APLICATIVOS COMO FACILITADORES DO ENSINO E APRENDIZAGEM DE ONDAS

Geovane Lima da Silva

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Acre 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. Luís Gustavo de Almeida

Rio Branco - AC
Fevereiro de 2019

APLICATIVOS COMO FACILITADORES DO ENSINO E APRENDIZAGEM DE ONDAS

Geovane Lima da Silva

Orientador:
Prof. Dr. Luís Gustavo de Almeida

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Acre 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. Luís Gustavo de Almeida

_____
Dr. Antônio Romero da Costa Pinheiro

_____
Dr. Marcos Vinícius de Souza

_____
Dra. Bianca Martins Santos

Rio Branco – AC
Abril de 2019

MODELO de FICHA CATALOGRÁFICA

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da UFAC

S586a Silva, Geovane Lima da, 1996-

Aplicativos como facilitadores do ensino e aprendizagem de ondas/ Geovane Lima da Silva; orientador: Dr. Luís Gustavo de Almeida. - 2019.

123 f.: il.; 30 cm.

Mestrado (Dissertação) – Universidade Federal do Acre, Programa de Pós-Graduação de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), Rio Branco, 2019.

Inclui referências bibliográficas, apêndices e anexos.

1.Smartphones. 2. Recursos. 3. Aprendizagem significativa. I. Almeida, Luís Gustavo de (orientador). II. Título.

CDD: 530

Bibliotecária: Nádia Batista Vieira CRB-11º/882.

DEDICATÓRIA

À Dona Rita e Seu Raima.

AGRADECIMENTOS

A Deus.

À minha família, em especial aos meus pais e ao meu irmão Geogleison pela companhia nesses dois anos de caminhada longe de nossa casa.

À senhora Eunice Assumpção, seu esposo João Alberto Assumpção e a sua sobrinha e minha amiga Débora Elliz pelo apoio fundamental.

Aos meus amigos.

Aos meus professores do MNPEF, em especial ao meu orientador Luís Gustavo de Almeida.

À UFAC e aos servidores do Mestrado Nacional Profissional de Ensino em Física.

RESUMO

APLICATIVOS COMO FACILITADORES DO ENSINO E APRENDIZAGEM DE ONDAS

Geovane Lima da Silva

Orientador(es):
Prof. Dr. Luís Gustavo de Almeida

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação (nome dado na instituição) 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 grande avanço tecnológico provocou mudanças drásticas na produção e transmissão de conhecimento nas últimas décadas. Em escala mundial, se observou uma nova forma de ensinar e aprender ciências: através de tecnologias portáteis, como os famosos *smartphones e tablets*. Assim, este trabalho objetiva verificar se o uso dos *smartphones* e seus recursos (aplicativos e *Qr- Codes*) são facilitadores do ensino e aprendizagem do conteúdo de ondas. A metodologia adotada neste trabalho consiste em caráter quantitativo e qualitativo e utiliza a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel como base para a realização da pesquisa. Utilizou-se questionários semiestruturados para a coleta de dados e os resultados obtidos revelaram evidências de aprendizagem significativa dos participantes da pesquisa, mostrando que os recursos presentes nos *smartphones* são excelentes ferramentas educacionais e devem ser exploradas pelos professores da educação básica.

Palavras-chaves: *Smartphones*, recursos, aprendizagem significativa.

Rio Branco - AC
Fevereiro de 2019

ABSTRACT

APPLICATIONS AS FACILITATORS OF TEACHING AND LEARNING WAVES

Geovane Lima da Silva

Supervisor:
Prof. Dr. Luís Gustavo de Almeida

Abstract of master's thesis submitted to Graduate program of Federal University of Acre in the Professional Master's Degree in Physics Teaching (MNPEF), in partial fulfillment of the requirements for the degree Master in Physics Teaching.

The great technological advance has caused drastic changes in the production and transmission of knowledge in the last decades. Globally, a new way of teaching and learning science has been observed: through portable technologies, such as the famous smartphones and tablets. Thus, this work aims to verify if the use of smartphones and their resources (applications and Qr-Codes) are facilitators of the teaching and learning of wave content. The methodology adopted in this work consists of quantitative and qualitative character and uses the Theory of Meaningful Learning of Ausubel as basis for the realization of the research. Semi-structured questionnaires were used to collect data and the results obtained revealed significant learning evidences of the participants of the research, showing that the resources present in the smartphones are excellent educational tools and should be explored by the teachers of basic education.
Keywords: *Smartphone*, resources, meaningful learning.

Rio Branco - AC
February 2019

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Unidades de medida de algumas grandezas físicas das ondas. 18

Tabela 2. Valores do índice de refração de alguns meios..... 27

Tabela 3. Quantidade celulares smartphones coletados com os estudantes participantes da pesquisa..... 40

Tabela 4. Resultados obtidos concernentes à metodologia adotada no trabalho..... 50

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Sucessão de pulsos formando uma onda. 14

Gráfico 2. Uma função expressa por um seno possui essa curva característica. 21

Gráfico 3. Gráfico de uma onda com 1 comprimento de onda no intervalo de 0 a 2π. . 21

Gráfico 4. Gráfico de uma onda com vários comprimentos de onda no intervalo de 0 a 2π. 22

Gráfico 5. Comparações percentuais de acertos nas primeira e segunda aplicações do questionário referente as propriedades das ondas..... 45

Gráfico 6. Comparações percentuais de acertos nas primeira e segunda aplicações do questionário relacionado aos fenômenos ondulatórios. 47

Gráfico 7. Confrontos percentuais de acertos nas primeira e segunda aplicações do questionário relativo as ondas estacionárias. 48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: A lanterna emite um feixe de luz que incide sobre um espelho plano. Esse feixe designado por feixe incidente pode ser imaginado como raios que incidem sobre a superfície do espelho. Quando os raios incidentes atingem o espelho eles refletem, e passam a se propagarem no mesmo meio. 10

Figura 2: pulso se propagando com velocidade v em uma corda. 13

Figura 3: Em uma onda transversal os pontos da onda vibram formando um ângulo de 90 graus com a direção de propagação. Observe que as vibrações ocorrem para cima e para baixo enquanto a onda se propaga na horizontal. 15

Figura 4: O campo elétrico E e o campo magnético B são perpendiculares em relação a direção de propagação da onda. 15

Figura 5: Em uma onda longitudinal as vibrações ocorrem na mesma direção da propagação. 16

Figura 6: Posição de equilíbrio de uma onda senoidal. 16

Figura 7: Cristas e vales em uma onda senoidal gerada a partir do aplicativo wave interference. 17

Figura 8: A amplitude (A) de uma onda senoidal. 17

Figura 9: Podemos identificar o comprimento de onda através de duas cristas ou dois vales consecutivos. 18

Figura 10: Comprimento de onda entre dois pontos idênticos. 18

Figura 11: Quando o alvo se aproxima do radar, este emite sinais de ondas eletromagnéticas as quais batem no alvo e retornam, caracterizando o fenômeno da reflexão. 24

Figura 12: O ângulo entre o raio incidente e a reta normal N. 24

Figura 13: Ao colocarmos um lápis dentro de um copo com água temos a impressão de que este está ‘quebrado’, um fato decorrente da refração da luz. 26

Figura 14: Uma onda sofrendo refração em uma mudança de meio de propagação. ... 26

Figura 15: Onda sonora sofrendo difração. 28

Figura 16: Para $\lambda < d$ a difração não ocorre, tendo comportamento corpuscular. 29

Figura 17: Para $\lambda > d$ a difração já se torna observável, demonstrando o comportamento ondulatório da onda. 29

Figura 18: Cada ponto age como uma nova onda. 29

Figura 19: fenômeno de difração em uma fenda dupla. 30

Figura 20: Aparato experimental utilizado por Thomas Young no fenômeno da interferência entre ondas geradas a partir da propagação após incidir sobre duas fendas. 31
Figura 21: Ponto P no anteparo a uma distância D das fendas F' e F. 32
Figura 22: Para D >> d os raios são paralelos entre si. 32
Figura 23: Formação de uma onda estacionária em uma corda cuja as extremidades estão fixas. 33
Figura 24: Pontos em que se localizam os nodos e antinodos em uma onda estacionária. 34
Figura 25: Interface inicial do aplicativo utilizado para o estudo das propriedades das ondas. 38
Figura 26: Interface inicial do aplicativo usado para o estudo dos fenômenos ondulatórios. 38
Figura 27: Aparato experimental para o estuo das ondas estacionárias. 39
Figura 28: Tela inicial do aplicativo escolhido para o estudo das ondas estacionárias. 39
Figura 29: Leitor de Qr - Code sugerido. 42
Figura 30: Qr-Code para visualização do material de estudo e realização das atividades colaborativas sobre as propriedades das ondas. 42
Figura 31: Qr - Code utilizado para download do roteiro sobre os fenômenos ondulatórios. 43
Figura 32: Qr - Code utilizado para download do roteiro sobre ondas estacionárias. .. 43
Figura 33: Qr-Code para acesso da tabela de avaliação pelo professor. 43

SUMÁRIO

Capítulo 1 1
Introdução 1
1.1 Objetivos 3
1.1.1 Objetivo Geral 3
1.1.2 Objetivos Específicos 3
Capítulo 2 3
2. Referencial Teórico 3
2.1 A Teoria da Aprendizagem Significativa 3
2.2 A Teoria da Aprendizagem Multimídia 9
2.3 A aprendizagem móvel e aplicativos educacionais 10
3. Ondulatória: Tratamento teórico, conceitual e matemático 12
3.1 Do conceito de onda 13
3.2 Da natureza das ondas e sua propagação 14
3. 3 Das propriedades das ondas 16
3.4 Dedução da equação da onda unidimensional a partir de uma função de onda harmônica. 18
3.4.1 Onda harmônica 18
3.5 Equações dos livros do ensino médio a partir de uma função de onda harmônica 20
3.6 Os fenômenos de reflexão, refração e difração 23
3.6.1 Da reflexão de ondas 23
3.6.2 Do fenômeno de refração 25
3.6.2.1 Índice de refração de um meio 27
3.6.3 Do fenômeno de difração 28
3.7 O fenômeno da interferência e as ondas estacionárias 30
3.7.1 Ondas estacionárias 33
3.7.2 Ondas estacionárias em uma corda com extremidades fixas 35
4. Metodologia 36
4.1 Delimitação do tema 36
4.2 Procedimentos metodológicos 40
CAPÍTULO 3 44
5. Resultados e discussões 44
5.1 Resultados e discussões do roteiro 1 44

5.2 Resultados e discussões do roteiro 2 47
5.3 Resultados e discussões do roteiro 3 48
5.4 Resultados e discussões acerca da metodologia utilizada 49
6. Conclusões 54
7. Referências bibliográficas 57
8. Apêndices 60
8.1 Apêndice a: produto educacional 60
9. Anexos 99

Capítulo 1

Introdução

O avanço tecnológico nas últimas décadas tem modificado profundamente a sociedade no tocante as formas de produção e disseminação de conhecimento. Por meio de novas tecnologias de informações e comunicações, as pessoas tem acesso aos conteúdos informativos, sejam eles científicos ou não, a qualquer hora e praticamente de qualquer lugar. Dentre essas tecnologias, o celular *smartphone* tem ocupado o topo da cadeia tecnológica, e tem adentrado as escolas tanto quanto em qualquer outro espaço social.

Os recursos presentes nesses aparelhos, principalmente os denominados aplicativos (ou *Apps*) abriu um novo cenário na utilização de tecnologias digitais e tem despertado um crescente interesse educacional por parte de professores. Esse interesse é notavelmente justificável quando consideramos as características de portabilidade, acessibilidade e conectividade presentes nesses aparatos.

Os aplicativos educacionais desenvolvidos para serem executados por meio de sistemas operacionais presentes nos telefones celulares do tipo *smartphone*, tem auxiliado professores e estudantes na construção e desenvolvimento do conhecimento científico.

Como prática educacional, a utilização desses meios tecnológicos tem efetivado uma nova modalidade educacional denominada como *Mobile Learning* (Aprendizagem Móvel), onde essas tecnologias portáteis são utilizadas para a concepção e produção do conhecimento.

Assim, este trabalho é concebido diante de uma perspectiva inovadora de prática pedagógica utilizando aplicativos que possibilitem o ensino e a aprendizagem dos conteúdos de ondas na Educação de Jovens e Adultos, e pretende corroborar para romper com o cenário pouco empolgante do ensino e aprendizagem da componente curricular de física.

Diante do exposto, este trabalho pretende identificar se a utilização de aplicativos facilitam o processo de ensino e aprendizagem nos conteúdos de ondas.

A metodologia dessa pesquisa consiste em utilizar roteiros compostos por conteúdos e atividades colaborativas tendo como auxilio os aplicativos e outros recursos digitais como os *Qr – Codes.*

A aplicação desta metodologia apoia-se na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, onde são considerados os conhecimentos prévios dos estudantes participantes da pesquisa.

A utilização dos aplicativos propostos aos estudantes como facilitadores do processo de ensino-aprendizagem mostrou-se uma excelente ferramenta educacional com base nos resultados obtidos. O uso desses aparatos na realização das atividades colaborativas fomentou a concepção dos conteúdos por parte dos estudantes e permitiu a interação com tecnologias educacionais e podemos destacar que houve indícios de aprendizagem com significado pelos estudantes participantes da pesquisa. Com isso, defendemos que metodologias de ensino utilizando recursos tecnológicos como aplicativos devem ser cada vez mais explorados no âmbito educacional.

A estrutura dessa dissertação está disposta da seguinte maneira: o capítulo 1 apresenta a introdução e os objetivos geral e específicos os quais pretendemos alcançar.

O capítulo 2 apresenta o referencial teórico utilizado na pesquisa. Nas secções iniciais são discutidas as bases teóricas da Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) e também são expostas algumas considerações a respeito da Teoria Cognitiva da Aprendizagem Multimídia.

Na seção posterior é discutida a aprendizagem móvel e os aplicativos educacionais, suas definições e importância de como esses recursos podem favorecer o processo pedagógico tanto na pratica de ensino como na aprendizagem pelos estudantes.

Na tópicos finais do referencial teórico é retratado o conteúdo de ondulatória. É apresentado e discutido o conceito de ondas, suas propriedades e os fenômenos de reflexão, refração e difração. Ao fim, são discutidos o fenômeno da interferência e os conceitos de ondas estacionárias.

Na seção quatro é apresentada a metodologia adotada para a realização da pesquisa. Nestes tópicos, são apresentadas as motivações da pesquisa, o que se pretende alcançar e como estruturamos os procedimentos metodológicos para alcançar os objetivos. São apresentados também as justificativas para a escolha do uso de smartphones, da escola, do público alvo e dos conteúdos.

No capítulo 3 são mostrados os resultados e as discussões dos dados coletados e as respectivas conclusões obtidas frente ao problema geral desta pesquisa. São apresentadas também as considerações finais. Por fim, destacamos que o produto educacional elaborado neste trabalho está contido nos apêndices.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

A perspectiva geral deste trabalho constitui-se em utilizar os celulares *smartphones*, em se tratando de aplicativos e *Qr-Codes*, como facilitadores do processo de ensino e aprendizagem nos conteúdos de ondulatória.

1.1.2 Objetivos Específicos

Construção e disponibilização de roteiros e metodologias de avaliação acessíveis de forma impressa e digital através de *Qr-Codes.*

Uso e exploração de *apps* com centrabilidade na aprendizagem significativa dos estudantes fundada em uma prática pedagógica alternativa e diferenciada.

Capítulo 2

2. Referencial Teórico

2.1 A Teoria da Aprendizagem Significativa

Nos últimos anos, a Teoria da Aprendizagem Significativa tem sido a base do processo de ensino e aprendizagem dos conteúdos científicos na maioria das escolas do mundo. Desde seu advento no século passado até o seu estágio contemporâneo, essa teoria tem englobado grande parte do processo pedagógico de professores tanto das ciências naturais, quanto das ciências sociais.

Seu grande impacto na área educacional advém de uma transformação pedagógica que tira o foco do professor e tem como alvo primordial o aluno. Considerando suas especificidades, suas qualidades e dificuldades, a aprendizagem significativa se preocupa com um caminho de construção do aprender, por isso, é definida como uma teoria *Construtivista.* Isso se dá "porque essa teoria defende que o conhecimento é um processo construtivo e valoriza, portanto, muito o papel da estrutura cognitiva prévia de quem aprende" (VALADARES, 2011, p. 53).

No que descreve Tavares (2004, p.56) "os grandes precursores do construtivismo contemporâneo foram o suíço Jean Piaget e o russo Lev Vigotski, que iniciaram os seus trabalhos na década de vinte do século passado". Entretanto, o sucesso da teoria construtivista só aparece na década de sessenta em consequência das

dificuldades da teoria comportamentalista de Burrhus Skinner em dar conta das especificidades da aprendizagem humana.

O construtivismo, apesar de várias idealizações, possui como conceito central a construção da aprendizagem como processo inerente ao seu humano, ou seja, o ser humano é dotado da capacidade de construir a aprendizagem (de aprender). Assim sendo, Novak define *Construtivismo humano* como sendo

> "uma visão da criação de significados que engloba quer uma teoria da aprendizagem quer uma epistemologia da construção do conhecimento. Oferece o poder heurístico e vatídico de um modelo psicológico da aprendizagem humana, juntamente com o potencial analítico e explicativo englobado numa perspetiva filosófica única sobre a mudança dos conceitos" (MINTZES E WANDERSEE, 2000, p.58).

No ano de 1960, David Ausubel propôs a sua *Teoria da Aprendizagem Significativa* em que defende a aprendizagem de significados (conceitos) como a mais importante para os seres humanos. Ele ressalta que a maior parte da aprendizagem se dá por recepção e que a humanidade tem utilizado esse artificio para a transmissão de informações ao longo das gerações (TAVARES, 2004, p.56).

Em seu sentido mais amplo, aprender de maneira significativa na visão *Ausubeliana,* consiste na situação em que "o indivíduo consegue relacionar, de maneira substantiva (não literal) e não arbitrária, a nova informação com uma estrutura de conhecimento específica que faz parte integrante da sua *estrutura cognitiva* prévia" (Valadares, 2011, p.36).

A aprendizagem significativa é um processo singular, o que significa que ela acontece de maneira individual. Por exemplo: um aluno pode aprender facilmente a relação entre força e movimento enquanto outro pode não compreender essa relação de imediato, levando mais tempo para perceber essa associação. Ela também é um procedimento idiossincrático, ou seja, se dá ao longo de toda a vida, através de uma sequência de eventos, única para cada pessoa (TAVARES, 2004, ibid). Além disso, a aprendizagem significativa é complexa e nela estão todas os conceitos e informações que o indivíduo previamente aprendeu ao longo de suas vivências e ações.

A aprendizagem significativa, portanto, baseia-se na associação substantiva e não arbitrária do que se aprende com os conhecimentos relevantes formados na estrutura cognitiva do aprendiz. A esse aspecto da estrutura cognitiva especificamente relevante para assimilar cada conhecimento a aprender, Ausubel atribuiu o termo "*subsunçor*" (Valadares, 2011, p.37).

Considere um aprendiz com o *subsunçor (S)* que recebe uma *nova informação potencialmente significativa (i).* Ao relacionar a *nova informação potencialmente significativa* com o *subsunçor* o aprendente adquire um novo conceito, um novo significado, que modifica a ideia já estabelecida *(o subsunçor).*

$$i + S = i' S'$$

i – informação nova potencialmente significativa.

S – subsunçor (ideia já estabelecida na estrutura cognitiva do aprendente).

i' S' – produto da interação entre a nova informação potencialmente significativa *i* e o subsunçor *S*, agora modificado, que foi associado a nova informação, pessoal e idiossincrática, mais ou menos diferente da ideia inicial de quem passou.

De fato, a aprendizagem significativa é expressamente dependente da existência de subsunçores na estrutura cognitiva do indivíduo para relacioná-los com as novas informações recebidas. Assim, os *subsunçores* servem de ancoradouro para a nova informação (BOSS; SOUZA; CALUZI, 2009). Os mesmos autores afirmam que sem a disponibilidade de subsunçores suficientes na estrutura cognitiva do aprendente não é possível haver aprendizagem significativa e exemplificam esse fato pelo uso da memorização automática de definições, conceitos ou proposições. O processo citado anteriormente é, na verdade, a antítese da aprendizagem significativa e foi designada por Ausubel como *aprendizagem mecânica.*

Por exemplo, um aluno pode aprender a equação fundamental da ondulatória que diz que a velocidade de propagação de uma onda é dada pelo produto da sua frequência de oscilação pelo comprimento de onda considerado. No entanto, para aprender significativamente esse conceito o aluno deve ter em sua estrutura cognitiva o conhecimento sobre *comprimento de onda e frequência.* Deve saber que ao aumentarmos o comprimento de onda diminuímos a sua velocidade, estabelecendo uma relação inversa, e que ao aumentarmos a frequência aumentamos a sua velocidade.

Entretanto, o aluno não consegue, muitas vezes, associar essas relações ao olhar diretamente para a equação fundamental da ondulatória. Para compreender significativamente essas associações, o aluno deveria ter como subsunçores outros conceitos que, muitas vezes, não são trabalhados nos livros didáticos do ensino médio.

Assim, ele poderia simplesmente memorizar essa equação e aplicá-la de maneira direta em exercícios e problemas, caracterizando, assim, a aprendizagem mecânica. Uma consequência desse modo de aprendizagem é a memorização de fórmulas para

testes e exames. Na verdade, Ausubel propõe que a aprendizagem mecânica seja usada somente quando o aluno não possuiu subsunçores e, a partir daí, a utilize como base para outras novas informações (novos conteúdos). Ele sugere que o conhecimento inicial seja memorizado e, a partir desse conhecimento absorvido, seja paulatinamente estruturado o conhecimento sobre o tópico considerado (Valadares, 2011, p.57).

Levando em conta o contexto a que se baseia a aprendizagem significativa, existe uma ponte entre as novas informações que serão recebidas pelo ser aprendente e os conhecimentos já existentes em sua estrutura cognitiva? Ausubel diz que sim e propõe que essa ligação seja feita através dos *organizadores prévios.* Os organizadores prévios, na visão *Ausubeliana* são:

> [...] pontes cognitivas entre o que aprendente já sabe e o que pretende saber. É construído com um elevado grau de abstração e inclusividade, de modo a poder se apoiar nos pilares fundamentais da estrutura cognitiva do aprendente e, desse modo, facilitar a apreensão de conhecimentos mais específicos com os quais ele está se deparando (apud, 2001, p.57).

De maneira mais clara, o que se pretende com a utilização dos organizadores prévios é fazer a ligação entre o conteúdo que será apresentado e os conhecimentos prévios do aprendiz. Nesse sentido, Moreira (2012, p.2) afirma que:

> Organizadores prévios são materiais introdutórios apresentados antes do material de aprendizagem em si. Contrariamente a sumários que são, de um modo geral, apresentados ao mesmo nível de abstração, generalidade e abrangência, simplesmente destacando certos aspectos do assunto, organizadores são apresentados em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade.

O autor citado ainda aponta que esses organizadores prévios podem tanto fornecer "ideias âncora" que serão relevantes para a construção da aprendizagem significativa do novo material, quanto para estabelecer relações entre as ideias, as proposições e conceitos já existentes na estrutura cognitiva e aqueles contidos no material de aprendizagem.

Assim, ao apresentar um conteúdo novo para o indivíduo, é fundamental que esse material seja introduzido por organizadores prévios, afim de desenvolver subsunçores no aprendiz ou propiciar relações entre este e o novo material.

Como apontado por Moreira, é difícil definir se um material é ou não um organizador prévio, pois isso depende sempre da natureza do material de aprendizagem, do nível de desenvolvimento cognitivo do aprendiz e do seu grau de familiaridade prévia com a tarefa de aprendizagem. Isso condiz com os termos aqui já defendidos de

que a aprendizagem é singular e idiossincrática, portanto, um material pode ser um organizador prévio para um aprendiz ao passo que para outro não.

Uma característica importante da aprendizagem significativa é que esta é *dinâmica,* ou seja, não é um mero processo de recepção de informações. Ao receber um novo conteúdo o aprendiz amplia, aprofunda, aprimora os seus subsunçores. Essa dinamicidade indigita duas vertentes relevantes que gostaríamos de destacar: *a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa.*

Ausubel expõe que a maneira mais natural de aprendizado é pela diferenciação progressiva, ou seja, onde se parte de uma ideia mais geral e inclusiva e caminha-se para uma ideia menos inclusiva (uma ideia particular). Por exemplo, seria como propor o conceito de onda. Essa exposição deveria ser feita de uma maneira geral, ou seja, um conceito que definisse e incluísse todos os tipos de ondas. A partir daí, direciona-se para o estudo das ondas em diferentes meios (ondas em uma corda, na água, no ar ou ainda no vácuo).

A reconciliação integrativa, por sua vez, é resultado da reorganização das estruturas cognitivas do estudante, possibilitando a este adquirir novos significados. Por exemplo, ao estudar as propriedades das ondas em uma corda, o aprendiz relaciona essas propriedades, a ele antes dissonantes, com as ondas que se propagam no vácuo, ou mesmo no ar (no caso do som). Características essas que são comuns a esses tipos: *comprimento de onda, frequência, período de oscilação, velocidade.*

A priori, para que haja aprendizagem significativa são necessários três elementos essenciais:

> [...] a oferta de um novo conhecimento estruturado de maneira lógica; a existência de conhecimentos na estrutura cognitiva que possibilite a sua conexão com o novo conhecimento; a atitude explícita de apreender e conectar o seu conhecimento com aquele que pretende absorver (VALADARES, 2011, p.56).

O novo conhecimento, como já comentado, deve apresentar-se de forma coerente, fundamentada, que apresente sentido para o aprendiz. Para isso, o uso de organizadores prévios, assim como aulas bem planejadas e fundamentadas são imprescindíveis. Outrossim, são necessários subsunçores na estrutura cognitiva do indivíduo que aprende que se conectem com os novos conceitos, e por fim, é fundamental que o aprendente se pré-disponha a relacionar-se de maneira significativa com as novas informações. A fidelidade aos parâmetros apresentados na TAS pode definir o sucesso na aprendizagem significativa de quem recebe esses conceitos.

Entretanto, apesar de sistemas como a TAS serem conhecidos por grande parte dos educadores, percebe-se ainda um retrato de 'insucesso' no processo de ensino e aprendizagem nos conteúdos escolares, especialmente no ramo das ciências naturais. Boss (*et. al*, 2009) opinam que não é difícil para um professor de Física, do ensino superior ou médio, observar as dificuldades de aprendizagem dos alunos referentes aos conceitos ministrados.

Em seu trabalho sobre a utilização de fontes primárias para a promoção da aprendizagem significativa sobre o conceito de carga elétrica, esses autores, embasados em trabalhos sobre o tema e fontes governamentais, apontaram dois motivos principais para o insucesso da aprendizagem em física. O primeiro deles é a *banalização* dos conceitos, e o segundo é a *metodologia* utilizada para ministrá-los.

Conforme os autores, a *banalização* dos conceitos físicos, afim de facilitar o processo de ensino-aprendizagem criam, a *'falsa'* impressão de aprendizagem nos estudantes. Ainda defendem que essa '*trivialidade'* dos conceitos faz com que se deixe de lado as reais dificuldades que os alunos têm na compreensão da disciplina.

O outro ponto importante evidenciado pelos autores é a forma que os conceitos da disciplina de física têm sido ministrados em sala de aula. Segundo eles citando (BRASIL, 2000, p. 22):

> [...} o ensino de Física é realizado por meio da apresentação de conceitos, leis e "fórmulas" de maneira desarticulada e sem significado para os alunos. A teoria e a abstração são colocadas e exigidas desde o início do processo de aprendizagem, relegando o desenvolvimento gradual da abstração. Prioriza e dá ênfase excessiva à utilização de "fórmulas", em situações artificiais, separando a linguagem matemática de seu significado físico. Preza pela resolução mecânica de exercícios repetitivos, buscando, de certa forma, a aprendizagem pela automatização ou memorização e não pela construção paulatina e sólida do conhecimento.

Portanto, o que se observa é que a forma mecânica de aprendizagem dos estudantes, resultado de metodologias ineficazes ou tradicionais resulta em uma baixa efetividade de aprendizagem construída, atribuída de significados. Com base nisso, a proposta de realização desse trabalho constitui-se nos pilares estabelecidos pela TAS. Como já mencionado, apesar da dificuldade em definir se um material é um organizador prévio eficaz ou se a forma de estruturação dos conteúdos é significativa, decidimos propor como âncora uma forma de organizador prévio definido por Moreira como *organizador comparativo.* Esse modelo de organizador pode ser utilizado quando já se conhece alguma coisa sobre o novo assunto a ser transmitido. Moreira mostra que esse

modelo foi empregado por Ausubel e Fitzgerald com estudantes de um curso de Psicologia Educacional da Universidade de Illinois com um texto sobre o budismo.

Nossos organizadores prévios trataram de situações problemas que possivelmente nossos estudantes já vivenciaram e foi proposto que os mesmos fizessem considerações a respeito dessas situações, como destacamos nos parágrafos iniciais de cada assunto trabalho no produto educacional. A partir daí o professor fez a identificação dos aprendizes que possuíam subsunçores e foram transmitidos os novos conceitos.

2.2 A Teoria da Aprendizagem Multimídia

A principal teoria utilizada neste trabalho foi a da aprendizagem significativa defendida, principalmente, por Ausubel. Entretanto, nos baseamos também em algumas ideias do modelo de aprendizagem multimídia (ou multimédia).

Essa aprendizagem baseia-se, de acordo com Mayer (2009, p.1), na ideia de que as informações educacionais ou instruções multimídias, que são formadas ou concebidas a partir da maneira como a mente humana funciona, têm mais probabilidade de levar a uma aprendizagem significativa do que as outras que não o são.

O princípio primordial desse modelo de aprendizagem é a defesa de que as pessoas aprendem melhor através de palavras e imagens do que apenas por meio de palavras. A promoção da aprendizagem multimídia é feita por intermédio da *mensagem multimídia.* Concomitante a Mayer (2009, p.2) a mensagem multimédia

> É uma comunicação que contém palavras e imagens destinadas a promover a aprendizagem. Esta comunicação pode ser feita por qualquer meio, seja em papel ou computador. As palavras podem ser impressas (livro) ou ditas (narração). As imagens podem ser estáticas (ilustrações ou fotografias) ou dinâmicas (animação ou videoclip).

Assim, para efetivar a aprendizagem significativa através da multimídia, a associação estruturada de imagens e palavras (textos) é fundamental. Vamos explicar, por exemplo, a reflexão de uma onda utilizando esse recurso na seguinte imagem.

