

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

JAQUELINE ANDREIA TAFAREL

**LUZ ALÉM DA ESCURIDÃO - UMA PROPOSTA DE ENSINO DA NATUREZA
ONDULATÓRIA DA LUZ PARA ALUNOS CEGOS**

**MEDIANEIRA
2020**

LUZ ALÉM DA ESCURIDÃO - UMA PROPOSTA DE ENSINO DA NATUREZA
ONDULATÓRIA DA LUZ PARA ALUNOS CEGOS

Light beyond darkness - A proposal for teaching the wave nature of light to
visually impaired students

JAUQUELINE ANDREIA TAFAREL

Produto Educacional, vinculado à
Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Ensino de
Física da Universidade Tecnológica Federal
do Paraná – Campus Medianeira no Curso
de Mestrado Nacional Profissional de
Ensino de Física (MNPEF), como parte dos
requisitos necessários à obtenção do título
de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Professor Dr. Fabricio Tronco
Dalmolin
Coorientador: Professora Dra. Shiderlene
Vieira de Almeida

MEDIANEIRA
2020



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite que outros remixem, adaptem e criem a partir do
trabalho para fins não comerciais, desde que atribuam o devido crédito e
que licenciem as novas criações sob termos idênticos.

Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra
não são cobertos pela licença.

Lista de Figuras

Figura 1: Recurso 1	9
Figura 2: Um período Completo de Oscilação	10
Figura 3: Dois comprimentos e meio de Onda	10
Figura 4: Recurso III	11
Figura 5: Frequência das Notas Musicais em Relação a Frequência das ondas de luz e suas cores	12
Figura 6: Print de tela do aplicativo, mostrando a frequência relacionada a nota musical SOL, com volumes diferentes, em 100% e 50%.	14
Figura 7: Print de tela do aplicativo, mostrando a frequência relacionada a nota musical FA, com volumes diferentes, em 100% e 50%.	15
Figura 8 -Representação do Fenômeno de Interferência Ondulatória.....	18
Figura 9: Reglete e punção.....	20
Figura 10: Onda com marcações em Caneta.....	21
Figura 11: Onda com marcações em Caneta.....	21
Figura 12: Tela inicial do programa, onde foi digitado aquilo que precisa ser transcrito	22
Figura 13: Tela inicial do programa, onde foi digitado aquilo que precisa ser transcrito	22
Figura 14: FrequencyGenerator.....	23
Figura 15: Tipos de onda possíveis de serem reproduzidos no aplicativo.....	24
Figura 16: Piano Virtual	25
Figura 17: Braille Fácil - exemplo de transcrição	26
Figura 18: Maquete de representação de uma onda Eletromagnética	29
Figura 19: Maquete de representação de uma onda Eletromagnética	29
Figura 20: Uso do Arduíno para o ensino de Vetor de Poynting – densidade de fluxo de energia - Montagem.....	31
Figura 21 - Representação do Fenômeno de Interferência da Luz.....	32
Figura 22 - Representação de Interferência na Onda - Impressa.....	33
Figura 23 - Representação da Interferência na Onda em Barbante	33
Figura 24 - Experimento de Young	41
Figura 25 - Superposição de ondas – interferência construtiva e destrutiva.....	44

Sumário

Sumário	3
1. APRESENTAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	4
2. PROPOSTA DIDÁTICO PEDAGÓGICA - TEXTO DE APOIO AO PROFESSOR.....	6
3. DESCRIÇÃO DOS RECURSOS DIDÁTICOS	19
3.1. Recurso I: Quebra cabeça em alto relevo – discutindo as propriedades das ondas.....	19
3.2. Recurso II: Gerador de Frequência – discutindo a diferença entre onda mecânica e eletromagnética.....	23
3.3. Recurso III: Piano – relacionando sons e cores.....	24
3.4. Recurso IV: Maquete de representação de uma onda Eletromagnética	26
3.5. Recurso V – OPCIONAL: Uso do Arduíno para o ensino de Vetor de Poynting – densidade de fluxo de energia	29
3.6. Recurso VI – Fenômeno de Interferência: Recurso Tátil - Visual para compreender o experimento de Thomas Young.....	32
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35
5.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA EM ENSINO-APRENDIZAGEM.....	35
5.2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA EM ENSINO-APRENDIZAGEM.....	37
APÊNDICE A: Texto: Luz – Onda Eletromagnética.....	38
APÊNDICE B: PRÉ TESTE E PÓS TESTE	45

1. APRESENTAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Este produto educacional consiste na confecção e utilização de recursos didáticos para o ensino do conteúdo: Luz - onda eletromagnética, para alunos deficientes visuais parciais, totais ou videntes. A sugestão de utilização dos recursos desenvolvidos está apresentada no texto de apoio ao professor como Proposta didático pedagógica, que tem por objetivo garantir a inclusão de alunos deficientes visuais no processo de aprendizagem de Física.

Neste produto educacional propõe-se a construção de alguns experimentos, aqui denominados de recursos didáticos, são eles:

- Recurso I: Quebra cabeça em alto relevo – discutindo as propriedades das ondas.
- Recurso II: Gerador de Frequência – discutindo a diferença entre onda mecânica e eletromagnética.
- Recurso III: Piano – relacionando sons e cores.
- Recurso IV: Maquete da onda eletromagnética
- Recurso V: Uso do arduíno para o ensino do Vetor de Poynting – densidade de fluxo de energia.

Esta proposta, se trabalhada numa sequência de aulas, da forma como está aqui apresentada, está baseada na Teoria da Aprendizagem significativa de Ausubel, pois desde a primeira aula busca-se resgatar do aluno os conhecimentos prévios, através da aplicação do pré teste e com isso destacar os subsunçores necessários para dar continuidade ao processo de ensino, pois o conhecimento prévio serve de âncora, de levante, de pivô ou apoio para novos conhecimentos.

No decorrer das aulas, sob a mediação constante do professor o aluno vai estruturando seu conhecimento, através do uso dos diferentes recursos ofertados, e com o auxílio do Interacionismo de Vigotsky, pois muitas atividades são propostas em grupos, nas quais os alunos colaboram entre si na construção desse conhecimento.

Ou seja, o interacionismo de Vigotsky, vem, neste caso fortalecer a aprendizagem significativa, pois, de acordo com essa teoria, o indivíduo tem o conhecimento real e para chegar ao potencial, ele precisa interagir com outras pessoas.

Nesse sentido Vygotsky definiu a Zona de Desenvolvimento Proximal como sendo o espaço, a distância entre o desenvolvimento real e o potencial, o espaço onde as interações acontecem. “É o caminho que o indivíduo vai percorrer para desenvolver funções que estão em processo de amadurecimento e que se tornarão funções consolidadas, estabelecidas no seu nível de desenvolvimento real ” (Oliveira, 2005, p.60).

Desta forma os conhecimentos vão se consolidando e, quando o conhecimento potencial é alcançado, ele vira conhecimento real e novas interações vão acontecendo. “O aprendizado desperta processos de desenvolvimento que, aos poucos, vão tornar-se parte das funções psicológicas consolidadas do indivíduo ” (Oliveira, 2005, p.60). Ainda de acordo com Oliveira, a interferência constante de adultos e crianças mais experientes no nível de desenvolvimento proximal, movimentam os processos de desenvolvimento dos membros imaturos da cultura. Daí a importância das atividades em grupo nas aulas de Física, pois os colegas podem interferir no processo e contribuir para que o conhecimento seja consolidado pelos demais colegas. Da mesma forma quando alunos videntes são colocados junto a alunos com deficiência visual, podendo contribuir na descrição daquilo que estão visualizando ou sentindo, para auxiliar na construção do conhecimento de todos os alunos.

Uma sugestão para aplicação deste produto educacional está apresentada no capítulo 2; A indicação de como construir os recursos didáticos será detalhada no capítulo 3, bem como a lista de materiais. Na sequência, este material apresenta sugestões de leitura e outras sugestões para aplicação do produto, os roteiros das atividades e textos de apoio para o desenvolvimento de aulas.

