestrado - Programa de Mestrado Profissional Nacional em Ensino de Física, v. 1, 2018. Disponível em: <<https://tede.ufma.br/jspui/handle/tede/tede/2617>>.
- GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL. **Secretaria de Educação do Distrito Federal**, 2021 jul. 2021. Disponível em: <https://www.educacao.df.gov.br/wp-content/uploads/2021/02/Parametros-Volta-as-Aulas-Presenciais_2_agosto_Editado.pdf>. Acesso em: ago. 2021.
- GRILLO, M. L.; PEREZ, L. R. **Física e Música**. São Paulo: Livraria da Física, v. 1, 2016.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, J. W. **Fundamentos de Física**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. 4, 2012.
- MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa**. Brasília: Editora da UnB, 1999.
- MOREIRA, M. A. Prof. Marco Antonio Moreira. **Unidade de Ensino Potencialmente Significativa**, 07 Julho 2012. Disponível em: <<http://moreira.if.ufrgs.br/UEPSport.pdf>>. Acesso em: 01 jul. 2021.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa**: a teoria de David Ausubel. 2 Edição. ed. São Paulo: Moraes, 2016.

MOREIRA, M. A. Uma análise crítica do ensino de Física. **Estudos avançados**, 2018.

MOREIRA, M. A. **Teorias da Aprendizagem**. 2 ed. ampl. ed. São Paulo: Grupo Editorial Nacional, 2019.

NEWTON, V. B.; HELOU, R. D.; GUALTER, J. B. **Física**. 3. ed. São Paulo: Saraiva, v. 2, 2016.

NUSSENZVEIG, H. M. **CURSO DE FÍSICA BÁSICA**. 4ª. ed. SÃO PAULO: EDGARD BLÜCHER, v. 1, 2002.

NUSSENZVEIG, H. M. **CURSO DE FÍSICA BÁSICA**. 5ª. ed. SÃO PAULO: EDGARD BLÜCHER, v. 2, 2014.

OSTERMANN, F.; REZENDE, F. BNCC, Reforma do Ensino Médio e BNC-Formação: um pacote privatista, utilitarista minimalista que precisa ser revogado. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 38, 15 dez. 2021.

POLITO, A. M. M. **A construção da estrutura conceitual da física clássica**. São Paulo: Livraria da Física, v. 2, 2016.

SANTOS, G. A. S. D. **Desenvolvimento de uma unidade de ensino potencialmente significativa para o ensino do conceito de ondas**. Vitória: Dissertações de mestrado - PPGENFIS, v. 1, 2015. Disponível em: <<http://repositorio.ufes.br/handle/10/4793>>.

SEEDF. **Aos professores**: Orientações para as aulas por meio de atividades não presenciais, Brasília, 01 jul. 2020. Disponível em:

<<https://www.dropbox.com/s/88axovb98250zid/Orienta%C3%A7%C3%B5es%20aos%20professores%20para%20as%20aulas%20por%20meio%20de%20atividades%20n%C3%A3o%20presenciais.pdf?dl=0>>.

SEEDF. Subsecretaria de Educação Básica. **Circular nº 193/2020 - SEE/SUBEB**, 2020. Disponível em: <https://sei.df.gov.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&acao_origem=documento_conferir&lang=pt_BR&id_orgao_acesso_externo=23>. Acesso em: 25 jul. 2020.

SEEDF. **Orientações para o período de ampliação do acolhimento a estudantes e profissionais da educação**, 2021. Disponível em: <<https://www.educacao.df.gov.br/circular-orienta-sobre-ampliacao-do-acolhimento/>>. Acesso em: 27 jun. 2020.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA, SBF. MNPEF. **Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física**, 2021. Disponível em: <<http://www.www1.fisica.org.br/mnpef/>>. Acesso em: out. 2021.

TREATY, P. **Hometron Tecnologia**, 2016. Disponível em:

<<https://www.youtube.com/watch?v=Bi4xcT2nwrQ>>. Acesso em: out. 2019.

UFSCAR. **Click Ciência UFSCar**, 2017. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=B_6hEOL-oXw&ab_channel=ClickCi%C3%AanciaUFSCar>. Acesso em: out. 2019.

Apêndice A - Anexos

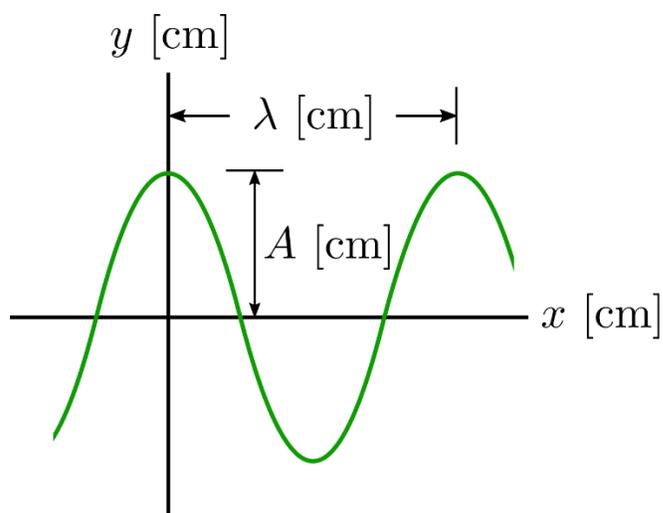
ANEXO I – Roteiro de aula 3 (presencial)

ROTEIRO DE AULA 3

RELEMBRANDO ALGUNS CONCEITOS

- **Caracterizando uma onda – dando nome as estruturas.**

Verificamos na aula anterior a estrutura de uma onda e buscamos o significado e o nome de algumas delas. Definimos as seguintes características:



Esquema de uma onda

A: Amplitude = É a altura da oscilação, a distância do eixo de simetria ao topo da onda.

λ : Comprimento de onda = É a distância de propagação para uma oscilação completa.

f: Frequência = É a quantidade de oscilações completas por unidade de tempo.

T: Período = É o tempo necessário para que uma oscilação completa seja gerada.

Vimos também que a definição de frequência e período são inversas e por meio da uma regra de três simples, demonstramos a relação:

$$T = \frac{1}{f}$$

As unidades de medida utilizadas no simulador estão definidas para unidades de **comprimento** como o **centímetro (cm)** e para a **frequência** como o **Hertz (Hz)**, logo, o cálculo do **período** é demonstrado como o **segundo (s)**.

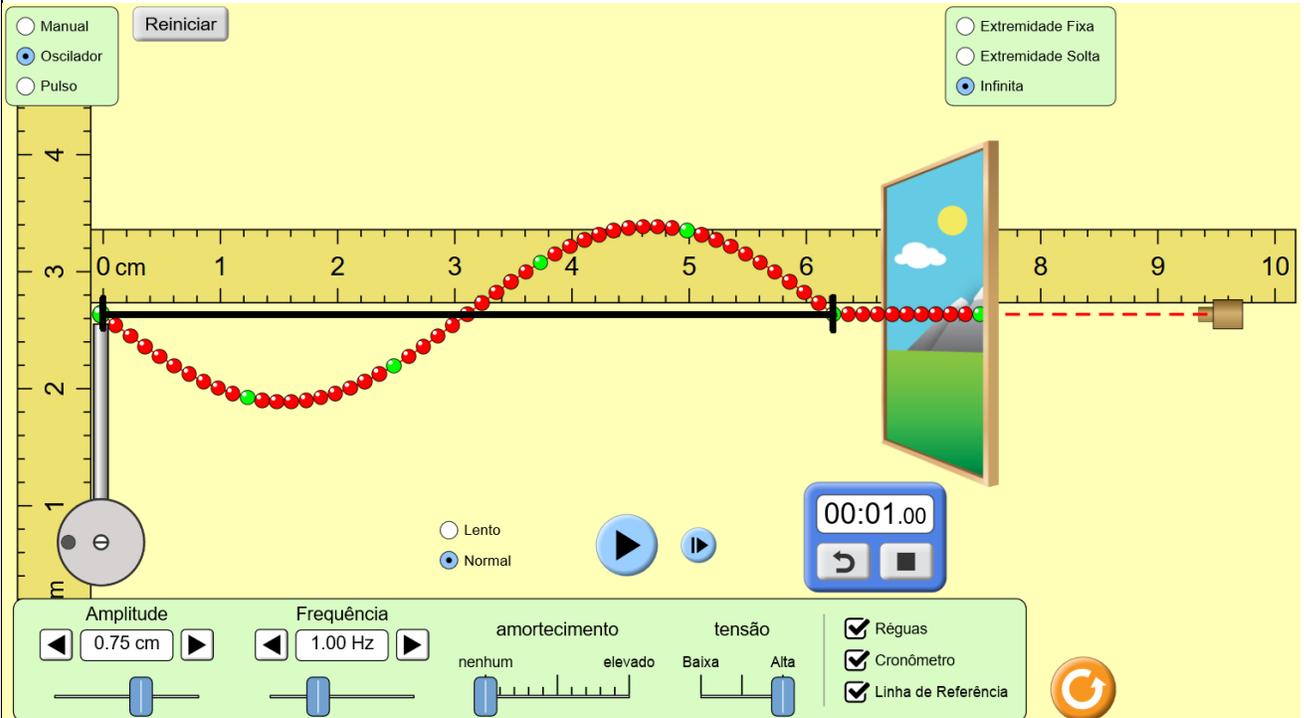
- **Medindo uma distância - definindo escalas.**

A régua que o simulador disponibiliza para medirmos uma distância é a seguinte:



Para utilizá-la, primeiro, encontramos a escala definida para cada subdivisão apresentada, como temos cinco espaçamentos para cada centímetro, através da divisão de uma unidade por cinco, encontramos a escala de 0,2 cm para cada subdivisão dessa régua.

Na aula anterior, geramos uma onda de 1Hz durante 1 segundo, obtendo a seguinte imagem:



Onda de 1 Hz gerada durante 1 segundo em uma corda no simulador

Utilizando a régua do próprio simulador, podemos ver que a medida do comprimento de onda é de $\lambda=6,2 \text{ cm} \pm 0,1\text{cm}$.

Entendendo os instrumentos disponibilizados pelo simulador e o que estudamos na aula passada, siga o seguinte roteiro:

- Elabore em seu registro de atividades 6 tabelas com 3 colunas e 4 linhas cada uma.
- As colunas terão os títulos: “Frequência”, “comprimento de onda” e “produto λf ”
- Acesse o simulador pelo link https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-on-a-string/latest/wave-on-a-string_pt_BR.html
- Configure o seu simulador com as seguintes opções: oscilador, extremidade infinita, amortecimento nulo e selecione uma amplitude que te permita identificar as ondas produzidas na corda.
- Preencha a tabela com dados observados.

ANEXO II - Abordagem do livro didático sobre ondulatória



ONDAS

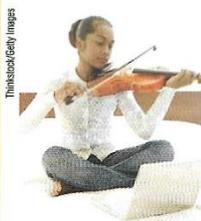
1. INTRODUÇÃO

Ondas de vários tipos estão presentes em nossa vida. Quando vemos objetos, por exemplo, nossos órgãos visuais estão sendo sensibilizados por ondas luminosas. Devido às limitações do nosso sistema visual, outras ondas do mesmo tipo da luz não podem ser vistas – como as ondas utilizadas nas telecomunicações (ondas de rádio, ondas de televisão e micro-ondas para comunicação via satélite).



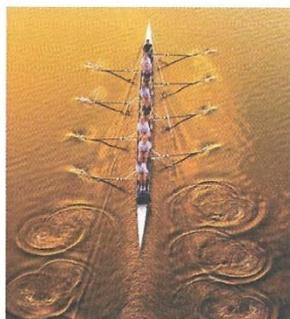
Esta imagem só pode ser vista devido à existência de ondas luminosas.

Podemos ouvir música, vozes e ruídos devido a ondas sonoras. Assim como acontece com as ondas luminosas, as limitações do nosso sistema auditivo não nos permitem captar ondas do mesmo tipo do som, como o ultrassom.



O som emitido por um violino é uma onda que se propaga pelo ar, acionando nosso sistema auditivo. Temos, assim, a sensação de audição.

Além da luz e do som, que são as ondas que mais sentimos no nosso dia a dia, podemos encontrar outras, como as ondas formadas na superfície da água quando nela cai alguma coisa, ou aquelas que aparecem em uma corda esticada quando sacudimos uma de suas extremidades.



Ao tocar a superfície da água, cada remo produz ondas que se propagam, formando circunferências.

Todas essas ondas, e as que você estudará adiante, possuem algo em comum: são energias que se propagam através de um meio. **Atenção:** a energia se propaga, porém o meio não acompanha essa propagação, qualquer que seja a onda em estudo.

2. ONDAS MECÂNICAS E ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

De acordo com sua natureza (características físicas), as ondas classificam-se em dois grupos: **ondas mecânicas** e **ondas eletromagnéticas**.