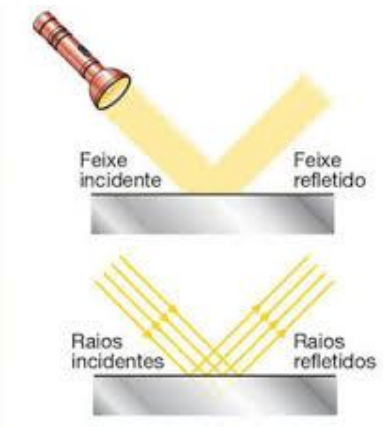


Figura 1: A lanterna emite um feixe de luz que incide sobre um espelho plano. Esse feixe designado por feixe incidente pode ser imaginado como raios que incidem sobre a superfície do espelho. Quando os raios incidentes atingem o espelho eles refletem, e passam a se propagarem no mesmo meio.

Assim, lançamos mão desse método de aprendizagem por acreditarmos em sua utilidade dentro da linha dessa pesquisa. Portanto, o produto educacional foi pensado nessas duas linhas teóricas. Apresentamos os conceitos sempre acompanhados de imagens visando a construção da aprendizagem significativa dos estudantes.

No próximo tópico é abordado a discussão sobre a aprendizagem móvel e como os celulares *smartphones*, junto com aplicativos educacionais tem concebido esse novo modelo de aprendizagem.

2.3 A aprendizagem móvel e aplicativos educacionais

A aprendizagem móvel surge em um contexto denominado Lógica da Escassez (CONFORTO; VIEIRA, 2015, pg.83). A Lógica da Escassez é o cenário no qual o acesso a tecnologias educacionais nas escolas pelos estudantes possui profundas limitações. O contato dos estudantes com tecnologias de informação e comunicação nas escolas é feito, em geral, nos laboratórios de informática. No entanto, com um ambiente de poucas máquinas e uma demanda crescente de alunos, o uso desse espaço torna-se bastante restrito. Conforto (2015, pg. 44-45) frisa que:

> [...] o panorama de poucos computadores e muitos alunos acaba por impor a necessidade de um contato reduzido com os recursos digitais, em dias e horários específicos, em geral não superiores a um ou dois períodos semanais, em uma sala especialmente guardada e protegida, o Laboratório de Informática. (grifos nossos).

As restrições quanto ao uso de recursos tecnológicos quebram-se com o barateamento de equipamentos tecnológicos de uso pessoal, como celulares e *tablets* e, assim, a Lógica da Escassez tende a desaparecer. Em consequência disso, “ampliam-se

os desafios de capitalizar essas novas possibilidades tecnológicas em ações de inovação também para o processo pedagógico" (CONFORTO; VIEIRA, Ibid).

Os celulares e *tablets*, quando adequados ao processo pedagógico, configuram um novo espaço de aprendizagem definido como *Aprendizagem Móvel.*

Esse novo modelo pedagógico, sustentado pelo progresso tecnológico da computação e das conexões móveis, é caracterizada por ser:

> *ubíqua* (disponível em qualquer lugar), *pervasiva* (transparente e integrada às atividades cotidianas) e por apresenta-se simultaneamente personalizada e integrada ao contexto educativo, com potencial para manter os estudantes mais conectados e vinculados a atividades colaborativas. (KUKULSKA-HULME e TRAXLER, 2005, p.2).

Essa nova modalidade de aprendizagem é considerada por alguns pesquisadores como um novo estágio da aprendizagem multimídia assistida por computador, capaz de transformar a aprendizagem tradicional (PU et al., 2011).

Nesse sentido, a desconstrução dos métodos tradicionais de ensino por meio da aprendizagem móvel retira o aluno de um espaço limitado de aprendizado, o que é exemplo das salas de aulas e principalmente o uso dos laboratórios de informática, e coloca-o na possibilidade de aprender em locais não fixos ou pré-determinados. Os recursos apresentados pelas tecnologias móveis, principalmente os celulares *smartphones*, retiram o usuário das limitações espaço-temporais, o que permite-o aprender de qualquer lugar a qualquer hora.

As características referentes à Aprendizagem Móvel trazem à luz uma nova forma de aprender que perpassa as estruturas físicas das escolas. Assim, a utilização de dispositivas que permitam essa aprendizagem estrutura-se sob duas perspectivas:

> (1) por políticas públicas e institucionais de distribuição de dispositivos idênticos para toda ou parte dos membros da comunidade educativa; (2) pela aderência ao conceito do *Bring Your Own Device* (BYOD), ou "traga seu próprio dispositivo", em tradução livre, quando os estudantes fazem uso dos seus próprios recursos, como *smartphones*, por exemplo. (VIEIRA; CONFORTO, 2015, p.45).

O destaque da perspectiva BYOD é visível, pois é notório que a maior parcela dos estudantes das nossas escolas dispõe de um celular *smartphone* de uso pessoal. Esses dispositivos executam e permitem o *download* de aplicativos disponíveis em lojas digitais como a *Play Store.*

> Os aplicativos, conhecidos genericamente como apps, são softwares que carregam nos aparelhos eletrônicos funcionalidades específicas para facilitar certas aplicações existentes ou novas atribuídas como por exemplo, a de um aparelho celular que além das funções originais de fazer e receber chamadas

> também exibe vídeos e serve como leitor de livros. (NASCIMENTO; MARTINS; VICTER, 2013, pg 5)

Dentre as inúmeras aplicações possíveis através dos aplicativos, utilizá-los como recursos educacionais para facilitar o ensino e a aprendizagem de professores e estudantes, tem sido uma metodologia cada vez mais crescente no cenário das escolas brasileiras.

> Os aplicativos educacionais englobam os, especificamente, desenvolvidos para fins educacionais e, também, aqueles projetados para outros usos, mas que podem ser adaptados para fins pedagógicos, tais como aplicativos para geolocalização, leitores de arquivos, mapas, entre outros. (SILVA; BASTISTA, 2015, pg 2 *et. al* EDUCAUSE, 2010).

Esses recursos, atrelado aos celulares, potencializa e facilita o processo de ensino e aprendizagem quando é levado em conta ambientes e materiais de aprendizagem adequado às especificidades do público o qual é direcionado, com conteúdos objetivos, curtos e imagéticos, ou seja, contendo informações através de imagens.

Dessa forma, o estudante pode participar diretamente da construção da aprendizagem, colaborando com as atividades incorporadas a esse ambiente, o que pode contribuir para a eficiência da sua aprendizagem.

Neste viés, este trabalho concentra-se em utilizar aplicativos educacionais para o processo de ensino e aprendizagem no conteúdo de ondas. Para tanto, precisamos apresentar os conceitos físicos desta importante área do conhecimento cientifico, o que será feito nas seções a seguir.

3. Ondulatória: Tratamento teórico, conceitual e matemático

Esta seção apresenta o conteúdo de ondas com uma teorização mais específica, permeando autores como Halliday, Moysés Nussenzveig e Hewitt. A partir desses autores procura-se dar a base teórica e matemática dos parâmetros fundamentais da ondulatória desde um cenário mais específico (ensinado no ensino superior), até as perspectivas do ensino médio.

Inicia-se com o conceito de ondas a partir e finaliza-se com as ondas estacionárias. Procura-se, aqui, contemplar os conteúdos que foram trabalhados em sala com o uso dos smartphones e seus recursos.

3.1 Do conceito de onda

Para conceituar uma onda é necessário inicialmente compreender o conceito de um pulso de onda. Observe, por exemplo, a figura 2. Ela apresenta um pulso resultante de uma força de direção vertical para cima aplicada em sua extremidade. Ao direcionar o movimento para cima a partir de um ponto médio, o movimento feito por essa força (aplicada pela mão), retorna à situação inicial. O resultado é um pulso se propagando na corda com velocidade de propagação *v*. Observe que na sucessão desse pulso, como mostra a figura, o ponto em vermelho destacado na corda, não se desloca junto com o pulso formado. Esse evento resulta do fato de que um pulso de onda não transporta matéria ao longo de sua propagação. O transporte realizado por um pulso é de energia.

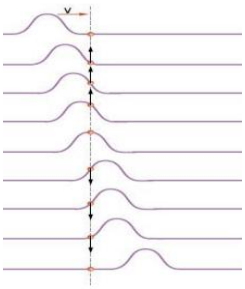


Figura 2: pulso se propagando com velocidade v em uma corda.

Um pulso, portanto, é toda perturbação gerada em um ponto que se propaga e se transmite aos demais pontos. Dessa forma, quando o pulso na corda inicia, os átomos da esquerda recebem energia e transmitem parte dela para os átomos da direita (no caso de um pulso se propagando para a direita), os quais começam a se movimentar acompanhando a direção da força que os gerou (nesse caso, apenas para cima).

Agora, suponha que ao invés de apenas um único pulso direcionado para cima, tivéssemos sucessivos pulsos cujos sentidos fossem para cima e para baixo em torno do seu ponto médio (como se tivéssemos sacudindo a extremidade da corda), o que obteríamos? Certamente, essa sucessão de pulsos se propagando na corda formariam uma onda[1]. Observe o comportamento de sucessivos pulsos se propagando na figura abaixo.

[1] Um ponto importante para o leitor: a corda não é uma onda, é apenas o meio pelo qual a onda se propaga. Nesse sentido, se torna viável acreditar que em uma onda há apenas a transmissão de energia entre as partículas materiais do meio. Entretanto, esse comportamento é intrínseco às ondas mecânicas.

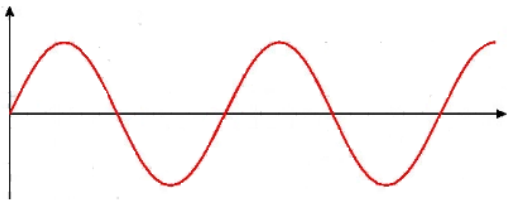


Gráfico 1. Sucessão de pulsos formando uma onda.

Podemos observar a formação de três pulsos sucessivos se propagando. Assim, uma onda é caracterizada pela sequência periódica de pulsos, na qual há transporte de energia sem haver transporte de matéria.

Em geral, as ondas se diferem quanto à sua natureza e quanto à sua forma de propagação. Apresenta-se no próximo tópico as características especificas referente a natureza e formas de propagação das ondas.

3.2 Da natureza das ondas e sua propagação

Quanto à sua natureza uma onda pode apresentar-se como mecânica ou eletromagnética. Uma onda formada em uma corda é um exemplo de ondas mecânicas. Halliday (2012, p.117) aponta que essas ondas "são as mais conhecidas, já que estão presentes em toda a parte: são por exemplo, as ondas do mar, as ondas sonoras e as ondas sísmicas". Ainda segundo ele, todas essas ondas são governadas pelas leis de Newton e existem apenas em meios materiais, como a água, o ar e as rochas. Assim, ondas mecânicas são ondas que se propagam em meios materiais.

Entretanto, existem outros tipos de ondas bastante comuns e amplamente usadas: as eletromagnéticas. Se observarmos, a luz do sol e do restante das estrelas visíveis, chegam até nós sem se propagarem em meio material algum, pois entre a terra e essas estrelas não existe meio material, senão o vácuo.

De fato, exemplos como a "luz visível e ultravioleta, as ondas de rádios e televisão, as micro-ondas, os raios X e as ondas de radar, não precisam de um meio material para existir" (HALLIDAY, 2012, p.117, com adaptações). O autor ainda aponta que todas as ondas eletromagnéticas se propagam no vácuo[2] com a mesma

[2] Há duas visões a considerar a despeito do conceito de vácuo: a visão clássica e a quântica. A visão clássica ,formulada por nomes da ciência como Leucipo, definia vácuo como o espaço vazio. Entretanto, as constatações quânticas mostraram que o vácuo não é o espaço vazio.

velocidade *c = 299.792.458 m/s* (metros por segundo). Portanto, ondas eletromagnéticas são ondas que podem se propagar tanto em meios materiais como no vácuo.

A maior parte das ondas, consoante às suas direções de propagação, podem ser transversais ou longitudinais. Uma onda transversal nada mais é do que uma onda cuja perturbação é perpendicular à sua direção de propagação, como está representado na figura 3..

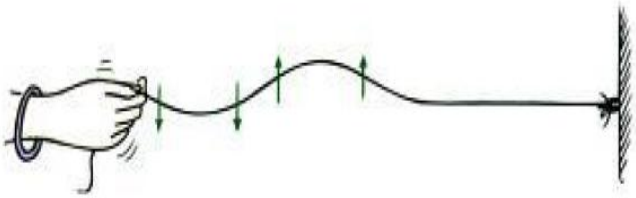


Figura 3: Em uma onda transversal os pontos da onda vibram formando um ângulo de 90 graus com a direção de propagação. Observe que as vibrações ocorrem para cima e para baixo enquanto a onda se propaga na horizontal.

Moysés (1981, p.98) diz que um exemplo muito importante de ondas transversais são as ondas eletromagnéticas, em que as oscilações dos campos elétrico e magnético sempre oscilação perpendicularmente à direção de propagação, como mostra a figura 4.

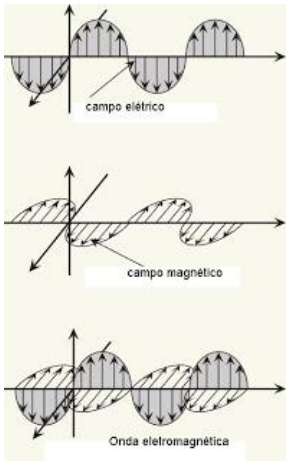


Figura 4: O campo elétrico E e o campo magnético B são perpendiculares em relação a direção de propagação da onda.

Já em uma onda dita longitudinal as perturbações têm lugar na mesma direção da propagação (MOYSÉS, 1981, p.98-99) como mostramos na figura a seguir.

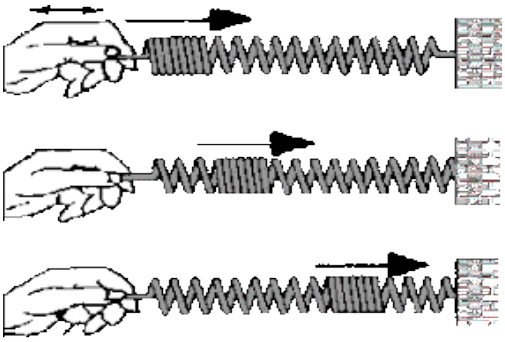


Figura 5: Em uma onda longitudinal as vibrações ocorrem na mesma direção da propagação.

A maior parte das ondas apresentam formas distintas de propagação, porém, apresentam as mesmas propriedades que as caracterizam. A próxima seção apresenta uma discussão a respeito dessas propriedades.

3. 3 Das propriedades das ondas

Para estudar e compreender perfeitamente uma onda precisamos analisar as suas propriedades. Falamos de propriedades das ondas as grandezas que caracterizam qualquer movimento ondulatório. Em geral, as ondas apresentam: ponto de equilíbrio ou ponto médio, cristas e vales, amplitude, comprimento de onda e velocidade de propagação. Essas grandezas são definidas a partir da análise de uma onda se propagando, sejam transversais ou longitudinais. Em convergência com o produto educacional elaborado nesta pesquisa, vamos analisar esses parâmetros nas figuras que foram feitas para a aplicação dos roteiros das atividades colaborativas.

A figura a seguir apresenta o ponto médio ou ponto de equilíbrio de uma onda senoidal formada com o auxílio do *app Wave Interference.*

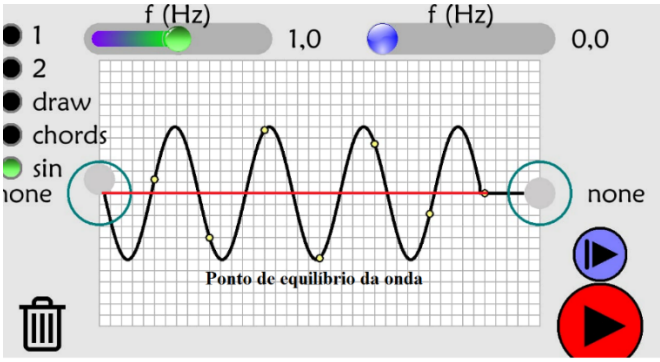


Figura 6: Posição de equilíbrio de uma onda senoidal.

Silva (2018, p. 44, adaptado) diz que todos os pontos do meio que a onda se propaga oscila em torno de uma posição de equilíbrio e, a partir desse ponto, podemos definir os principais parâmetros de uma onda.

Começaremos com o conceito de cristas e vales. Hewitt (2002, p.331) define como *crista* o ponto mais alto de uma onda e vale (ventre) o local mais baixo da mesma. A figura 7 mostra essas grandezas.

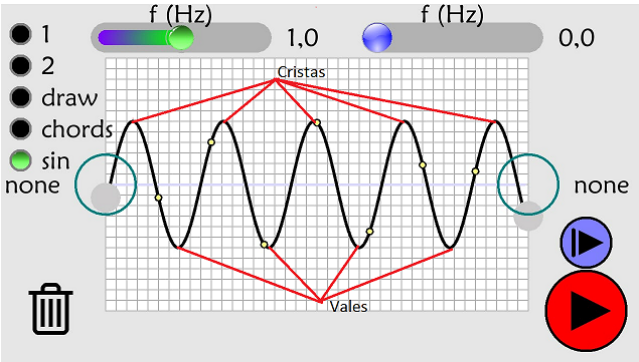


Figura 7: Cristas e vales em uma onda senoidal gerada a partir do aplicativo wave interference.

A figura 8 mostra dois pontos distintos ***P_1* e *P_2*.** O ponto P_1 está localizado na altura máxima da onda (crista) e o ponto P_2 está no ponto mais baixo (vale). As distâncias entre P_1 e a posição de equilíbrio e entre P_2 e a mesma posição de equilíbrio são definidas por Hewitt como a *Amplitude (A)* da onda.

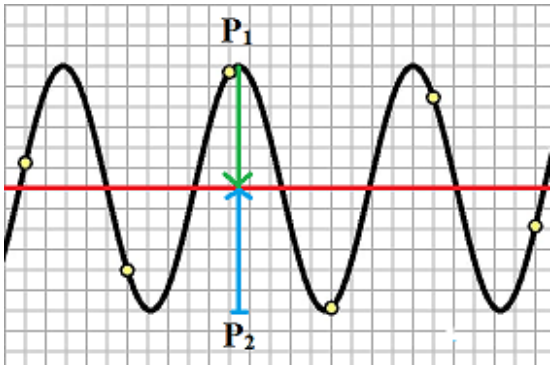


Figura 8: A amplitude (A) de uma onda senoidal.

As ondas podem apresentar-se de várias formas, porém Halliday *et. al* (2006) aponta que as propriedades fundamentais para as caracterizar são o *comprimento de onda (λ – chama-se lambda)* e a *frequência (f)* de oscilação. Vamos inicialmente definir o comprimento de onda e logo após a frequência de oscilação.

Observe as figuras *(9)* e *(10)* a seguir. Elas mostram três formas de identificarmos o comprimento de onda: a primeira é pela distância entre duas cristas consecutivas; a segunda é pela distância de dois vales consecutivos SILVA (2018) e a terceira pela "distância entre quaisquer partes idênticas e sucessivas" (HEWITT, 2002, p.331), ou seja, a distância em que um mesmo ponto da onda começa a se repetir.

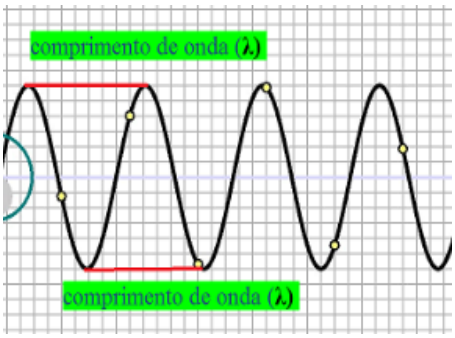


Figura 9: Podemos identificar o comprimento de onda através de duas cristas ou dois vales consecutivos.

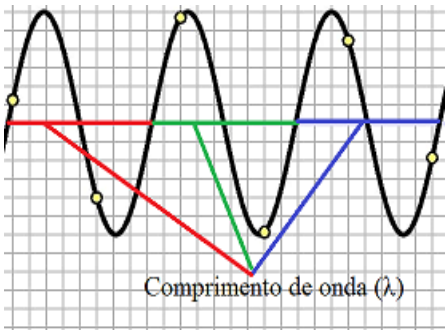


Figura 10: Comprimento de onda entre dois pontos idênticos.

Quanto às unidades de medida dessas grandezas, elas estão representadas na tabela a seguir e estão de acordo com os padrões do do Sistema Internacional de Unidades (SI).

Grandeza	Unidade	Significado da unidade
Amplitude *(A)*	metro *(m)*	Distância do ponto médio a crista ou vale.
Comprimento de onda	metro *(m)*	Distância entre dois pontos consecutivos.
Frequência *(f)*	Hertz *(Hz)*	Quantidade de oscilações por segundo.
Período *(T)*	segundo *(s)*	Tempo necessário para uma oscilação completa.
Velocidade de propagação *(v)*	metro por segundo *(m/s)*	Deslocamento por unidade de tempo.

Tabela 1: Unidades de medida de algumas grandezas físicas das ondas.

Definimos os parâmetros referentes as propriedades das ondas, sejam elas longitudinais ou transversais. No entanto, precisamos apresentar um tratamento matemático para compreensão dessas grandezas. A seguir é apresentado a fundamentação matemática das propriedades das ondas. Procura-se apresentar essa fundamentação de forma mais especifica até contemplar a forma como é posta nos livros didáticos do ensino médio.

3.4 Dedução da equação da onda unidimensional a partir de uma função de onda harmônica.

Vamos apresentar uma demonstração da Equação Geral das ondas progressivas a partir de uma função harmônica.

3.4.1 Onda harmônica

As ondas harmônicas são assim denominadas pois cada ponto dessa onda realiza um Movimento Harmônico Simples (MHS), semelhante ao movimento de uma mola ou um pêndulo. Sabe-se que as ondas harmônicas obedecem a função:

$$u(x,t) = A.sen\,(kx - \omega t + \varphi) \qquad (1)$$

Analisemos essa expressão: ela mostra que a função depende de duas variáveis**:** ***x*** *e* ***t***. A variável *x* representa a dependência espacial, enquanto a variável *t* indica a dependência temporal. Assim, quando uma função depende de duas variáveis sua solução resulta em derivadas parciais de segunda ordem.

Vamos, primeiramente, transformar o termo $(kx - \omega t + \varphi)$ da equação 1 em outra função *g*. Assim, temos:

$$g(x,t) = (kx - \omega t + \varphi) \qquad (2)$$

Agora devemos derivar essas funções em relação as duas variáveis. A primeira derivada em relação a posição fica:

$$\frac{\partial u}{\partial x} = A\,\frac{dsen}{dg}\,\frac{\partial g}{\partial x} \qquad (3)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} = A\cos(g)\,.\;k \qquad (4)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} = A\,.\;k\cos(\,kx - \omega t + \varphi) \qquad (5)$$

Já a segunda derivada, podemos obter a partir da primeira derivada da equação acima.

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = A\,.k\cos(\,kx - \omega t + \varphi) \qquad (6)$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = A\,.k\,\frac{dcosx}{dg}\,\frac{\partial g}{\partial x} \qquad (7)$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = -A\,k\,sen\,(g).k \qquad (8)$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = -A\,k^2 sen\,(kx - \omega t + \varphi) \qquad (9)$$

Esta é a derivada segunda da função em relação a posição.

Agora, vamos fazer o mesmo procedimento em relação ao tempo. A primeira derivada em relação ao tempo nos dá:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = A\,\frac{dsen(t)}{dg}\,\frac{\partial g}{\partial t} \qquad (10)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = A.\cos(g)(\,-\omega) \qquad (11)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -A\,\omega\cos(\,kx - \omega t + \varphi) \qquad (12)$$

Já a segunda derivada em função do tempo, podemos obter a partir da primeira derivada da equação acima.

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -A\,\omega \frac{dcos}{dg}\frac{\partial g}{\partial t} \tag{13}$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = A\,\omega\, sen\,(g)(-\omega) \tag{14}$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = -A\,\omega^2\, sen\,(\,kx - \omega t + \varphi) \tag{15}$$

As expressões resultantes são equivalentes, exceto pela existência dos coeficientes $\omega^2\ e\ K^2$. Podemos corrigir isso, na expressão encontrada para a posição, multiplicando ambos os casos por $\frac{1}{K^2}$. Teremos:

$$\frac{1}{k^2}\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{1}{k^2} - A\,k^2 sen\,(kx - \omega t + \varphi) \tag{16}$$

$$\text{e } \frac{1}{\omega^2}\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -A\,\frac{1}{\omega^2}\,\omega^2 sen\,(kx - \omega t + \varphi) \tag{17}$$

E obteremos:

$$\frac{1}{k^2}\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{1}{\omega^2}\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \tag{18}$$

Podemos deixar a derivada temporal isolada multiplicando ambos os termos por ω^2, dessa forma, tem-se:

$$\omega^2 . \frac{1}{k^2}\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{1}{\omega^2}\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}\,\omega^2 \tag{19}$$

$$\frac{\omega^2}{k^2}\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \tag{20}$$

Porém, $\frac{\omega^2}{K^2} = v^2$, então:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}\,v^2 = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \tag{21}$$

Por fim, resulta:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2}\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \tag{22}$$

Essa é a equação de onda progressiva e rege o comportamento dessas ondas considerando uma dimensão.

3.5 Equações dos livros do ensino médio a partir de uma função de onda harmônica

Vamos obter algumas expressões bastante utilizadas no ensino médio a partir da função de onda harmônica que já conhecemos. Para isso, vamos estudá-la de maneira separada. Iremos analisar, primeiramente, seu comportamento espacial e, logo após seu

comportamento temporal. Através desse procedimento chegaremos a algumas equações importantes do ensino regular.

Para trabalharmos essa função somente em razão da posição, podemos reduzir o tempo a zero ($t = 0\,s$) para obtermos uma função somente espacial. Reduzindo o tempo a zero o termo temporal fica: $wt = 0$, o que reduz a equação a:

$$u(x,t) = A.sen\,(kx + \varphi) \qquad (23)$$

Onde:

$A = Amplitude\ da\ onda$

$x = posição$

$\varphi = \hat{A}ngulo\ de\ fase$

$k = número\ de\ ondas, dado\ pela\ expressão\ k = \dfrac{2\pi}{\lambda}$

Como a equação *(23)* é descrita por uma função senoidal, sua representação gráfica é mostrada a seguir.

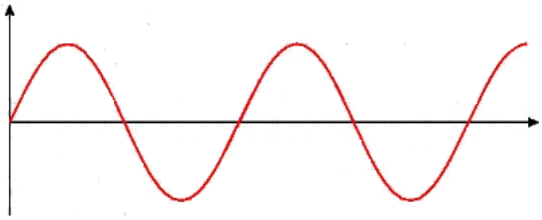


Gráfico 2. Uma função expressa por um seno possui essa curva característica.

A grandeza k é denominada número de ondas. Ela corresponde ao número de ondas que se propagam no intervalo de $0\ a\ 2\pi$. Pode-se facilmente observar pela equação que esta grandeza é inversamente proporcional ao comprimento de onda λ. Para analisar esse fato, observe os gráficos a seguir.

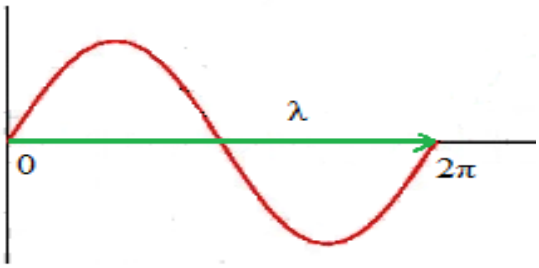


Gráfico 3. Gráfico de uma onda com 1 comprimento de onda no intervalo de 0 a 2π.

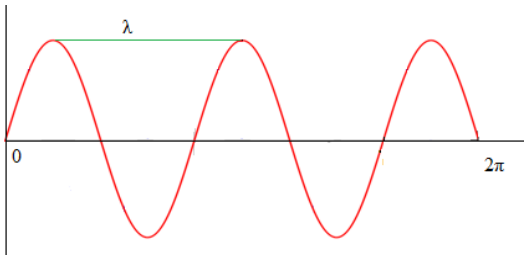


Gráfico 4. Gráfico de uma onda com vários comprimentos de onda no intervalo de 0 a 2π.

Observe que no gráfico 2 existem menos ondas no intervalo de $0\ a\ 2\pi$, enquanto no gráfico 3 existem mais ondas no mesmo intervalo, portanto quanto maior menor for o comprimento de uma onda mais frentes de ondas (ou número de ondas) existirão no intervalo considerado e vice-versa.

Analisado o comportamento espacial de uma onda harmônica, vamos verificar seu comportamento temporal considerando a sua posição em $x = 0$. Então a função fica:

$$u(0,t) = A.sen\,(-wt + \varphi) \qquad (24)$$

Onde o termo w representa a frequência angular e é calculada pela expressão $w = \frac{2\pi}{T}$ sendo T o período de oscilação da onda e definido como $T = \frac{1}{f}$. Podemos obter uma expressão que relacione a frequência angular com a frequência de oscilação da onda. Para isso basta substituir a expressão do período na equação da frequência angular e teremos:

$$w = \frac{2\pi}{\frac{1}{f}} \qquad (25)$$

Aplicando a regra de divisão de frações, teremos:

$$w = 2\pi f \qquad (26)$$

A frequência angular w é dada em rad/s e podemos convertê-la em Hertz por essa relação.

O comportamento da frequência angular em função do período é semelhante ao número de ondas em relação ao comprimento de onda, apresentando também uma relação inversamente proporcional, indicando que quando o período for pequeno a frequência angular será grande e vice-versa.

Isso significa que quanto maior for o período de oscilação menor será a frequência angular, indicando que haverá a formação de menos ondas no intervalo de 0 a 2π.

Podemos, com as relações já definidas, chegarmos a uma equação bastante utilizada nos livros didáticos do ensino médio, conhecida como equação fundamental da ondulatória. A velocidade de propagação de uma onda é dada pela seguinte expressão:

$$v = \frac{w}{k} \tag{27}$$

Sabendo que $w = \frac{2\pi}{T}$ e $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, podemos substituí-los na equação e teremos:

$$v = \frac{\frac{2\pi}{T}}{\frac{2\pi}{\lambda}} \tag{28}$$

Mais uma vez aplicando a propriedade da divisão de fração, teremos que:

$$v = \frac{2\pi}{T}\frac{\lambda}{2\pi} \tag{29}$$

E como $f = \frac{1}{T}$, resulta em:

$$v = 2\pi f\ \frac{\lambda}{2\pi} \tag{30}$$

Que finalmente, resulta na expressão conhecida como equação fundamental da ondulatória.

$$\boldsymbol{v = f.\lambda} \tag{31}$$

3.6 Os fenômenos de reflexão, refração e difração

Certos fenômenos são capazes de acontecer quando uma onda, ao se propagar, encontra um obstáculo material. Esses fenômenos podem ser a reflexão, a refração e a difração. Podemos determinar propriedades importantes referente a cada um desses fenômenos. É o que faremos neste tópico.