2. PROPOSTA DIDÁTICO PEDAGÓGICA - TEXTO DE APOIO AO PROFESSOR

Neste capítulo será apresentada uma Proposta Didático Pedagógica, que servirá de suporte ao professor que opte em trabalhar com os recursos didáticos propostos no Produto Educacional.

Vale salientar que os recursos descritos podem ser utilizados para turmas com ou sem alunos deficientes visuais, pois é uma proposta que visa a inclusão de alunos cegos ou de baixa visão no processo de ensino de Física, mais especificamente voltado ao conteúdo Luz – onda eletromagnética.

Esta proposta, se trabalhada numa sequência de aulas, da forma como está aqui apresentada, está baseada na Teoria da Aprendizagem significativa de Ausubel, pois desde a primeira aula busca-se resgatar do aluno os conhecimentos prévios, através da aplicação do pré teste e com isso destacar os subsunçores necessários para dar continuidade ao processo de ensino, pois o conhecimento prévio serve de âncora, de levante, de pivô ou apoio para novos conhecimentos.

E, no decorrer das aulas, sob a mediação constante do professor o aluno vai estruturando seu conhecimento, através do uso dos diferentes recursos ofertados, e com o auxílio do Interacionismo de Vigotsky, pois muitas atividades são propostas em grupos, nas quais os alunos colaboram entre si na construção desse conhecimento.

Ou seja, o interacionismo de Vigotsky, vem, neste caso fortalecer a aprendizagem significativa, pois, de acordo com essa teoria, o indivíduo tem o conhecimento real e para chegar ao potencial, ele precisa interagir com outras pessoas.

Nesse sentido Vygotsky definiu a Zona de Desenvolvimento Proximal como sendo o espaço, a distância entre o desenvolvimento real e o potencial, o espaço onde as interações acontecem. “É o caminho que o indivíduo vai percorrer para desenvolver funções que estão em processo de amadurecimento

e que se tornarão funções consolidadas, estabelecidas no seu nível de desenvolvimento real ” (Oliveira, 2005, p.60).

Desta forma os conhecimentos vão se consolidando e, quando o conhecimento potencial é alcançado, ele vira conhecimento real e novas interações vão acontecendo. “O aprendizado desperta processos de desenvolvimento que, aos poucos, vão tornar-se parte das funções psicológicas consolidadas do indivíduo ” (Oliveira, 2005, p.60). Ainda de acordo com Oliveira, a interferência constante de adultos e crianças mais experientes no nível de desenvolvimento proximal, movimentam os processos de desenvolvimento dos membros imaturos da cultura. Daí a importância das atividades em grupo nas aulas de Física, pois os colegas podem interferir no processo e contribuir para que o conhecimento seja consolidado pelos demais colegas. Da mesma forma quando alunos videntes são colocados junto a alunos com deficiência visual, podendo contribuir na descrição daquilo que estão visualizando ou sentindo, para auxiliar na construção do conhecimento de todos os alunos.

Apresento na sequência, a Proposta Didático Pedagógica, embasada na Teoria da aprendizagem significativa de Ausubel e no Interacionismo de Vygotsky.

Aula 1: Levantamento dos conhecimentos prévios dos alunos sobre ondulatória e sobre luz.

Objetivo: Analisar os conhecimentos prévios dos alunos sobre o conteúdo da ondulatória em geral e sobre a luz em específico.

ATIVIDADE 1: Aplicação de um questionário com uso da ferramenta disponível no Google Drive (Formulários Google). O uso desta ferramenta também permite que o aluno deficiente visual faça uso quando tiver um computador adaptado, caso não tenha este computador, o questionário pode ser aplicado em folhas digitadas para os videntes e em Braille para os alunos cegos, e ampliada aos alunos de baixa visão. Outra possibilidade é aplicar o questionário via áudio.