Ondas mecânicas

São deformações que se propagam em meios elásticos. Esse fenômeno ocorre apenas em meios materiais, pois as ondas mecânicas necessitam de partículas para se propagar. Isso significa que elas nunca se propagam no vácuo.

A propagação de uma onda mecânica através de um meio material envolve o transporte de energia cinética e de energia potencial mecânica e depende de dois fatores fundamentais: a **inércia** e a **elasticidade** do meio.

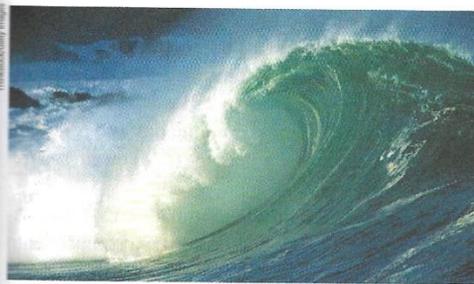
Como acontece com qualquer onda, uma onda mecânica não transporta o meio onde se propaga. É apenas a energia que muda de local, passando de partícula para partícula do meio material.

Alguns exemplos de ondas mecânicas são as que se propagam em cordas ou molas esticadas, as que se propagam em superfícies de líquidos e os sons.

Observe que em todos esses casos a existência de um meio material é fator preponderante para a propagação das ondas mecânicas.

Onda mecânica é a propagação de energia através de partículas de um meio material, sem que essas partículas sejam transportadas. Uma onda mecânica nunca se propaga no vácuo.

Em alto-mar, as ondas não transportam matéria, são apenas energia se propagando. Nas proximidades da praia, porém, em razão da diminuição brusca da profundidade, as ondas “quebram”, provocando o movimento de toda a massa de água e formando correntezas que podem arrastar corpos que lá se encontram. Essas “ondas quebradas” deixam de se comportar como ondas.



Onda se “quebrando” nas proximidades da praia.

O alto-falante emite ondas mecânicas

O alto-falante é um dispositivo utilizado para produzir ondas sonoras a partir de impulsos elétricos. Os primeiros alto-falantes surgiram na década de 1920, nos Estados Unidos, acompanhando os primeiros fonógrafos elétricos.

Através de um cone de papelão (circular ou elíptico) que avança e recua, os alto-falantes emitem ondas mecânicas longitudinais.

Os sons agudos (altas frequências), acima de 4000 Hz, são emitidos por unidades pequenas (*tweeters*), de 3 cm a 5 cm de diâmetro. Os sons graves (baixa frequência), abaixo de 500 Hz, são emitidos pelas unidades (*woofers*) de 25 cm de diâmetro. Já os sons intermediários, de 500 Hz a 4000 Hz, são emitidos por unidades de 15 cm de diâmetro. No entanto, podemos encontrar alto-falantes que emitem tanto sons médios como graves.

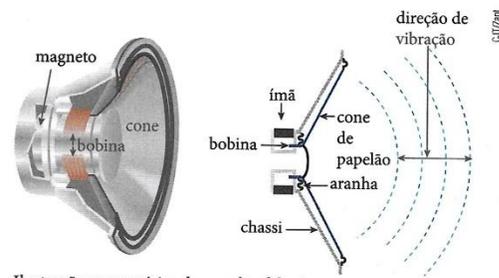


Ilustração esquemática de um alto-falante.

Ondas eletromagnéticas

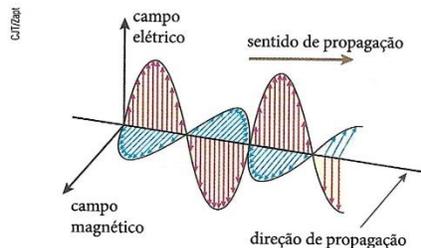
As ondas eletromagnéticas são formadas por dois campos variáveis, um elétrico e outro magnético, que se propagam. Essa propagação pode ocorrer no vácuo e em determinados meios materiais.

Como exemplos de ondas eletromagnéticas podemos citar as ondas de rádio, dentre elas as ondas de AM (Amplitude Modulada) e as de FM (Frequência Modulada), as ondas de TV, as ondas luminosas (luz), as micro-ondas, os raios X e γ , entre outras. Essas denominações são dadas de acordo com a principal fonte geradora das ondas e se diferenciam em especial pelas faixas de frequência.

Todas as ondas eletromagnéticas têm em comum sua velocidade de propagação no vácuo: aproximadamente 300 000 km/s. A velocidade de propagação depende do material do meio e da frequência da onda. Em meios materiais transparentes a essas ondas, elas se propagam a uma velocidade menor que 300 000 km/s.

Ondas eletromagnéticas constituem um conjunto de dois campos, um elétrico e outro magnético, que se propagam no vácuo com velocidade aproximada de 300 000 km/s. Em meios materiais, quando ocorre propagação, a velocidade é menor que 300 000 km/s.

Observe, na representação esquemática a seguir, que os campos citados são perpendiculares entre si e, ainda, perpendiculares à direção de propagação da onda.



A banda de frequências reservadas às emissoras de TV é dividida em duas faixas: a de VHF (*very high frequencies* – frequências muito altas) e a de UHF (*ultra high frequencies* – frequências ultra-altas).

Por meio de antenas como essa, ondas de rádio são enviadas para aparelhos receptores.



Transstock/Getty Images

3. ONDAS LONGITUDINAIS, ONDAS TRANSVERSAIS E ONDAS MISTAS

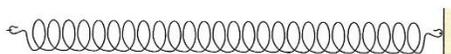
Em uma propagação ondulatória, as vibrações podem ocorrer em direção idêntica à da propagação ou em direção perpendicular à dela. Em função disso, as ondas são classificadas em **longitudinais** e **transversais**. Em alguns casos, as vibrações ocorrem nas duas direções, tratando-se, então, de ondas **mistas**.

Ondas longitudinais

São ondas mecânicas que produzem perturbações nas partículas do meio material na mesma direção em que se propagam.

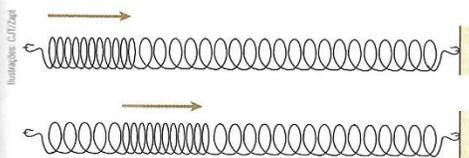


Como exemplo, considere uma mola elástica disposta horizontalmente:



Se fizermos uma rápida compressão na extremidade de esquerda da mola, a compressão se propagará para a direita.

Note que as partículas da mola oscilam horizontalmente, na mesma direção em que a onda se propaga.



Os sons, quando se propagam em meios fluidos (líquidos, gases e vapores), são ondas longitudinais.

Ondas transversais

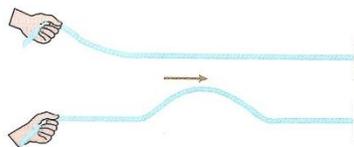
São ondas em que as vibrações ocorrem perpendicularmente à direção de propagação.



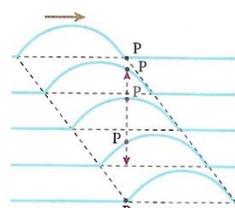
Como exemplo, considere uma corda esticada disposta horizontalmente:



Se sacudirmos a extremidade esquerda da corda, surge um pulso que se propaga ao longo dela, dirigindo-se para a direita.



Esse pulso provoca um movimento vertical de sobe e desce nos pontos da corda atingidos. O movimento de sobe e desce ocorre perpendicularmente à direção de propagação do pulso, como podemos observar na ilustração.



As ondas eletromagnéticas são constituídas de dois campos variáveis (um elétrico e outro magnético), perpendiculares entre si e perpendiculares à direção de propagação das ondas. Dizemos, então, que elas são **transversais**. As perturbações eletromagnéticas que atingem os pontos de um meio, seja ele vácuo ou não, são sempre **perturbações transversais**.

Ondas mistas

São ondas mecânicas constituídas de vibrações transversais e longitudinais simultâneas.

Quando uma partícula de um meio material é atingida por uma perturbação mista, ela oscila simultaneamente na direção de propagação e na direção perpendicular à de propagação.

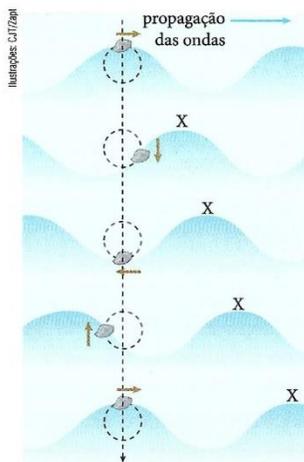


Como exemplo, podemos citar as ondas em superfícies de líquidos, que nos mares e lagos geralmente são produzidas pela ação dos ventos sobre a superfície livre da água.



Representação esquemática da trajetória de uma partícula de água durante a passagem da onda.

Se um corpo está flutuando na superfície da água em alto-mar, com a passagem da onda ele executará um movimento misto. Veja, na sequência a seguir, como esse movimento pode ser representado:



Os sons, quando se propagam em meios sólidos, também são exemplos de perturbações mistas.

4. FRENTE DE ONDA E RAIOS DE ONDA

Em uma propagação, podemos observar três tipos distintos de ondas:

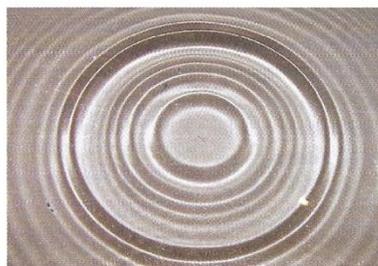
- unidimensionais:** propagam-se em uma única dimensão. Por exemplo, ondas em cordas;
- bidimensionais:** propagam-se em duas dimensões, isto é, num plano. Por exemplo, ondas em superfície de líquidos;
- tridimensionais:** propagam-se em três dimensões, isto é, no espaço. Por exemplo, ondas luminosas e ondas sonoras no ar.

No estudo das ondas bidimensionais e tridimensionais, são úteis os conceitos de frente de onda e de raio de onda.

Frente de onda é a fronteira entre a região já atingida pela onda e a região ainda não atingida.

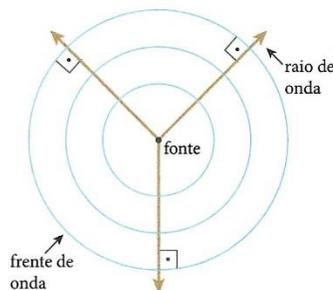
Raio de onda é uma linha orientada que tem origem na fonte de ondas e é perpendicular às frentes de onda. Os raios de onda indicam a direção e o sentido de propagação das ondas num meio.

Entre as ondas bidimensionais que se propagam na superfície de líquidos, destacam-se as ondas circulares, cujas frentes de onda são circunferências, e as ondas retas, cujas frentes são segmentos de reta.



Ondas circulares geradas na superfície da água.

Veja uma representação esquemática de ondas circulares que se propagam na superfície de um líquido:



Ondas retas geradas na superfície da água.

ANEXO IV – Atividade de mensuração

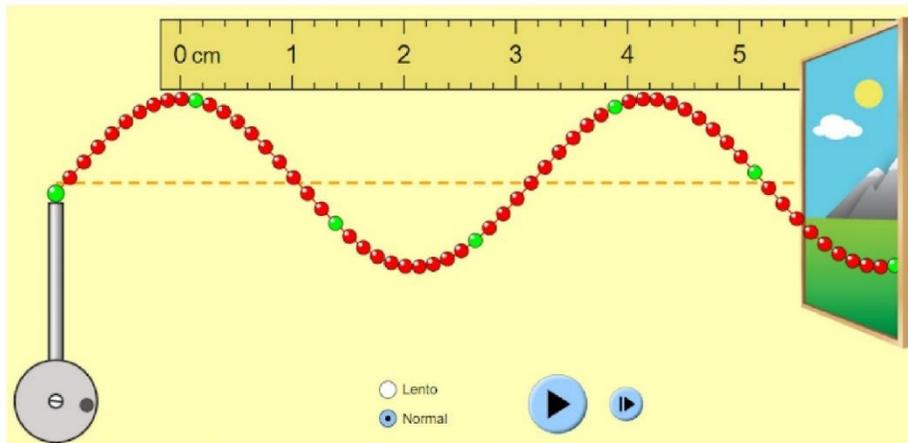
Atividade - Mensuração de grandezas no simulador

O e-mail do participante (**null**) foi registrado durante o envio deste formulário.