3.6.1 Da reflexão de ondas

Um aparelho comumente utilizado no trânsito é o radar. Usado para controlar a velocidade dos veículos em certos trechos de pistas de rolamento, esses dispositivos utilizam o princípio da reflexão de ondas para averiguar a velocidade que os condutores trafegam.

Um radar opera irradiando energia eletromagnetica e detectando o eco retornado dos objetos refletidos (alvos).

A imagem a seguir mostra dois exemplos desse fenômeno: o primeiro quando o carro está se aproximando do radar e o segundo quando está se afastando. Apesar desse

tipo de radar empregar os conceitos do Efeito Doppler, a detecção da velocidade do automovel é feita pela utilização da reflexão de ondas.

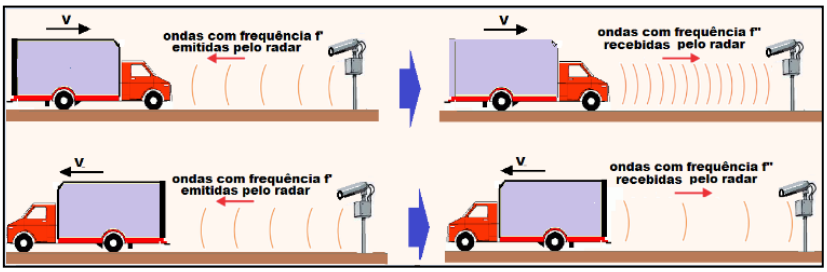


Figura 11: Quando o alvo se aproxima do radar, este emite sinais de ondas eletromagnéticas as quais batem no alvo e retornam, caracterizando o fenômeno da reflexão.

Esse exemplo bastante prático exemplifica o que é o fenômeno da reflexão de uma onda. Silva (2018, p.52) afirma que o fenômeno da reflexão "ocorre quando uma onda que se propaga em um meio encontra um obstáculo e retorna ao meio original. Em outras palavras, a onda 'bate' e 'volta'. E ainda que "nesse processo parte da energia é transmitida (absorvida) pelo outro meio e parte retorna com a onda refletida". Observe que as ondas emitidas pelo radar da figura, ao encontrarem o caminhão (obstáculo), retornam (refletem) pelo meio de origem que foram emitidas (o ar), caracterizando o fenômeno descrito.

Esse comportamento é recorrente em todas as ondas que encontram um obstáculo quando se propagam em um meio, seja material (no caso das ondas mecânicas), ou ainda quando não se propagam necessariamente em um meio material (no caso das ondas eletromagnéticas). A luz, que é uma onda eletromagnética, quando incide em uma superfície lisa refletora apresenta um ângulo de incidência igual ao ângulo de reflexão em relação a uma reta normal imaginária. As ondas sonoras, no que afirma Hewitt (2002, p.335), também apresentam esse comportamento. Para analisar esse fato observe a representação a seguir:

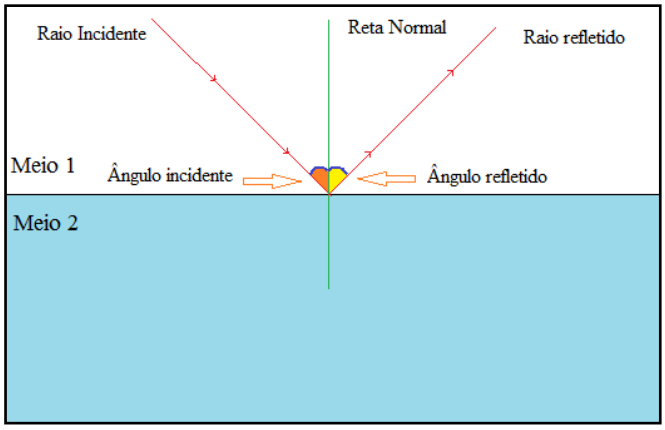


Figura 12: O ângulo entre o raio incidente e a reta normal N.

Observe que o raio de onda incidente se propaga em no meio 1 e ao encontrar um meio 2 a onda retorna ao meio inicial. Observe também que o ângulo formado entre o raio incidente e a reta normal N é igual ao ângulo formado entre o raio refletido e essa mesma reta normal, o que nos fornece a equação que representa a **segunda lei da reflexão.**

$$\theta_i = \theta_r \qquad (32)$$

No entanto, Nussenzveig (1996, p.144) induz que quando uma onda (seja de uma, duas ou três dimensões) incide sobre uma superfície descontínua que separa dois meios distintos, ela é parcialmente transmitida e parcialmente refletida. O mesmo autor mostra que para esses dois fenômenos, chamamos de 1ª lei da reflexão e refração a conclusão de que a direção do raio refletido ou refratado está no plano de incidência definido pelas direções do raio incidente e a normal. Assim, a primeira lei da reflexão também é válida para a refração em que teremos um raio refratado para o meio 2. Apresentaremos a seguir o comportamento de uma onda ao sofrer o fenômeno denominado refração.

3.6.2 Do fenômeno de refração

O fenômeno de refração de uma onda, na concepção de Silva (2018, p.54) ocorre quando uma onda, ao incidir em um meio, é transmitida. A autora afirma que no fenômeno da refração a onda ‘bate’ no obstáculo e o ‘atravessa’ e que nessa mudança de meio de propagação a onda sofre alteração na sua velocidade e consequentemente no comprimento de onda. Isso implica, consistentemente que algumas propriedades da onda são alteradas quando o feixe ondulatório passa a se propagar em outro meio. Isso é valido pois esse meio possui propriedades diferentes do meio inicial. A principal característica que permite que uma onda sofra mudanças em suas propriedades ao passar de um meio para o outro é o seu **índice de refração,** que explicaremos em breve.

Uma consequência desse fenômeno em situações cotidianas é que quando objetos estão parcialmente submersos na água termos a impressão de que ele está quebrado. A figura 13 mostra um lápis dentro de um copo com água. Ao olharmos para o lápis temos a ideia de que este está realmente quebrado, um fato decorrente da refração da luz. A alteração da direção de propagação que a luz sofre ao sair da água para o ar causa essa ilusão no observador.

Figura 13: Ao colocarmos um lápis dentro de um copo com água temos a impressão de que este está ‘quebrado’, um fato decorrente da refração da luz.

De fato, na mudança de meio, a onda eletromagnética (luz, nesse caso) sofre um desvio em relação a Reta Normal, de acordo com a **Lei de Snell Decartes**. A figura seguinte retrata esse fenômeno.

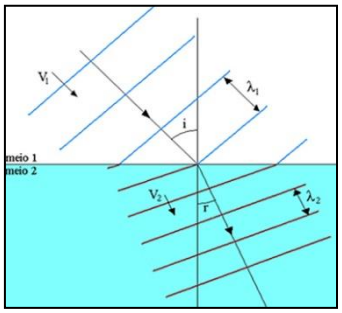


Figura 14: Uma onda sofrendo refração em uma mudança de meio de propagação.

Como já relatado, algumas propriedades da onda se alteram nessa mudança de meio. Observe que a velocidade de propagação da onda, seu comprimento de onda e sua direção de propagação são alterados. A frequência, no entanto, não sofre alterações pois não depende do meio, somente da fonte geradora. Observe também que os ângulos formados entre os raios incidentes e a reta normal assim como o raio refratado e essa mesma reta são diferentes, pois dependem do índice de refração do meio.

Concomitante a Silva (2018, p.55), a Lei de Snell relaciona os ângulos de incidência e refração com os índices de refração dos meios 1 e 2, simbolizados por n_1 e n_2, respectivamente, pela expressão:

$$\frac{sen\theta_1}{sen\theta_2} = \frac{n_1}{n_2} \qquad (33)$$

e também pode ser escrita relacionando os ângulos incidentes e refratados com as velocidades de propagação nos meios v_1 e v_2 da seguinte forma:

$$\frac{sen\theta_1}{sen\theta_2} = \frac{v_1}{v_2} \qquad (34)$$

Pela expressão acima podemos deduzir que se $v_1 > v_2$ então $\theta_1 > \theta_2$, o que implica em uma aproximação do raio refratado da reta normal.

Pela equação podemos notar que se $n_1 > n_2$ o raio refratado se aproxima cada vez mais do ponto de encontro entre os dois meios e $\theta_2 = 90°$. Se $\theta_1 > 90°$ ocorre o fenômeno da reflexão interna total. Situação muito utilizada nos cabos de fibras óticas.

3.6.2.1 Índice de refração de um meio

A principal propriedade de um meio que faz com que ocorra o fenômeno de refração é o seu índice de refração. Segundo Halliday (2012, p.74) o índice de refração de um meio é dado pela razão entre a velocidade da luz no vácuo e a velocidade da luz no meio em questão. Em termos matemáticos temos que:

$$n = \frac{c}{v} \qquad (35)$$

Onde *n* é o índice de refração do meio e não possui unidade de medida (é uma grandeza adimensional); *c* é a velocidade da luz no vácuo (3. 10^8 *m/s*) e *v* é a velocidade da luz no meio medida em (m/s).

Em geral, o índice de refração dos meios é igual a 1 (no caso do vácuo) ou maiores que 1. Nunca se constatou um meio cujo índice de refração seja menor que 1. A tabela 2 mostra alguns meios e seus respectivos valores do índice de refração.

MEIO	ÍNDICE
Vácuo	1
Ar	1,00029
Cloreto de Sódio	1,54
Água (20º C)	1,33
Poliestireno	1,55
Acetona	1,36
Dissulfeto de carbono	1,63
Álcool etílico	1,36
Solução de açúcar (30%)	1,38

Tabela 2. Valores do índice de refração de alguns meios.

Meios com o índice de refração alto podem desviar mais uma onda que entre em contato com ele do que um meio cujo índice de refração é menor. Para meios com valor

alto do índice de refração, o desvio na direção de propagação dos raios da onda é mais acentuado que os meios com índice baixo.

O fenômeno da refração e suas propriedades são definidos a partir do **princípio de Huygens,** que diz que cada ponto da onda após encontrar um meio material diferente que ela se propaga inicialmente se comporta como uma nova fonte de onda. Esse princípio foi utilizado, no ano de 1802, por Thomas Young para estudar o fenômeno da interferência em um experimento conhecido como **experimento da dupla fenda,** o que comprovara a natureza ondulatória da luz. Esse princípio também é utilizado para estudar o que acontece com uma onda quando esta encontra um orifício (ou uma fenda) durante sua propagação, o que é denominado como **difração.** A próxima secção se dedica a discutir o fenômeno da difração e suas propriedades.

3.6.3 Do fenômeno de difração

No que descreve Silva (2018, p.57) "o termo *Difração* faz referência a um conjunto de fenômenos que ocorrem quando uma onda se propaga por um meio não uniforme, no qual está sujeito a encontrar fendas, orifícios, obstáculos entre outros".

Em geral, a percepção do fenômeno de difração é bastante comum quando consideramos uma onda sonora incidindo sobre um obstáculo (um muro, por exemplo) como na figura 15.

Figura 15: Onda sonora sofrendo difração.

A experiência cotidiana nos mostra que mesmo existindo um muro entre duas pessoas (como as crianças da figura), quando uma delas emite ondas sonoras (ao falar, por exemplo) a outra ouve. Isso ocorre porque uma parte da onda incidente sobre o obstáculo reflete, enquanto outra parte é absorvida, porém a região que não é interrompida altera sua direção de propagação inicial e contorna o obstáculo. Silva (2018, p. 57) aponta que "tal capacidade se deve ao fato de as dimensões dos obstáculos serem da ordem do comprimento de onda das ondas sonoras, que no ar variam entre 17 cm e 17 m".

No tocante às ondas eletromagnéticas, essencialmente a luz visível, cujo comprimento de onda varia de $4 \cdot 10^{-7}m$ (cor violeta) e $7 \cdot 10^{-7}m$ (cor vermelha), o fenômeno de difração não é comum de ser observado, pois o evento depende diretamente da relação entre o comprimento de onda (λ) e a dimensão d da fenda. Para $\lambda > d$ o fenômeno é maior e do contrário, se $\lambda < d$ a difração é menor como representamos nas figuras seguintes. Uma consequência direta do tamanho da fenda é que a onda, nesse aspecto, se comporta como partícula.

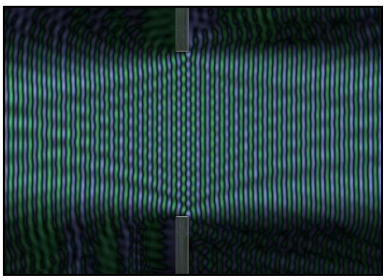


Figura 16: Para $\lambda < d$ a difração não ocorre, tendo comportamento corpuscular.

No entanto, se diminuirmos o tamanho da fenda de maneira a ser aproximadamente igual ao comprimento de onda, ocorre o fenômeno da difração, comportamento típico de ondas, o que está representado na figura abaixo.

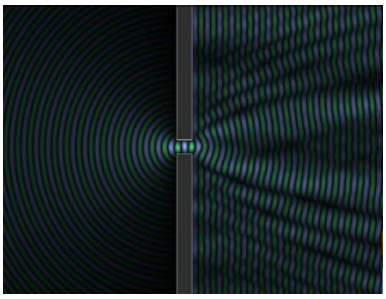


Figura 17: Para $\lambda > d$ a difração já se torna observável, demonstrando o comportamento ondulatório da onda.

Podemos observar que ao encontrar a fenda, a onda é "espalhada" em formatos esféricos. Isso ocorre, pois, cada ponto da onda ao encontrar a fenda se comporta como uma nova onda. A figura a seguir mostra esse procedimento.

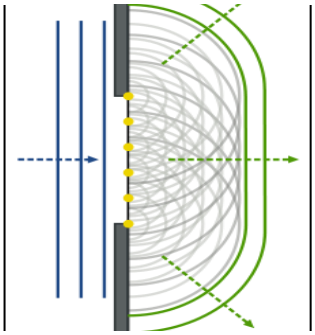


Figura 18: Cada ponto age como uma nova onda.

Cada ponto da onda, após encontrar a fenda, cria uma nova onda secundária que se propaga esfericamente, gerando uma nova frente de onda. Esse princípio, como já comentamos, é conhecido como **princípio de Huygens** e foi proposto pelo próprio ao final do século XVI.

Agora vamos abordar o comportamento de uma onda ao encontrar dois orifícios (duas fendas) simultaneamente. Abaixo, temos uma representação de uma onda incidindo em um obstáculo com duas fendas.

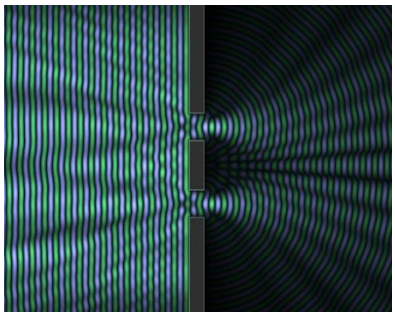


Figura 19: fenômeno de difração em uma fenda dupla.

Pode-se perceber um comportamento diferente da onda em relação a incidência sobre somente uma fenda. Podemos verificar o aparecimento de duas regiões distintas na figura. Existem os espaços iluminados que mostram frentes de ondas se propagando, e também linhas não iluminadas que mostram a não propagação de nenhuma frente de onda. Em se tratando desse aspecto, as linhas em que parece não se propagar nenhuma onda e os pontos espaciais em que há a propagação de frentes de ondas é explicado por meio do fenômeno da interferência de ondas, que discutiremos a seguir.

3.7 O fenômeno da interferência e as ondas estacionárias

O fenômeno da interferência foi abordado no famoso experimento de Thomas Young em 1802, fato que desembocou no descobrimento da natureza ondulatória da luz. Dornelles Filho (1998, p. 87), sintetiza a experiência de Young falando que ela mostra "duas fontes de luz de mesmo comprimento de onda e em fase que produzirão regiões de interferência construtiva e destrutiva na região que as circunda".

A figura abaixo representa o aparato utilizado por Young: duas fontes de luz pontuais ***S1*** e ***S2***, separadas por uma distância ***d*** e um anteparo colocado a uma distância ***D*** das fontes. O evento resultante da propagação dessas fontes no mesmo meio será a interferência das frentes de ondas, ou seja, ondas que se encontram na mesma fase produzirão máximos e ondas que se encontrarem em fases opostas produzirão

mínimos no anteparo em questão. As linhas na figura 20 representam os pontos de interferência construtiva e as regiões entre elas mostram interferências destrutivas.

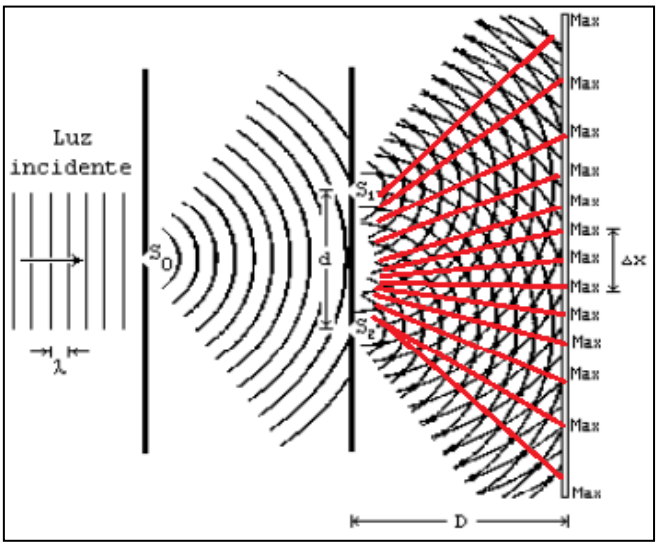


Figura 20: Aparato experimental utilizado por Thomas Young no fenômeno da interferência entre ondas geradas a partir da propagação após incidir sobre duas fendas.

A formação de máximos no anteparo situado a uma distância D das fendas ocorre em função da **superposição das ondas** nesses pontos. Esse princípio elucida que "quando duas ou mais ondas ocupam um determinado e espaço ao mesmo tempo, os deslocamentos causados por cada uma delas se adicionam em cada ponto" (Hewitt, 2002, p.335).

A luz incidente, de comprimento de onda λ, se propaga e encontra o anteparo com uma fenda simples. Evidentemente, como já citamos, essa onda sofre difração ao passar pelo orifício cada ponto se comporta agora como uma nova fonte de onda, como descreve o princípio de Huygens. Considerando que cada ponto forme a fonte luminosa S_0, uma nova frente de onda continua a se propagar no meio e encontrará um obstáculo com duas fendas. Ao encontrar as respectivas fendas, a onda luminosa vai se espalhar novamente devido o princípio de Huygens (nas fendas se formará as fontes luminosas S_1 e S_2), que ao se propagarem formaram um padrão de interferência no anteparo.

Vamos obter as expressões que determinam a interferência construtiva e destrutiva formadas no anteparo. Observe as figuras *(21)* e *(22)* a seguir. A figura *(21)* representa um ponto *P* no anteparo.

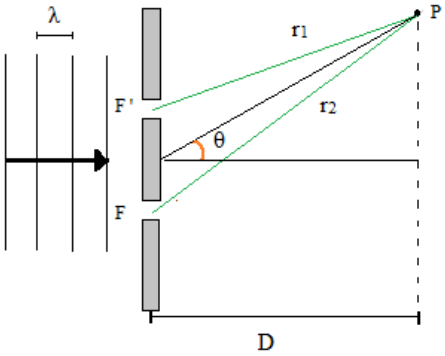


Figura 21: Ponto P no anteparo a uma distância D das fendas F' e F.

Considere uma onda de comprimento de onda (λ) se propagando e incide sobre um obstáculo que possui as fendas *F'* e *F*, respectivamente. Obviamente, como pode-se perceber pela figura, *F'P* representa a distância r_1, ao passo que, analogamente, *FP* é a distância r_2. Assim, os valores das interferências construtivas e destrutivas formadas no anteparo, serão dadas pela expressão $r_1 - r_2$, relacionada ao comprimento de onda. Para determinarmos a equação que determina essa relação, considere a figura *(22)*.

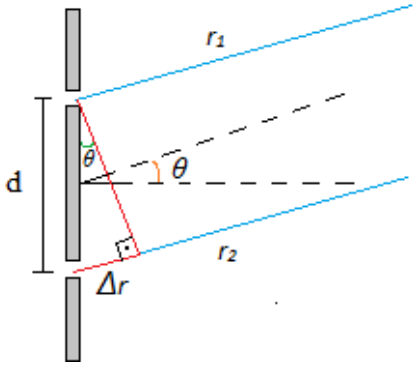


Figura 22: Para D >> d os raios são paralelos entre si.

Se considerarmos que a distância *D* entre o obstáculo e o anteparo seja muito maior que a distância *d* entre as fendas, *D >> d*, então $r_1 - r_2$ se tornam praticamente paralelos, o que nos permite criar o triângulo retângulo da figura. Podemos definir que a distância *Δr* é dada pela diferença de $r_1 - r_2$, ou seja, $\Delta r = r_1 - r_2$ e que este valor é o cateto do ângulo contraposto cuja hipotenusa é a distância *d*. Logo

$$\Delta_r = d sin\theta \qquad (36)$$

Se consideramos que Δ_r é um número inteiro de comprimentos de ondas, o módulo da intensidade da onda será máximo no ponto *P*, pois as ondas chegam nesse ponto em fase, isto é, a interferência será construtiva. A expressão que representa essa situação é

$$\Delta_r = \frac{n\lambda}{d} \quad (n = 1,2,3, \dots) \qquad (37)$$

Tendo que Δr seja um número ímpar de meio comprimento de ondas, então as ondas chegarão ao ponto P em fases opostas e a interferência será destrutiva. Nesse caso, temos que

$$\Delta_r = (n + \frac{1}{2})\frac{\lambda}{d} \quad (n = 0, 1,2,3, \dots) \qquad (38)$$

Um fenômeno bastante curioso quando tratamos a interferência destrutiva entre duas ondas cujas extremidades estão fixas em dois pontos é a formação de ondas estacionárias. A seguir, discutiremos como elas são formadas e suas propriedades físicas.

3.7.1 Ondas estacionárias

De fato, a formação de ondas estacionárias pode ocorrer em qualquer meio cuja as extremidades estejam fixas em dois pontos distintos (uma corda, um tubo de vidro), porém vamos considerar, por motivos práticos, a formação de ondas estacionárias em uma corda. Vamos definir algumas expressões para as ondas estacionárias a partir das expressões de ondas progressivas, visto que a principal característica de uma onda estacionária é que seus pulsos vibratórios não se propagam em função do tempo.

Dessa forma, considere que uma onda que propaga no tempo e no espaço pode ser descrita por uma função do tipo $y = A\text{sen}\,(kx - \omega t)$, onde **A** é a amplitude da onda, **kx** é o termo espacial da onda e **ωt** o termo temporal. Uma onda que possui descrita por uma função desse tipo se propaga para a direita e quando o sinal nessa equação é positivo a onda se propaga para a esquerda do eixo x.

Nesse sentido, podemos entender uma onda estacionária como a superposição de duas ondas viajando em direções contrárias, uma para a direita e outra para a esquerda na dimensão do eixo horizontal x. A formação de ondas estacionárias, no entanto, ocorre efetivamente quando os pulsos harmônicos oscilam à mesma frequência e mesma amplitude. A figura a seguir representa a formação de uma onda estacionária formada em uma corda e se propagam em direções opostas.

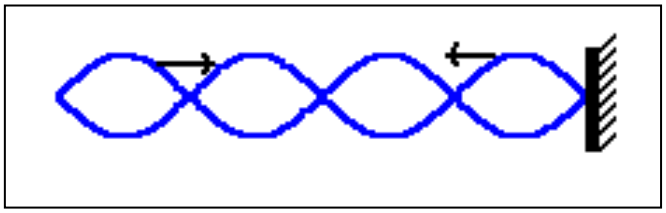


Figura 23: Formação de uma onda estacionária em uma corda cuja as extremidades estão fixas.

Devido a superposição das ondas, existem alguns pontos em uma onda estacionária que não vibram, esses pontos são definidos como nós ou nodos da onda – consistentemente, esses pontos são definidos como os locais onde houve interferência destrutiva entre as ondas. Ainda sob a perspectiva da superposição de ondas, são formados nas ondas estacionárias os ventres ou antinodos – que correspondem as cristas ou vales da onda e informam a interferência construtiva que houve entre elas. Visivelmente, nos pontos antinoidais a amplitude da onda é máxima. Essa configuração é representada na figura a seguir.

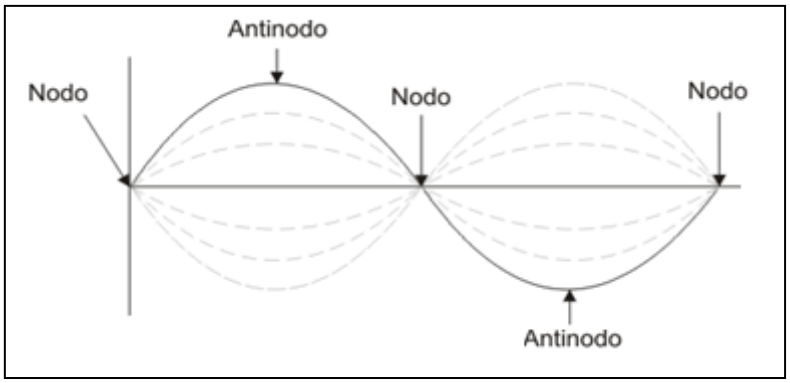


Figura 24: Pontos em que se localizam os nodos e antinodos em uma onda estacionária.

Uma onda estacionária se deslocando para a direita também é descrita por uma equação do tipo:

$$y_1 = A\text{sen}\,(kx - \omega t) \qquad (39)$$

E como já falado uma onda se deslocando para a esquerda é descrita pela mesma equação, porém com o sinal positivo, portanto:

$$y_2 = A\text{sen}\,(kx + \omega t) \qquad (40)$$

Como as ondas se superpõem consequentemente formarão uma onda resultante que é descrita pela equação: $y = y_1 + y_2$

Portanto, temos:

$$y = A\text{sen}\,(kx + \omega t) + A\text{sen}\,(kx - \omega t) \qquad (41)$$

$$y = A\,[\text{sen}\,(kx + \omega t) + \text{sen}\,(kx - \omega t)] \qquad (42)$$

Usando a propriedade da soma de senos para as duas funções: $sen\,(a + b) = sen\,a\,cos\,b + sen\,b\,cos\,a$, obtemos:

$$y_1 = \text{sen}\,kx\cos\omega t + \text{sen}\,\omega t\cos kx \qquad (43)$$

$$y_2 = \text{sen}\,kx\cos\omega t - \text{sen}\,\omega t\cos kx \qquad (44)$$

$$y = 2y_0 \text{ sen } (kx) \cos(\omega t) \qquad (45)$$

Essa expressão nos mostra que a onda deixou de ser progressiva, pois o termo conjunto $(kx - \omega t)$ desapareceu, tornando-se uma onda estacionária. Para cada valor da posição nessa expressão existe uma amplitude correspondente.

Considerando que os antinodos mostram a amplitude máxima da onda, sua posição é dada pela condição em que o seno seja máximo, portanto, a posição dos antinodos é dada pela relação: $x = \frac{n\lambda}{4}$, onde $n = 1, 3, 5, 7, \ldots$

Do contrário, a posição dos nodos é dada pela condição em que o seno seja nulo, portanto: $x = \frac{n\lambda}{2}$, onde $n = 0,1,2,4, \ldots$

3.7.2 Ondas estacionárias em uma corda com extremidades fixas

Considerando uma corda de comprimento L fixa entre duas extremidades com $x = o$ e $x = L$ em que seja formada nesta uma onda estacionária, podemos, obviamente prever que nas suas extremidades serão formados nodos, pois nestes pontos não há vibração, que são definidos pela relação:

$$x = \frac{nL}{2} \qquad (46)$$

Definimos que o comprimento de onda em uma onda estacionaria é dado por:

$$\lambda = \frac{2L}{n} \qquad (47)$$

Como a velocidade de onda se relaciona com o seu comprimento de onda e sua frequência, podemos definir que a frequência de uma onda estacionária é dada por:

$$f = \frac{nv}{2L} \quad \text{onde } n = 0,1,2,3,4 \qquad (48)$$

Levando em conta a relação entre a frequência, velocidade e a força externa aplicada sobre a corda pela qual se propagam as ondas geradoras das ondas estacionárias, temos que:

$$f = \frac{nv}{2L} \qquad (49)$$

$$\text{e } v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \qquad (50)$$

Podemos definir, portanto, a relação entre a frequência e a força externa exercida na corda pela expressão:

$$f = \frac{n}{2L}\sqrt{\frac{T}{\mu}} \qquad (51)$$

Todos os conceitos físicos apresentados neste capítulo trataram do conteúdo de ondas e foram base para a preparação e aplicação do produto educacional proposto. O mesmo, sustentado pela teoria da aprendizagem significativa de Ausubel e das teorias voltadas para a área tecnológica (da usabilidade e da carga cognitiva), foi executado conforme as proposições metodológicas consideradas na secção e pretendemos a seguir discutir os resultados da aplicação do produto na escola.

4. Metodologia

Para a consistência e efetivação desta pesquisa, traçar caminhos e objetivos foi fundamental. Trilhamos um caminho metodológico extenso e vasto que contribuiu diretamente para os resultados e conclusões referentes aos objetivos e problemáticas desse trabalho.

4.1 Delimitação do tema

O contexto dessa pesquisa voltou-se para a utilização de tecnologias educacionais em prol do ensino e aprendizagem, em especial aplicativos para celulares *smartphones.* A problemática deste trabalho é baseada na seguinte questão: o uso de aplicativos de smartphones facilita o ensino e aprendizagem no conteúdo de ondulatória?

Daí, deu-se início ao levantamento bibliográfico e as pesquisas dos aplicativos. Como esperado, a quantidade de aplicativos encontrados e o amplo conteúdo de trabalhos científicos dentro da temática, foi numerosa. Então, na perspectiva de que uma pesquisa cientifica é, na visão de Rampazzo *(1998, p.14), "a atividade de investigação capaz de oferecer um conhecimento novo a respeito de uma área ou de um fenômeno, sistematizando-o em relação ao que já se sabe a respeito da área, ou fenômeno" consideramos o design* – delineamento básico – desta pesquisa que tem como objetivo fundamental verificar se a utilização de *smartphones* e seus recursos, principalmente aplicativos, pode ser um meio facilitador do ensino e aprendizagem de conteúdos de ondulatória.

A natureza do trabalho é a aplicada, pois procura produzir conhecimentos para aplicação prática dirigidos à solução de problemas específicos (PRODANOV, 2009, p. 127).

O método refere-se ao hipotético-dedutivo, pois formula hipóteses para expressar as dificuldades do problema, de onde deduz-se consequências que deverão ser testadas ou falseadas (PRODANOV, 2009, p.128).