Nesse primeiro instante, é muito importante verificar qual o conhecimento prévio dos estudantes cegos e videntes:

- sobre ondas e sobre luz;
- como percebem a diferença de sensação térmica entre estar num ambiente fechado (sem a luz do sol direta) e um ambiente aberto (exposto a luz solar);
- como entendem o funcionamento de um smartphone (por que às vezes o sinal é bom e às vezes ruim?);
- se percebem alguma relação entre ondas sonoras e luminosas e se estas apresentam diferença;
- se ondas transportam matéria ou energia;

Conceitos estes que serão explorados no decorrer das atividades. Para tanto, a aplicação de um questionário com questões dissertativas e alternativas contribui na identificação desses conhecimentos prévios. Uma possível sugestão de formato de questionário encontra-se no Apêndice C.

Este questionário servirá de parâmetro para avaliação final do conhecimento, ao término da aplicação desta sequência didática.

Aula 2 e 3: Discutindo as propriedades das ondas

Objetivo: Retomar conceitos de ondulatória e, através de diferentes sentidos reconhecer, identificar algumas propriedades das ondas e fazer relações entre elas para compreender também o conceito de velocidade de propagação de uma onda.

ATIVIDADE: CONHECENDO AS PROPRIEDADES DAS ONDAS

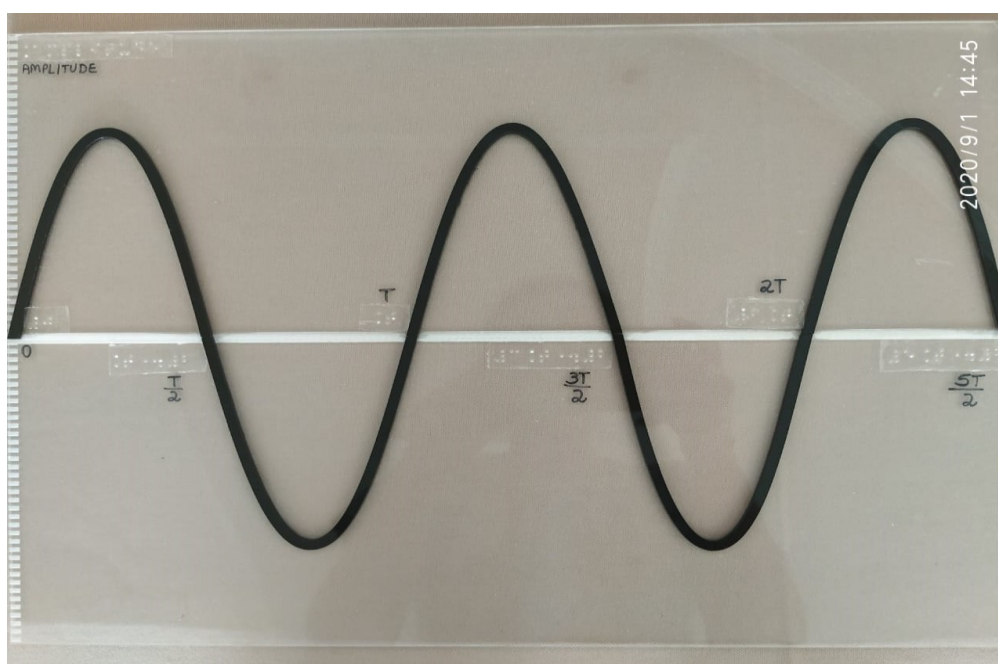
Nesta aula será feita a retomada das propriedades de uma onda (com uso de um recurso tátil –visual, explorar os conceitos de onda, permitindo a abordagem multissensorial de conceitos relacionados às ondas – crista, vale, amplitude, comprimento de onda, frequência e período).

Levar à sala de aula os textos digitados e transcritos em Braille, que sejam capazes de explicar todas as propriedades trabalhadas. (Somente se os alunos não possuem livros didáticos que deem conta deste conteúdo).