***Obrigatório**

1. E-mail *

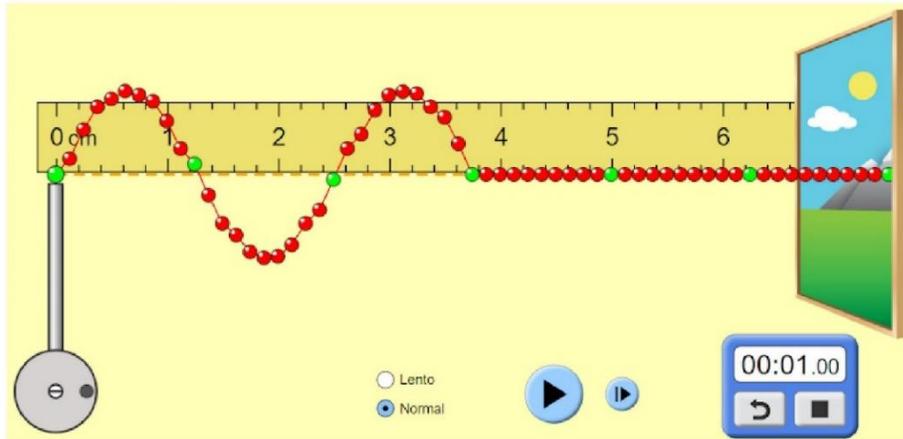
2. De acordo com a imagem abaixo, qual o valor aproximado do comprimento de onda? * 10 pontos de onda? *



Marcar apenas uma oval.

- $4,2 \pm 0,1$ cm
- $4,0 \pm 0,1$ cm
- $2,1 \pm 0,1$ cm
- $1,0 \pm 0,1$ cm
- $6,0 \pm 0,1$ cm

3. Considerando que o cronômetro foi iniciado enquanto não havia onda se propagando na corda do simulador e de acordo com a imagem abaixo, qual o valor aproximado do comprimento de onda? * 10 pontos

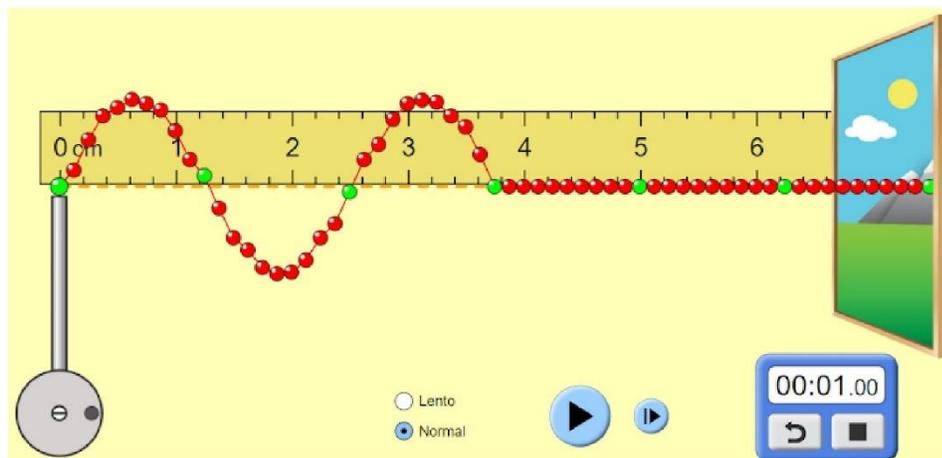


Marcar apenas uma oval.

- 2,5 ± 0,1 cm
- 1,2 ± 0,1 cm
- 3,2 ± 0,1 cm
- 3,8 ± 0,1 cm
- 2,0 ± 0,1 cm

4. Qual a quantidade de oscilações completas pela fonte no tempo de 1 segundo? Considere que o cronômetro foi iniciado enquanto não havia onda se propagando na corda do simulador *

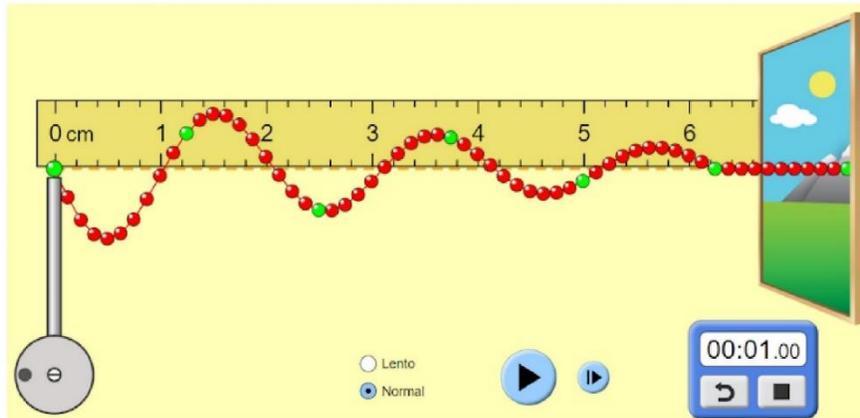
20 pontos



Marcar apenas uma oval.

- 1 oscilação
- 0,5 oscilações
- 1,5 oscilações
- 2 oscilações
- 3 oscilações

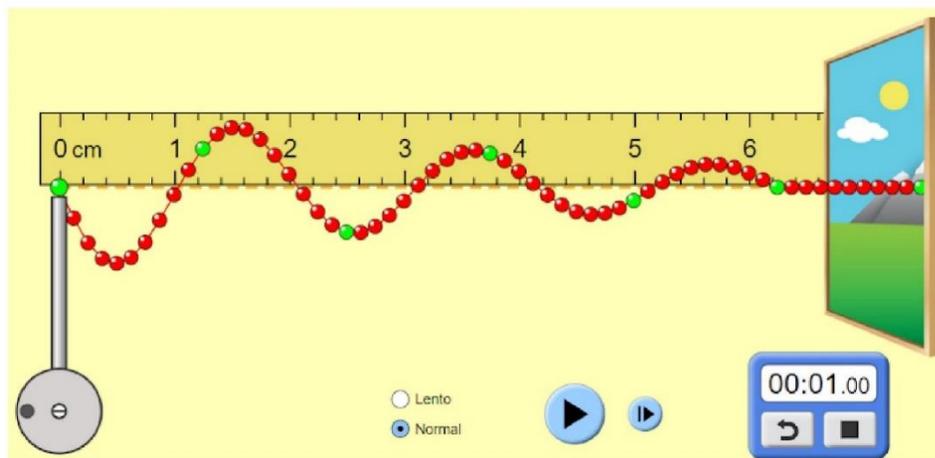
5. De acordo com a imagem abaixo, qual o valor aproximado do comprimento de onda? Considere que o cronômetro foi iniciado enquanto não havia onda se propagando na corda do simulador. * 20 pontos



Marcar apenas uma oval.

- 2,1 ± 0,1 cm/s
- 2,5 ± 0,1 cm/s
- 1,2 ± 0,1 cm/s
- 3,4 ± 0,1 cm/s
- 4,5 ± 0,1 cm/s

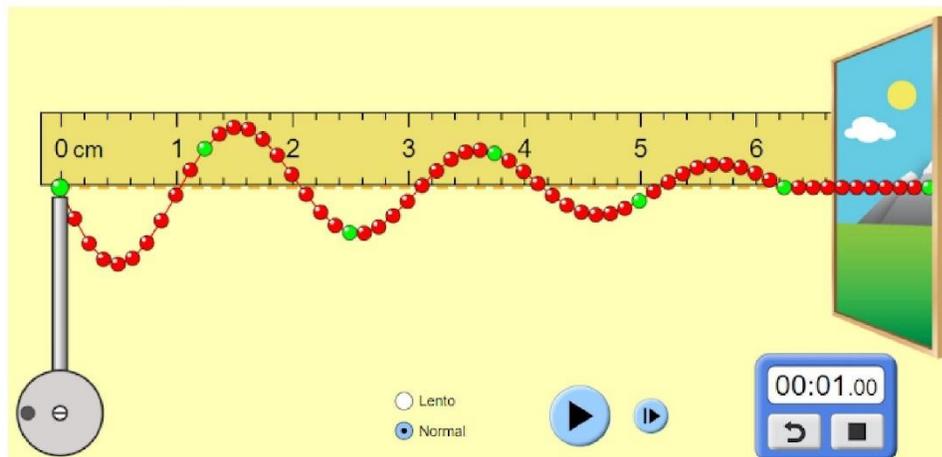
6. Qual a quantidade de oscilações completas pela fonte no intervalo de tempo indicado pelo cronômetro de 1 segundo? Considere que o cronômetro foi iniciado enquanto não havia onda se propagando na corda do simulador. *



Marcar apenas uma oval.

- 3 oscilações
- 2 oscilações
- 1 oscilação
- 4 oscilações
- 2,5 oscilações

7. Quanto tempo é necessário para que o oscilador complete uma oscilação? 20 pontos
Considere que o cronômetro foi iniciado enquanto não havia onda se propagando na corda do simulador. *



Marcar apenas uma oval.

- 1 segundo
- 2 segundos
- 1/3 segundo
- 3 segundos
- 2,5 segundos

ANEXO V – Avaliação conceitos básicos de ondulatória

4- Avaliação ondulatória

O e-mail do participante (null) foi registrado durante o envio deste formulário.

1. E-mail *

2. (UFPR/2020) Uma onda sonora se propaga num meio em que sua velocidade, em módulo, vale 500 m/s. Sabe-se que o período dessa onda é de 0,00002 s. Considerando os dados apresentados, a onda nesse meio apresenta o seguinte comprimento de onda : 20 pontos

Marcar apenas uma oval.

$\lambda = 250$ mm.

$\lambda = 100$ mm.

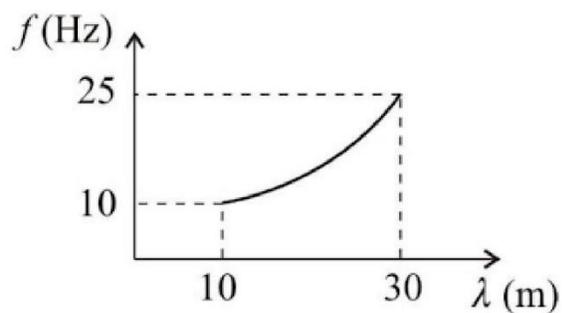
$\lambda = 25$ mm.

$\lambda = 10$ mm.

$\lambda = 1$ mm.

3. (UFPR/2019) O gráfico abaixo apresenta a frequência f de uma onda sonora que se propaga num dado meio em função do comprimento de onda λ dessa onda nesse meio. Com base nesse gráfico, assinale a alternativa que expressa corretamente o módulo da velocidade do som v no meio considerado, quando a frequência da onda sonora é de 25 Hz.

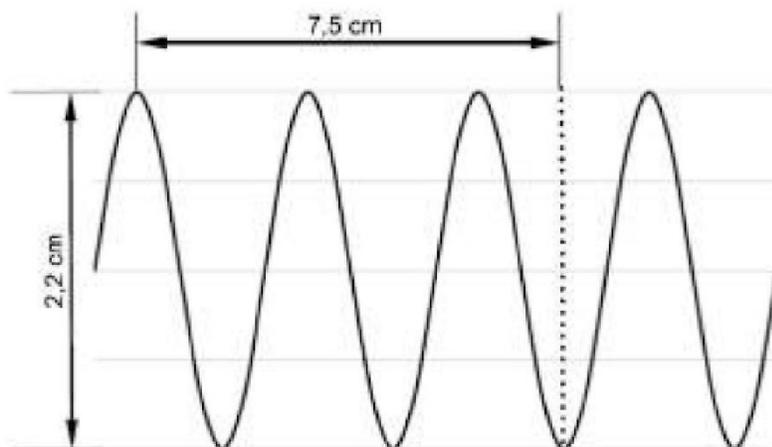
20 pontos



Marcar apenas uma oval.

- $v = 250$ m/s
- $v = 340$ m/s
- $v = 750$ m/s
- $v = 1000$ m/s
- $v = 1500$ m/s

4. (UNIFOR CE/2018) A figura a seguir representa um trecho de uma onda que se propaga a uma velocidade de 150 m/s. Com relação a essa figura, qual item representa corretamente a amplitude (A), o comprimento de onda (λ) e a frequência (f)? 20 pontos



Marcar apenas uma oval.

- A = 1,1 cm; λ = 2 cm; f = 0,00001 Hz
- A = 1,1 cm; λ = 2 cm; f = 10 Hz
- A = 1,1 cm; λ = 3 cm; f = 50 Hz
- A = 2,2 cm; λ = 2 cm; f = 50000 Hz
- A = 2,2 cm; λ = 3 cm; f = 50 Hz
5. (Mackenzie SP/2017) Um pescador observa que seu barco oscila na direção vertical, para baixo e para cima 200 vezes em 50 s. O período de uma oscilação do barco é 20 pontos

Marcar apenas uma oval.