O trabalho funda-se na base exploratória, pois visa proporcionar maior familiaridade com o problema, tornando-o explícito ou construindo hipóteses sobre ele.

Esse é um estudo de caso, porquanto o pesquisador tem pouco controle sobre os eventos e o foco se encontra em fenômenos contemporâneos inseridos em algum contexto da vida real, além de ser "útil para identificar um problema educacional e entender a dinâmica da prática educativa, portanto é uma pesquisa que possui relevância na área da educação, principalmente em estudos exploratórios" (BOTELHO; CRUZ, 2013, p.57).

Trata-se de uma pesquisa de abordagem qualitativa. Qualitativa no sentido de que se preocupa com um nível de realidade que não pode ser quantificado [...] trabalha com um universo de significados, motivos, aspirações, crenças, valores e atitudes, o que corresponde a um espaço mais profundo das relações, dos processos e dos fenômenos [...] Minayo (2001, p.21-22) e utilizamos questionários semiestruturados como instrumentos de coleta de dados.

O *corpus* desta pesquisa foi realizado na Educação de Jovens e Adultos em uma instituição pública que oferece ensino fundamental, além da EJA. A escolha dessa modalidade de ensino advém das experiências profissionais resultantes de dois anos de trabalho com esse público. A carência de trabalhos de mestrado direcionados a essa modalidade da educação, principalmente na disciplina de física, também contribuiu para a destinação da pesquisa a esse cenário. Além disso, as características dos estudantes de EJA são diferenciadas; geralmente são estudantes adultos, que ficaram muito tempo longe da escola, ou alunos com distorção idade-série. Esses aspectos corroboram para a dificuldade de aprendizagem dos conteúdos, exigindo práticas diferenciadas e adequadas, além de acompanhamento pedagógico contínuo por parte dos educadores. É nesse sentido que as propostas aqui apresentadas como produto educacional visam apresentar aos alunos e professores uma prática simples e objetiva acerca de três conteúdos importantes da área de ondulatória: As propriedades das ondas; Fenômenos de reflexão, refração e difração e o estudo das ondas estacionárias em uma corda.

Para o estudo desses conteúdos, dentro dos objetivos deste trabalho, utilizamos três aplicativos para *smartphones*. Também é importante ressaltar que a proposta desse

trabalho não se limitou somente aos *apps*. A utilização de tecnologias digitais acessíveis por meio da conectividade dos *smartphones* foram explorados. Dessa maneira, foram disponibilizados *Qr-Codes* para que os estudantes e professores acessassem os conteúdos e atividades colaborativas presentes em três roteiros construídos referentes a cada conteúdo.

No tocante aos *apps* utilizados, foi feita inicialmente uma pesquisa na loja virtual presente nos *smartphones*, a *Play Store*. Referente ao conteúdo das propriedades das ondas foi colocado no ícone de pesquisa a seguinte palavra-chave: *ondas*. Após uma análise de diversos aplicativos apresentados na tela do aparelho, foi escolhido o *Wave Interference and reflection in 1D*. A figura 25 presenta a interface inicial desse *app*.

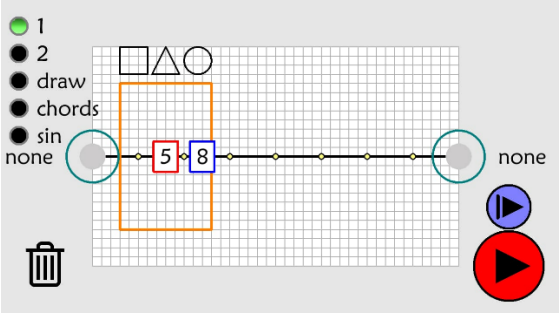


Figura 25: Interface inicial do aplicativo utilizado para o estudo das propriedades das ondas.

Apesar de ser possível estudar fenômenos de reflexão e interferência nesse aplicativo, o utilizamos para o estudo das propriedades das ondas, por possuir uma interface simples e ocupar um espaço de apenas 2,9 MB, podendo facilmente funcionar em qualquer celular do tipo *smartphone*.

Em relação aos conteúdos dos fenômenos ondulatórios pesquisou-se com a seguinte palavra-chave: *fenômenos ondulatórios*. Analisamos os aplicativos apresentados e optamos pelo *LightWave Studio Free*. Esse, apresentado na figura a seguir, permite criar situações de reflexão, refração e difração.

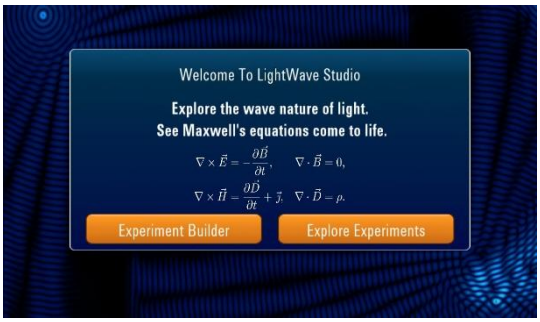


Figura 26: Interface inicial do aplicativo usado para o estudo dos fenômenos ondulatórios.

Para estudo de ondas estacionárias, utilizamos um modelo experimental-tecnológico com o aplicativo *Pa Tone Generator*. A figura 27 mostra a montagem do experimento em que se pode estudar as propriedades e conceitos de ondas estacionárias.

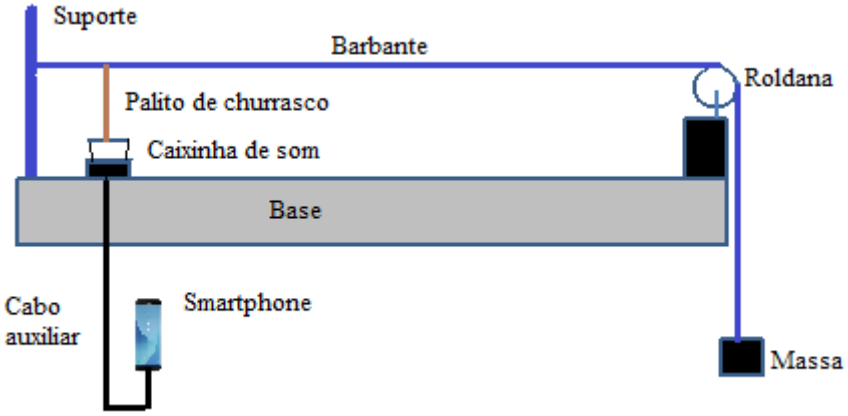


Figura 27: Aparato experimental para o estuo das ondas estacionárias.

O aplicativo, que é mostrado na figura 28, funciona como um gerador de frequências e, ao ser acionado, vibra a caixa de som, que por sua vez transfere essas vibrações para o barbante através de um palito de churrasco que os interligam. Esse procedimento faz com que ondas estacionárias se formem no barbante que está fixo entre um suporte fixo e uma roldana. O barbante é tensionado por um corpo suspenso.

Figura 28: Tela inicial do aplicativo escolhido para o estudo das ondas estacionárias.

Esta pesquisa ocorreu em uma instituição de ensino localizada em um bairro periférico de Rio Branco, no estado do Acre. O objetivo é atender estudantes dos inúmeros ramais que se encontram dentro do bairro, fato que traz à escola uma densa diversidade de discentes. Por ser a única escola a oferecer Educação de Jovens e Adultos no turno noturno, muitos estudantes buscam essa instituição para realizar suas matrículas, evidenciando um número expressivo de alunos, o que em última análise, fomentou a escolha deste público.

A Educação de Jovens e Adultos é dividida por módulos. No ensino fundamental são cinco módulos distribuídos em três anos e meio de estudos. Já a etapa do ensino médio é realizada em dois anos, sendo quatro módulos. O módulo em que foi realizada a pesquisa e a aplicação do produto educacional deste trabalho foi o terceiro do ensino médio, visto que o conteúdo de ondulatória é trabalhado neste segmento e a quantidade de estudantes que participaram da pesquisa totalizou 21.

A seguir, apresentamos detalhadamente todos os procedimentos realizados nesta pesquisa.

4.2 Procedimentos metodológicos

Para alcance dos objetivos da pesquisa, traçamos um caminho de aplicação da metodologia, nos seguintes parâmetros: inicialmente, realizamos um levantamento com os sujeitos da pesquisa referente a quantos dispunham de um celular *smartphone*. Foi disponibilizada uma tabela para o docente realizar a coleta. A representação da tabela é mostrada a seguir.

Aluno	**Possui celular smartphone**
Aluno 1	Não
Aluno 2	Sim
Aluno 3	Sim
Aluno 4	Sim
Aluno 5	Sim
Aluno 6	Sim
Aluno 7	Não
Aluno 8	Sim
Aluno 9	Sim
Aluno 10	Sim
Aluno 11	Sim
Aluno 12	Sim
Aluno 13	Sim
Aluno 14	Não
Aluno 15	Não
Aluno 16	Sim
Aluno 17	Sim
Aluno 18	Sim
Aluno 19	Sim
Aluno 20	Sim
Aluno 21	Sim
Total que possuem	**17**
Total que não possuem	**4**

Tabela 3. Quantidade celulares smartphones coletados com os estudantes participantes da pesquisa.

Essa coleta foi fundamental pois permitiu que os conceitos e atividades colaborativas dos roteiros fossem feitas coletivamente, caso muitos alunos não possuíssem esse dispositivo móvel, ou de forma individual, dependendo da perspectiva do professor. No entanto, a realização individual nesse momento seria imprescindível para que o discente explorasse os recursos dos aplicativos, além da avaliação individual pelo educador. Como alguns estudantes não possuíam o aparelho, sugerimos ao professor que esses alunos trabalhassem com outros colegas, afim de que todos participassem das atividades colaborativas.

Após esse procedimento de coleta sugerimos que os alunos realizassem o *download* do primeiro aplicativo: o *Wave Interference*[3].

Ressaltamos que outras formas de disponibilizar os aplicativos foram utilizadas, não limitando-se ao *download* na *Play Store.* O *download* é feito quando há conexões *Wi–fi*, ou quando o dispositivo possui dados móveis. Por isso, os aplicativos também foram enviados via *SHAREit* [4] pelo docente, não necessitando de conexões móveis de acesso à internet.

Por conseguinte, aplicamos o questionário inicial (pré-teste) referente as propriedades das ondas com o intuito de identificar os conhecimentos prévios dos estudantes e para confrontarmos com a aplicação final. Todos os questionários foram aplicados nessa ordem.

Foram feitos e aplicados três questionários concernentes aos três conteúdos e um questionário acerca da metodologia aplicada, ou seja, referente ao uso de celulares smartphones e seus recursos como facilitadores da aprendizagem. O questionário referente às propriedades das ondas era composto por seis questões. Já o questionário sobre os fenômenos ondulatórios dispunha de quatro questões. O questionário sobre ondas estacionárias foi apresentado com cinco questões referentes ao conteúdo e, por fim, o questionário referente à metodologia utilizada no trabalho continha oito questões.

---

[3] O aplicativo *Wave Interference* foi desenvolvido por Matthew Craig, no Canadá. Está disponível para *download* no endereço: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.mygdx.wave1d

[4] Esse *app,* desenvolvido pela Shareit Technologies Co.Ltd, transfere aplicativos para outros dispositivos smartphones sem necessidade de conexão à internet. Disponível para *download* em: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.lenovo.anyshare.gps

Com o questionário inicial em mãos, procuramos identificar os conhecimentos prévios de cada estudante, buscando detectar quais iriam apresentar mais dificuldades em relação aos conteúdos e quais mostraram ter algum conhecimento acerca dos assuntos. Dessa maneira, o professor poderia auxiliar os estudantes com mais dificuldades e construir a aprendizagem significativa pelos discentes. Esse procedimento foi realizado em cada aplicação para contemplar os aspectos da teoria da aprendizagem de Ausubel.

Subsequentemente, após as análises dos questionários iniciais e identificação dos conhecimentos prévios dos alunos, o professor apresentou os objetivos da aula e disponibilizou o roteiro para os estudantes. Inicialmente, o roteiro foi entregue de forma impressa, entretanto, após a realização das atividades, disponibilizamos o roteiro de forma digital através de *Qr-Codes.* Esse acesso através das tecnologias *Mobiles Tags* permitiu aos sujeitos dessa pesquisa realizar o download do roteiro e mantê-lo em seu dispositivo para acesso e estudo em qualquer lugar e a qualquer hora. Para o acesso dos conteúdos digitais, foi indicado que os discentes realizassem o *download* de um leitor de *Qr-Codes* na *Play Store*, caso o seu aparelho não dispusesse desse recurso. O leitor sugerido foi o *Leitor de código QR.* A interface desse aplicativo é apresentada na figura abaixo.

Figura 29: Leitor de Qr - Code sugerido.

O primeiro roteiro foi acessado por meio do seguinte *Qr-Code:*

Figura 30: Qr-Code para visualização do material de estudo e realização das atividades colaborativas sobre as propriedades das ondas.

Os roteiros 2 e 3 foram disponibilizados digitalmente através dos *Qr – Codes* apresentados a seguir

Figura 31: Qr - Code utilizado para download do roteiro sobre os fenômenos ondulatórios.

Figura 32: Qr - Code utilizado para download do roteiro sobre ondas estacionárias.

Também disponibilizamos para o docente uma metodologia de avaliação da aprendizagem dos estudantes frente à sua participação e desempenhos nas atividades realizadas. Esse meio de avaliação consiste em uma tabela, do modelo de ficha individual, para anotações pelo professor. O acesso também se deu de forma digital através do *QR* abaixo:

Figura 33: Qr-Code para acesso da tabela de avaliação pelo professor.

Essa proposta de avaliação através de *mobile Tags* poderia ser feita no próprio celular smartphone do professor, pois a tabela foi disponibilizada em modo editável em um documento do *word.*

Logo em seguida, os alunos realizaram as atividades colaborativas disponibilizadas no roteiro. O professor auxiliou os estudantes que tiveram dificuldades, especialmente os discentes que não apresentaram conhecimentos prévios. Aos alunos que não possuíam um aparelho *smartphone* foi proposto que trabalhassem em duplas com outros alunos que dispunham do *app.*

Cada roteiro teve aproximadamente 1 hora e 30 minutos de duração para a realização das atividades. Na aula 1, que ocorreu em uma quarta feira, realizamos a aplicação do primeiro roteiro e na segunda aula, que ocorreu em outra quarta feira, aplicamos o questionário final do primeiro roteiro e aplicamos o roteiro referente aos fenômenos ondulatório de reflexão, refração e difração. Na semana seguinte, aplicamos o questionário final do segundo roteiro e houve a aplicação do terceiro roteiro. Esse foi aplicado pelo próprio professor em uma aula expositiva, pois tratava-se de um sistema experimental. No entanto, foram os alunos que realizaram o procedimento de resolução das atividades. Nesse momento, o docente apenas os auxiliou para a construção do conhecimento. O questionário final do terceiro roteiro e o questionário referente à metodologia ocorreu na semana subsequente. Optamos por uma semana após a aplicação dos roteiros, pois assim poderíamos constatar se houve ou não evidencias de aprendizagem. Ao todo, a aplicação do produto durou 3 semanas, ocupando 4:30 h da carga horária da disciplina. Durante esse período trabalhamos os conteúdos dentro de cada roteiro. Na próxima secção, vamos apresentar o referencial teórico em que se baseou esta pesquisa.

CAPÍTULO 3

5. Resultados e discussões

Os resultados apresentados a seguir referem-se as aplicações dos questionários de acordo com as projeções dos conteúdos deste trabalho. Apresentamos os resultados na seguinte ordem: os resultados referentes ao questionário do roteiro 1; os resultados do questionário do roteiro 2; os resultados do questionário relacionado ao roteiro 3 e, por fim, apresentamos os resultados concernentes ao questionário sobre a utilização dos aplicativos.

5.1 Resultados e discussões do roteiro 1

Como já destacado, os questionários foram aplicados em dois momentos distintos da realização das atividades do roteiro. O questionário inicial evidenciou os conhecimentos prévios, além dos resultados iniciais que foram confrontados com os apresentados pelo questionário final, afim de constatar conclusões para a problemática desta pesquisa.

O gráfico a seguir mostra os resultados conjuntos do questionário inicial e final em referência ao guia 1. Priorizamos realizar a análise pelo número de acertos dos estudantes no questionário final em função do questionário inicial. Por isso, as colunas retangulares da direita do gráfico referem-se ao percentual de acertos na 2ª aplicação, enquanto as colunas à esquerda representam o percentual de questões corretas na 1ª aplicação. Em todos os gráficos, os resultados são apresentados dessa maneira.

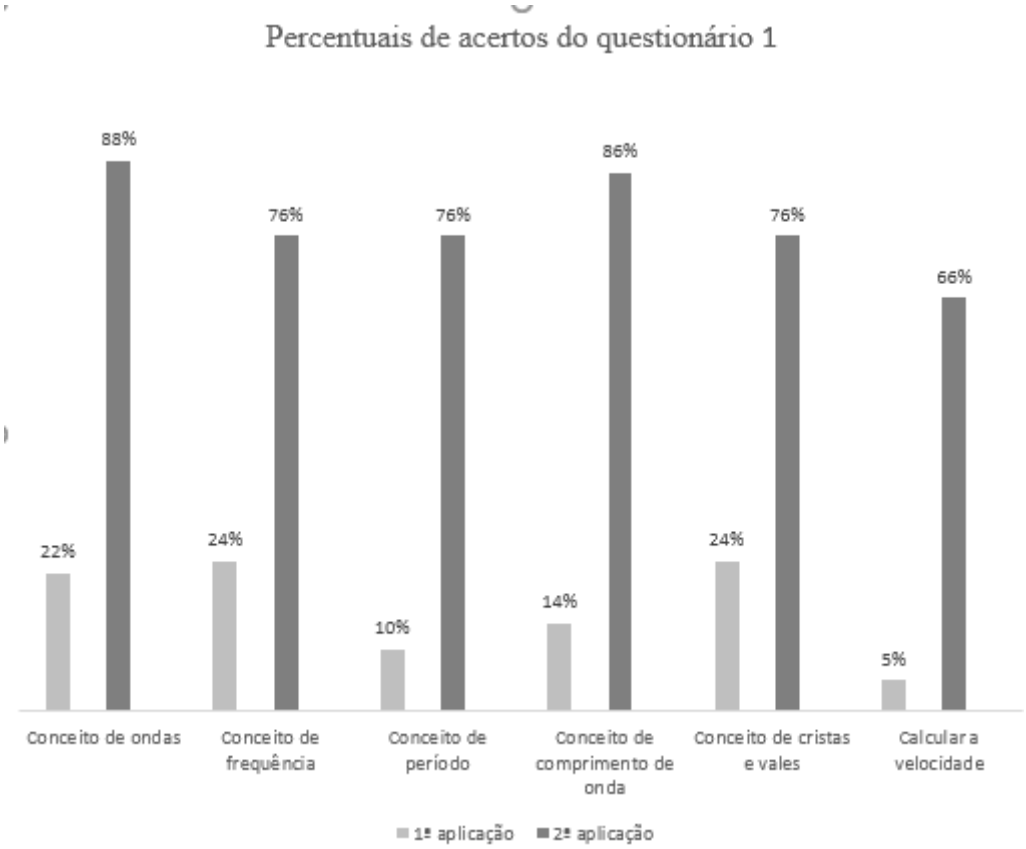


Gráfico 5. Comparações percentuais de acertos nas primeira e segunda aplicações do questionário referente as propriedades das ondas.

A aplicação inicial demonstrou pouco conhecimento dos discentes a despeito das propriedades fundamentais das ondas. A primeira questão inclinava-se a verificar se os alunos reconheciam o conceito de ondas. Entretanto apenas 6 estudantes evidenciaram ter conhecimento sobre o conceito. Já na aplicação do questionário final, o percentual de acertos triplicou, saindo de 6 para 18 sujeitos.

A segunda questão abordada tratava do conceito de frequência. Observa-se que a grande parte dos estudantes não possui nenhum conhecimento a respeito desse conceito, assim como na terceira questão que tratava da definição de período de oscilação de uma

onda. Em relação a primeira aplicação, apenas cinco estudantes marcaram o conceito correto de frequência, ao passo que na aplicação final 15 discentes definiram corretamente esse conceito. Tratando-se do período, a aplicação inicial revelou que apenas 2 alunos possuíam algum conhecimento a despeito do assunto, já na aplicação final 14 estudantes demonstraram noções corretas do conceito considerado.

A questão posterior, relativa a definição de comprimento de onda, mostrou que um percentual mínimo de estudantes tinha conhecimentos a despeito desse conceito, o que é explícito em apenas 2 acertos por parte dos respondentes à pesquisa. Em contrapartida, a aplicação final revela um número considerável de estudantes que acertaram a questão. Assim, 18 discentes pareciam ter compreendido corretamente o conceito.

A quinta questão, que tratava sobre o conceito de cristas e vales, apresentou um percentual de acerto por parte de 5 discentes. Já no questionário final um total de 17 estudantes conseguiram marcar corretamente a questão.

A última questão foi a que apresentou a menor incidência de acertos tanto na aplicação inicial quanto na aplicação final. Porém, teve um aumento significativo de acertos na aplicação final em detrimento das respostas corretas do questionário inicial. Assim, apenas 1 estudante conseguiu acertar a questão na primeira aplicação em face que 13 discentes obtiveram êxito na aplicação final.

O fator determinante desses resultados foi o uso dos processos metodológicos defendidos pela teoria *Ausubeliana*. O que se pode observar é que a maioria dos estudantes, inicialmente, não possuíam *subsunçores* em sua estrutura cognitiva para relacionar com os novos conceitos abordados (as novas informações). Por isso, os recursos textuais, as situações problemas apresentadas como organizadores prévios, podem ter sido o ancoradouro para a aquisição dos novos conteúdos.

No entanto, definir se um material é um organizador prévio eficaz não é trivial considerando-se a singularidade de aprendizado de cada estudante. Entretanto, a utilização de recursos textuais para fornecimento de subsunçores para os estudantes foi revelado significativamente no trabalho de (BOSS, et. al, 2009) e também por (SANTOS; DIAS, 2005) na perspectiva do ensino de física. Estes últimos, propuseram a utilização de textos históricos como recursos ancoradouro e forneceram uma metodologia de aplicação de questionários que também usamos neste trabalho.

Ressaltando a eficiência dos resultados até aqui apresentados, iremos discutir na próxima subsecção os dados relativos ao segundo roteiro relacionado ao conteúdo dos fenômenos ondulatórios de reflexão, refração e difração.

5.2 Resultados e discussões do roteiro 2

A aplicação do segundo questionário ocorreu uma semana depois da aplicação do roteiro referente aos conteúdos de fenômenos ondulatórios. O questionário, composto de cinco questões a despeito do conteúdo, foi comparado em relação à aplicação inicial e final. Representamos esses resultados no gráfico abaixo. De antemão, os resultados do questionário inicial não apresentaram grandes diferenças em relação ao questionário 1.

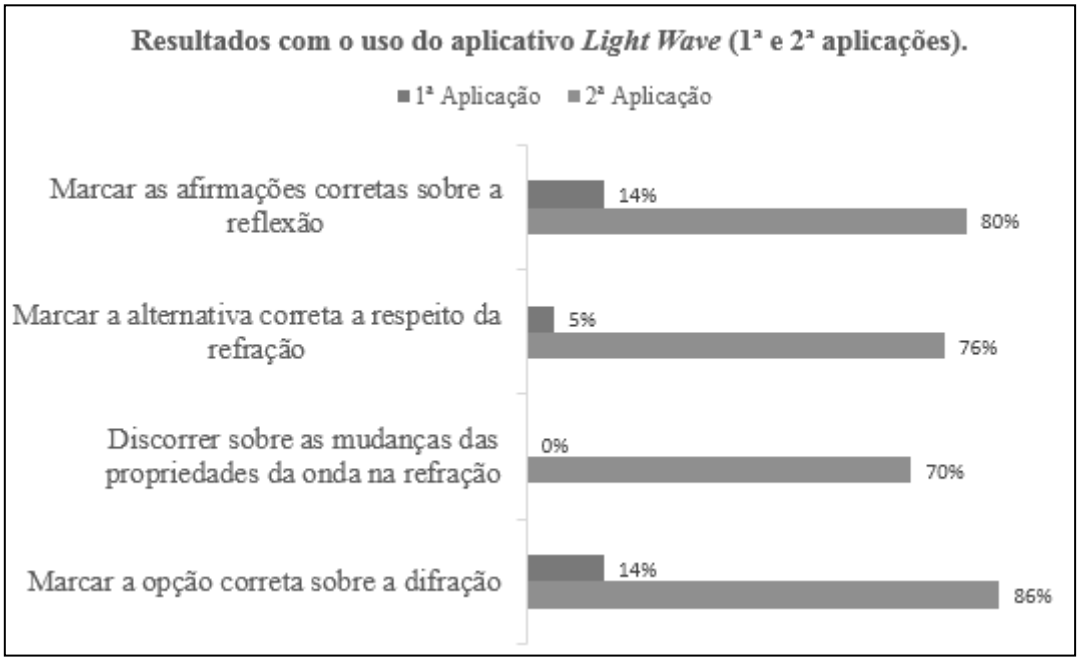


Gráfico 6. Comparações percentuais de acertos nas primeira e segunda aplicações do questionário relacionado aos fenômenos ondulatórios.

A primeira questão desse questionário, que tinha como objetivo verificar se os alunos possuíam algum conhecimento sobre o fenômeno da reflexão, na aplicação inicial somente 2 estudantes marcaram a resposta corretamente, ao passo que na aplicação final 16 discentes demonstraram compreender corretamente a questão.

As questões dois e três foram as que tiveram o índice mais baixo de acertos na aplicação inicial. A questão dois tratava do fenômeno da refração, assim como a questão três diferenciando apenas que a questão três era uma questão discursiva. Somente 1 estudante acertou a questão 2, e a questão 3 não teve nenhum acerto. A aplicação final,

entretanto, apresentou um percentual significativo de acertos de ambas as questões. Sobre segunda questão 15 estudantes conseguiram marcar corretamente e 14 estudantes mostraram conhecimento na questão dissertativa.

Por fim, a última questão, referente ao fenômeno de difração, apresentou como acertos na primeira aplicação apenas 2 estudantes, enquanto que na última esse índice subiu para 16 acertos.

5.3 Resultados e discussões do roteiro 3

O terceiro e último roteiro tratava do conteúdo sobre as ondas estacionárias. Neste, foi utilizado um aparato experimental com auxílio do aplicativo *PA Tone.* Foi realizada a aplicação inicial do questionário e, na semana seguinte, após a aplicação do roteiro, foi realizada a aplicação do questionário final. Esses resultados são apresentados no gráfico abaixo.

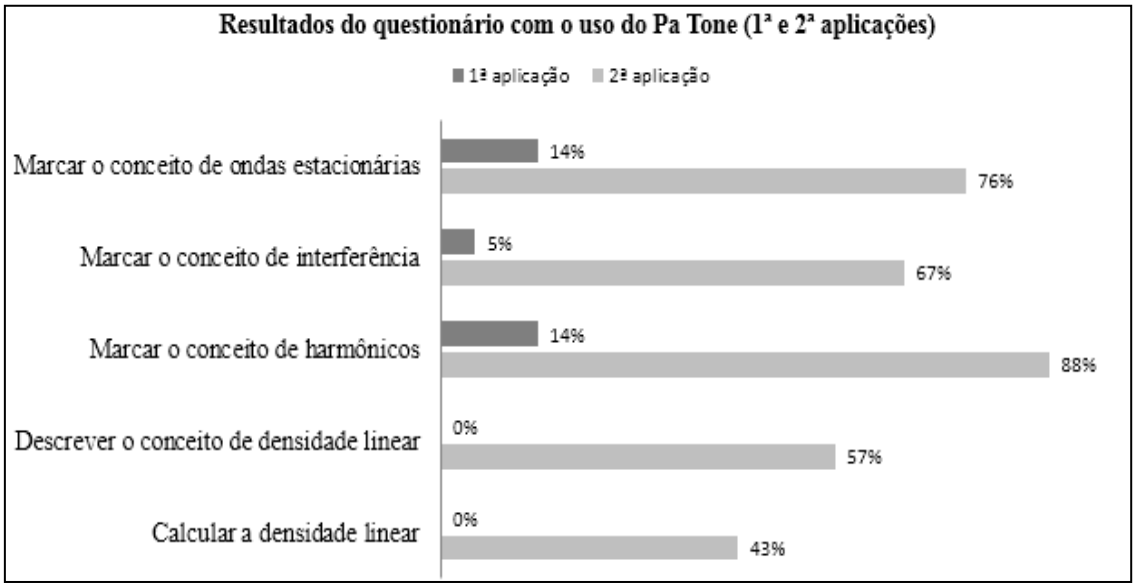


Gráfico 7. Confrontos percentuais de acertos nas primeira e segunda aplicações do questionário relativo as ondas estacionárias.

A primeira questão, que tinha como objetivo identificar se os estudantes possuíam algum conhecimento a respeito do conceito de ondas estacionárias, teve um percentual de 14% de acertos na primeira aplicação representando apenas 2 estudantes do total de 21. Já na aplicação final, essa porcentagem aumentou para 76% de acertos, representando 15 respostas corretas do total.

A questão seguinte, que tratava do conceito de interferência, tinha como objetivo observar os conhecimentos iniciais dos alunos a respeito do conceito de interferência de ondas. Essa questão, na aplicação inicial apresentou apenas 1 acerto do total de

estudantes participantes da pesquisa, ao passo que na aplicação do questionário final 14 estudantes a responderam corretamente.

A terceira questão era referente ao conceito de harmônicos para verificar se algum estudante tinha algum conhecimento sobre esse assunto. Entretanto, evidenciou-se que a grande parte dos discentes não sabiam do que se tratava, por isso na aplicação inicial apenas 2 estudantes conseguiram marcar corretamente a questão. Após a utilização do roteiro proposto, entretanto, esse percentual aumentou substancialmente, onde 18 alunos marcaram corretamente o conceito apresentado.

As últimas questões desse questionário eram referentes ao conceito de densidade linear, visto que o objetivo do experimento com o uso do aplicativo *Pa Tone* era calcular essa densidade para o barbante da experiência. A questão quatro era para verificar os conhecimentos dos estudantes em relação ao conceito físico e a quinta questão exigia dos alunos cálculos matemáticos. Como resultado da aplicação inicial, constatou-se que nenhum estudante discorreu sobre o conceito de densidade linear e nem conseguiu efetuar os cálculos matemáticos da questão cinco.

Confrontando esses resultados com os das aplicações iniciais para as outras questões, pode-se verificar que, apesar de poucas respostas corretas, é possível que os alunos que acertaram marcaram a opção correta ao acaso, pois quando foi cobrado uma questão discursiva, nenhum aluno argumentou corretamente. Contudo, as aplicações finais, realizados após o uso do roteiro, trouxe resultados extremamente positivos. A questão quatro foi corretamente descrita por 11 estudantes enquanto a questão cinco foi respondida coerentemente por 9 discentes.