O texto sugerido encontra-se no link https://drive.google.com/file/d/1XvPdKgXYOvi617OIIoQJUDILmIiV_plv/view?usp=sharing e poderá ser disponibilizado ao aluno conforme conveniência. Ele traz os conceitos primordiais sobre ondas. O intuito desse texto é apresentar aos

alunos a teoria de ondas, para posterior relação com a imagem que poderá ser visualizada e/ou sentida através do tato, fazendo uso do aparato de acrílico (Ver figura do Recurso I) em alto relevo para que tanto alunos videntes, quanto alunos com deficiência visual total ou parcial, sejam capazes de compreender cada uma delas, vinculada aos seus conceitos teóricos e matemáticos, como por exemplo a apresentação da equação da velocidade de propagação das ondas, relacionando o comprimento de onda com período e frequência de oscilação.

Figura 1: Recurso 1



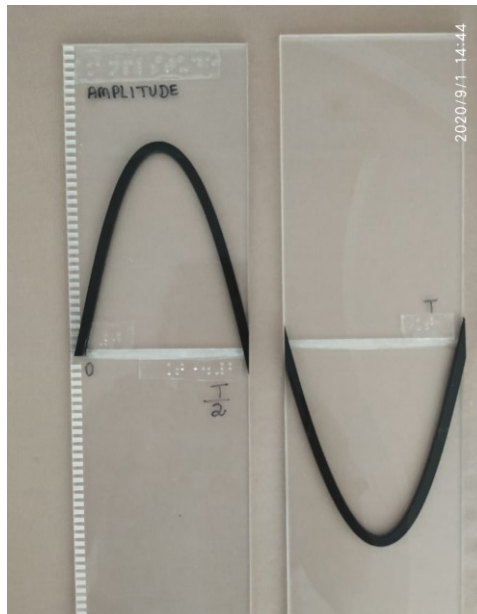
Fonte: Imagem próprio autor

Após a compreensão destes conceitos, reunir os alunos em duplas ou trios, para montarem o quebra-cabeça da onda (Recurso I), de acordo com o aparato já tateado e/ou visualizado pelos alunos, solicitando a eles que demonstrem com uso das peças, ondas que representem:

- um período completo de oscilação (Figura 2);
- um período e meio de oscilação;
- duas cristas e um vale;
- dois comprimentos e meio; (Figura 3)

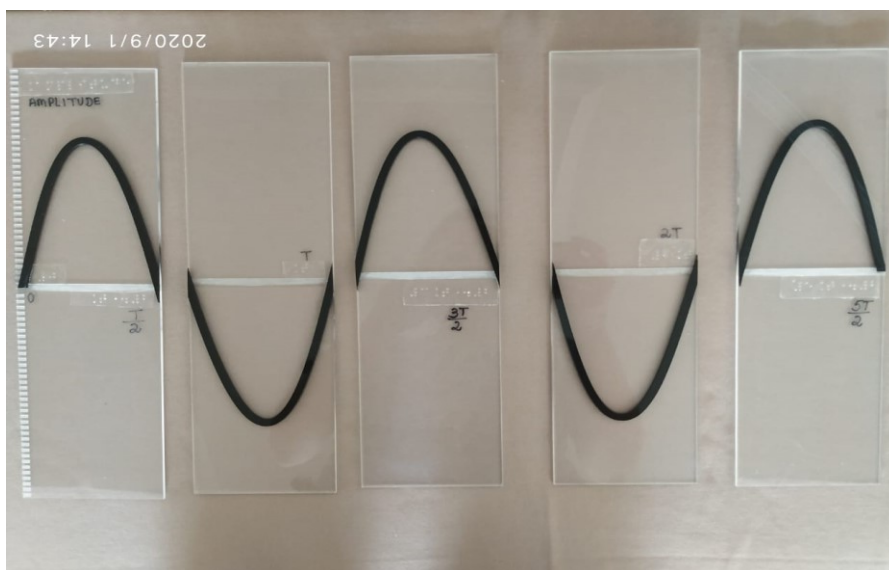
Outras variações podem ser feitas.