- 4,0 s
- 2,0 s
- 1,0 s
- 0,50 s
- 0,25 s

6. (UEFS BA/2017) Ondas sonoras são ondas mecânicas, produzidas pela deformação do meio por onde se propagam. Dependendo da frequência da fonte emissora dessas ondas, elas podem ou não ser detectadas pela orelha humana e pelas orelhas de outros animais. A tabela apresenta as faixas de frequências detectadas por alguns animais. Considere uma onda sonora propagando-se pelo ar com velocidade de 340 m/s. Se o comprimento de onda dessa onda for igual a 5 mm, dos animais indicados na tabela, ela poderá ser detectada apenas por

20 pontos

Animal	Frequência mínima (Hz)	Frequência máxima (Hz)
morcego	20	160 000
cão	20	30 000
elefante	20	10 000
gato	30	45 000
golfinho	150	150 000
chimpanzé	100	30 000
baleia	40	80 000

Marcar apenas uma oval.

- morcegos, baleias e golfinhos.
- baleias, chimpanzés e cães.
- golfinhos, morcegos e gatos.
- elefantes, cães e chimpanzés.
- morcegos, baleias e elefantes.

ANEXO VI – Avaliação período, frequência e comprimento de onda

Exercícios - Período, frequência e comprimento de onda

mateus.medeiros@edu.se.df.gov.br [Alternar conta](#)

 Rascunho restaurado.

Seu e-mail será registrado quando você enviar este formulário.

***Obrigatório**

O ponteiro dos segundos de um relógio possui um período equivalente a: * 20 pontos

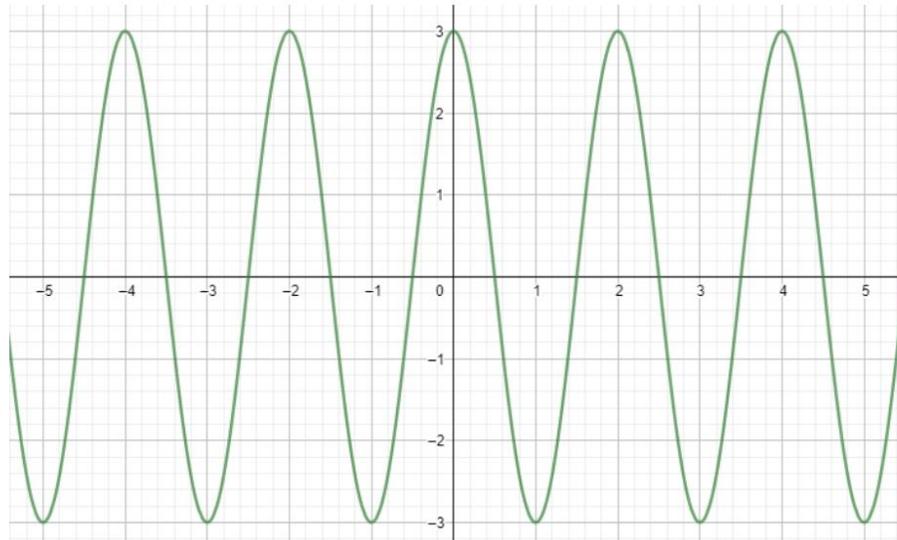
- 60 min
- 1 s
- 1 min
- 1 h
- 10 s

O motor de um carro durante a aceleração, indica 3000 rpm (rotações por minuto). Qual a sua frequência, medida em Hertz (Hz)? * 20 pontos

- 50 Hz
- 40 Hz
- 30 Hz
- 60 Hz
- 70 Hz

Assumindo que os eixos estão na escala centímetro, que a frequência dessa onda é de 2 Hz. Determine quanto tempo a onda leva para se propagar por 4 cm. *

20 pontos



- 1 s
- 0,5 s
- 1,5 s
- 2 s
- 2,5 s

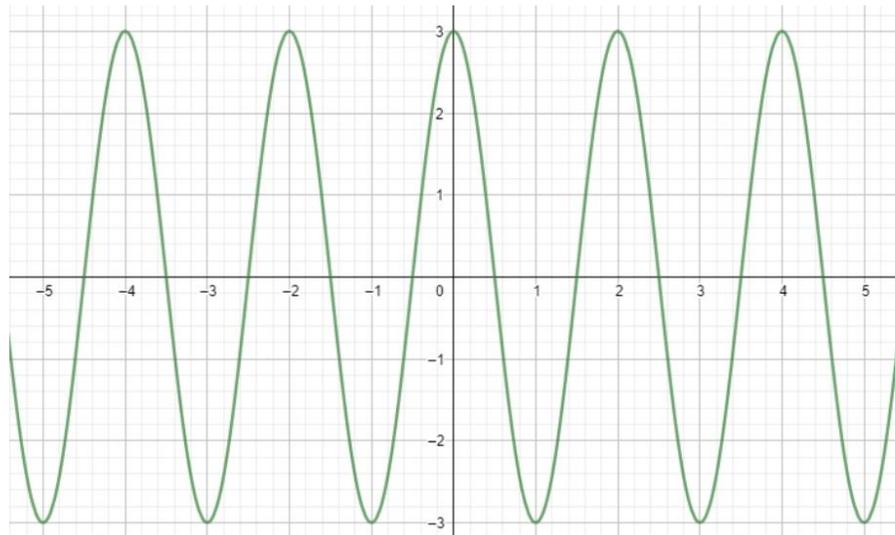
A cadência de uma bicicleta é definida como a velocidade de giro dos pedais, medida em RPM. Um sensor identifica que um ciclista está com uma cadência de 80 rpm. Qual o tempo, em segundos, para que esse ciclista complete uma pedalada? *

20 pontos

- 0,75 s
- 2 s
- 1 s
- 1,5 s
- 1,3 s

Assumindo que os eixos estão na escala centímetro. Qual o comprimento da onda abaixo? *

20 pontos



- 2 cm
- 3 cm
- 1 cm
- 4 cm
- 6 cm

ANEXO VII – Avaliação velocidade de propagação e interferência

Exercícios - Velocidade de propagação e interferência

O e-mail do participante (null) foi registrado durante o envio deste formulário.

***Obrigatório**

1. E-mail *

2. Qual a velocidade de uma onda, que se propaga em uma corda, com comprimento de onda 60 cm e frequência 50 Hz? OBS: Atenção na unidade de medida da resposta. * 20 pontos

Marcar apenas uma oval.

- 30 m/s
- 300 cm/s
- 3000 m/s
- 3 km/h
- 300 km/h

3. Uma onda se propaga em uma corda com velocidade de 20 m/s. 20 pontos
Assumindo que a fonte geradora dessa onda oscila com uma frequência de 10 Hz. Qual o comprimento de onda? *

Marcar apenas uma oval.

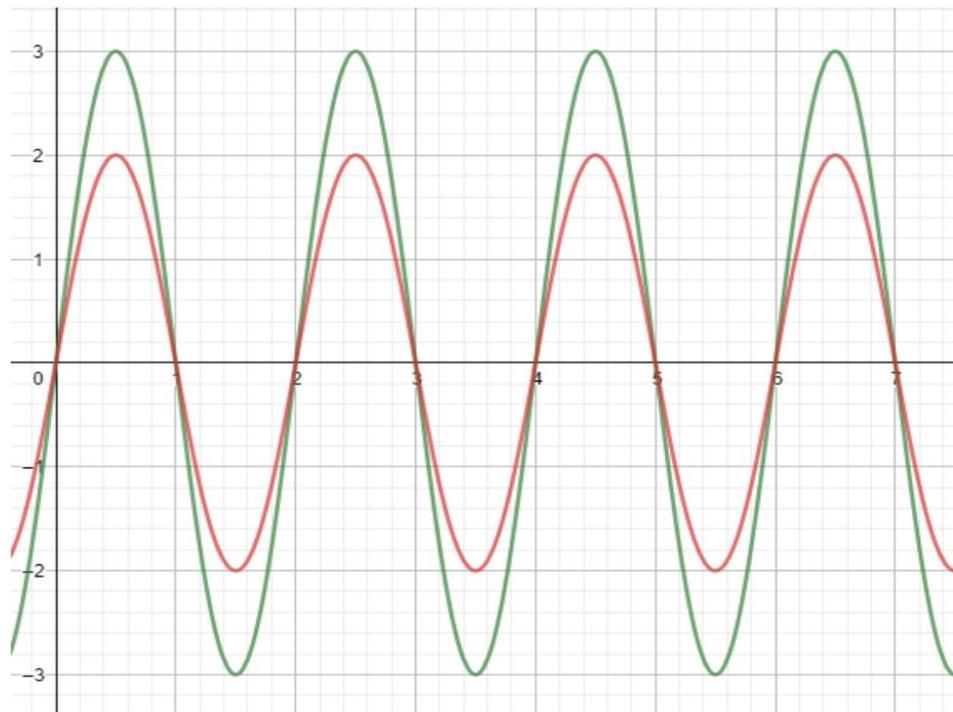
- 2 m
- 1 m
- 200 m
- 2 km
- 2 cm

4. Uma onda possui comprimento de 30 cm. Assumindo que ela se propaga ao longo de uma corda com velocidade de 90 m/s. Qual a frequência de oscilação da fonte dessa onda? OBS: Atenção na unidade de medida utilizada. *

Marcar apenas uma oval.

- 300 Hz
 2700 Hz
 270 Hz
 3 Hz
 3000 Hz

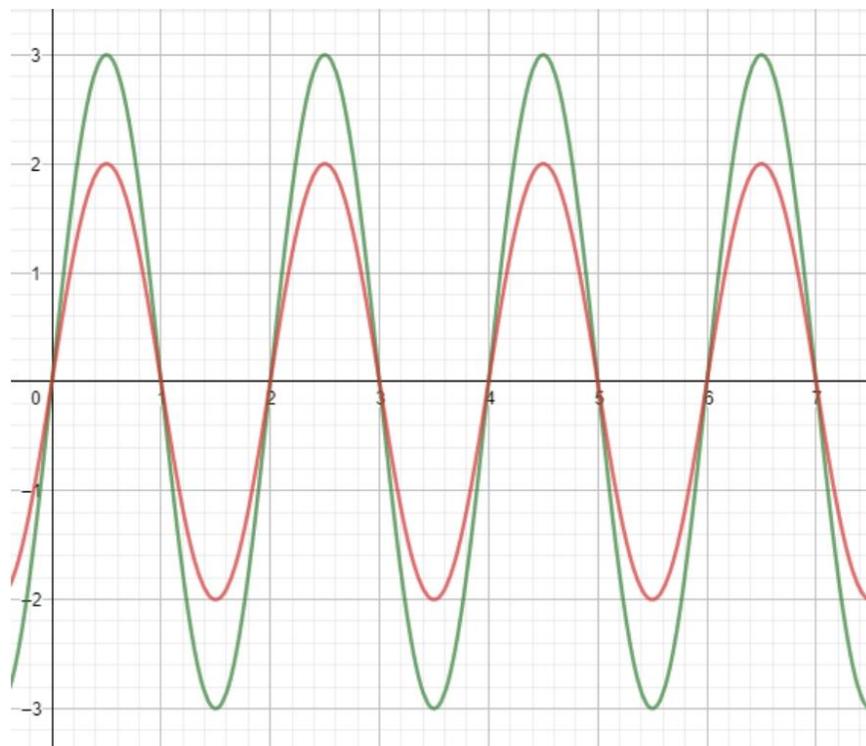
5. Assumindo que os eixos estão na escala centímetro. Qual o comprimento da onda gerada pela interferência das duas ondas indicadas no instante abaixo? *



Marcar apenas uma oval.

- 2 cm
 3 cm
 1 cm
 4 cm
 6 cm

6. Assumindo que os eixos estão na escala centímetro. Qual a amplitude da onda gerada pela interferência das duas ondas indicadas no instante abaixo? * 20 pontos



Marcar apenas uma oval.

- 1 cm
 2 cm
 3 cm
 4 cm
 5 cm

ANEXO VIII – Avaliação interferência

5- Avaliação interferência

O e-mail do participante (null) foi registrado durante o envio deste formulário.

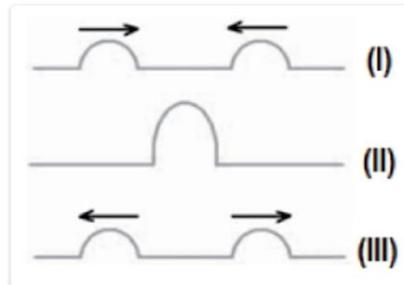
***Obrigatório**

1. E-mail *
2. (UDESC/2014) Em uma corda, dois pulsos de onda se propagam em sentidos opostos, conforme mostra a figura. Assinale a alternativa que representa corretamente a propagação dos pulsos de onda, nos seguintes momentos: antes da interferência (I), durante a interferência (II) e após a interferência (III), respectivamente. *

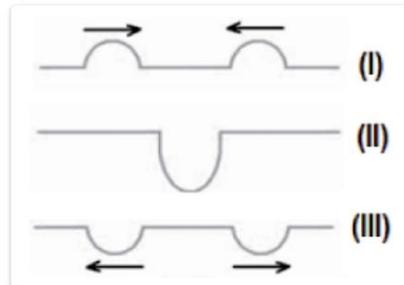
20 pontos



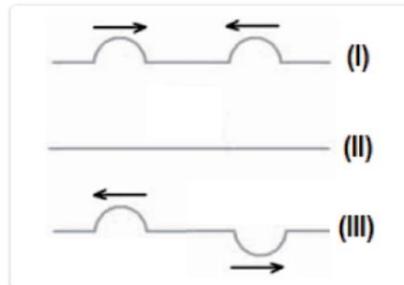
Marcar apenas uma oval.