5.4 Resultados e discussões acerca da metodologia utilizada

Após a aplicação do último questionário também propomos para que os estudantes respondessem a um questionário sobre a metodologia abordada na pesquisa. Apresentaremos as respostas dos estudantes na tabela seguinte.

Perguntas	Respostas (%)
1. Já tinha estudado algum conteúdo de física utilizando aplicativos?	( ) Sim (100%) Não
2. Gostou do uso dos aplicativos utilizados em cada roteiro?	(95%) Sim ( ) Nem gostei, nem detestei (5%) Não
3. Concorda que a utilização dos *apps* facilitaram sua compreensão acerca dos conteúdos?	(85%) Concordo totalmente (10%) Concordo parcialmente (5%) Nem concordo, nem discordo ( ) Discordo parcialmente ( ) Discordo totalmente
4. É a favor de estudar outros conteúdos de física utilizando aplicativos?	(100%) Totalmente favorável ( ) Moderadamente favorável ( ) Indiferente ( ) Moderadamente contrário ( ) Totalmente contrário
5. Você encontrou dificuldades em executar os roteiros propostos?	(30%) Sim (20%) Em partes (50%) Não
6. Considera importante a utilização de smartphones e seus recursos no ensino de física ?	(100%) Sim ( ) Em partes ( ) Não
7. Você é a favor da utilização do smartphone como um recurso educacional (usá-lo em outras disciplinas, por exemplo)?	(100%) Sim ( ) Em partes ( ) Não
8. O que você achou da metodologia utilizada neste trabalho (roteiros, *aplicativos, Qr-codes e smartphones)* ?	(85%) Excelente (15%) Regular ( ) Ruim ( ) Péssima

Tabela 4. Resultados obtidos concernentes à metodologia adotada no trabalho.

A primeira pergunta questionava se os estudantes já teriam utilizado algum aplicativo para o estudo de conteúdos na disciplina de física e todos os estudantes apontaram que nunca tinham utilizado esse recurso para estudar física. A seguir indagamos se os alunos gostaram da utilização dos aplicativos referentes a cada roteiro e praticamente todos os estudantes afirmaram ter gostado. Entretanto, 1 aluno apontou não ter gostado de utilizar esse recurso.

A pergunta seguinte visou identificar as afirmações dos estudantes sobre como o uso dos aplicativos facilitou a compreensão dos assuntos abordados nos roteiros. Dos respondentes, 85% (17 estudantes) evidenciaram que os aplicativos foram um recurso facilitador. Entretanto, 10% (3 alunos) só concordaram parcialmente, talvez porque esse recurso não foi o suficiente para fazê-los apreender os conceitos, e 1 estudante respondeu que não foi um recurso facilitador, evidenciando que este não compreendeu os conteúdos trabalhados nos roteiros.

Perguntamos se os estudantes eram favoráveis à utilização de *apps* para o estudo de outros conteúdos da componente curricular de física e, nesse aspecto, todos os estudantes foram favoráveis, o que demonstra que esse recurso deve ser utilizado com mais intensidade no âmbito escolar.

Perguntamos também se os estudantes tiveram dificuldades para executarem os roteiros que foram propostos como produto educacional. A maior parte dos estudantes responderam que não tiveram dificuldade alguma em executar os passos dos roteiros, entretanto, quase metade da turma apontou que tiveram dificuldades parciais ou dificuldades reais na execução.

Ao indagarmos se os estudantes consideravam importante o uso de smartphones e seus recursos no ensino de física, todos eles afirmaram que é imprescindível o uso desses aparatos no processo de ensino e aprendizagem de física. Analogamente, foi perguntado se os estudantes defendiam a implementação dos smartphones e seus recursos como um recurso educacional para ser explorado em outras disciplinas do ensino regular e estes opinaram unanimemente a favor da inserção dessas tecnologias no âmbito escolar.

Por fim, perguntamos aos alunos sobre suas posições concernentes à metodologia utilizada em nosso trabalho (o uso dos roteiros, dos smartphones, aplicativos e *Qr- Codes*) como recursos didáticos facilitadores do ensino e aprendizagem e a grande maioria dos estudantes destacaram ser uma excelente ferramenta educacional e 15% apontaram essa ferramenta como regular.

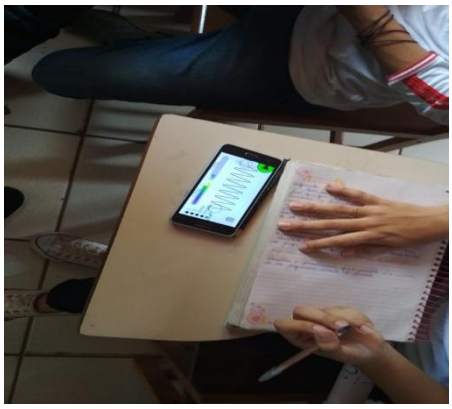
Os resultados aqui apresentados não destoam significativamente de outros trabalhos dentro dessa temática. A utilização dos smartphones em uma perspectiva educacional se expande as diversas áreas do conhecimento. Em uma aplicação em matemática, (GERSTBERGER, 2017) visualizou os aspectos relacionados à cultura do uso dos celulares e as possibilidades e limitações dos aplicativos dos smartphones e suas funções explorando-as em conteúdos dos anos finais do ensino fundamental. Ele utilizou a câmera fotográfica como um recurso para o estudo de regra de três, além de razão e proporção. Fez uso de aplicativos para o estudo de conceitos estatísticos, como moda, média e mediana, e para a construção de gráficos em duas e três dimensões. Destacou a importância crucial de inserir essas ferramentas em uma concepção inovadora de ensino e aprendizagem nas ciências.

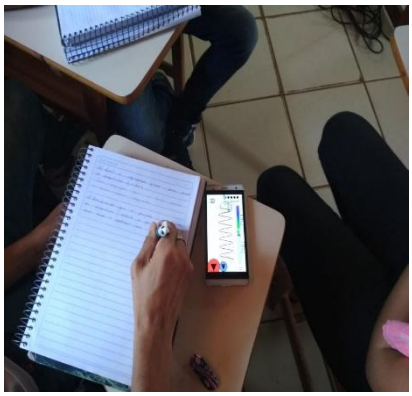
Na área de Língua Portuguesa, as pesquisadoras Conforto e Vieira, utilizaram os recursos dos smartphones para o estudo de textos disponibilizando-os de forma digital através dos mobiles. A sua discussão, que saiu do da ideia disciplinar do uso desses aparelhos por políticas estaduais, para a utilização dessas ferramentas como um recurso pedagógico, concluiu que mais do que retratos teóricos sobre o uso desses suportes no

espaço escolar, as possibilidades de aprendizagem fornecidas por esses meios são fatos constatados em seu trabalho, e defende ainda mais a utilização esses aparelhos no processo de ensino e aprendizagem por suas facilidades e possibilidades.

Em Geografia e História, (SILVA, 2016) fez uma análise crítica sobre a utilização de aplicativos nessas áreas do conhecimento. As análises de três aplicativos específicos sobre as disciplinas, levaram a autora a concluir que as bases do ensino tradicional são altamente presentes nesses aplicativos. Ela defende isso mostrando que os textos dos *apps* não trazem a reflexão, a crítica e desprezam o potencial de formação cidadã creditado às ciências humanas. Ela ainda destaca que o uso dos aplicativos em sala de aula deve ser estrategicamente observado pelo educador, afirmando que a escolha dos materiais didáticos influencia drasticamente na formação que os professores querem dar aos alunos. Concordamos com o ponto de visto da autora, pois não se pode colocar somente nas tecnologias a "salvação" para os problemas de ensino e aprendizagem nas ciências. Na verdade, a possibilidade de aprendizagem significativa se concentra relevantemente nas práticas pedagógicas, recursos e materiais didáticos apresentados pelo professor. Essa concepção também é defendida pela teoria educacional adotada neste trabalho. A aprendizagem significativa, apesar de concentrar suas principais ideias nos conhecimentos cognitivos do aprendente, reforça a importância do uso de materiais potencialmente significativo e organizadores prévios capazes de se relacionarem ou fornecerem subsunçores para os aprendizes.

Apresentaremos algumas imagens que tiramos da realização das atividades utilizando os aplicativos.





Alunos utilizando o aplicativo *Wave Interference*.

Alunos utilizando o aplicativo Light Wave

Alguns questionários respondidos pelos participantes da pesquisa estão no Anexo A. Eles são apresentados de acordo com a abordagem dos conteúdos. Os dois questionários iniciais se referem as respostas antes e depois das propriedades das ondas. Os dois subsequentes se referem a aplicação concernente aos fenômenos ondulatórios. Os posteriores mostram as respostas do conteúdo de ondas estacionárias e, por fim, o último representa os resultados acerca da metodologia.

6. Conclusões

Este trabalho, fundamentado na teoria da aprendizagem significativa Ausubeliana, teve como principal objetivo verificar se o uso dos *smartphones* e seus recursos, especialmente os aplicativos gratuitos disponíveis em sua loja virtual de *apps*, a *Play Store*, assim como as tecnologias *Mobile Tags* (*Qr – codes*), se apresentariam como facilitadores do processo de ensino e aprendizagem dos conceitos físicos pertinentes à ondulatória.

A análise ocorreu utilizando-se três aplicativos estrategicamente escolhidos para contemplar os objetivos da pesquisa. O aplicativo destinado para se estudar os conceitos fundamentais da ondulatória foi o *Wave Interference.* Para o estudo dos fenômenos ondulatórios de reflexão, refração e difração foi lançamos mão do *LightWave* e, por fim, para as discussões sobre as ondas estacionárias foi considerado o *PA Tone Generator*, além de ser utilizado para a discussão referente ao fenômeno da interferência de ondas.

A primeira conclusão que consideramos em nosso trabalho é a de que os aparelhos smartphones, resultado do largo crescimento tecnológico dos últimos anos, são uma tecnologia visivelmente presente na vida dos estudantes. Em nosso trabalho identificamos que 80% dos discentes portam um aparelho do tipo inteligente. Essa presença no cotidiano acaba modificando as relações interpessoais, as formas de informar e comunicar, de transmitir conhecimento, além de alterarem o comportamento social de seus bilhões de usuários.

O aplicativo *Wave Interference* apresentou-se uma ferramenta eficaz para o estudo das características físicas das ondas. Com uma interface e manuseio simples e por ocupar pouco espaço na memória interna dos celulares, esse recurso permitiu aos estudantes analisar e identificar através das animações e do passo a passo considerado em nosso produto educacional, a propriedades das ondas e, em face dos resultados apresentados por meio da aplicação do questionário inicial, podemos considerar que houve evidências de aprendizagem significativa.

Utilizado para facilitar a compreensão dos conceitos sobre os fenômenos ondulatórios, o aplicativo *LightWave,* apesar das limitações em alguns dispositivos por possuir uma interface mais complexa e ocupar um espaço maior na memória interna dos dispositivos, foi consideravelmente eficiente para a compreensão dos alunos. Ao compararmos os resultados obtidos nas aplicações dos questionários e verificarmos os

percentuais de acertos em ambos, podemos inferir que este recurso facilitou significativamente a compreensão dos discentes participantes da pesquisa.

Quanto ao aplicativo *PA Tone,* usado para estudar as propriedades das ondas estacionárias em um sistema experimental-tecnológico, pôde-se perceber que este facilitou de forma razoável a compreensão dos aprendentes, o que podemos deduzir a possibilidade de aprendizado com significado dos participantes da pesquisa.

Mesmo em um contexto de difícil execução desta pesquisa, visto que a escola possuía extremas limitações quanto ao uso da rede de internet, a não presença de laboratórios de ciências, todas essas dificuldades foram contornadas com alternativas viáveis.

O uso de *QR – Codes* também foi um recurso extremamente valioso nesse processo, considerando que os alunos e o professor poderiam obter os conteúdos presentes no roteiro de forma digital. Nesse aspecto, revela-se as características mais importantes das tecnologias mobiles: a portabilidade, a usabilidade e a conectividade, importantes definições que tornam esses aparatos importantes ferramentas que devem permear os espaços escolares, não como uma tecnologia de distração, mas sim como uma ferramenta educacional que pode proporcionar a aprendizagem dos estudantes.

Ao fim, queremos destacar dois fatores extremamente importantes que possibilitaram os resultados positivos aqui apresentados: a participação e esforço dos alunos para se relacionarem significativamente com os materiais propostos e a eficácia da teoria de aprendizagem proposta por Ausubel. Mesmo em meio às dificuldades de compreensão dos conteúdos da grande maioria do público da EJA devido as suas especificidades, os alunos se empenharam para a construção do conhecimento.

Ainda destacamos que o processo de ensino é ineficaz quando este não está pautado em uma teoria educacional consistente, por isso utilizamos a teoria da aprendizagem significativa, embasada principalmente nas ideias de Ausubel, porquanto acreditamos que a formulação de metodologias com materiais potencialmente significativos, organizadores prévios e estruturação do material que será estudado, contribui para a construção do conhecimento pelo estudante desde que seja considerado os conhecimentos prévios construídos pelos indivíduos. Não há ensino e muito menos aprendizagem quando se desconsidera as concepções de mundo que os alunos construíram. Assim, concordamos com Ausubel quando aponta que toda a psicologia da

educação se reduz aos conhecimentos que os alunos construíram ao longo de suas vivências.

Acreditamos fielmente que este trabalho contribuiu significativamente para a aprendizagem dos estudantes nos conteúdos de ondulatória e esperamos que este recurso seja largamente utilizado por outros educadores em sua prática pedagógica.

7. Referências bibliográficas

BOSS, Sergio Luiz Bragatto; SOUZA, MPF; CALUZI, João José**. Fontes primárias e aprendizagem significativa: aquisição de subsunçores para a aprendizagem do conceito de carta elétrica.** ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS—ENPEC, v. 7, 2009.

BOTELHO, Joacy Machado: **Metodologia científica** / Joacy Machado Botelho, Vilma Aparecida Gimenes da Cruz. — São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013.

CONFORTO, Débora; COMPAGNONI VIEIRA, Maristela. Smartphone na Escola: Da Discussão Disciplinar Para a Pedagógica. **Latin American Journal of Computing Faculty of Systems Engineering Escuela Politécnica Nacional Quito-Ecuador**, v. 2, n. 3, 2015.

DORNELLES FILHO, Adalberto Ayjara**. Demonstre em Aula: uma representação do fenômeno de interferência de ondas utilizando lâminas transparentes e retroprojetor.** Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 15, n. 1, p. 87-93, 1998.

GERSTBERGER, André. **Um olhar etnomatemático acerca da utilização dos smartphones nos processos de ensino de matemática nos anos finais do Ensino Fundamental**. 2017. Dissertação de Mestrado.

Halliday, David, 1916-2010 Fundamentos de física, volume 2: **gravitação, ondas e termodinâmica** / David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker ; tradução e revisão técnica Ronaldo Sérgio de Biasi. – Rio de Janeiro : LTC, 2012.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física 2: Gravitação, Ondas e Termodinâmica.** 7ª Edição Rio de Janeiro: Ltc - Livros Técnicos e Científicos, Editora S.A, 2006.

HEWITT, P. G. **Física Conceitual.** Porto Alegre: Bookman, 2002.

Kukulska-Hulme, A.; TRAXLER, J**. Mobile Learning: A handbook for educators and trainers.** London: Routledge, 2005

MAYER, R. **Teoria cognitiva da aprendizagem multimédia**. Ensino online e aprendizagem multimédia, p. 207-237, 2009.

MINAYO, M. C. D. S. **Ciência, técnica e arte: o desafio de pesquisa social.** 2. ed. Petrópolis: Vozes, 1994.

Mintzes, J. ; Wandersee, J. (2000). **Reforma e Inovação no Ensino da Ciência: uma visão construtivista.** In J. Mintzes, J. Wandersee & J. Novak (Eds.) *Ensinando Ciência para a compreensão – uma visão construtivista* (pp. 44-67). Lisboa: Plátano Edições Técnicas.

MOREIRA, M. A. **Organizadores prévios e aprendizagem significativa**, 2012. **http://www. if. ufrgs. br/~ moreira/ORGANIZADORESport. pdf**, v. 26, p. 12, 2012.

NASCIMENTO, Hugo José; MARTINS, Herbert Gomes; VICTER, Eline Flores. Aplicativos para Dispositivo Móvel: Entendendo o conceito de função matemática. In: **Congresso Internacional ABED de Educação a Distância**. 2013.

Nussenzveig Herch Moysés, 1993 – **Curso de física básica** / H. Moysés Nussenzveig. São Paulo, 3 ed. Edgard Blucher, 1981.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Emani César de. **Metodologia de trabalho científico.** Novo Hamburgo: Feevale.

Pu, H.; Lin, J.; SONG, Y.; LIU, F. **Adaptive Device Context Based Mobile Learning Systems.** International Journal of Distance Education Technologies, v. 09, n. 01, p. 44 – 56, 2011.

RAMPAZZO, L. **Metodologia científica**: **para alunos dos cursos de graduação e pós-graduação.** Lorena: Stiliano; Unisal, 1998.

SILVA, Érica Carla de Oliveira da. **Aplicativos para smartphones e o ensino de história e geografia.** 2016.

Silva, Francisca Daniela de Jesus. **Paródias Conceituais e uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa Como Recursos Didáticos para o Estudo do Movimento Ondulatório** / Silva, Francisca Daniela de Jesus – Juazeiro do Norte: URCA/ IF, 2018.

DA SILVA, Monielle Gomes; BATISTA, Silvia Cristina Freitas. Metodologia de avaliação: análise da qualidade de aplicativos educacionais para matemática do ensino médio. **RENOTE**, v. 13, n. 1, 2015.

TAVARES, Romero. **Aprendizagem significativa. Revista conceitos**, v. 55, n. 10, 2004.

Traxler, J. (2007). *Defining, discussing and evaluating Mobile Learning: The moving finger writes and having writ. The International Review of Research in Open and Distance Learning*,8(2). Disponível em http://www.irrodl.org/index.php/irrodl/article/view/346

VALADARES, Jorge. **A teoria da aprendizagem significativa como teoria construtivista.** Aprendizagem Significativa em Revista, v. 1, n. 1, p. 36-57, 2011.

VIEIRA, Maristela Compagnoni; SANTAROSA, Lucila Maria Costi. Tendências na inserção de dispositivos móveis na educação: uma revisão de literatura internacional. In: **XVIII CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO**. 2013. p. 495-498.

SITES CONSULTADOS

https://play.google.com/store/apps/details?id=com.mygdx.wave1d. Acesso em: 01 de dezembro de 2018.

https://play.google.com/store/apps/details?id=com.lenovo.anyshare.gps. Acesso em: 01 de dezembro de 2018.

REFERÊNCIAS DE IMAGENS CONSULTADAS.

Figura 1 - webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://www.explicatorum.com/cfq-8/reflexao-da-luz. Acesso em: 08/02/2019.

Figura 2 - www.coladaweb.com/fisica/ondas/tipos-de-ondas (adaptada).

Figura 3 - Hewitt (2002).

Figura 4 - bachillerato-fisica.blogspot.com/2012/06/ondas-longitudinales-y-transversales.html.

Figura 11 - fisicaevestibular.com.br/novo/wpcontent/uploads/migracao/ondulatoria/doppler/o_2920a23e17065423.html (com adaptações).

Figura 13 - http://hayannarldv.blogspot.com/2014/06/refracao-e-reflexao-da-luz.html

Figura 14 - mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/refracao-ondas.html.

Figura 15 - Fonte: fisicaevestibular.com.br/novo/ondulatoria/ondas/difracao-e-dispersao-de-ondas/

Figura 18 - https://pt.wikipedia.org/wiki/Frente_de_onda.

Figura 20 - Dornelles Filho (1998 adaptado).

Figura 23 - Fonte: http://fisicabr.org/oscilacao/fis12.html.

Figura 24 - https://sites.google.com/site/ecpwaves/fsico-terico/ondas estacionarias.

8. Apêndices

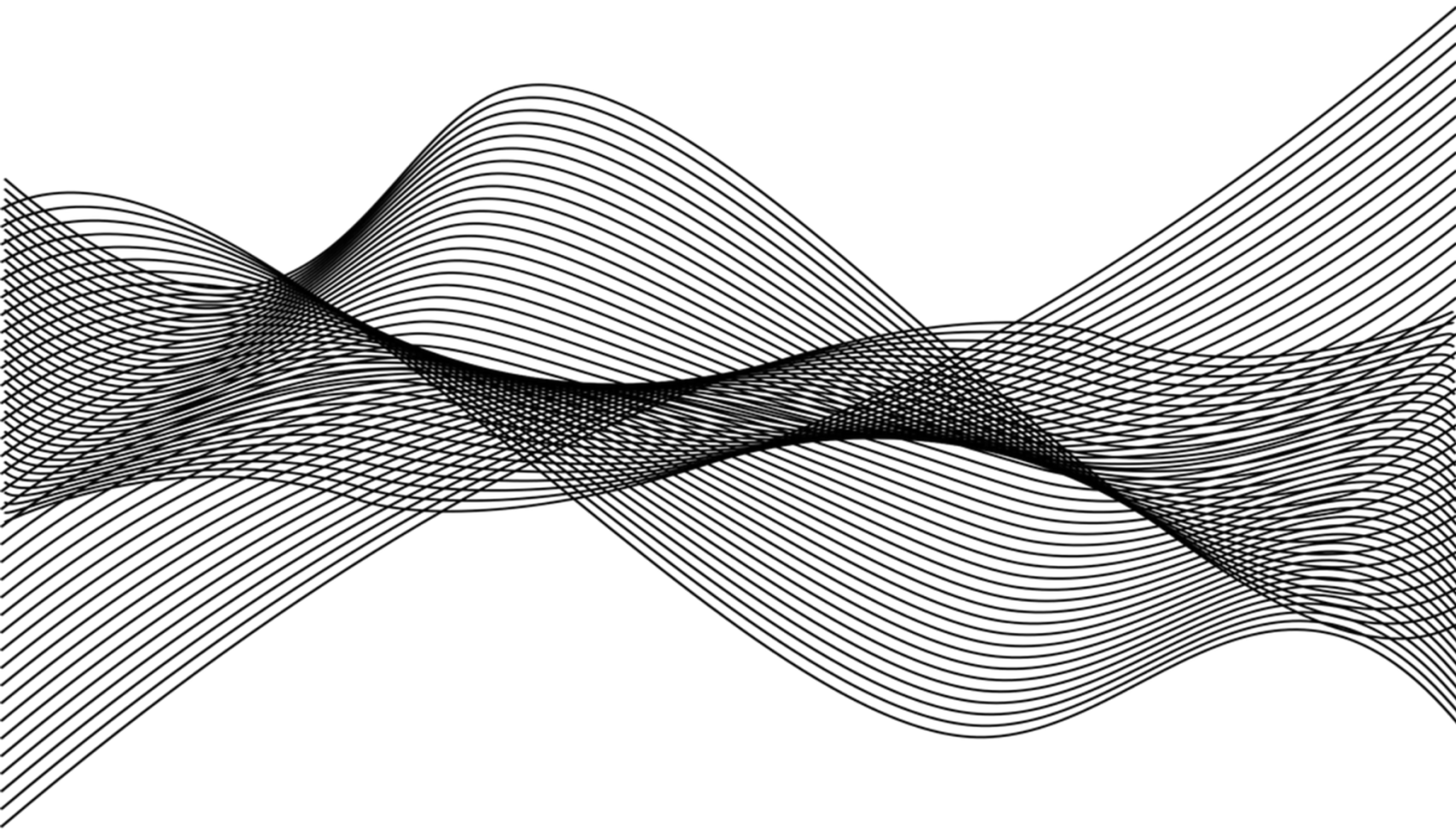
8.1 Apêndice a: produto educacional

MNPEF
Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

Ufac

SBF
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

ROTEIROS PARA O ESTUDO DE ONDAS COM A UTILIZAÇÃO DE APLICATIVOS PARA SMARTPHONES



GEOVANE LIMA DA SILVA

Sumário

APRESENTAÇÃO 04

INTRODUÇÃO 05

OBJETIVOS DO ROTEIRO. 07

APLICATIVOS DOS ROTEIROS 07

ROTEIRO 1: AS PROPRIEDADES DAS ONDAS 08

ROTEIRO 2: OS FENÔMENOS ONDULATÓRIOS 08

ROTEIRO 3: INTERFERÊNCIA E ONDAS ESTACIONÁRIAS 10

CONSIDERAÇÕES FINAIS 12

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 13

Apresentação

Caro aluno,

É com imensa satisfação que apresento a você este roteiro contendo conteúdos e atividades de ondas utilizando aplicativos de smartphones para a sua aprendizagem na disciplina de física. Este trabalho foi desenvolvido no Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF) da Universidade Federal do Acre (UFAC).

Este material está dividido em três capítulos: o primeiro trata de uma breve introdução que aborda a importância dos aplicativos para o seu aprendizado; o segundo apresenta o que é um roteiro e seus objetivos junto à sua aprendizagem; e o terceiro contêm os conteúdos e atividades utilizando aplicativos e *Qr-Codes* para o seu estudo.

Espero que você se empenhe e se dedique, sendo atencioso e constante mesmo quando os conceitos e indicações estejam difíceis de compreender, pois assim você construirá mais satisfatoriamente a sua aprendizagem. Lembre-se que o conhecimento é o bem mais precioso que o ser humano pode adquirir.

Bons estudos!

Introdução

Querido aluno, você deve estar se perguntando: *o que é um roteiro?*

Um roteiro é um manual contendo instruções precisas para a realização de determinadas atividades e conteúdos que necessitam ser seguidos fiel e minunciosamente.

Dessa forma, um roteiro busca mostrar o passo a passo para que uma determinada atividade tenho êxito.

Para que a sua aprendizagem ocorra é preciso que o seu professor utilize diversas estratégias de ensino. Assim, este material busca utilizar uma forma de ensino diferenciada e atrativa para que você aprenda. Nós, professores da área de física, sabemos a dificuldade na compreensão dos nossos alunos para abstrair aprendizado dos conteúdos dessa disciplina. Por isso, esse material roteirizado foi desenvolvido para que você aprenda os conteúdos de uma área extremamente importante da física: a ondulatória. Vamos utilizar um recurso bastante comum no seu cotidiano para tal estudo: o seu celular smartphone.

Os recursos presentes em seu celular, em especial o acesso a aplicativos, pode ser utilizado como um excelente recurso de aprendizagem. É nessa perspectiva que este trabalho é proposto a você.

Assim, pretendemos apresentar este roteiro com a proposta de lhe tornar um estudante ativo no processo de aprendizagem em face à prática pedagógica do professor, para assim acelerarmos o crescimento educacional de nosso país.

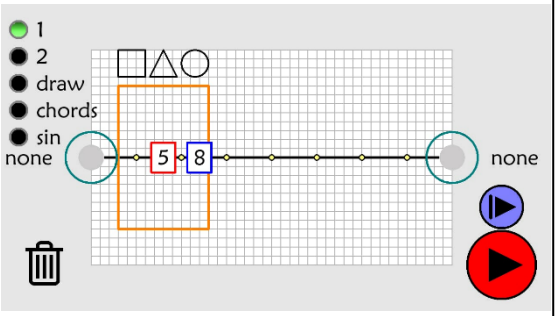
Objetivos do Roteiro

1. Auxiliar os estudantes e professores quanto ao processo de ensino-aprendizagem dos conteúdos de ondas na Educação de Jovens e Adultos (EJA).
2. Promover a aprendizagem significativa dos discentes utilizando aplicativos para smartphones.

Aplicativos de cada roteiro

Este material é composto por três roteiros distintos acerca dos conteúdos de ondas.

O primeiro roteiro é referente as propriedades das ondas, assim, inicialmente, o aluno entenderá o que é uma onda e quais são as suas propriedades. Para o estudo do conteúdo em questão será utilizado o aplicativo *Wave Interference and reflection in 1D*. A tela inicial desse aplicativo é mostrada na figura abaixo e a legenda ao lado.



Legenda do aplicativo:

Ao clicar no número 1 ou 2, o aplicativo possibilita que as ondas se propagam da esquerda ou da direita, simultaneamente.

Draw (desenhar): *Ao clicar neste ícone, você pode desenhar a forma de onda que desejar e após apertar a tecla Player (em vermelho) a onda começa a se propagar.*

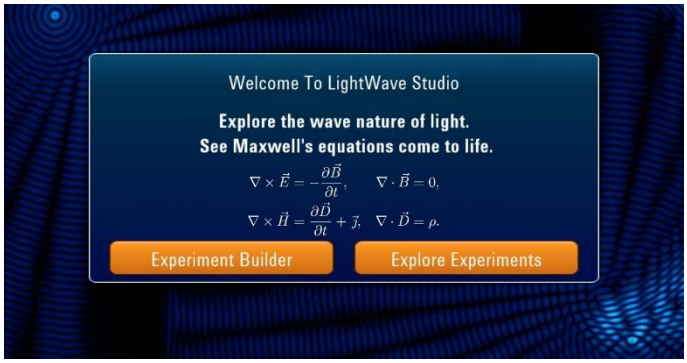
Chords (cordas): *Ao clicar neste ícone, duas cordas irão aparecer no aplicativo.*

Sin: *Este ícone permite que ondas senoidais se formem no aplicativo.*

Atenção! Nas extremidades da corda, você pode efetuar os comandos ***none*** *(nenhum comando e a corda ficará livre);* ***free*** *(que também deixa as cordas livres); ou* ***fixed*** *(que deixa a extremidade fixa).*

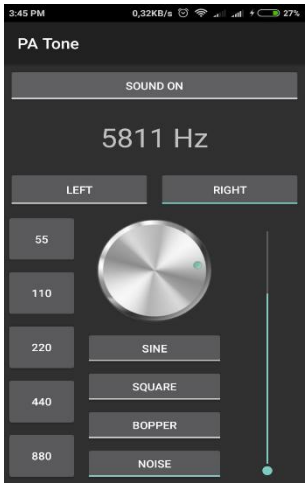
Para realizar o *download* deste aplicativo basta acessar, na *Play Store*¸ o seguinte endereço eletrônico: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.mygdx.wave1d.

O segundo roteiro trata dos fenômenos ondulatórios de reflexão, refração e difração. Espera-se que o estudante compreenda os conceitos desses fenômenos e visualize-os nos aplicativos. Para esse estudo, o *app* utilizado será o *LightWave Studio Free*, mostrado na figura a seguir.



O *download* desse aplicativo é possível de ser efetuado no seguinte endereço eletrônico: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.algorizk.lightwavestudiofree.