Figura 2: Um período Completo de Oscilação



Fonte: Imagem próprio autor

Figura 3: Dois comprimentos e meio de Onda



Fonte: Imagem próprio autor

ATIVIDADE DE PESQUISA:

Para dar início a próxima aula, solicitar que os alunos se dividam em grupos de três ou quatro pessoas para pesquisar e discutir sobre as diferentes frequências e comprimentos de ondas sonoras perceptíveis e não perceptíveis

pelo ouvido humano, assim como as diferentes frequências e comprimentos da luz, perceptíveis e não perceptíveis pelo olho humano.

AULA 4 e 5: Relacionando Sons e Cores

Objetivo: Relacionar diferentes frequências do som com frequências de luz, diferenciando as ondas mecânicas das eletromagnéticas para introduzir o conceito da natureza ondulatória da luz.

ATIVIDADE 1: Discussão da pesquisa sobre as frequências e comprimentos de onda do som e da luz, com o objetivo de levá-los a perceber as relações e diferenças entre estes dois tipos de onda.

ATIVIDADE 2: Uso do piano (Figura)

-Apresentar o texto que trata das relações entre as frequências das notas musicais e as cores da decomposição da luz branca, assim como das diferenças entre uma onda mecânica e eletromagnética (sugestão disponível no link <https://drive.google.com/drive/folders/1haGmq-rSqrqCbdBlorrHpX-7JnyMS6Ov?usp=sharing>).

-Solicitar aos alunos que façam uso do piano (Recurso III), e compreendam a relação entre a frequência das notas musicais com a respectiva frequência das cores da luz. (Figura 39)



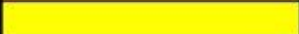



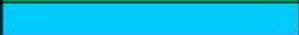





- Calcular o comprimento de onda dos diferentes espectros da decomposição da luz branca, utilizando a equação da velocidade.

Figura 4: Recurso III



Fonte: Imagem próprio autor

Figura 5: Frequência das Notas Musicais em Relação a Frequência das ondas de luz e suas cores

Nota musical	Freq. Áudio (Hz)	Cores	Freq. Luz (Hz)
Fa #	370,0		$407 \cdot 10^{12}$
Sol	392,0		$431 \cdot 10^{12}$
Sol #	415,3		$457 \cdot 10^{12}$
La	444,0		$484 \cdot 10^{12}$
LA #	466,2		$513 \cdot 10^{12}$
Si	493,9		$543 \cdot 10^{12}$
Dó	523,3		$575 \cdot 10^{12}$
Dó#	554,4		$610 \cdot 10^{12}$
Ré	587,3		$646 \cdot 10^{12}$
Ré #	622,3		$684 \cdot 10^{12}$
Mi	659,3		$725 \cdot 10^{12}$
Fá	698,5		$768 \cdot 10^{12}$

Fonte: Imagem próprio autor

ATIVIDADE 3: Uso do aplicativo *Frequency Generator* (Recurso II)

O professor pode manter os grupos da pesquisa e solicitar antecipadamente que instalem o referido aplicativo em seus celulares.

O tutorial de instalação e uso do aplicativo encontra-se em um vídeo com áudio disponível no link <https://youtu.be/-arPm60fj-Y>, o que facilita a utilização do mesmo, por todos que necessitem ou não de alguém para auxiliar.

- Solicitar aos alunos que reproduzam no aplicativo algumas frequências, como por exemplo a menor e a maior frequência obtida pelas notas musicais, e respondam:

Qual a relação entre estas notas musicais e as cores da luz? (espera-se que o aluno seja capaz de identificar que a menor frequência do som equivale a menor frequência de luz, que é a cor vermelha, e que o maior comprimento de onda e a maior frequência de nota musical corresponde a luz violeta)

- Demonstrar, com uso de um aparato feito de papel cartão e barbante (alto relevo) a maior e menor frequência das notas musicais (essas imagens serão visualizadas no aplicativo – Recurso II) e solicitar aos alunos que imaginem essa onda com frequência na ordem de grandeza 10^{12} vezes maior, poderia ser percebida por nossos olhos? Porquê?