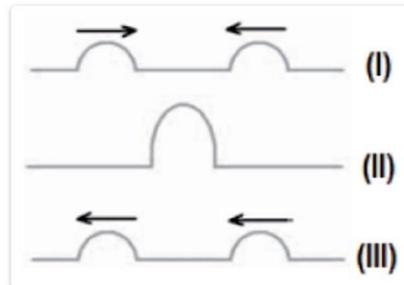
A)



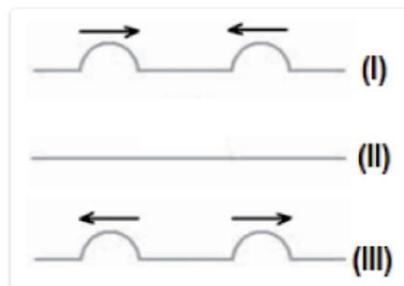
B)



C)

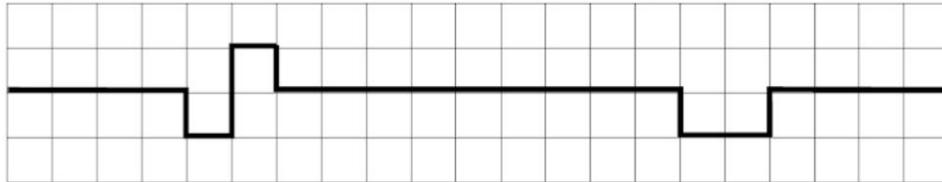


D)

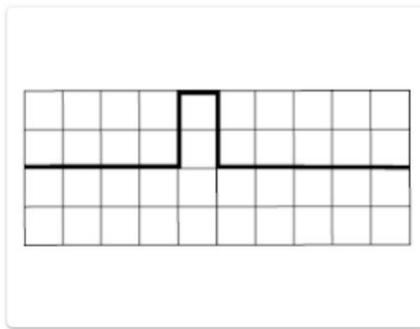


3. (FGV/2011) A figura mostra dois pulsos que se movimentam em sentidos contrários, um em direção ao outro sobre a mesma corda, que pode ser considerada ideal. No momento em que houver sobreposição total, a disposição esperada para os pontos da corda estará melhor indicada por: *

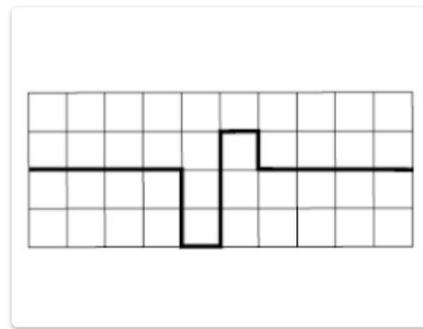
20 pontos



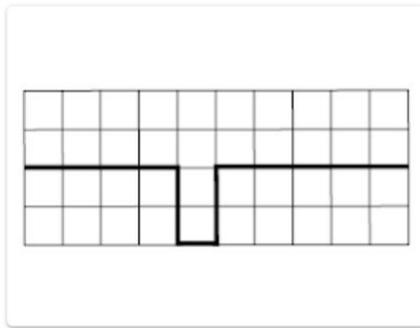
Marcar apenas uma oval.



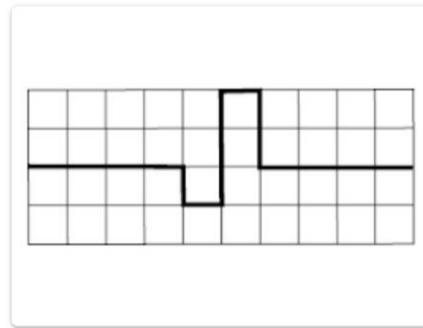
A



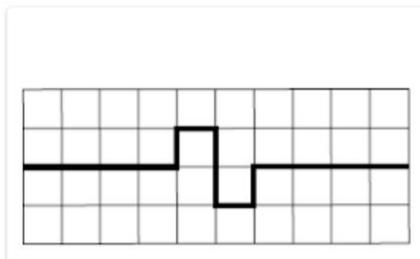
B



C



D



4. No instante em que 2 pulsos de mesma fase se sobrepõem, ocorre interferência: *

20 pontos

Marcar apenas uma oval.

- Construtiva
- Destrutiva
- Polarizante
- Reflexiva
- Impactante

5. No instante em que 2 pulsos de fases opostas se sobrepõe, ocorre interferência: *

20 pontos

Marcar apenas uma oval.

- Construtiva
- Destrutiva
- Polarizante
- Reflexiva
- Impactante

6. (UFMG/2010) Na Figura I, estão representados os pulsos P e Q, que estão se propagando em uma corda e se aproximam um do outro com velocidades de mesmo módulo. Na Figura II, está representado o pulso P, em um instante t , posterior, caso ele estivesse se propagando sozinho. A partir da análise dessas informações, assinale a alternativa em que a forma da corda no instante t está CORRETAMENTE representada. DICA: Tente desenhar o pulso Q no instante t antes de desenhar a onda gerada pela interferência. *

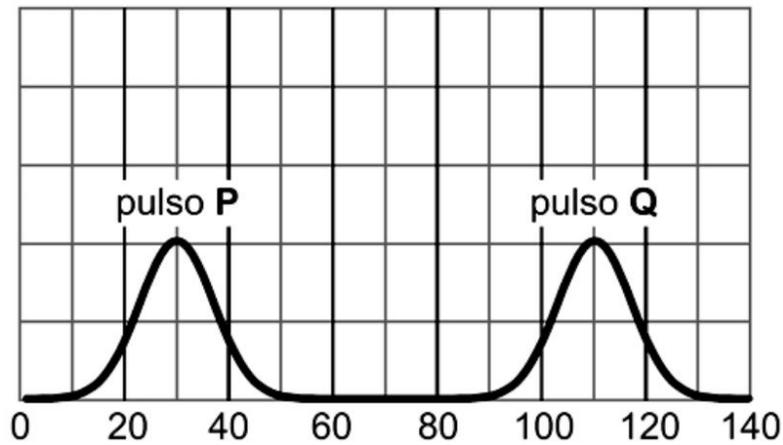


Figura I

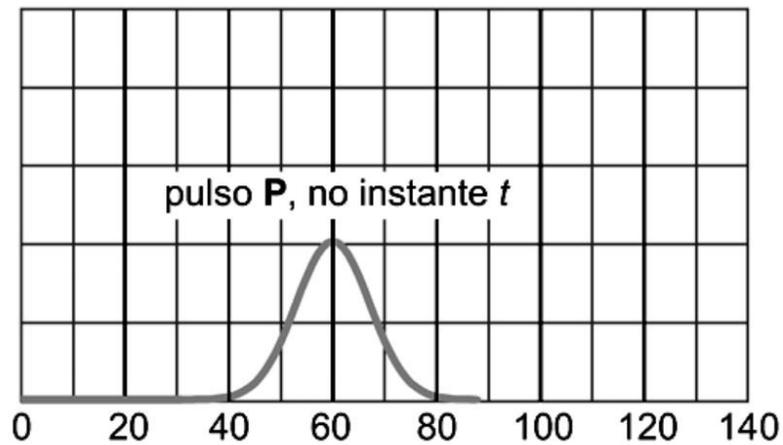
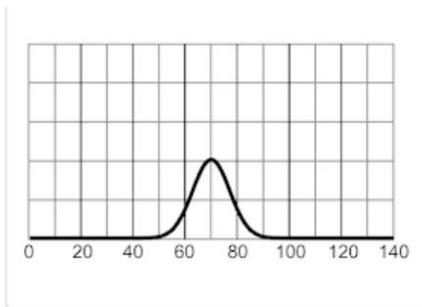
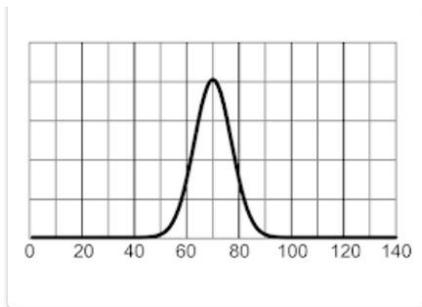


Figura II

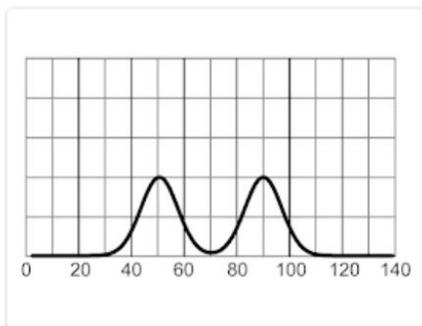
Marcar apenas uma oval.



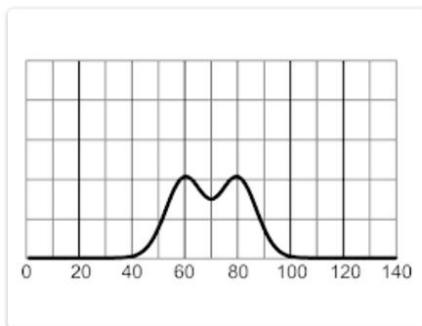
A



B



C



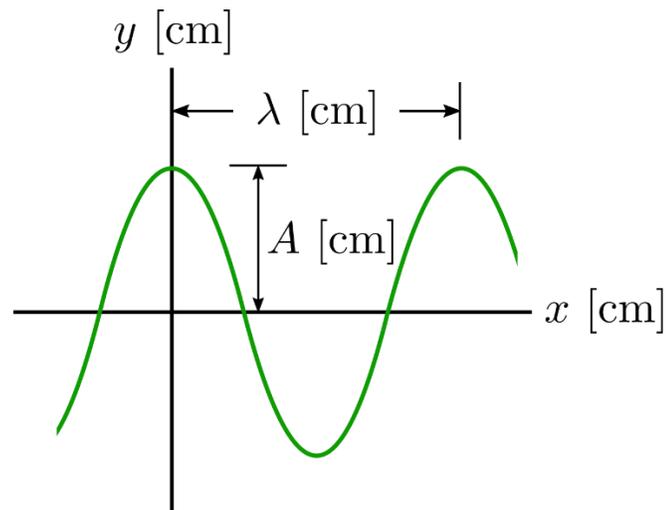
D

ANEXO IX – Organizador prévio - Conceitos básicos de ondulatória e uso da régua do simulador

RELEMBRANDO ALGUNS CONCEITOS

- **Caracterizando uma onda – dando nome as estruturas.**

Verificamos na aula anterior a estrutura de uma onda e buscamos o significado e o nome de algumas delas. Definimos as seguintes características:



Esquema de uma onda

A: **Amplitude** = É a altura da oscilação, a distância do eixo de simetria ao topo da onda.

λ : **Comprimento de onda** = É a distância de propagação para uma oscilação completa.

f: **Frequência** = É a quantidade de oscilações completas por unidade de tempo.

T: **Período** = É o tempo necessário para que uma oscilação completa seja gerada.

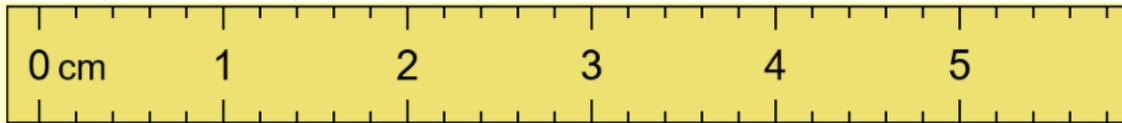
Vimos também que a definição de frequência e período são inversas e por meio da uma regra de três simples, demonstramos a relação:

$$T = \frac{1}{f}$$

As unidades de medida utilizadas no simulador estão definidas para unidades de **comprimento** como o **centímetro (cm)** e para a **frequência** como o **Hertz (Hz)**, logo, o cálculo do **período** é demonstrado como o **segundo (s)**.