E por fim, para o estudo das ondas estacionárias, utilizamos um modelo experimental tecnológico utilizando o aplicativo *Pa Tone Generator*, mostrado na figura abaixo. Objetiva-se que os estudantes compreendam os conceitos e solucione problemas para a determinação da densidade linear de cordas (no caso desse trabalho, barbantes), na condição de ondas estacionárias.



O PA Tone pode ser baixado no seguinte endereço:
https://play.google.com/store/apps/details?id=com.dutchmatic.patone.

A cada roteiro, será especificado o aplicativo a ser utilizado, portanto é necessário fazer o download quando solicitado.

Como utilizar este roteiro

Querido estudante,

Este roteiro é apresentado a você como um recurso facilitador da sua aprendizagem no conteúdo de ondas. No entanto, para que você seja conduzido ao aprendizado deverá saber que os conteúdos e atividades estão dispostos nos seguintes passos.

1º Há uma problematização ou pergunta inicial em cada roteiro para que sejam abordados os seus conhecimentos prévios a despeito de cada assunto. O professor fará as observações e anotações necessárias para realizar o acompanhamento dos estudantes.

2º É apresentado os conceitos de cada assunto que será abordado. Assim, você será induzido a perceber esses conceitos utilizando os aplicativos propostos sempre com o auxílio do professor.

4º Ao fim das atividades é apresentada uma retomada e uma revisão. Nesse momento é importante que você retire as dúvidas restantes com o seu professor.

Finalização das atividades

Ao fim das atividades é imprescindível a discussão dos conceitos e das atividades solucionadas entre os estudantes e o professor, afim de comparações e análise de resultados. Esse momento permite verificar a aprendizagem e revisar os conceitos estudados.

Roteiro 1: As propriedades das ondas

I

Objetivo: analisar e compreender as propriedades das ondas.

Discente, para entender as propriedades das ondas é fundamental que você compreenda ***o que é de fato uma onda***.

Problematização: Você já deve ter observado que, ao jogarmos um objeto (uma pedra, por exemplo) na superfície de um lago cuja água está parada acontece um fenômeno bastante interessante como o representado na figura abaixo. Fonte: https://www.menteconcurseira.com.br/voce-e-uma-pedra-aproveite/.	***Levantamento dos conhecimentos prévios:*** Ao apresentarmos o fenômeno da problematização ao lado, responda a seguinte pergunta: **o que é formado na superfície do lago ao jogarmos uma pedra na água?** Anote suas considerações.

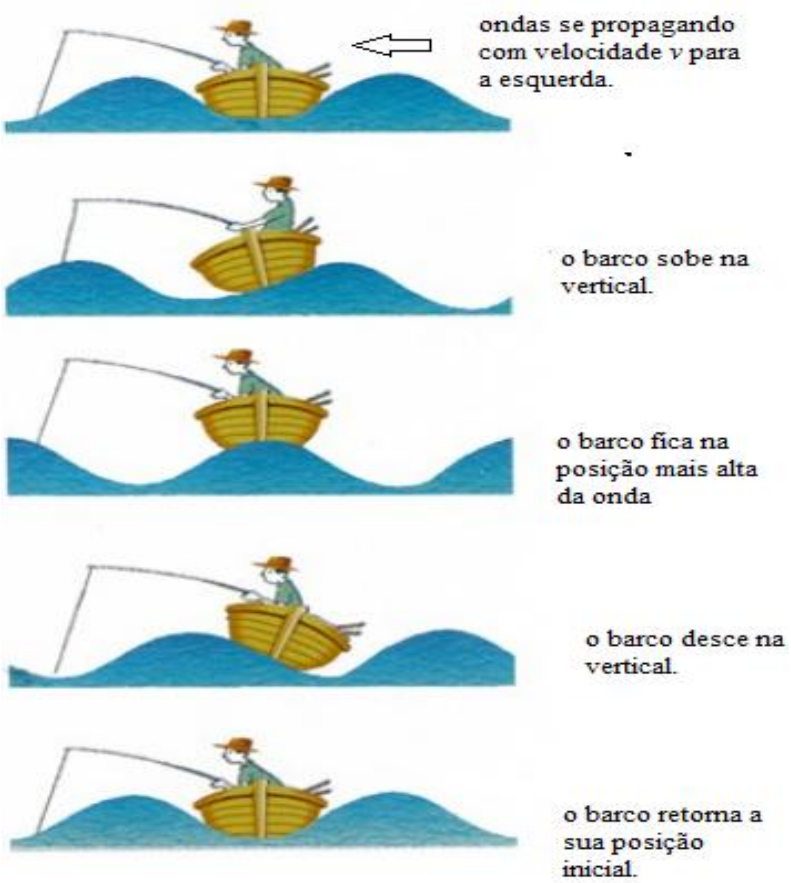
Conceitos:

Pela experiência cotidiana você deve saber que o fenômeno tratado na problematização se refere a formação de uma **onda.** Uma onda é toda sequência periódica de pulsos, na qual há transporte de energia sem haver transporte de matéria. É fundamental que o estudante compreenda dois conceitos importantes dentro dessa definição de onda: o conceito de pulso e o fato de que uma onda não transporta matéria, mas somente energia.

A figura a seguir, que é uma extensão da figura da problematização, apresenta os pulsos que se propagam na superfície da água. Observe que cada pulso funciona como

uma nova frente de onda. Dessa forma, uma onda é formada por pulsos periódicos que se propagam ao longo do meio material (nesse caso, a água).

Agora, imagine que seja colocado um objeto material (vamos tomar um homem pescando em uma canoa, por exemplo) na superfície da água que as ondas de propagam, como na figura abaixo. O que aconteceria com a canoa e o homem quando a onda passasse por eles? Seriam levados pela onda ou ficariam em sua posição inicial? Nesse caso, o conjunto canoa-homem não seria deslocado junto com a onda, mas se manteria em sua posição inicial. Esse fato decorre da propriedade da onda de não transportar matéria, somente energia.



Fonte: https://slideplayer.com.br/slide/5653576/ (adaptado).

Dado o conceito do que seja uma onda, o estudante pode imaginar que existem diversos tipos de ondas que se propagam de formas diferentes, e de fato este raciocínio é extremamente válido e importante. Por possuírem inúmeros tipos de ondas elas recebem dois modos de classificação bastante interessantes: ***quanto a sua natureza e quanto a sua forma de propagação.***

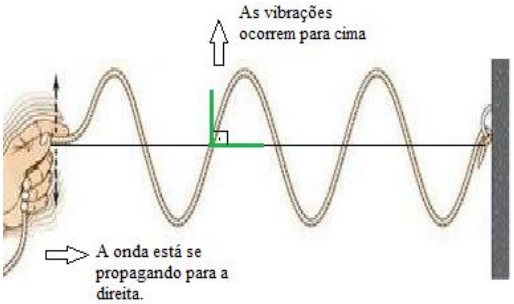
Quanto a natureza uma onda pode ser classificada como ***mecânica ou eletromagnética.*** Essa distinção é bastante simples, basta considerar que uma onda **mecânica necessita de um meio material para se propaga**r. Nesse grupo estão as ondas sonoras, ondas em uma mola, em uma corda ou uma onda formada na água, como a que estudamos anteriormente. De fato, se esses meios não existissem, a onda não poderia ser formada nem ao menos se propagar.

Ondas ditas eletromagnéticas **não precisam necessariamente de um meio material para se propagarem**, ou seja, elas não dependem de um meio para existirem, contrário as ondas mecânicas. Assim, ondas como a luz visível, ondas de Raio – X, ondas infravermelhas ou ondas de rádio, possuem propriedades que as permitem propagar-se na ausência de matéria (no vácuo). Todas as ondas do espectro eletromagnético estão nesse amplo grupo.

Quanto à forma de propagação as ondas podem ser ***transversais ou longitudinais.***

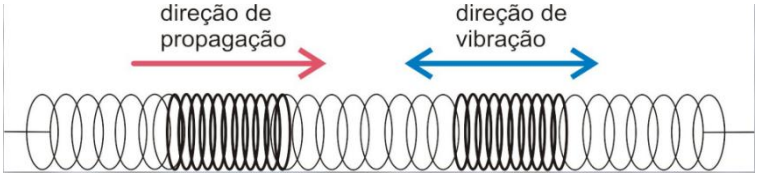
Observe as duas figuras a seguir: a figura **(a)** representa uma onda que se forma em uma corda. Observe que enquanto a onda tem a propagação para a direita, na direção horizontal, os pulsos vibratórios ocorrem no eixo vertical (de baixo para cima) formando um ângulo perpendicular (90 graus) à direção de propagação. Assim, **em uma onda transversal os pulsos são perpendiculares à direção de propagação da onda.**
A figura **(b)** mostra uma onda se propagando em uma mola. Nesse sistema as vibrações estão ocorrendo na mesma direção em que a onda se propaga (na horizontal). Dessa forma, **em uma onda longitudinal os pulsos ocorrem na mesma direção de propagação da onda.**

Figura (a)



Fonte: http://boltz.ccne.ufsm.br/st12/?q=node/70 (adaptado).

Figura (b).



Fonte:www.lsdores.com.br/portalnied/turma_221_fisica_arquivos/classifica_fenomenos.pdf

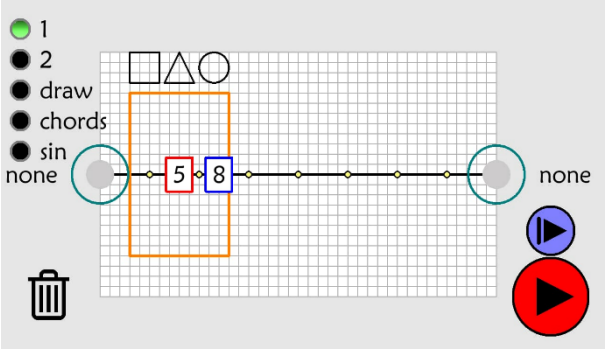
O aprendizado desses conceitos é fundamental para a compreensão das propriedades das ondas, que serão apresentadas a seguir. A primeira atividade será para compreender uma grandeza muito importante de todas as ondas: o seu comprimento de onda. Lembre-se de ter em mãos seu celular smartphone e aplicativo *Wave Interference.*

Roteiro para determinar o comprimento de onda λ.

Inicialmente precisamos considerar que o comprimento de onda **(λ)** de uma onda é representado pela letra grega *lambda* (λ), guarde isso!

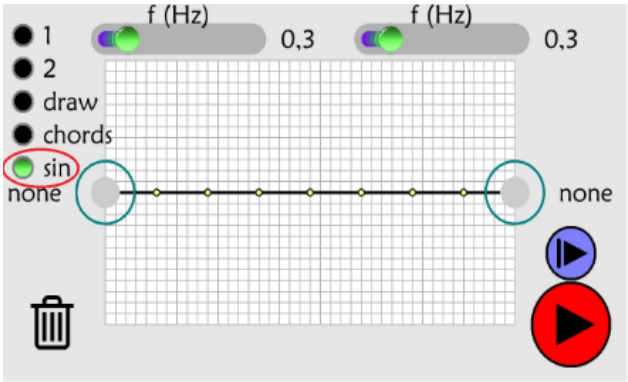
Vamos utilizar o aplicativo *WAVE INTERFERENCE* para identificarmos um exemplo de comprimento de onda? Ótimo!

Abra o aplicativo que está no seu celular. Pronto? Ok. A tela que apareceu foi essa abaixo, certo?

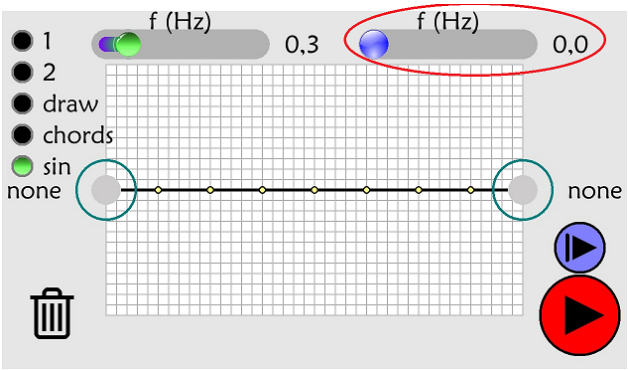


Agora eu vou apresentar a você um passo a passo utilizando esse aplicativo para você aprender o que é o comprimento de onda, tudo bem?

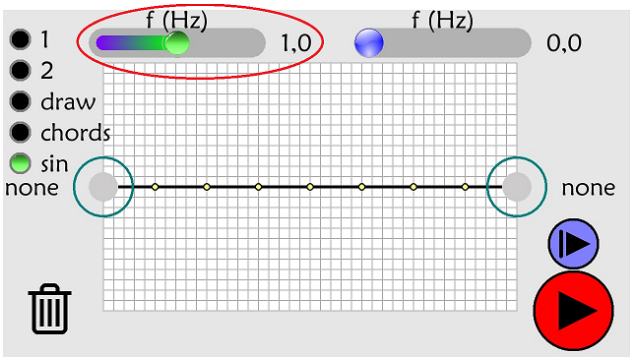
Olha, o comprimento de onda de uma onda é simplesmente a distância entre duas cristas ou dois vales ou quando a onda começa a se repetir. Eu vou te explicar melhor, mas para isso aperte no ícone do aplicativo mostrado abaixo.



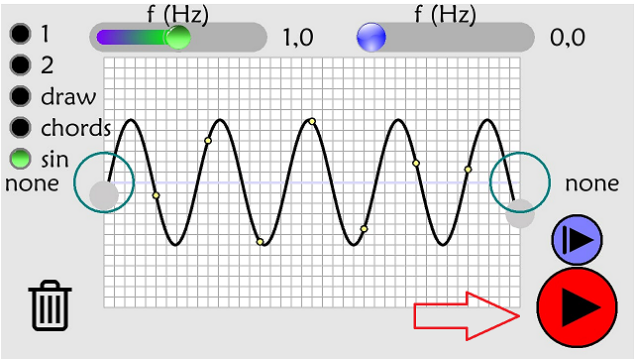
Agora vamos formar uma onda que se propague somente para a direita, certo? Para isso zere o ícone da frequência na direita do aplicativo. Eu vou mostrar isso na figura a seguir, tudo bem? Observe.



Agora coloque a frequência da esquerda no valor 1,0 Hz como indicado na figura.

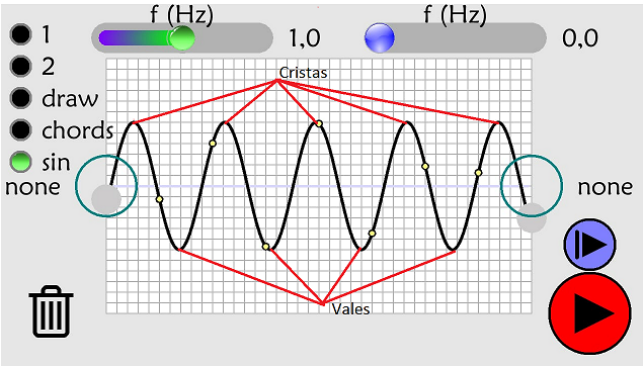


Agora é só você apertar tecla player e a onda começará a se movimentar, ok? Observe essa figura que eu vou te mostrar a seguir e aperte a tecla player indicada pela seta.

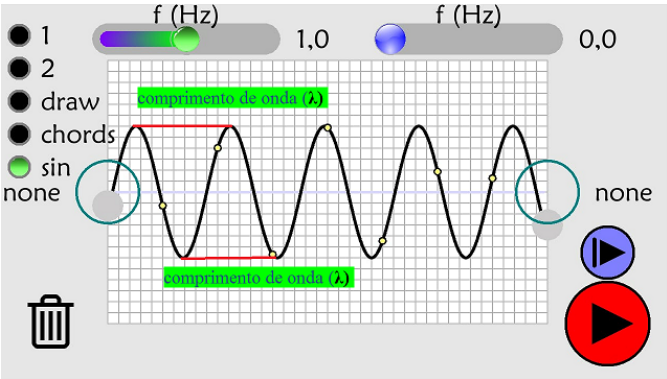


A onda começou a se movimentar, não é mesmo? Ok! Aperte novamente a tecla player para parar a animação e identificarmos as cristas e os vales para observarmos o comprimento de onda, certo? Vamos lá.

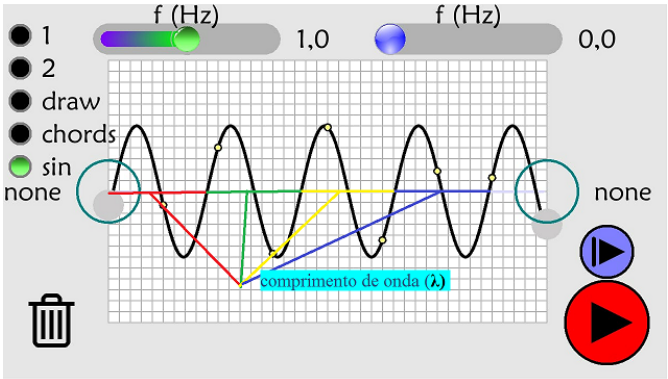
Olha, as cristas são as partes mais altas da onda, tá bom? E os vales são as partes mais baixas da onda, tudo bem? eu vou te mostrar na próxima figura. Observe.



Mas, calma! O comprimento de onda que queremos identificar só precisa ser considerado entre duas cristas consecutivas, ou dois vales ou quando a onda começa a se repetir. Vamos identifica-lo na onda que formamos no aplicativo? Ok então. Eu vou representar ele na figura abaixo. Vou fazer entre duas cristas e dois vales, observe.



Ainda podemos visualiza-lo quando a onda começa a se repetir. Observe na figura abaixo.



Observe que na primeira extremidade das linhas coloridas a onda começa e no fim da extremidade ela termina e começa uma onda nova. Essa distância também corresponde ao comprimento de onda.

Pronto! Identificamos o comprimento de onda dessa onda que formamos no aplicativo. Legal, não? Bom, se você quer saber a medida desse comprimento de onda basta utilizar uma régua e medir. Você encontrará o valor de 1,5 cm. Para obter esse valor em metros basta dividir por 100, fazendo isso você vai obter o valor 0,015 m.

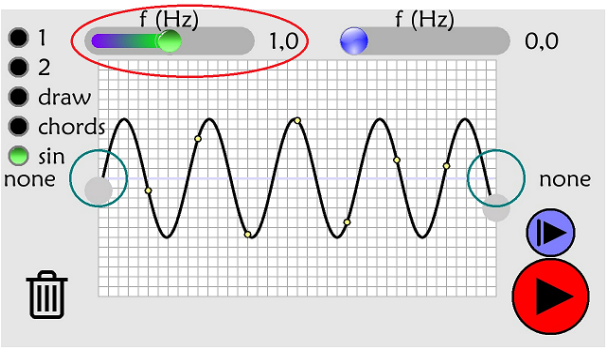
Se quisermos podemos escrever só usando a letra que representa o comprimento de onda. Você lembra qual é não é mesmo? O *lambda (λ),* muito bem! Então podemos fazer que: $\lambda = 0{,}015$ m. Iremos utilizar esse valor em outras atividades. Agora vamos para a próxima etapa, que é estudamos a *frequência (f)* de uma onda.

Roteiro para estudo da frequência *f*

Em vários momentos da atividade anterior você fez o manuseio da frequência dentro do aplicativo. O que iremos fazer agora é estudarmos essa propriedade muito importante que também é uma grandeza das ondas.

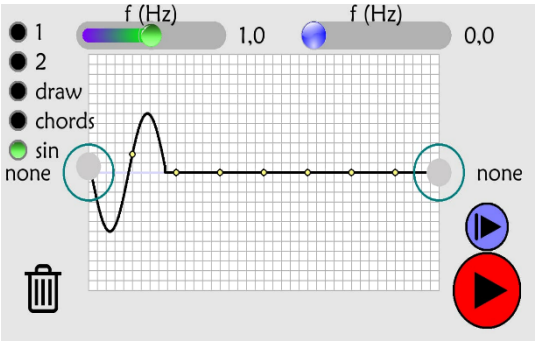
Inicialmente você precisa saber que a frequência de uma onda é representada pela letra *f*. Os físicos que fazem isso para facilitar a nossa vida de estudantes, tudo bem?

Na onda que formamos anteriormente no aplicativo você deve ter observado que a frequência da onda era de 1,0 Hz. Vou mostrar de novo para você na figura abaixo. Observe.

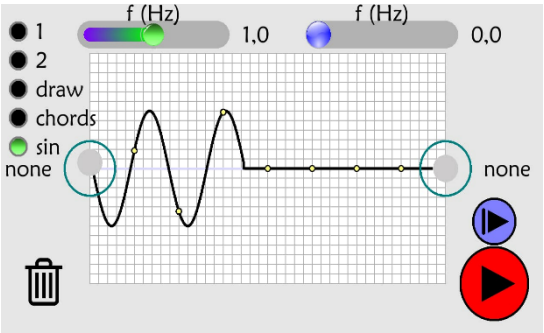


Você deve estar se perguntando o que significa esse valor. O valor de 1,0 Hz significa que está sendo formada 1 onda a cada segundo de tempo que passa. Se você cronometrar no seu relógio vai observar que a cada um segundo que passar vai ser formada 1 onda. Isso é moleza! Mas eu vou facilitar mais ainda para você. Vou mostrar para você a onda formada a cada segundo. Observe nas figuras a seguir.

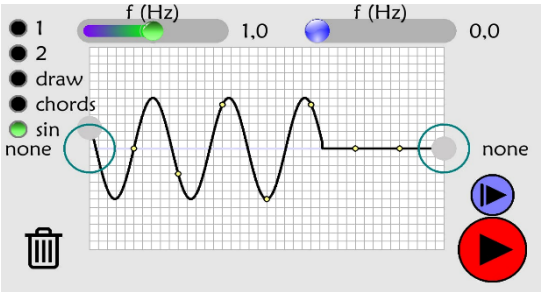
No primeiro segundo, teremos apenas 1 onda. Veja:



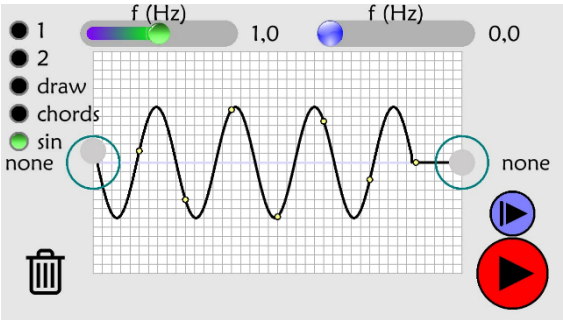
Após 2 segundos, já teremos duas ondas.



No terceiro segundo, teremos três ondas em movimento, observe.



No quarto segundo, teremos quatro ondas que se formaram. Veja:



Portanto, a determinação da frequência é a quantidade de ondas que são formadas a cada 1 segundo que o tempo passa. Se dissermos, por exemplo, que uma onda tem uma frequência de 50 Hz, isso significa que são formadas 50 ondas a cada 1 segundo que o tempo decorre.

Outra coisa importante que você precisa saber é que a frequência *f* de uma onda qualquer é medida em Hertz (Hz), em homenagem a Heinrich Rudolf Hertz, que fez trabalhos com ondas eletromagnéticas, portanto os valores são apresentados sempre acompanhados de sua unidade de medida (Hz).

Calculando o período de oscilação de uma onda

Outra grandeza extremamente importante no estudo das ondas é o que denominamos como *Período (T).*

Você percebeu anteriormente que a frequência de uma onda é a quantidade de oscilações que são formadas a cada 1 segundo que o tempo passa. Porém, ela não diz quanto tempo demorou para ter apenas uma oscilação.

Utilizando o exemplo anterior de uma onda com uma frequência de 50 Hz, a única coisa que podemos identificar é que são 50 oscilações a cada segundo, mas não podemos identificar, a princípio, quanto tempo demora para ocorrer apenas 1 oscilação.

Precisamos, portanto, de uma equação que possamos calcular o período de oscilação de uma onda levando em conta a frequência conhecida.

Essa equação é dada da seguinte forma: $T = \frac{1}{f}$, ou seja, o período é dado pela divisão de 1 pela frequência conhecida.

Assim, considerando que a frequência do exemplo é 50 Hz, podemos substituí-la na expressão para obtermos o período. Teremos, assim:

$$T = \frac{1}{50} = 0{,}02\ segundos$$

Portanto, o tempo necessário para ocorrer apenas 1 oscilação é 0,02 segundos. Como você percebeu, o período é medido em *segundos (s).*

Pronto! Você já aprendeu o que é o comprimento de onda (λ), a frequência *(f)* de uma onda e o seu período *(T)*, então estamos preparados para a nossa próxima atividade, que é calcular a velocidade *(v)* que uma onda se movimenta.

Calculando a velocidade de propagação de uma onda

Como sabemos tudo que se movimenta possui velocidade. O que vamos fazer é exatamente saber a velocidade que uma onda se propaga. Para isso, vamos ter que utilizar os valores do comprimento de onda (λ) e a frequência *(f)* que vimos nos exercícios anteriores.

Para calcularmos a velocidade *(v)* que uma onda se propaga é muito simples, basta multiplicar o comprimento de onda (λ) pela frequência *(f)* da onda, ou seja:

$$v = \lambda . f$$

Essa equação é conhecida como **equação fundamental da ondulatória**, pois pode ser aplicada em qualquer onda não importando sua natureza ou sua forma de propagação, desde que sejam conhecidos os valores de sua frequência e de seu comprimento de onda.

Nos vimos que a onda que formamos no aplicativo tem o comprimento de onda igual a 0,015 m, ou seja, λ = 0,015 m e que a frequência *f* foi igual a 1,0 Hz, ou seja, *f* = 1,0 Hz, então é só substituir esses valores na formula que você aprendeu. Então teremos:

$$v = 0{,}015 . 1$$

$$v = 0{,}015\ m/s$$

O termo (m/s) significa metros por segundo e é a unidade de medida da velocidade. Esse resultado simples significa que para percorrer 0,015 metros essa onda gasta 1 segundo ou 1,5 centímetros em cada segundo, o que permite fazer previsões sobre seu comportamento.

Resumo e retomada

Nesta aula você aprendeu o que é uma onda, sua classificação quanto a sua natureza e quanto a sua forma de propagação. Descobriu também que as ondas se movimentam transportando energia e não podem transportar matéria. Aprendeu sobre o comprimento de onda, sobre a frequência e sobre a velocidade de propagação de uma onda.

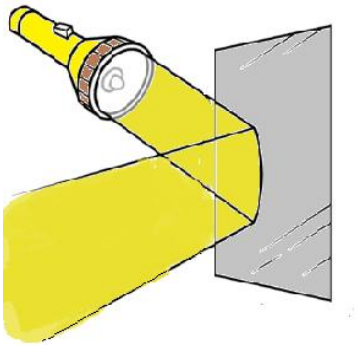
Esse material pertence a você e será disponibilizado de forma digital. Faça revisões e releia o material para fixar e expandir seu aprendizado acerca dos assuntos estudados.

ROTEIRO PARA ESTUDO DOS FENÔMENOS ONDULATÓRIOS DE REFLEXÃO, REFRAÇÃO E DIFRAÇÃO.

Objetivo: Analisar e compreender os fenômenos ondulatórios

Ao estudarmos as ondas e sua propagação em meios materiais (como as ondas mecânicas), ou em meio não materiais (como ondas eletromagnéticas), alguns fenômenos são possíveis de acontecerem. Os fenômenos mais conhecidos dessa natureza são os de reflexão, refração e difração. Este segundo roteiro apresenta representações desses fenômenos utilizando o aplicativo *LightWave*. Portanto, é fundamental que o discente esteja com o seu celular e o aplicativo instalado para acompanhar os procedimentos aqui apresentados. Começaremos pelo fenômeno conhecido como **reflexão.**

Reflexão de uma onda

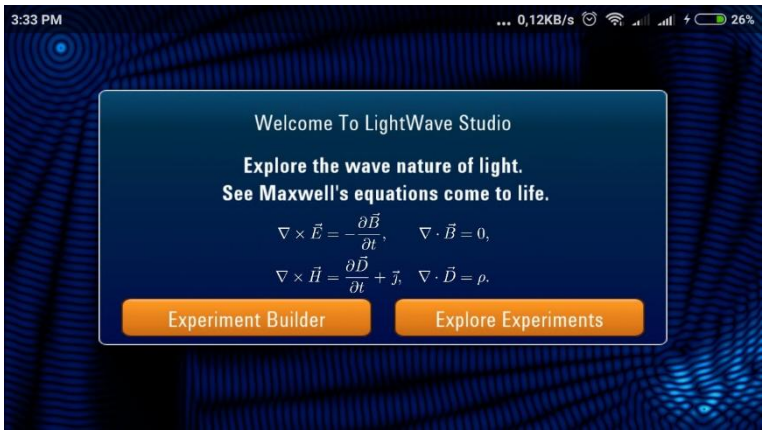
Problematização: Quando a luz, uma onda eletromagnética, ao incidir sobre uma superfície refletora (um espelho ou um lago, por exemplo), acontece um fenômeno bastante interessante. Observe a figura abaixo. 	***Levantamento dos conhecimentos prévios:*** Tendo em vista a situação apresentada na problematização, como você pode descrever o fenômeno em questão? Faça as anotações no espaço abaixo.

Conceitos:

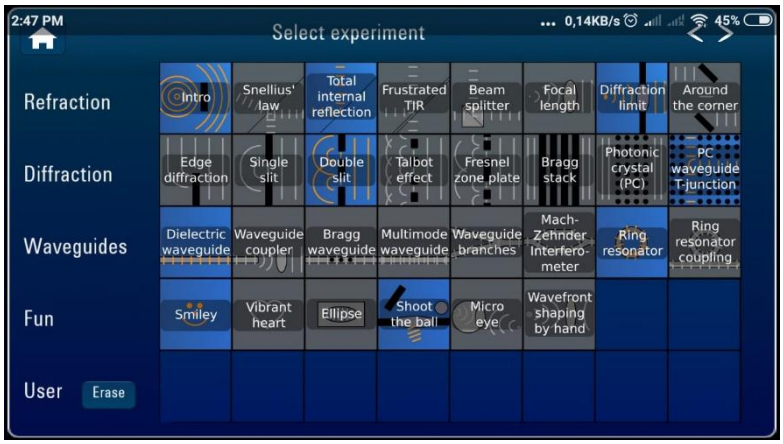
A observação da situação apresentada acima pode ser explicada usando as proposições do modelo ondulatório. Observe que o feixe de luz que sai da lâmpada incide sobre a superfície e volta. De forma geral, esse fenômeno representa a reflexão de uma onda e ocorre quando uma onda que se propaga encontra uma barreira (o espelho, nesse exemplo). Na verdade, os três fenômenos já citados ocorrem quando a onda encontra um obstáculo. Dessa forma podemos definir o fenômeno da reflexão da seguinte forma:

A reflexão ocorre quando uma onda que se propaga em um meio incide sobre outro meio e retorna para o meio inicial.