- **Medindo uma distância - definindo escalas.**

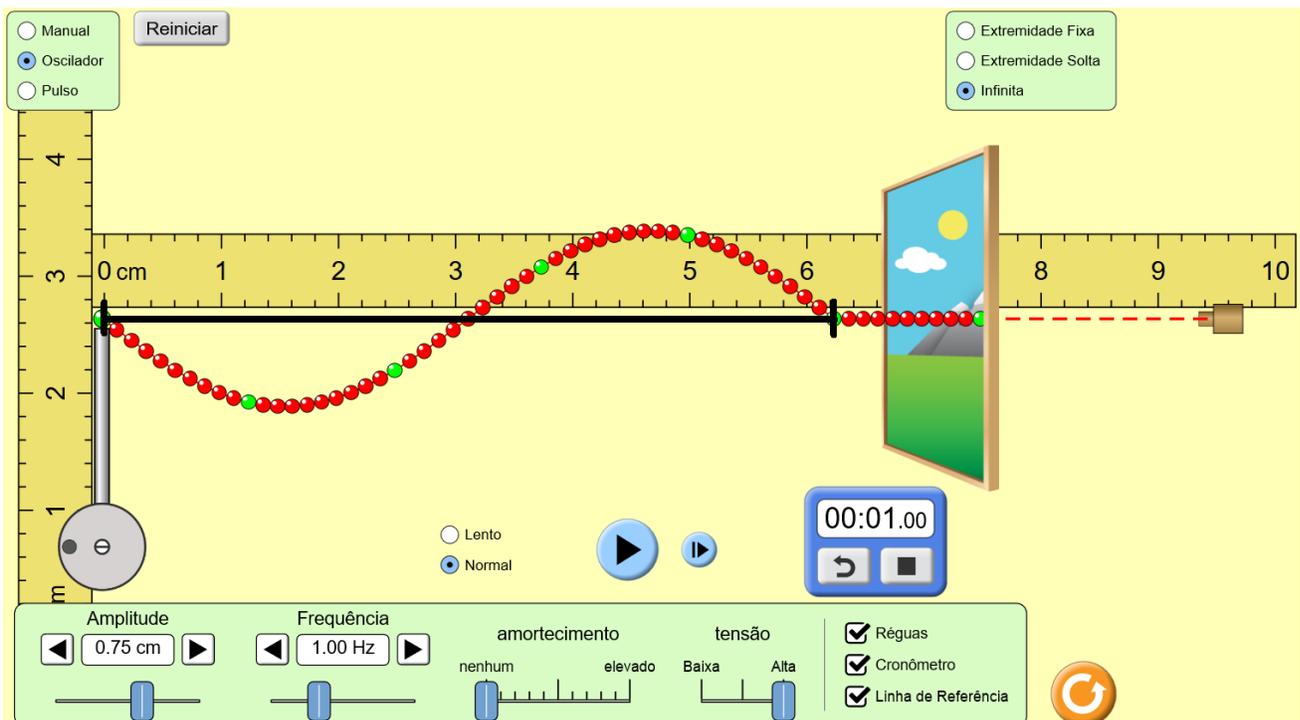
A régua que o simulador disponibiliza para medirmos uma distância é a seguinte:



Régua virtual disponibilizada no simulador

Para utilizá-la, primeiro, encontramos a escala definida para cada subdivisão apresentada, como temos cinco espaçamentos para cada centímetro, **através da divisão de uma unidade por cinco, encontramos a escala de 0,2 cm para cada subdivisão dessa régua.**

Na aula anterior, geramos uma onda de 1Hz durante 1 segundo, obtendo a seguinte imagem:



Onda de 1 Hz gerada durante 1 segundo em uma corda no simulador

Utilizando a régua do próprio simulador, podemos ver que a medida do comprimento de onda é de $\lambda=6,2 \text{ cm} \pm 0,1 \text{ cm}$.

- **Medindo um intervalo de tempo – uso do cronômetro.**

A imagem na figura 2 possui um cronômetro indicando 1 segundo. Isso quer dizer que se passou 1 segundo do início da propagação da onda até o instante em que a foto foi tirada.

- **Definindo a velocidade de propagação com os registros das distâncias e do tempo.**

Dessa forma, podemos perceber que a onda gerada nos padrões descritos pela figura 2 percorreu aproximadamente 6,2 cm em 1 segundo, percebe então que a velocidade com que a onda se propaga na corda é equivalente a 6,2 cm/s.

ANEXO X – Atividade de leitura e conversão de medidas

Exercícios - Período, frequência e comprimento de onda

O e-mail do participante (**null**) foi registrado durante o envio deste formulário.

***Obrigatório**

1. E-mail *

2. Nome: *

3. Turma: *

Marcar apenas uma oval.

2I

2J

4. O motor de um carro durante a aceleração, indica 3000 rpm (rotações por minuto). Qual a sua frequência, medida em Hertz (oscilações por segundo - Hz)?

*

Marcar apenas uma oval.

50 Hz

40 Hz

30 Hz

60 Hz

70 Hz

5. O ponteiro dos segundos de um relógio possui um período equivalente a: *

Marcar apenas uma oval.

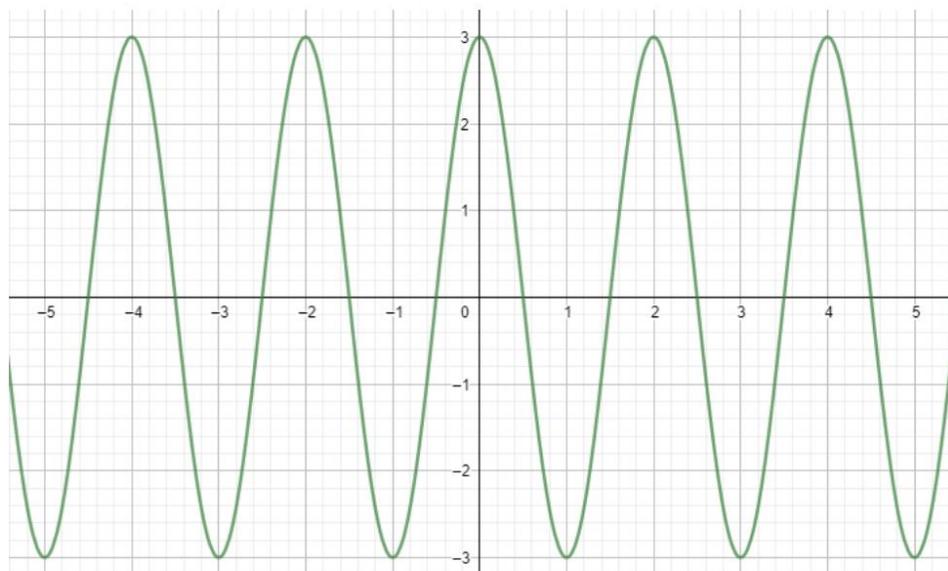
- 60 min
 1 s
 1 min
 1 h
 10 s

6. A cadência de uma bicicleta é definida como a velocidade de giro dos pedais, medida em RPM. Um sensor identifica que um ciclista está com uma cadência de 80 rpm. Qual o tempo, em segundos, para que esse ciclista complete uma pedalada? *

Marcar apenas uma oval.

- 0,75 s
 2 s
 1 s
 1,5 s
 1,3 s

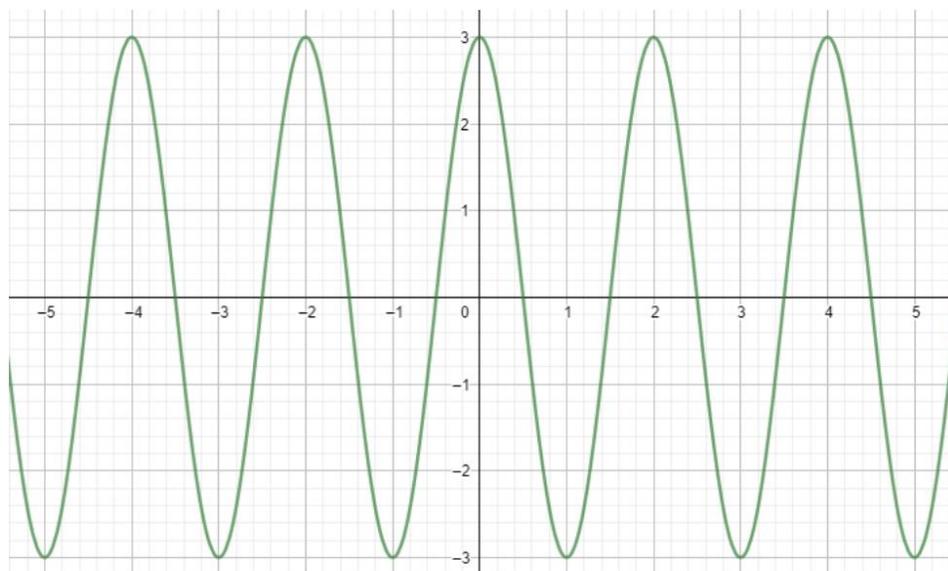
7. Assumindo que os eixos estão na escala centímetro. Qual o comprimento da onda abaixo? *



Marcar apenas uma oval.

- 2 cm
- 3 cm
- 1 cm
- 4 cm
- 6 cm

8. Assumindo que os eixos estão na escala centímetro, que a frequência dessa onda é de 2 Hz. Determine quanto tempo a onda leva para se propagar por 4 cm. *



Marcar apenas uma oval.

- 1 s
- 0,5 s
- 1,5 s
- 2 s
- 2,5 s

Apêndice B – Criação do organizador prévio

A ideia central para a criação desse vídeo e organizador prévio é a sintetização de todas os conceitos que estão associados ao modelo ondulatório para uma onda se propagando em corda. Ao conversar com um profissional da área de animação, a instrução dada por ele foi de elaborar um “story board” e de gravar as falas do vídeo com os momentos de entrada e saída para cada uma delas.

A videoaula que introduziu os conceitos está disponibilizada na plataforma Youtube ou através do Dropbox pelos links:

- [Vídeo no Youtube](#)
- [Vídeo no Dropbox](#)

Todos os arquivos gerados durante a criação estão disponibilizados na plataforma Dropbox abaixo.

- Link de acesso à pasta com todos os documentos: [Acesso aos arquivos](#)

As ondas foram geradas por meio do programa conhecido como “Cinema 4D”. O profissional de animação criou o formato da onda como a sobreposição de uma função chamada “flower” em série infinita, fez uma rotação ao longo das secções transversais de forma contínua para aparentar a textura da corda naval. Após a criação dessa “corda”, ele definiu a posição vertical de cada “flor” como uma função senoidal e orientou o programa a evoluir essa posição a partir de uma variável tempo.

Essas etapas foram as observadas por mim durante a construção da animação, mas a falta de habilidade com esses programas exigiu a contratação de um profissional para que estivesse pronta no tempo necessário. O software gerou a cena dinâmica da animação desejada, mas precisou ser exportado para edição conforme a ideia inicial em outro programa de edição de vídeo, o “Adobe After Effects”. A exportação das imagens que compunham cada frame da animação está no link do Dropbox, na subpasta “render_corda” e “render_corda_2”. Essas imagens estão no formato PNG para que pudessem ser inseridas no programa de edição de vídeo sem fundo.

As imagens das pastas “render” foram encaixadas em uma timeline de vídeo com um tempo de exposição curto. Esse encaixe produziu o vídeo das duas ondas, sobrepostas durante o processo de transição da [videoaula](#), do instante 0:27 ao 0:32. As duas ondas em vídeo estão disponibilizadas com os nomes “onda_1.mov” e “onda_2.mov” na pasta do [dropbox](#). Esses dois modelos ondulatórios oscilam em oposição de fase e com rotação do eixo a fim de dinamizar o recurso audiovisual que foi utilizado na videoaula.

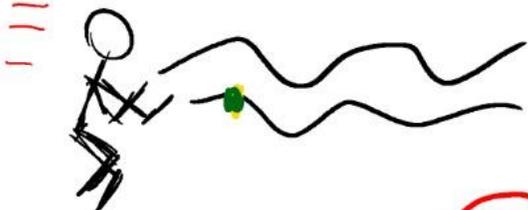
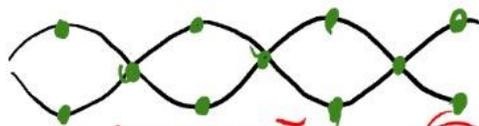
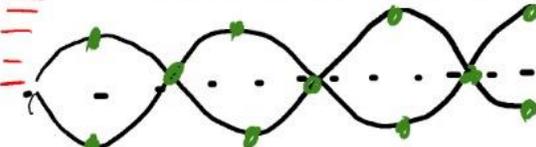
Caso um professor decida utilizar a animação produzida, ele pode facilmente introduzir as imagens renderizadas com o tempo de exposição desejado e criando um loop para criar um vídeo que possa ser editado. O programa mais simples que eu utilizo para edições rápidas de vídeo é um conhecido como “SonyVegas”; ele não possui tantas ferramentas quanto o “Adobe After Effects” e nem possibilita a criação de animações como o “Cinema 4D”, mas pode ser utilizado para algumas funcionalidades simples. Todos os programas apresentados acima são pagos.

Além da disponibilidade das imagens em PNG que geram o vídeo de propagação de onda, os projetos que foram executados nos “Adobe After Effects” e “Cinema 4D” estão disponibilizados nas respectivas subpastas do [Dropbox](#).

Para que o animador contratado pudesse colocar em prática a ideia de relacionar o caso concreto aos conceitos abordados, a primeira etapa a ser elaborada era o já mencionado “story board”. Esse recurso solicitado pelo animador é uma espécie de desenho que enfatiza e deixa explícito o que seriam as informações a ser colocadas em cada cena. Seria uma espécie de resumo que organiza as cenas e o tempo em que cada objeto seria inserido no vídeo.

Basicamente, o “story board” foi separado em dois momentos: um de gravação de uma situação real, em que eu estava praticando o exercício de corda naval, e em um em que toda a cena real seria substituída pelo vídeo da animação. O processo de transição seria realizado enquanto as duas cenas ficassem concomitantes, para induzir os alunos a compreensão de que a animação faria referência direta ao modelo de propagação de onda demonstrado na corda naval.

Story Board

<p>00:00</p> <p>Real</p>  <p>(10s)</p>	<p>00:00</p> <p>Real</p>  <p>Animação</p>  <p>(12s)</p>
<p>00:00</p> <p>Despararacer com uma das ondas</p>  <p>(5s)</p>	<p>00:00</p> <p>Comprimento de onda (λ)</p>  <p>(20s)</p>
<p>00:00</p> <p>Propagação da onda</p>  <p>Oscilação da matéria</p> <p>(8s)</p>	<p>00:00</p> <p>ZOOM NOS TEMPOS</p>  <p>PERÍODO: _____</p> <p>(10s)</p>

Deixar explícito a medida de tempo durante uma oscilação completa.

O “story board” inicial teve algumas mudanças sugeridas pelo animador durante a criação do projeto. O cronômetro, por exemplo, foi aconselhado aparecer apenas no final para a execução de uma oscilação completa, a fim de limpar a quantidade de informações que os alunos precisariam perceber durante o vídeo. O descritor amplitude também foi retirado, uma vez que o objetivo central do vídeo era o de estabelecer uma base de ancoragem referente aos conceitos de período, frequência, comprimento de onda e movimentos de propagação.

Após o “Story Board” finalizado, o animador fez a seguinte colocação: “Você quer vídeo com áudio ou sem áudio? Porque se tiver áudio é melhor você me encaminhar os áudios de cada cena para que o vídeo seja adequado ao áudio.” Como se trata de uma animação com cunho pedagógico, achei melhor a inclusão de áudio para que a visualização se tornasse dinâmica e os conceitos se tornassem mais claros.

Tomando como ponto de partida a necessidade da gravação dos áudios para que o vídeo fosse encaixado neles, um roteiro com as falas de cada cena foi elaborado. A gravação desses áudios foi feita através de um smartphone Samsung Galaxy S9+ e enviados pelo whatsapp para que o animador pudesse iniciar o processo de criação e organização do trabalho.

FALAS E DIREÇÃO PARA O VÍDEO

O que está indicado de vermelho é referente ao que precisa aparecer no vídeo. Já o que está indicado pela cor preta é a fala a ser gravada e enviada para criação da cena.

Cena A

“Perceba a propagação de onda gerada durante a prática do exercício conhecido como corda naval. Um movimento com certa frequência formará uma quantidade de ondas ao longo da corda (**indicar na simulação a quantidade de ondas**). Ao aumentarmos essa frequência, teremos uma quantidade maior de ondas. (**indicar na simulação a quantidade de ondas**). Afinal, a frequência será justamente a quantidade de oscilações completas por unidade de tempo.”

Cena B

“Para facilitar a análise, faremos a simulação de um modelo que descreve a propagação da onda. Retirando uma dessas ondas da simulação temos o padrão ondulatório simplificado.”

Criar transição do modelo real para o modelo animado a partir de uma superposição dos modelos.

(Pausar animação e indicar o nome das regiões seguintes com uma seta) “Daremos o nome ao topo dessa onda como crista e a região inferior como vale.”

Cena C

“Uma onda se completa ao retornar a mesma posição cumprindo o mesmo movimento. **(Indicar na simulação as distâncias apontadas na locução com cores diferentes)** Dessa forma, podemos contar uma onda completa de crista a crista, de vale a vale ou como a distância entre dois pontos equivalentes. Note que essas distâncias serão iguais independente do caminho escolhido”.

Cena D

(Simular a oscilação indicando a distância fixa do comprimento de onda se propagando em uma direção, indicando também a oscilação da matéria e a indicação da amplitude). “Durante a oscilação, perceba que o comprimento de onda se propaga ao longo da corda. A esse movimento, portanto, daremos o nome de propagação da onda.”

Cena E

(Aproximar a simulação e enfatizar as setas que acompanham o movimento). “No entanto, note que existe outro tipo de movimento, o de oscilação da corda. A matéria oscilará verticalmente, para cima e para baixo, mas não se propagará ao longo da corda. Aqui, entenda que a onda não propaga matéria, mas apenas energia.”

Cena F

“O tempo para que uma onda completa se forme na corda será chamado de período. Isto é, marcaremos o intervalo de tempo para a formação de um comprimento de onda ou de

uma oscilação completa da corda.” **(Simulação indicando o tempo para que uma onda se forme).**

“O movimento de propagação de onda, como é uniforme, poderá ser expressa através da equação $v = \frac{\lambda}{T}$. **(Indicar a equação com os respectivos significados -> v=velocidade de propagação, λ =comprimento de onda e T=período.)**

“Ou ainda, tomando a frequência como o inverso do período, podemos chegar na relação matemática $v = \lambda \cdot f$.” **(Indicar a equação com os respectivos significados.)**

Após a produção do vídeo, um vídeo curto no formato Gif foi produzido a partir do programa “Adobe Photoshop” com as cenas finais. O intuito era de produzir um organizador prévio que permitisse os alunos lembrarem do que foi visto no vídeo contendo a transição do fenômeno concreto para a simulação.

- Segue o [gif](#).

Apêndice C - Produto educacional



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

INSTITUTO DE FÍSICA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA

MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

PRODUTO EDUCACIONAL

UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA O ENSINO
DOS CONCEITOS BÁSICOS DE ONDULATÓRIA COM APLICAÇÃO NO ENSINO
PRESENCIAL E NO REMOTO

MATEUS SOUSA DE MEDEIROS

BRASÍLIA-DF

2022

1. Introdução

Caros colegas,

O presente produto educacional é uma sequência didática no modelo de Unidade de Ensino Potencialmente Significativa. Ele possui recursos que estão à sua disposição para quaisquer alterações e adaptações, de acordo com a sua percepção do ambiente de aplicação.

O conteúdo programático desta sequência está fundamentado nos conceitos de ondulatória. Os fenômenos associados podem ser utilizados como base de aplicação para os conceitos definidos por movimentos periódicos ou como fundamentação dos conceitos a serem aplicados em todos os modelos ondulatórios, nas suas diferentes classificações: mecânica ou eletromagnética; transversal, longitudinal ou mista.

Caso o seu trabalho esteja na modalidade “a distância” (ou remota), os materiais aqui disponibilizados podem contribuir significativamente para a aprendizagem significativa dos seus alunos. Caso o seu trabalho seja presencial, o material aqui disponibilizado pode ser utilizado também como complementar, a fim de auxiliar o processo de assimilação do conteúdo, ou como formato que explicita a transição da situação concreta para a virtual, no caso de propagação de ondas em cordas.

As atividades a seguir podem ser aplicadas em duas modalidades: uma como aplicação de conceitos para movimento periódicos com suas devidas adequações, enfatizando a fenomenologia do problema e a percepção destes como sugestão para uma turma do ensino fundamental; e, outra, como fundamentação dos signos e conceitos requisitados como subsunçores no modelo ondulatório, bem como as relações entre esses conceitos que podem ser associadas a outros tipos de onda, que não necessariamente, precisam de corda para se propagar.

Os materiais virtuais estarão disponibilizados como hiperlinks incluídos ao longo deste produto educacional. Para acessá-los, é necessário conexão com a internet, sendo mais bem aproveitados se visualizados por um computador. Todos os arquivos produzidos pelo presente trabalho, estão disponibilizados nas pastas:

- [Animação de transição.](#)
- [PDF e Vídeos.](#)

2. Unidade de Ensino Potencialmente Significativa para o ensino dos conceitos básicos de ondulatória.

2.1. Diagnóstico e introdução

Objetivo: Verificar o conhecimento prévio e intuitivo devido às experiências do cotidiano dos alunos com os signos relacionados à ondulatória. Iniciar um processo de reflexão e construção do que seria um modelo para ondas.

Conceitos envolvidos: Ondas, movimento periódico, transmissão, oscilação, exemplificação e visualização concreta do fenômeno.

Caso seja aplicado na modalidade presencial, sugere-se dedicar a essa atividade 2 aulas de 50 minutos cada. Caso seja na modalidade de ensino remoto, a previsão é de um dia.

Disponibilize os seguintes vídeos, da plataforma Youtube, como instrumento provocador:

- I. Ondas na corda naval (BERTOLUCI, 2017)
- II. Ondas no mar (DINIZ, 2016)
- III. Som nas cordas vocais (CASTRO, 2013)
- IV. Frequência audível (TREATY, 2016)

Por meio de uma ferramenta de preenchimento de formulário, que sugiro o Google Formulários, disponibilize as seguintes questões:

1. Baseado nos 4 vídeos assistidos, marque a(s) alternativa(s) ou responda no campo "outro" aquilo que você consegue associar ao conceito de onda:

- I. É uma oscilação que se propaga em uma meio material.
- II. Não precisa necessariamente de um meio material para se propagar.
- III. Transmite energia.
- IV. Transmite matéria.
- V. É um evento que se repete no tempo.
- VI. Obedece a um padrão de repetição.
- VII. Possui pontos altos e baixos.
- VIII. É gerada por uma fonte.
- IX. Pode possuir simetria ou não.
- X. Outro:

2. Justifique as opções selecionadas e/ou escritas na questão anterior.
3. Quais diferenças você consegue observar entre as quatro ondas visualizadas nos vídeos?
4. Por que as ondas da corda naval desaparecem ao longo da propagação?
5. Por que as ondas do mar possuem a zona de quebra e como elas são formadas?
6. Tente explicar o processo de formação, propagação e percepção da onda sonora que é produzida por uma pessoa até um ouvinte. Cite os órgãos envolvidos nesse processo.
7. Qual das quatro ondas te possibilita enxergar com mais clareza o formato de uma onda?

Ao final do questionário, desenhe o padrão de ondas se propagando na corda naval e encaminhe o [vídeo de transição do modelo concreto para o abstrato](#).

2.2. Diferenciação progressiva: estruturas e medições

Objetivo: Promover interação dos estudantes com os conceitos de comprimento de onda, frequência e período a partir dos instrumentos de medição. O ato de medir seria a última etapa no processo de assimilação de um conceito que define uma espécie de grandeza.

Conceitos envolvidos: Medição de grandezas periódicas em geral, período, frequência, comprimento de onda e escalas.

Para a atividade 2 estão previstas 4 aulas de 50 minutos na modalidade presencial ou 2 atividades para o ensino remoto.

Essa atividade, na modalidade presencial, será aplicada em sala de aula com os recursos Data Show, lista de exercícios e quadro negro.

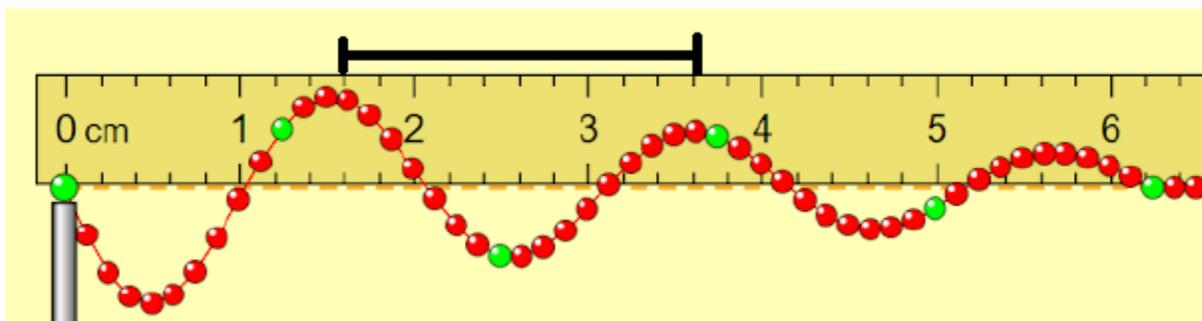
2.2.1. Etapa I – Medindo grandezas

Inicie a aula com o [vídeo de transição do modelo concreto para o abstrato](#), e enfatize os nomes dados ao topo e à base da onda como crista e vale. Conduza os alunos, por meio da diferenciação progressiva, ao entendimento do que seria um movimento completo para uma única onda, caracterizando devidamente o comprimento de onda, o período e a frequência para uma onda se propagando na corda naval.