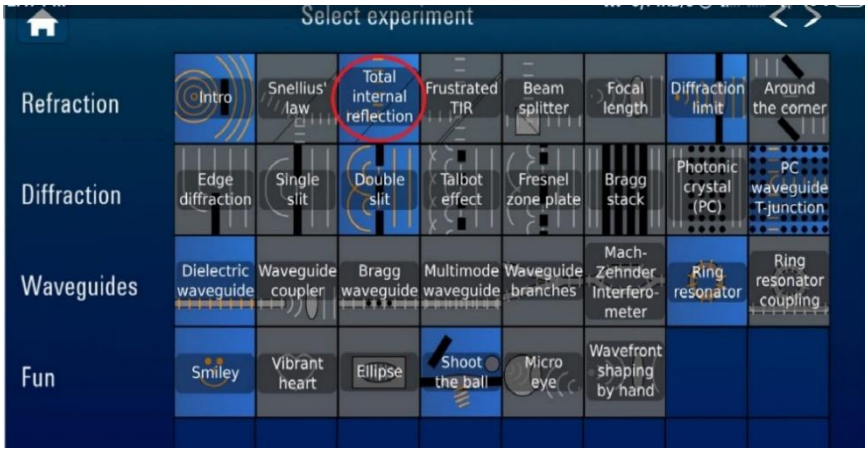
Vamos utilizar o aplicativo *LightWave* para analisarmos esse fenômeno e especificar alguns significados quanto ao comportamento apresentado pela onda. Inicialmente, abra o aplicativo presente em seu celular; a tela inicial do aplicativo é a apresentada a seguir:



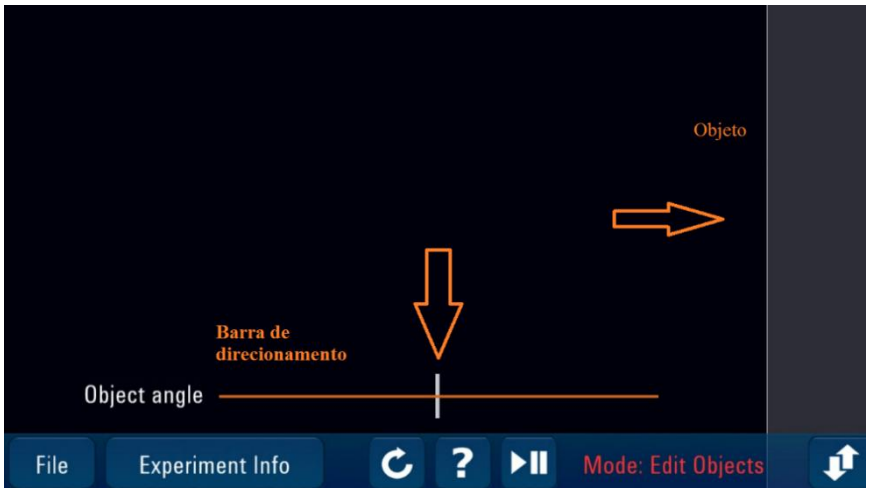
Após abrir a tela principal desse aplicativo tecle no ícone “Explore Experiments”- Explorar experimentos. Você será direcionado para uma tela apresentando todos os experimentos disponíveis na versão gratuita do aplicativo. A tela é a seguinte:



O experimento que utilizaremos para esta atividade se encontra no ícone mostrado na figura abaixo. Após localizar no seu aplicativo clique e a animação será aberta para ser explorada e analisada.

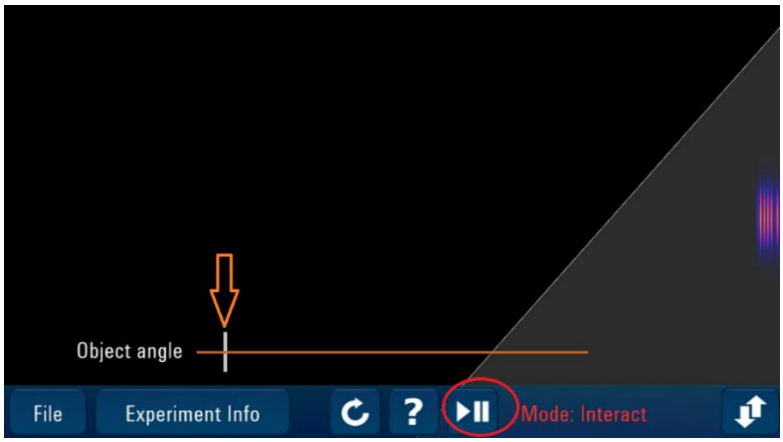


Após abrir a animação, será mostrada a seguinte página. Ela apresenta a interface inicial da experiência virtual.

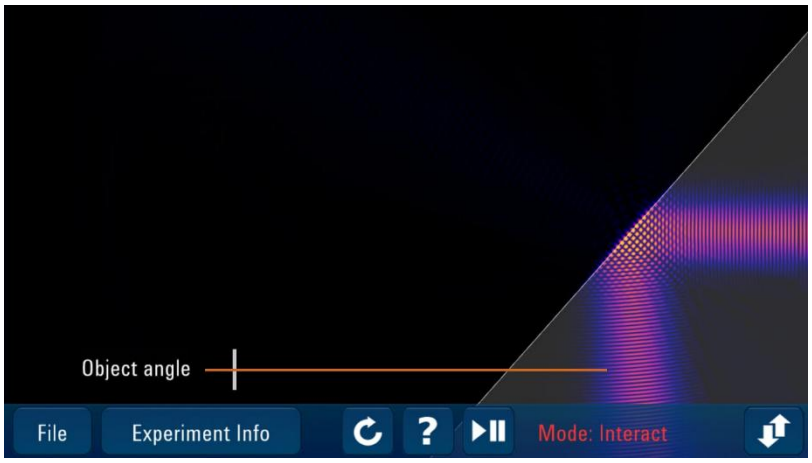


Os ícones destacados pelas setas determinam a barra de direcionamento, onde pode-se alterar o ângulo do objeto, e o respectivo objeto representado pela seta horizontal.

Atenção: Quando se abre a animação a onda já começa a movimentar-se, portanto clique no ícone iniciar/parar e altere a barra direcionamento como mostrado na figura abaixo. Logo após clique novamente a tecla *iniciar* para o andamento da animação.



A onda que sai da extremidade direita do aplicativo se propaga para a esquerda com uma velocidade e, após incidir em outro meio, ocorre o fenômeno da reflexão. A figura abaixo aponta essa situação.

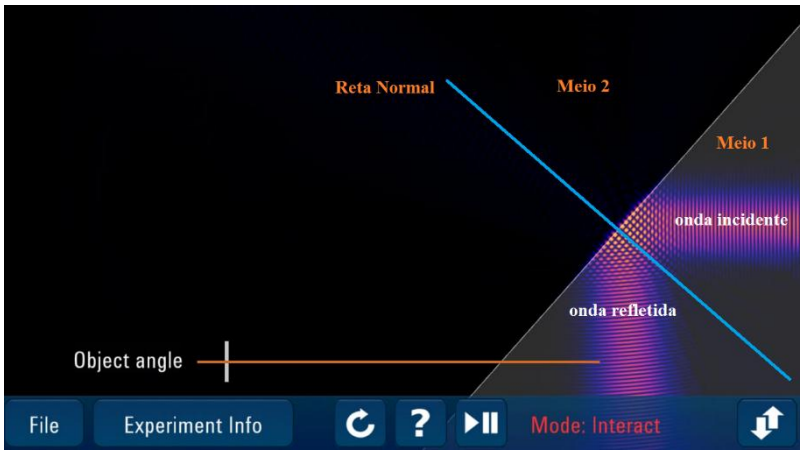


Para estudarmos melhor esse fenômeno e suas propriedade vamos considerar alguns pontos:

I - A onda que sai do meio 1 denomina-se onda incidente e, ao encontrar o meio 2, ela retorna para o seu meio de origem, então a denominamos como onda refletida.

II – Nesse experimento, houve a reflexão total da onda, pois nenhum feixe luminoso 'passou' para o meio 2. Ao passar para outro meio o fenômeno é chamado **refração** que estudaremos posteriormente.

III- Para propormos uma lei que relacione os raios incidentes e os raios refletidos necessitamos desenhar uma **reta normal à superfície** (uma reta que forme um ângulo de 90 graus com a superfície e divida a onda incidente e a onda refletida). A figura a seguir mostrará esses aspectos. Observe.



Tendo esses conceitos básicos, podemos enunciar a primeira das duas leis da reflexão que aborda que:

A reta normal, o raio incidente e o raio refletido estão no mesmo plano.

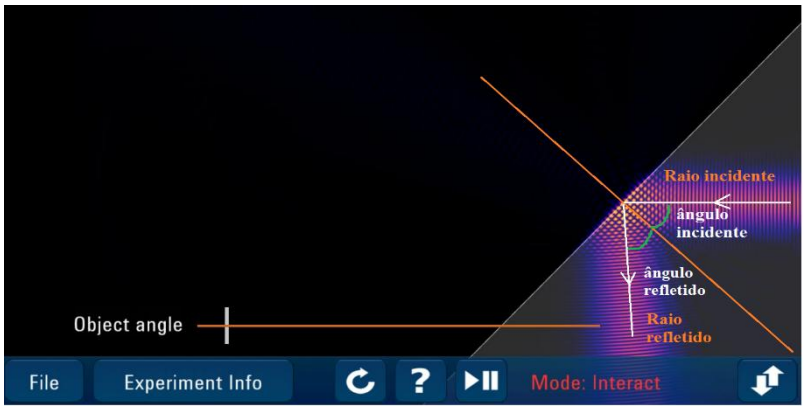
No caso dessa animação experimental, o plano em que essas propriedades estão presentes é a tela do seu smartphone (observe que os raios não saem do celular). Se eles

fossem desenhados em uma folha de papel, por exemplo, o plano seria o papel e assim por diante.

A segunda lei da reflexão relaciona os ângulos entre os raios incidentes e os raios refletidos no seguinte enunciado:

O ângulo formado entre o raio de incidência em relação a reta normal é igual ao ângulo formado entre o raio refletido e a normal.

Usaremos a figura a seguir para representarmos essa lei.



Podemos apresentar esse aspecto de forma matemática da seguinte maneira:

ângulo de incidência = ângulo refletido

$$\theta i = \theta r$$

Essa lei nos indica que se, por exemplo, existir um ângulo de 30° entre o raio incidente e a reta normal consequentemente existirá o mesmo valor para o ângulo entre o raio refletido e a normal.

Estudo da refração de uma onda

Problematização: Você já deve ter observado que ao colocarmos um lápis dentro de um copo com água e olharmos de um certo ângulo, temos a impressão que o lápis parece quebrado, como na figura abaixo. Fonte: hayannarldv.blogspot.com/2014/06/refracao-e-reflexao-da-luz.html	***Levantamento dos conhecimentos prévios:*** Tendo em vista a situação apresentada na problematização, como você pode descrever essa "impressão" que temos que o lápis está quebrado? Faça anotações no espaço abaixo.

Conceitos: a questão levantada acima a respeito do problema do lápis pode ser facilmente explicada utilizando-se os conceitos da refração de uma onda (nesse caso da luz).

Como já comentado, o fenômeno da refração ocorre quando uma onda encontra um meio (obstáculo) diferente daquele que ela se propaga inicialmente. Em decorrência desse meio possuir propriedades diferentes a onda começa a se propagar ocorrendo a alteração de algumas das suas propriedades – comprimento de onda, velocidade de propagação e direção de propagação. Essas três propriedades são alteradas no fenômeno da refração. A frequência, por sua vez, não é alterada pois não depende do meio que a onda está se propagando, dependendo apenas da fonte geradora. Assim, podemos definir o fenômeno da refração como sendo:

A refração ocorre quando uma onda encontra um meio diferente e passa a se propagar nesse meio.

Dessa forma, o lápis parece quebrado pois a luz, ao passar da água para o ar, sofre um desvio em sua trajetória, cujos raios se afastam da reta normal, o que nos dá a impressão de que o lápis está quebrado ou parece maior que seu tamanho natural. Esse fato ocorre

pois o índice de refração dos meios é diferente. Quando o índice de refração é diferente os raios podem aproximar-se ou afastar-se da reta normal.

Índice de refração

O *índice de refração (n)* de um meio é a razão entre a velocidade da luz no vácuo e a velocidade da luz nesse meio. O índice de refração indica o quanto o material pode desviar uma onda e podemos representá-lo matematicamente da seguinte maneira:

$$n = \frac{c}{v}$$

Onde $c \cong 300.000.000\ m/s$.

Como podemos observar o índice de refração é uma grandeza adimensional, ou seja, não possui unidade de medida. A tabela a seguir mostra o índice de refração para alguns meios.

Meio ,	**Índice**
Vácuo	l (exatamente)
Ar	1,00029
Cloreto de sódio	1.54
Água (20ºC)	1.33
Poliestireno	1.55
Acetona	1.36
Dissulfeto de carbono	1.63
Álcool etílico	1.36
Solução de açúcar (30%)	1.38

Leis da refração: A primeira lei da refração é a mesma da primeira lei da reflexão, ou seja, **o raio incidente, o raio refratado e a reta normal estão contidos no mesmo plano,** porém os ângulos formados entre ambos são diferentes. A segunda lei da refração, também conhecida como **Lei de Snell,** relaciona os ângulos de incidência e de refração com os índices de refração dos meios pela seguinte expressão matemática:

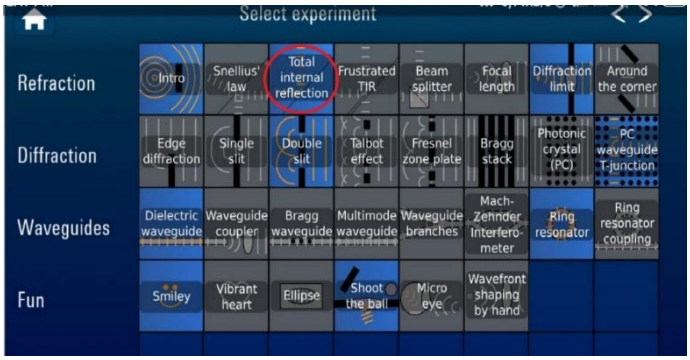
$$\frac{sen\theta_1}{sen\theta_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

e também pode ser escrita relacionando os ângulos incidentes e refratados com as velocidades de propagação nos meios v_1 e v_2 da seguinte forma:

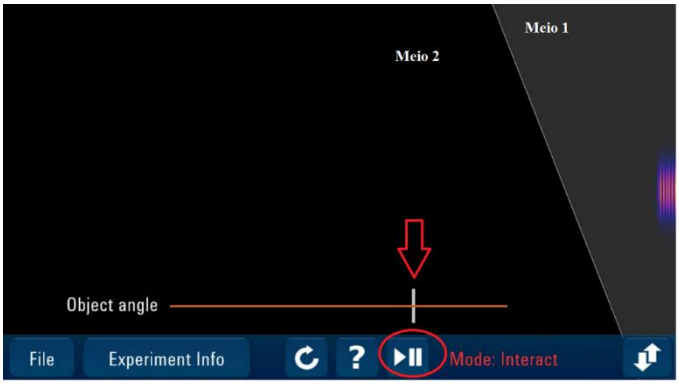
$$\frac{sen\theta_1}{sen\theta_2} = \frac{v_1}{v_2}$$

Essa equação implica que se a velocidade no meio 1 (v_1) for maior que a velocidade do no meio 2 (v_2) então o raio refratado se aproximará da reta normal e vice-versa.

Agora que já dominamos a parte conceitual do conteúdo iremos utilizar o aplicativo *LightWave* para representarmos o fenômeno da refração de uma onda. Inicialmente abra a tela inicial do aplicativo e clique na animação mostrada no ícone mostrado na figura a seguir.

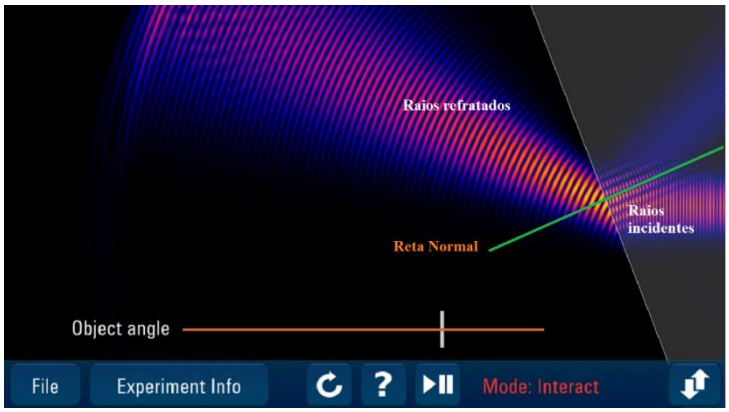


Utilizaremos o mesmo experimento para trabalharmos agora com a refração de uma onda. Após abrir a animação clique no ícone **iniciar/parar** e movimente a barra de direcionamento como mostra a figura a seguir e logo após clique novamente na tecla iniciar para continuar a animação.

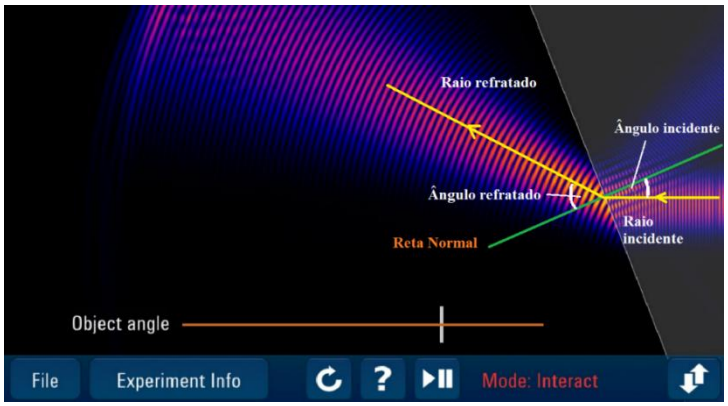


A onda se propaga do meio 1 à direita para o meio 2 à esquerda. Deixe a animação correr e você observará a refração da onda ocorrendo, ou seja, a onda sai do meio 1 e começa a propagar-se no meio 2, sofrendo mudança em suas propriedades, sendo a mais visível o desvio em sua direção de propagação, como mostra a figura abaixo.

Obs: quando a animação estiver conforme a figura abaixo aperte novamente a tecla **iniciar/parar** para análise do fenômeno o qual a animação representa.



Vamos agora considerar apenas 1 raio e desenha-lo na figura para observarmos a mudança em sua trajetória. A figura a seguir representa essa ideia.



Observe, discente, que o ângulo formado entre o raio refratado e a reta normal é maior que o ângulo entre o raio incidente e a reta normal. Utilizando as expressões citadas anteriormente podemos inferir interpretações para o que pode ter ocorrido com as propriedades dessa onda nessa mudança de meio.

Se o ângulo θ_2 é maior que o ângulo θ_1 isto implica que o feixe luminoso se afastou da reta normal, como é observável. Pela expressão que relaciona os ângulos com as velocidades de propagação nos meios, temos que a velocidade no meio 2 é maior que a velocidade da onda no meio 1. Além disso, se a velocidade no meio 1 é menor que a velocidade no meio 2, e utilizando a expressão do índice de refração podemos concluir que o índice de refração do meio 1 é maior que o índice de refração do meio 2.

Concluímos esta aula sobre refração, agora vamos estudar a difração de uma onda.

Difração de uma onda

Problematização: observe a seguinte imagem. Você sabe que mesmo existindo um muro entre as duas crianças uma pode facilmente ouvir a outra. Fonte: fisicaevestibular.com.br/novo/ondulatoria/ondas/difracao-e-dispersao-de-ondas/	***Levantamento dos conhecimentos prévios:*** na situação apresentada ao lado, por que uma criança pode ouvir a outra, mesmo existindo um muro entre elas? Faça suas considerações abaixo.

Conceitos: Na situação apresentada na problematização temos duas crianças separadas por um muro. Uma emite ondas sonoras e, mesmo existindo um obstáculo entre elas, o outro pode ouvi-la. Podemos explicar porque isso acontece utilizando os conhecimentos de difração de uma onda.

A difração de uma onda é definida da seguinte maneira:

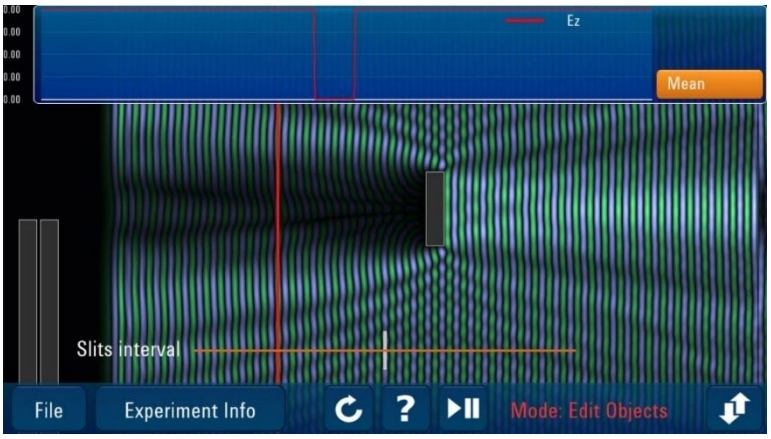
Uma onda sofre difração quando esta encontra fendas ou orifícios ou quando contorna um obstáculo.

Portanto, na situação apresentada na problematização podemos explicar o fato de uma criança conseguir ouvir a outra, mesmo existindo um obstáculo entre elas (o muro), porque a onda sonora emitida pelas cordas vocais do menino consegue contornar o muro. Uma parte da onda, no entanto, é refletida, outra é absorvida pelo obstáculo, porém uma parte contorna o muro permitindo que seja percebida. O fato de uma parte da energia ser absorvida e refletida é que a fala é escutada em uma intensidade mais baixa (o som é ouvido mais baixo) pelo ouvinte.

Iremos utilizar o aplicativo *WaveLight* para estudarmos três modos de difração, a saber: quando a onda contorna o objeto, quando a onda encontra uma fenda simples e quando encontra uma fenda dupla.

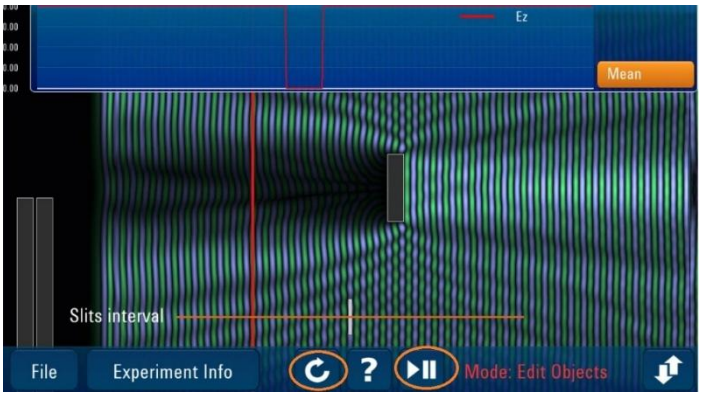
Abra o aplicativo e tecle no ícone mostrado na figura e, logo após, aperte a tecla **iniciar/parar.**

Após apertar a tecla **iniciar/parar** movimente o obstáculo mostrado na figura para o meio da tela e aperte novamente a tecla iniciar para continuar a animação, como reproduzido na figura a seguir. Observe.

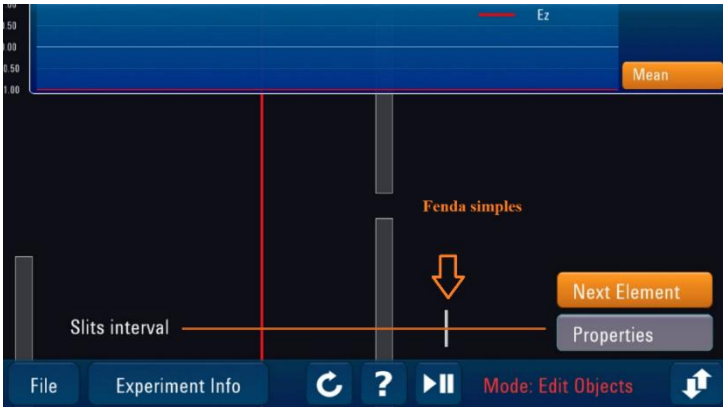


Como você pode observar, ao encontrar o obstáculo, uma parte da onda é refletida e uma parte absorvida por refração, contudo uma parte da onda consegue contornar o obstáculo, como descreve o fenômeno da difração.

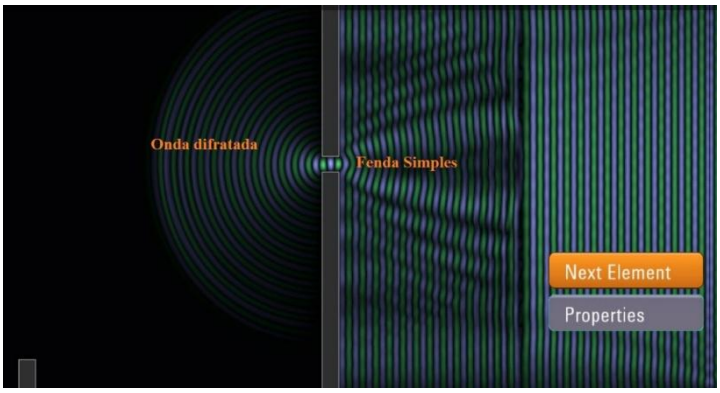
Agora vamos analisar a difração com uma fenda simples. Para isso, reinicie a animação apertando na tecla mostrada a seguir e aperte a tecla **iniciar/parar** para o movimento da onda ser pausado.



Em seguida a esse procedimento, movimente a barra de direcionamento para a direita para aumentar o tamanho do obstáculo e desloque uma das barras à esquerda da animação e forme uma fenda simples como demonstrado abaixo. Após formar a fenda simples aperte novamente a tecla **iniciar** e observe o que acontece.

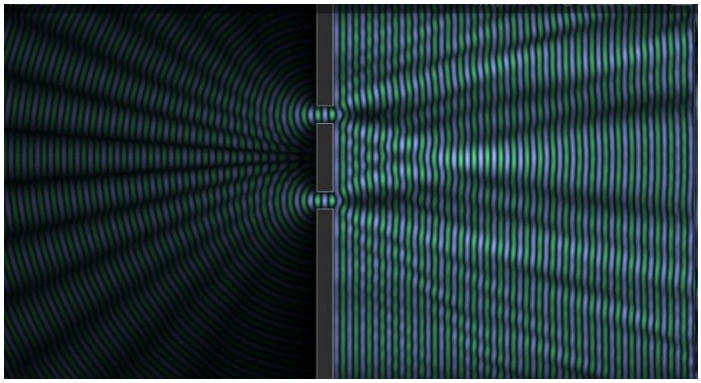


Após encontrar uma fenda simples, a onda começa se difratar. Há um espalhamento da onda formando um padrão denominado **padrão de difração,** como mostrado na figura. Observe.



É muito fácil associar esse ‘espalhamento’ da onda se imaginarmos uma onda sonora. Se uma pessoa fala por essa fenda ou orifício, quem estiver do outro lado do obstáculo facilmente perceberá o som não estando necessariamente com os ouvidos na posição da fenda.

Vamos representar o que acontece quando temos duas fendas conjuntas e uma onda que encontra essas fendas durante sua propagação. Para isso, aperte a tecla **reiniciar** e em seguida a tecla **iniciar/parar** para pausar a animação e movimente as barras e deixe-as de acordo com a figura dada a seguir e aperte novamente a tecla **player.**



Após atravessar as fendas a onda apresenta esse comportamento. Agora temos franjas em que a onda se propaga e linhas escuras em que parece não existir nenhuma onda se propagando. Na verdade, quando trabalhamos com uma fenda dupla, não temos somente um padrão de difração, aparece um padrão denominado **padrão de interferência.** As franjas pintadas são os pontos em que houve uma interferência construtiva e são denominadas **máximos**. Já as linhas pretas são os pontos em que teve interferência destrutiva da onda, resultando no que denominamos **mínimos.**

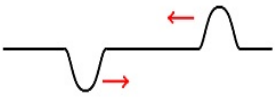
A interferência construtiva ocorre em razão das ondas se encontrarem em mesma fase, ou seja, suas amplitudes coincidem e se somam. A interferência destrutiva decorre em função de nesses pontos as ondas se encontrarem em fases opostas, ou seja, suas amplitudes não coincidem, cancelando-se.

No próximo roteiro apresentaremos mais detalhadamente esse fenômeno para explicarmos as ondas estacionárias (muito utilizadas para a construção de instrumentos musicais).

Resumo e retomada

Nesse roteiro você aprendeu sobre os fenômenos ondulatórios. Compreendeu que eles ocorrem quando ondas que se propagam encontram obstáculos e podem refletir, refratar ou difratar, compreendeu suas leis e seus conceitos e, por fim, criou simulações em seu smartphone para visualiza-los melhor.

O fenômeno da interferência e as ondas estacionárias: roteiro para determinação da densidade linear de barbantes

Problematização: imagine que duas ondas se propagam em direções opostas em um mesmo meio (uma corda, por exemplo). Após um tempo, sabe-se que elas irão se cruzar em um mesmo ponto. Figura (a) Figura (b) 	***Levantamento dos conhecimentos prévios:*** na situação apresentada na problematização, o que você acha que ocorrerá com as ondas da figura (a)? e quais as suas considerações a respeito da situação (b)? faça anotações abaixo.

Conceitos: como já comentamos no fenômeno da difração em uma dupla fenda, o comportamento da onda é de acordo com os conceitos de **interferência.** Quando duas ondas se encontram em mesma fase, suas amplitudes se somam, formando uma interferência construtiva. Porém, se as ondas se encontram em fases opostas, formam interferência destrutiva. Vale destacar que a interferência construtiva e destrutiva é comumente conhecida como **princípio da superposição.**

Vamos utilizar esses conceitos no estudo das ondas estacionárias em um barbante (pode ser qualquer tipo de corda, nesse experimento será utilizado um barbante). Inicialmente, vamos definir o que seja uma onda estacionária.

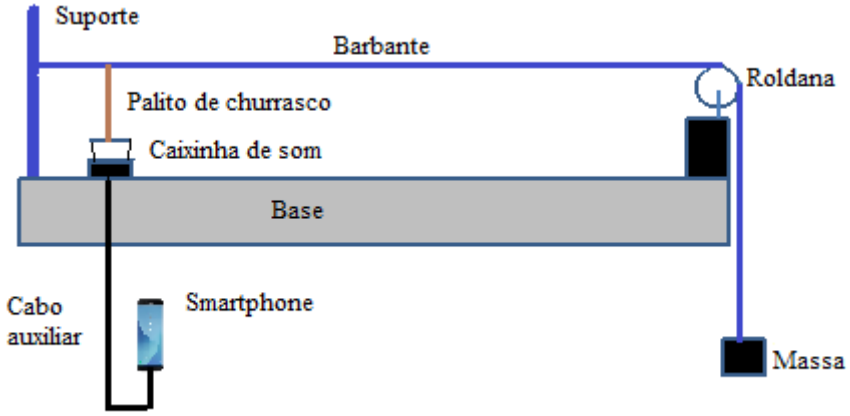
Uma onda estacionária é formada pela superposição de ondas idênticas que se propagam em sentidos opostos no mesmo meio e uma extremidade está ligada a fonte geradora e a outra a uma extremidade fixa.