Após essa caracterização, aplique o seguinte questionário:

QUESTIONÁRIO 1

1. Como faço para medir um objeto com a régua?
2. Na régua tradicional, existem quantas divisões para cada centímetro?
3. Cada centímetro equivale a quantos milímetros?
4. Existe diferença entre medir intervalo de tempo e horário?
5. Indique o valor aproximado do comprimento de onda, sinalizado em preto, abaixo. OBS: Atenção na quantidade de divisões para cada 1 centímetro.



6. Caso João saia da Ceilândia às 10:45 e chegue em Taguatinga às 11:15. Qual o tempo que ele levou para percorrer esse caminho?
7. Se a distância que João percorreu foi de 20 km, qual a velocidade média que ele desenvolveu no trecho Ceilândia-Taguatinga?
8. A roda de uma bicicleta gira a 120 rotações por minuto (rpm). Qual o período de giro dessa roda, em segundos?
9. Determine a frequência de rotação da Terra, em Hertz. OBS: Escreva a sua resposta na forma de fração.
10. Um praticante de crossfit oscila cada braço durante o exercício “corda naval” 4 vezes por segundo. Desconsiderando quaisquer efeitos externos ao atleta e a corda, bem como as reflexões dessas ondas no ponto de amarração, determine a frequência e o período de oscilação dessa corda durante a prática do exercício.

2.2.2. Etapa II – Avaliando o entendimento de certas grandezas

A atividade a seguir pode ser aplicada em teste impresso ou em formulário virtual, ficando a cargo do professor, baseado na estrutura da escola, fazer a devida escolha.

Após a aplicação do questionário acima, disponibilize a [atividade de medidas de grandezas](#) para verificar se os alunos assimilaram os conceitos abordados na aula

anterior. Para essa atividade, disponibilize o [GIF](#) que sintetiza todas as informações apresentadas como organizador prévio. Ao final, avise os alunos de que a próxima atividade será no laboratório de informática ou em sala com pelo menos um projetor datashow. Não se esqueça de reservar o ambiente com tempo hábil no seu planejamento.

2.3. Reconciliação integrativa: uso do simulador para experimentar comprimento de onda, período e frequência.

Objetivo: Consolidar os conceitos anteriores em torno de um mesmo modelo, o uso do simulador tem o potencial de desenvolver a capacidade de interpretação que é responsável por simplificar um problema dinâmico em um estático.

Conceitos envolvidos: Medição de grandezas no modelo ondulatório, período, frequência, comprimento de onda e uso de recursos virtuais.

Para a atividade 3 estão previstas 4 aulas de 50 minutos na modalidade presencial ou 1 atividade para o ensino remoto.

O ambiente de trabalho para a modalidade presencial é o laboratório de informática, ou, caso inexistente, pode ser adaptado com a utilização de um Datashow em sala, com o prejuízo da impossibilidade de cada aluno poder experimentar o simulador. Para à modalidade a distância, a [videoaula](#) tratará dos aspectos que serão requisitados durante os questionários, mas você pode gravar uma outra videoaula, tomando como ponto de partida os pontos que considerar fortes e os fracos dessa que gravei, além disso, a atividade avaliativa se encontra na etapa II da presente seção.

Verifique no dia anterior, no laboratório de informática de sua escola, a disponibilidade de computadores em funcionamento, faça o download do simulador nas máquinas para evitar quaisquer problemas associados à falta de conexão a internet no dia seguinte e deixe tudo organizado para que não seja perdido tempo com essa organização inicial.

2.3.1. Etapa I – Definindo as funcionalidades do simulador

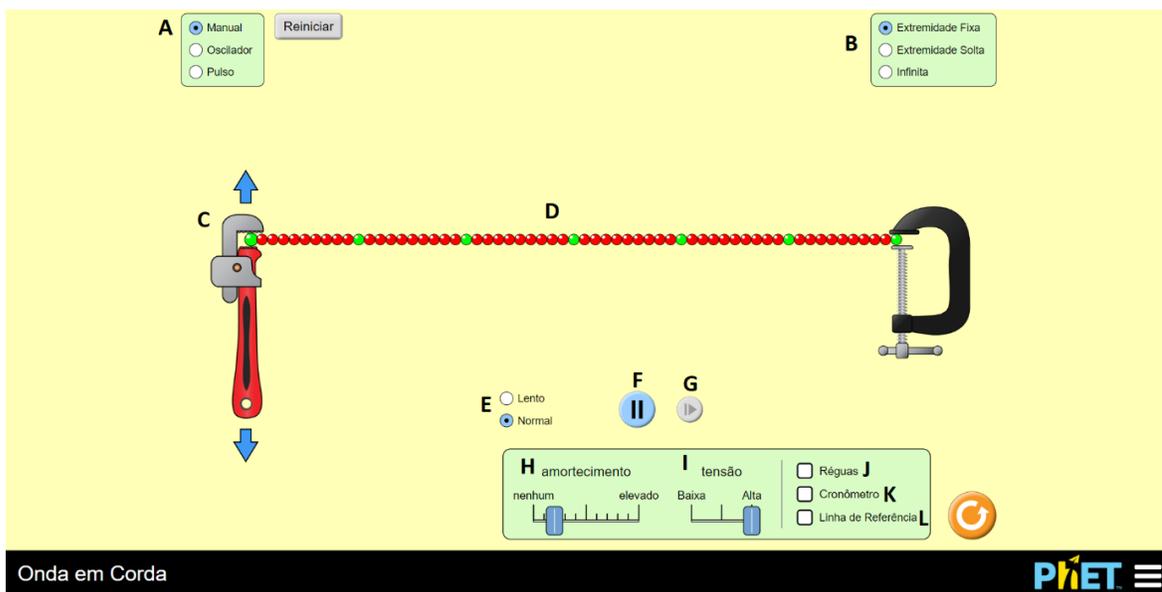
Conduza os alunos ao laboratório de informática para utilizarem o simulador. Ao chegar na sala, tenha um projetor multimídia para apresentar um simulador que será utilizado por você, professor(a). Com essa projeção, faça uma breve abordagem sobre o significado de comprimento de onda, do período e da frequência para uma situação no simulador. Mencione a influência da grandeza amortecimento no movimento da onda e

demonstre que, independentemente do amortecimento, o comprimento de onda permanecerá o mesmo.

Após essa abordagem, retomando o que foi estudado nas aulas anteriores, explique de forma sucinta as funcionalidades disponibilizadas pelo simulador e separe a turma em grupos de 2 ou 3 alunos aplicando o seguinte questionário para que eles registrem por escrito as funcionalidades de cada descritor.

QUESTIONÁRIO 2

Caro(a) aluno(a), preencha com suas palavras o que cada descritor apontado pelas letras de A a L, possibilita fazermos ou observarmos no simulador que está aberto em seu computador.



Utilize a tabela abaixo para registrar suas respostas. E lembre-se, quando tentamos definir por escrito, podemos encontrar dificuldades, mas tente organizar suas ideias com clareza.

Descritor A	
Descritor B	
Descritor C	

Descritor D	
Descritor E	
Descritor F	
Descritor G	
Descritor H	
Descritor I	
Descritor J	
Descritor K	
Descritor L	

Permita que os alunos interajam com o simulador após a descrição por escrito. Caso julgue interessante, avise-os de que na aula seguinte serão feitas atividades de gerar ondas e medir seus comprimentos, períodos e frequências, ainda no laboratório de informática.

2.3.2. Etapa II – Avaliação de mensuração

Para a próxima etapa dessa atividade, conduza-os ao laboratório de informática. Faça uma breve explanação a respeito da utilização da régua e do cronômetro digitais, caso não tenha sido questionado sobre isso pelos alunos na etapa anterior. Demonstre como medir comprimento de onda, período e frequência utilizando esses recursos.

Proponha que cada aluno produza uma imagem de uma onda para que outro(s) possa(m) fazer a leitura do comprimento de onda, frequência e período. Disponibilize o

tempo que for conveniente para esse momento (sugestivamente, 20 minutos para a finalização dessa interação).

Após esse momento, aplique a [atividade de mensuração](#) como avaliação.

2.4. Reconciliação integrativa: relação entre velocidade de propagação, comprimento de onda e frequência.

Objetivo: Relacionar todas as grandezas estudadas dentro de um modelo matemático expresso pela equação $v = \lambda f$, que permite os alunos compreenderem a evolução de um modelo ondulatório no tempo, além da compreensão do fenômeno de reflexão de onda, bem como a interferência promovida para este fenômeno.

Conceitos envolvidos: Relações entre grandezas, função linear, função periódica (trigonométrica), período, frequência, comprimento de onda, velocidade, aceleração, movimento periódico, ondas transversais, propagação, oscilação de onda e interferência.

Para a atividade 4, estão previstas 4 aulas de 50 minutos na modalidade presencial ou 1 atividade para o ensino remoto.

2.4.1. Etapa I – Compreendendo os movimentos presentes na onda

Essa aula propõe a modalidade expositiva para o ensino presencial e, para a modalidade remota, o formato de uma [videoaula teórica expositiva](#) sobre as relações, tratando da aplicação dos conceitos estudados até o presente momento. Para as duas formas de aplicação, a atividade prática será um questionário caracterizado como avaliação.

Inicie com o [vídeo de transição do modelo concreto para o abstrato](#), retomando o modelo abstrato para a propagação de uma onda. A partir do vídeo e do modelo de onda definido na aula anterior, comece mencionando a diferença entre os dois tipos de movimentos contidos em uma onda: o de oscilação e o de propagação.

Aponte para as atividades anteriores a observação de que o movimento de propagação de onda era uniforme, não existiam ondas “atropelando” e nem sendo “quebra molas” de outras. Pelo contrário, existia um fluxo constante de energia que tinha sua velocidade alterada quando se mudava a tensão da corda. Mas, enquanto isso, deveria existir algum tipo de aceleração que faria a corda oscilar em torno do ponto de equilíbrio, sendo essa oscilação perpendicular a corda.

Defina, a partir dessa constatação, o que seria uma onda transversal (movimentos de oscilação e propagação perpendiculares entre si) e mencione que existirá um outro tipo de onda, que possui movimento de oscilação e propagação paralelos entre si, classificado como longitudinal, a ser estudado em outro momento.

Mostre para os alunos que em cada região, acima e abaixo do eixo da onda, existe um momento de desaceleração e outro de aceleração, relacionados ao movimento de oscilação. Os momentos de aceleração ocorrerão quando a oscilação estiver a caminho do eixo, enquanto os momentos de desaceleração serão caracterizados quando a oscilação estiver se distanciando desse mesmo eixo.

Exponha a equação de Taylor associando a velocidade a tensão e densidade linear da corda, para, por fim, aplicar a atividade de avaliação para essa etapa.

Após esse momento de exposição, selecione alguns exercícios para resolução em sala de aula e/ou aplique a seguinte [atividade avaliativa](#).

2.4.2. Etapa II – Analisando o fenômeno de reflexão e interferência

Para a modalidade à distância, proponha a seguinte [videoaula](#). Ela se baseia no uso do simulador como ponto de partida, permitindo a visualização do que seria a representação do fenômeno de reflexão, bem como os processos de interferência associados a oposição e concordância de fase entre pulsos.

Se o seu caso é a modalidade presencial, utilize um projetor multimídia conectado a um computador para projetar o simulador em sala de aula. Para essa aula, o objetivo seria aprender as diferenças entre os tipos de reflexão de onda com relação a uma extremidade fixa ou a uma livre, disponíveis pelo simulador.

Apesar dessa possibilidade, demonstre para eles as diferenças da interação de um pulso de onda com os dois tipos de extremidade, enfatizando a classificação como “mudança de fase”, para a extremidade fixa, ou “manutenção de fase”, para a extremidade livre. Esse fenômeno constituirá um subsunçor importante associado a interação de ondas eletromagnéticas com superfícies refletoras.

Após a demonstração dessa interação da onda com a extremidade refletora, introduza os conceitos de interferência, diferenciando a construtiva da destrutiva e utilizando o simulador como ponto de partida e ancoragem visual para o fenômeno.

Ao final dessa etapa, aplique a [atividade](#) para avaliar o entendimento sobre as figuras formadas devido aos padrões de interferência.

2.5. Avaliação final

A avaliação final proposta por esta UEPS está na condição somativa. Para as duas modalidades, presencial ou remota, o formato é o de resolução de questões associadas aos conceitos abordados durante toda a sequência. Acesse a [avaliação](#) para verificar as questões sugeridas e disponibilizadas por ela.

Por fim, adote o processo de avaliação com o método que julgar conveniente e que seja o mais pertinente para a sua turma, se possível, incluindo avaliações das participações dos alunos ao longo de todo o semestre letivo.