Ondas idênticas implica que as ondas possuem a mesma frequência, mesma amplitude e mesma velocidade.

Nesse roteiro vamos utilizar o aparato experimental representado na figura a seguir e utilizando o aplicativo PA Tone vamos produzir ondas estacionárias no barbante e

estudar as propriedades mais importantes das ondas estacionárias, que são **os harmônicos** e, por fim, iremos utilizar um procedimento matemático para calcular a densidade linear do barbante.

Essa experiência deve ser realizada, assim como em todas as outras atividades deste roteiro, com o auxílio do docente, porém salientamos que todo o procedimento deverá ser realizado pelos estudantes.



Para a construção dessa atividade são necessários os seguintes materiais:

Palito de churrasco

Barbante (2 metros são suficientes)

1 Massa

1 celular smartphone com o aplicativo PA Tone.

1 cabo auxiliar

1 caixinha de som (5W ou mais)

1 roldana, mas pode-se utilizar outro suporte como base.

Uma base que pode ser uma mesa.

Suporte

Procedimento experimental

Cole o suporte a uma base fixa e, logo após coloque o outro suporte com a roldana distante entre si 1 metro. É fundamental que a roldana esteja a uma altura suficiente para deixar a massa suspensa.

Coloque a caixinha de som em cima da base que será utilizada e, após isso, cole o palito de churrasco no alto-falante da caixinha. É importante que o fone esteja direcionado para cima. A distância entre o suporte e o palito de churrasco deve ser de 10 centímetros.

Posteriormente, amarre o barbante no suporte e à altura do palito de churrasco e da roldana. Faça o alinhamento se for necessário. Deixe a extremidade do barbante que está do lado da roldana passando 30 cm da mesma para que seja possível deixar as massas suspensas.

Após isso, acople o celular smartphone a caixinha através do cabo auxiliar. O aplicativo presente no celular criará ondas que serão direcionadas ao alto falante da caixinha que, por sua vez, criará vibrações no barbante através do palito de churrasco. A massa suspensa servirá para tensionar o barbante utilizado na experiência. A massa utilizada deve possuir valores distintos e pode ser qualquer objeto cuja massa varie de 50 gramas a 200 gramas. O valor da massa é opcional, pois com qualquer valor a densidade linear será aproximada, entretanto é necessário que as massas não possuam valores acima de 200 gramas para que a tensão no barbante não seja intensa demais, o que necessitaria de frequências mais altas ou alto-falantes mais potentes, dificultando a realização da experiência.

A primeira necessidade em nossa experiência é medir os valores das massas e convertê-las para quilograma. Observe esse exemplo: suponha que uma massa tenha o valor de 100 g. Utilizando uma regra de três simples, temos:

$$1kg = 1000\ g$$

$$x \ = \ 100\ g$$

Multiplicando os extremos, teremos:

$$1000\ x = 100$$

$$x = \frac{100}{1000}$$

$$x = 0{,}1\ kg$$

Resumindo, se quiser converter qualquer massa de gramas para quilograma, basta dividi-la por 1000.

Após a medida da massa coloque-a suspensa no barbante e calcule a tensão na corda. Para calcular a tensão no barbante lembre-se que a força de tensão é igual ao módulo da força peso, ou seja:

$$T = P$$

Como a força Peso é igual ao produto da massa pela aceleração gravitacional, teremos que a **Tensão** será dada pela expressão:

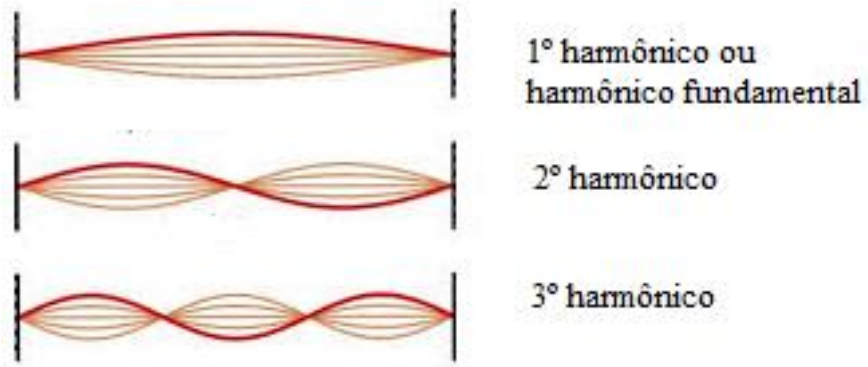
$$T = mg$$

Onde $g = 9{,}8\ m/s^2$ esse é o valor da aceleração gravitacional na terra. O valor encontrado para a tensão será utilizado posteriormente na **equação de Taylor** (que será fornecida à frente) para o cálculo da densidade linear do barbante.

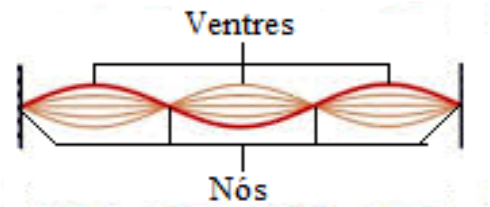
Como citado anteriormente, uma das propriedades das ondas estacionárias é que para valores específicos de frequência serão formados harmônicos no meio em que as ondas se propagam. O próximo passo é descobrir a frequência relativa a formação do 1°, 2° e 3º harmônicos no barbante.

Obs: se o terceiro harmônico não for formado, os cálculos podem ser feitos apenas com dois harmônicos. Isso pode ocorrer pois o aplicativo pode não alcançar a frequência necessária ou a caixinha não ter potência suficiente para as vibrações.

Os harmônicos devem ser formados conforme a figura abaixo:



As propriedades desses harmônicos são mostradas na figura seguinte. Observe.



Os ventres são os locais que ocorrem maior vibração e nos nós não ocorrem nenhuma vibração, como se pode perceber na figura. Você pode analisar essas propriedades durante a realização da experiência.

Ligue a caixinha e abra o aplicativo Pa Tone em seu celular smartphone. A tela inicial do aplicativo é mostrada a seguir.

A tecla BOOPPER produz ondas sonoras mais graves e necessita de frequências baixas para produzir amplitudes mais perceptíveis, por isso sugerimos que seja usado esse modo de produção de ondas. Use o ícone circular para ir aumentando gradualmente a frequência, que é mostrada na parte superior do aplicativo. A barra mostrada na figura também pode ser utilizada.

Ao aumentar a frequência no aplicativo observe para qual valor será produzido o primeiro harmônico no barbante e anote esse valor. Continue aumentando a frequência até identificar o segundo e terceiro harmônicos e anote os valores.

Após achar os valores das frequências especificas que produziram, respectivamente, os harmônicos 1, 2 e 3 calcule a velocidade de propagação da onda para cada frequência considerada. Para isso é necessário utilizar uma equação que relacione a velocidade de propagação, a frequência, o número de harmônicos e o comprimento do barbante, que nesse caso foi de 1 metro entre as extremidades dos suportes utilizados. A equação que relaciona essas grandezas é dada por:

$$f = \frac{nv}{2L}$$

Onde n é o número de harmônicos e são sempre números inteiros: $n = 1, 2, 3,...$

f é a frequência que a onda oscila medida em Hertz (Hz).

v é a velocidade de propagação dada em metros por segundo (m/s) e

L é o comprimento do barbante medido em metros (m).

Como desejamos calcular a velocidade de propagação, devemos ajustar a equação para isolarmos a **velocidade,** portanto passando multiplicando o termo $2L$ para o lado

esquerdo da equação e passando o termo *n* dividindo, ficaremos com a seguinte expressão para a velocidade.

$$v = \frac{2Lf}{n}$$

Como já sabemos todos os valores do lado direito da equação basta substituir para encontrar a velocidade para cada frequência e cada harmônico considerado.

Ao encontrar a velocidade calcule a densidade linear do barbante. Para isso, você precisa de uma equação que relacione a velocidade e a densidade que está sendo procurada. Essa equação foi proposta por Taylor e é escrita da seguinte maneira:

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

Onde *T* é a tensão no barbante dada em Newtons (N);

μ (é chamada de mi) é a densidade linear do barbante dada em quilogramas por metro (kg/m); e

v é a velocidade de propagação.

Como queremos calcular a densidade precisamos isola-la na expressão. Para isso, basta passar para o lado esquerdo, a raiz quadrada em forma de potência de expoente 2 e passar a tensão dividindo. Fazendo isso, resta:

$$\mu = \frac{T}{v^2}$$

Como a tensão já é conhecida (lembre-se que a calculamos no início da aula) e os valores da velocidade também, basta substituir e efetuar os cálculos necessários para encontrar os resultados.

Serão feitos três cálculos - um para cada valor da velocidade – e os valores para a densidade devem ser aproximadamente iguais para todos.

Após achar o valor da densidade linear do barbante, corte o barbante ao meio e coloque na balança apenas a metade (1 metro). Feito isso, anote a massa desse 1 metro de barbante. Vamos comparar os resultados encontrados nos cálculos com o valor que será encontrado utilizando-se uma expressão mais simples e mais conhecida para a densidade linear que é dada por:

$$\mu = \frac{m}{L}$$

onde *m* é a massa do barbante dada em quilogramas (kg); e

L é o comprimento do barbante.

Por essa razão a unidade de medida da densidade linear (μ) de um corpo é dada em (kg/m) e seu significado consiste em qual a **quantidade de massa existe no corpo para cada unidade de comprimento, ou seja, para cada 1 metro.**

Revisão e resumo

Nesta aula você aprendeu o que ocorre quando duas ondas se propagam no mesmo meio e se encontram em um ponto. Aprendeu o que é interferência e construtiva e destrutiva e como elas explicam as ondas estacionárias. Compreendeu que as ondas estacionárias se formam em meios cujas extremidades estão fixas e quais propriedades elas possuem e por fim, utilizou um modelo experimental para calcular a densidade linear de um barbante.

Considerações finais

I

Querido aluno,

se você chegou até aqui é porque se esforçou e se dedicou em realizar todas as atividades desse roteiro e nós gostaríamos de parabeniza-lo. Esse roteiro foi construído para facilitar a sua aprendizagem no conteúdo de ondas do segundo ano do Ensino Médio utilizando a sua mais familiar tecnologia: seu celular smartphone.

Iremos disponibilizar abaixo, de forma separada, *Qr-codes* sobre cada um dos assuntos aqui estudados. O primeiro referente a propriedade das ondas, o segundo a despeito dos fenômenos de reflexão, refração e difração e o último sobre a interferência e as ondas estacionárias.

O primeiro roteiro pode ser acessado por meio do seguinte *Qr-Code:*

Os roteiros 2 e 3 podem ser acessados digitalmente através dos *Qr – Codes* apresentados a seguir

Esses conteúdos são fundamentais para sua vida acadêmica e por isso é imprescindível seu domínio referente a esses assuntos. Faça revisões e leituras periódicas sobre os conteúdos para fixar sua aprendizagem.

Muito obrigado e sucesso!

9. Anexos

9.1 ANEXO 1: QUESTIONÁRIO

PROPRIEDADES DAS ONDAS

1) Utilizando os seus conhecimentos adquiridos ao longo de seus estudos a respeito de ondas, marque, dentre as opções apresentadas a seguir, **a opção que representa o conceito de ondas.**

( ) ondas são sistemas isolados que exercem força sobre corpos em movimento.

( ) ondas são formas de propagação de corpos em movimento.

( ) ondas são vibrações que transportam energia sem transportar matéria.

( ) ondas são oscilações que transportam matéria e energia.

2) A frequência é um importante característica de todas as ondas. **Marque a opção que define o que é a frequência de oscilação de uma onda.**

( ) frequência é o tempo necessário para uma onda se repetir.

( ) frequência é a quantidade de oscilações de uma onda por unidade de tempo.

( ) frequência é capacidade de uma onda transportar energia em uma unidade de tempo.

( ) frequência é o deslocamento de uma onda em um determinado intervalo de tempo.

3) Dentre as afirmações apresentadas, **marque aquela que você acredita está contido o conceito de período.**

( ) o período é o modo de vibração de uma onda.

( ) o período é o tempo necessário para ocorrer uma oscilação completa.

( ) o período é a capacidade da onda em transportar matéria.

( ) o período é a capacidade da onda em transportar energia.

4) Qual a opção que para você define o comprimento de onda.

( ) O comprimento de onda é a altura máxima de onda.

( ) o comprimento de onda é o tempo que ela demora para se repetir.

( ) o comprimento de onda é a distância entre duas cristas.

( ) o comprimento de onda é a rapidez da onda.

5) Qual a opção que define as cristas e vales de uma onda.

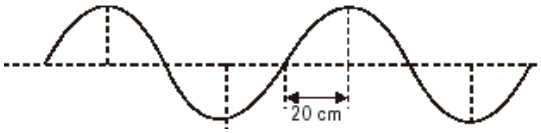
( ) As cristas são os pontos médios das ondas e os vales os pontos mais baixos.

( ) As cristas são os pontos mais altos e os vales os pontos médios.

( ) As cristas são os pontos mais altos e os vales os pontos mais baixos.

( ) Os vales são os pontos mais altos e as cristas os pontos mais baixos.

6) Na figura está representada a configuração de uma onda mecânica que se propaga com uma frequência de 50 Hz.



A velocidade de propagação dessa onda vale, em metros por segundo (m/s), vale:

( ) 5,0

( ) 10

( ) 20

( ) 40

QUESTIONÁRIO – FENÔMENOS ONDULATÓRIOS

1) Analise as proposições a seguir sobre a reflexão da luz:

I – O fenômeno da reflexão ocorre quando a luz incide sobre uma superfície e retorna ao seu meio inicial;

II – O fenômeno de reflexão só ocorre em meios imateriais;

III – Na reflexão, o raio incidente passa a se propagar em outro meio;

IV – Quando a luz é refletida por uma superfície, o ângulo de reflexão é sempre igual ao ângulo de incidência da luz.

Estão corretas:

( ) I, II e III apenas

( ) I, III e IV apenas

( ) I, II e IV apenas

( ) II, III e IV apenas

( ) I e IV apenas

2) Marque a alternativa correta a respeito do fenômeno da refração da luz.

( ) A refração é caracterizada pela mudança de meio de propagação de uma onda.

( ) O fenômeno de refração não ocasiona a mudança de velocidade de uma onda.

( ) A refração consiste em alteração na reta normal entre o raio incidente e o raio refratado.

( ) Na passagem dos meios não há alteração na trajetória da onda.

3) De acordo com os seus conhecimentos a respeito do fenômeno de refração explique o que acontece com as seguintes propriedades da onda ao ocorrer esse fenômeno.

Frequência:_____

_____

Velocidade de propagação:

_____

_____

Comprimento de onda_____

_____

4. Sobre o fenômeno de difração, marque a opção correta.

( ) É caracterizado pela mudança de suas propriedades ao incidir sobre um material.

( ) Ocorre quando a onda contorna um obstáculo ou se espalha após passar por uma ou mais fendas.

( ) Ocorre quando ondas eletromagnéticas se propagam em meio materiais.

( ) É caracterizado quando a onda incide sobre um obstáculo e muda suas propriedades.

QUESTIONÁRIO – ONDAS ESTACIONÁRIAS

1) Das opções abaixo, marque aquela que você acredita ser o conceito de ondas estacionárias.

( ) são ondas formadas em qualquer meio.

( ) são ondas formadas em meios cujas extremidades não são fixas.

( ) são perturbações resultantes de pulsos ondulatórios.

( ) são ondas formadas em meios cujas extremidades são fixas.

2) Das opções abaixo, marque aquela que você acredita ser o conceito de interferência de ondas.

( ) são ondas resultantes da propagação em meios materiais.

( ) são ondas resultantes da propagação em meios não materiais.

( ) são ondas que se superpõem ao passarem por uma dupla fenda.

( ) são ondas de frequências diferentes.

3) Das afirmações apresentadas a seguir, marque aquela que você considera ser o conceito de harmônicos?

( ) harmônicos são formados quando as ondas estão em fases opostas de oscilação em frequências especificas.

( ) harmônicos são formados em ondas que os meios não estão com as extremidades fixas.

( ) harmônicos são formados em ondas que se propagam em meios não materiais.

( ) harmônicos são formados por meios uniformes.

4) De acordo com as suas concepções e conhecimentos construídos até aqui**, defina o que é a densidade linear.**

---

5) Considere que um objeto possui 1,5 metros de comprimento e possua uma massa de 0,150 quilogramas. Qual a sua densidade linear?

QUESTIONÁRIO – METODOLOGIA

1) Você já tinha estudado algum conteúdo de física utilizando aplicativos para smartphones?

( ) Sim ( ) Não

2) Você gostou do uso do aplicativos utilizados em cada roteiro?

( ) Sim ( ) Nem gostei, nem detestei ( ) Não

3) Você concorda que a utilização do aplicativos facilitoram sua compreensão acerca do conteúdo de ondas?

( ) Concordo totalmente

( ) Concordo parcialmente

( ) Nem concordo, nem discordo

( ) Discordo parcialmente

( ) Discordo totalmente

4) Você é a favor de estudar outros conteúdos de física utilizando aplicativos para smartphones?

( ) Totalmente favorável

( ) Moderadamente favorável

( ) Indiferente

( ) Moderadamente contrário

( ) Totalmente contrário

5) Você encontrou dificuldades em executar os roteiros propostos?

( ) Sim ( ) Em partes ( ) Não

6) Você considera importante a utilização de smartphones e seus recursos no ensino de física?

( ) sim ( ) Parcialmente ( ) Não

7) Você é a favor da utilização do smartphone como um recurso educacional (usá-lo em outras disciplinas, por exemplo)?

( ) Sim ( ) Em partes ( ) Não

8) O que você achou da metodologia utilizada neste trabalho (roteiros, aplicativos, Qr-codes e smartphones)?

( ) Excelente

( ) Regular

( ) Ruim

( ) Péssima

9.2. ANEXO 2: QUESTIONÁRIOS RESPONDIDOS

QUESTIONÁRIO – PROPRIEDADES DAS ONDAS

1) Utilizando os seus conhecimentos adquiridos ao longo de seus estudos a respeito de ondas, marque, dentre as opções apresentadas a seguir, **a opção que representa o conceito de ondas.**

(X) ondas são sistemas isolados que exercem força sobre corpos em movimento.

( ) ondas são formas de propagação de corpos em movimento.

( ) ondas são vibrações que transportam energia sem transportar matéria.

( ) ondas são oscilações que transportam matéria e energia.

2) A frequência é um importante característica de todas as ondas. **Marque a opção que define o que é a frequência de oscilação de uma onda.**

( ) frequência é o tempo necessário para uma onda se repetir.

( ) frequência é a quantidade de oscilações de uma onda por unidade de tempo.

( ) frequência é capacidade de uma onda transportar energia em uma unidade de tempo.

(X) frequência é o deslocamento de uma onda em um determinado intervalo de tempo.

3) Dentre as afirmações apresentadas, **marque aquela que você acredita está contido o conceito de período.**

( ) o período é o modo de vibração de uma onda.

( ) o período é o tempo necessário para ocorrer uma oscilação completa.

(X) o período é a capacidade da onda em transportar matéria.

( ) o período é a capacidade da onda em transportar energia.

4) Qual a opção que para você define o comprimento de onda.

(X) O comprimento de onda é a altura máxima de onda.

( ) o comprimento de onda é o tempo que ela demora para se repetir.

( ) o comprimento de onda é a distância entre duas cristas.

( ) o comprimento de onda é a rapidez da onda.

5) Qual a opção que define as cristas e vales de uma onda.

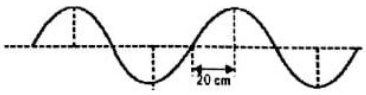
( ) As cristas são os pontos médios das ondas e os vales os pontos mais baixos.

(X) As cristas são os pontos mais altos e os vales os pontos médios.

( ) As cristas são os pontos mais altos e os vales os pontos mais baixos.

( ) Os vales são os pontos mais altos e as cristas os pontos mais baixos.

6) Na figura está representada a configuração de uma onda mecânica que se propaga com uma frequência de 50 Hz.



A velocidade de propagação dessa onda vale, em metros por segundo (m/s), vale:

( ) 5,0

(X) 10

( ) 20

( ) 40

QUESTIONÁRIO – PROPRIEDADES DAS ONDAS

1) Utilizando os seus conhecimentos adquiridos ao longo de seus estudos a respeito de ondas, marque, dentre as opções apresentadas a seguir, **a opção que representa o conceito de ondas.**

( ) ondas são sistemas isolados que exercem força sobre corpos em movimento.

( ) ondas são formas de propagação de corpos em movimento.

(X) ondas são vibrações que transportam energia sem transportar matéria.

( ) ondas são oscilações que transportam matéria e energia.

2) A frequência é um importante característica de todas as ondas. **Marque a opção que define o que é a frequência de oscilação de uma onda.**

( ) frequência é o tempo necessário para uma onda se repetir.

(X) frequência é a quantidade de oscilações de uma onda por unidade de tempo.

( ) frequência é capacidade de uma onda transportar energia em uma unidade de tempo.

( ) frequência é o deslocamento de uma onda em um determinado intervalo de tempo.

3) Dentre as afirmações apresentadas, **marque aquela que você acredita está contido o conceito de período.**

( ) o período é o modo de vibração de uma onda.

(X) o período é o tempo necessário para ocorrer uma oscilação completa.

( ) o período é a capacidade da onda em transportar matéria.

( ) o período é a capacidade da onda em transportar energia.

4) Qual a opção que para você define o comprimento de onda.

( ) O comprimento de onda é a altura máxima de onda.

( ) o comprimento de onda é o tempo que ela demora para se repetir.

(X) o comprimento de onda é a distância entre duas cristas.

( ) o comprimento de onda é a rapidez da onda.

5) Qual a opção que define as cristas e vales de uma onda.

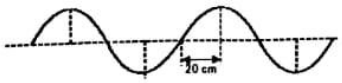
( ) As cristas são os pontos médios das ondas e os vales os pontos mais baixos.

( ) As cristas são os pontos mais altos e os vales os pontos médios.

(X) As cristas são os pontos mais altos e os vales os pontos mais baixos.

( ) Os vales são os pontos mais altos e as cristas os pontos mais baixos.

6) Na figura está representada a configuração de uma onda mecânica que se propaga com uma frequência de 50 Hz.



A velocidade de propagação dessa onda vale, em metros por segundo (m/s), vale:

( ) 5,0

( ) 10

( ) 20

(X) 40

$V = f \cdot \lambda$

$V = 50 \cdot 0{,}8$

$V = 40$ m/s

$\lambda = 20 + 20 + 20 + 20$

$\lambda = 80\,cm = 0{,}8\,m$

QUESTIONÁRIO – FENÔMENOS ONDULATÓRIOS

1) Analise as proposições a seguir sobre a reflexão da luz:

I – O fenômeno da reflexão ocorre quando a luz incide sobre uma superfície e retorna ao seu meio inicial;

II – O fenômeno de reflexão só ocorre em meios imateriais;

III – Na reflexão, o raio incidente passa a se propagar em outro meio;

IV – Quando a luz é refletida por uma superfície, o ângulo de reflexão é sempre igual ao ângulo de incidência da luz.

Estão corretas:

(X) I, II e III apenas

( ) I, III e IV apenas

( ) I, II e IV apenas

( ) II, III e IV apenas

( ) I e IV apenas

2) Marque a alternativa correta a respeito do fenômeno da refração da luz.

( ) A refração é caracterizada pela mudança de meio de propagação de uma onda.

(X) O fenômeno de refração não ocasiona a mudança de velocidade de uma onda.

( ) A refração consiste em alteração na reta normal entre o raio incidente e o raio refratado.

( ) Na passagem dos meios não há alteração na trajetória da onda.

3) De acordo com os seus conhecimentos a respeito do fenômeno de refração explique o que acontece com as seguintes propriedades da onda ao ocorrer esse fenômeno.

Frequência: não sei

Velocidade de propagação: não sei

Comprimento de onda não sei

4. Sobre o fenômeno de difração, marque a opção correta.

(X) É caracterizado pela mudança de suas propriedades ao incidir sobre um material.

( ) Ocorre quando a onda contorna um obstáculo ou se espalha após passar por uma ou mais fendas.

( ) Ocorre quando ondas eletromagnéticas se propagam em meio materiais.

( ) É caracterizado quando a onda incide sobre um obstáculo e muda suas propriedades.

QUESTIONÁRIO – FENÔMENOS ONDULATÓRIOS

1) Analise as proposições a seguir sobre a reflexão da luz:

I – O fenômeno da reflexão ocorre quando a luz incide sobre uma superfície e retorna ao seu meio inicial;

II – O fenômeno de reflexão só ocorre em meios imateriais;

III – Na reflexão, o raio incidente passa a se propagar em outro meio;

IV – Quando a luz é refletida por uma superfície, o ângulo de reflexão é sempre igual ao ângulo de incidência da luz.

Estão corretas:

( ) I, II e III apenas

( ) I, III e IV apenas

( ) I, II e IV apenas

( ) II, III e IV apenas

(X) I e IV apenas

2) Marque a alternativa correta a respeito do fenômeno da refração da luz.

(X) A refração é caracterizada pela mudança de meio de propagação de uma onda.

( ) O fenômeno de refração não ocasiona a mudança de velocidade de uma onda.

( ) A refração consiste em alteração na reta normal entre o raio incidente e o raio refratado.

( ) Na passagem dos meios não há alteração na trajetória da onda.

3) De acordo com os seus conhecimentos a respeito do fenômeno de refração explique o que acontece com as seguintes propriedades da onda ao ocorrer esse fenômeno.

Frequência: não altera

Velocidade de propagação: aumenta ou diminui

Comprimento de onda aumenta ou diminui

4. Sobre o fenômeno de difração, marque a opção correta.

( ) É caracterizado pela mudança de suas propriedades ao incidir sobre um material.

(X) Ocorre quando a onda contorna um obstáculo ou se espalha após passar por uma ou mais fendas.

( ) Ocorre quando ondas eletromagnéticas se propagam em meio materiais.

( ) É caracterizado quando a onda incide sobre um obstáculo e muda suas propriedades.

QUESTIONÁRIO – ONDAS ESTACIONÁRIAS

1) Das opções abaixo, marque aquela que você acredita ser o conceito de ondas estacionárias.

(X) são ondas formadas em qualquer meio.

( ) são ondas formadas em meios cujas extremidades não são fixas.

( ) são perturbações resultantes de pulsos ondulatórios.

( ) são ondas formadas em meios cujas extremidades são fixas.

2) Das opções abaixo, marque aquela que você acredita ser o conceito de interferência de ondas.

( ) são ondas resultantes da propagação em meios materiais.

(X) são ondas resultantes da propagação em meios não materiais.

( ) são ondas que se superpõem ao passarem por uma dupla fenda.

( ) são ondas de frequências diferentes.

3) Das afirmações apresentadas a seguir, marque aquela que você considera ser o conceito de harmônicos?

( ) harmônicos são formados quando as ondas estão em fases opostas de oscilação em frequências especificas.

(X) harmônicos são formados em ondas que os meios não estão com as extremidades fixas.

( ) harmônicos são formados em ondas que se propagam em meios não materiais.

( ) harmônicos são formados por meios uniformes.

4) De acordo com as suas concepções e conhecimentos construídos até aqui, defina o que é a densidade linear.

não sei

5) Considere que um objeto possui 1,5 metros de comprimento e possua uma massa de 0,150 quilogramas. Qual a sua densidade linear?

não sei

QUESTIONÁRIO – ONDAS ESTACIONÁRIAS

1) Das opções abaixo, marque aquela que você acredita ser o conceito de ondas estacionárias.

( ) são ondas formadas em qualquer meio.

( ) são ondas formadas em meios cujas extremidades não são fixas.

( ) são perturbações resultantes de pulsos ondulatórios.

(X) são ondas formadas em meios cujas extremidades são fixas.

2) Das opções abaixo, marque aquela que você acredita ser o conceito de interferência de ondas.

( ) são ondas resultantes da propagação em meios materiais.

( ) são ondas resultantes da propagação em meios não materiais.

(X) são ondas que se superpõem ao passarem por uma dupla fenda.

( ) são ondas de frequências diferentes.

3) Das afirmações apresentadas a seguir, marque aquela que você considera ser o conceito de harmônicos?

(X) harmônicos são formados quando as ondas estão em fases opostas de oscilação em frequências especificas.

( ) harmônicos são formados em ondas que os meios não estão com as extremidades fixas.

( ) harmônicos são formados em ondas que se propagam em meios não materiais.

( ) harmônicos são formados por meios uniformes.

4) De acordo com as suas concepções e conhecimentos construídos até aqui, **defina o que é a densidade linear.**

massa em unidade de comprimento.

5) Considere que um objeto possui 1,5 metros de comprimento e possua uma massa de 0,150 quilogramas. Qual a sua densidade linear?

$$\mu = \frac{m}{L}$$

$$\mu = \frac{0,150}{1,5} = 0,1 \text{ Kg/m}$$

QUESTIONÁRIO – METODOLOGIA

1) Você já tinha estudado algum conteúdo de física utilizando aplicativos para smartphones?

( ) Sim (X) Não

2) Você gostou do uso do aplicativos utilizados em cada roteiro?

(X) Sim ( ) Nem gostei, nem detestei ( ) Não

3) Você concorda que a utilização do aplicativos facilitoram sua compreensão acerca do conteúdo de ondas?

(X) Concordo totalmente

( ) Concordo parcialmente

( ) Nem concordo, nem discordo

( ) Discordo parcialmente

( ) Discordo totalmente

4) Você é a favor de estudar outros conteúdos de física utilizando aplicativos para smartphones?

(X) Totalmente favorável

( ) Moderadamente favorável

( ) Indiferente

( ) Moderadamente contrário

( ) Totalmente contrário

5) Você encontrou dificuldades em executar os roteiros propostos?

( ) Sim (X) Em partes ( ) Não

6) Você considera importante a utilização de smartphones e seus recursos no ensino de física?

(X) sim ( ) Parcialmente ( ) Não

7) Você é a favor da utilização do smartphone como um recurso educacional (usá-lo em outras disciplinas, por exemplo)?

(X) Sim ( ) Em partes ( ) Não

8) O que você achou da metodologia utilizada neste trabalho (roteiros, aplicativos, Qr-codes e smartphones)?

(X) Excelente ( ) Ruim

( ) Regular ( ) Péssima