Solicitar aos alunos que façam diferentes observações: (A critério do professor, conforme o tempo disponível para o desenvolvimento da aula, porém, são atividades bem importantes e que necessitam de um tempo maior para o caso de alunos cegos – talvez uma aula a mais)

1-Manter o volume e alterar as frequências. Descrever o que foi observado;

- fazer um *print* de tela com duas frequências diferentes, para comparar as imagens.

2-Manter a frequência e alterar o volume. Descrever o que foi observado;

- fazer um print de tela com dois volumes diferentes, para comparar as imagens.

3-Manter o volume em 50% e alterar a frequência, lentamente e tentar perceber a partir de qual frequência e até qual frequência os integrantes identificam o som.

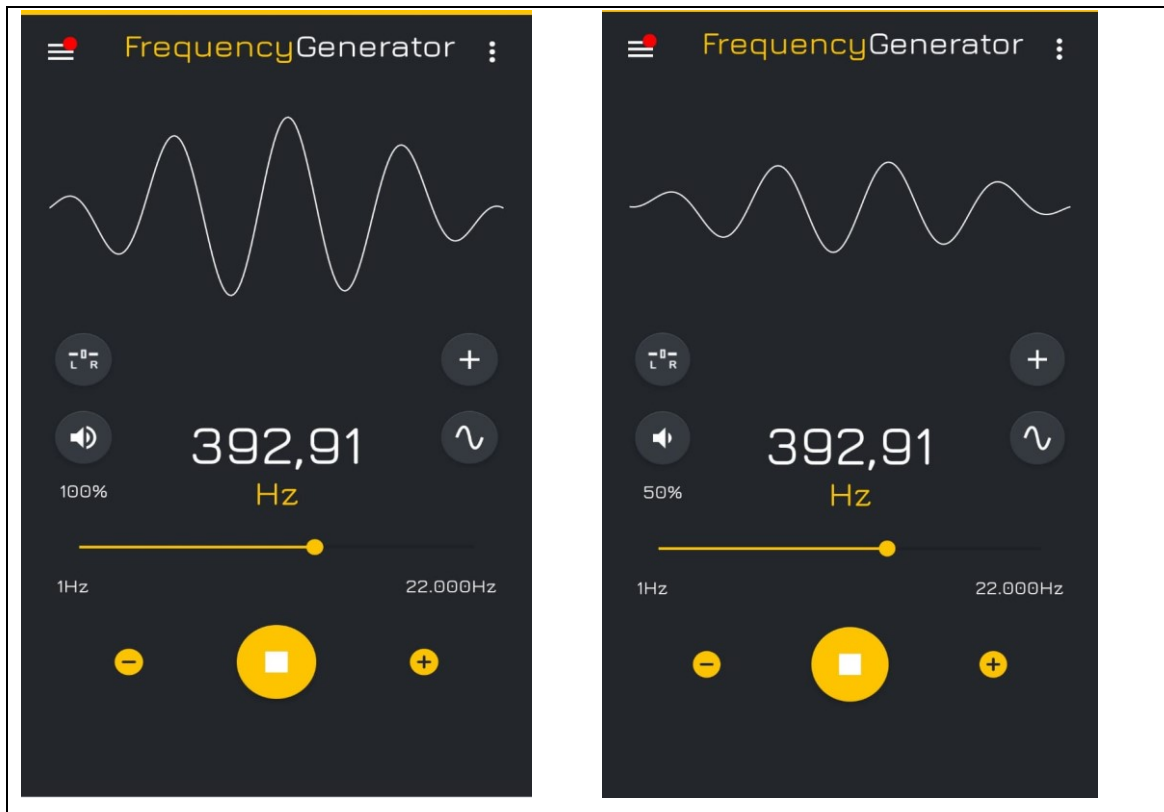
Todos têm a mesma percepção?

4-Manter o volume em 70% e colocar a mão na saída do som, alterando lentamente a frequência. Descreva o que é sentido através do tato, verificar se ocorre alguma sensação diferente de acordo com a alteração da frequência?

Essa vibração está relacionada a qual propriedade?

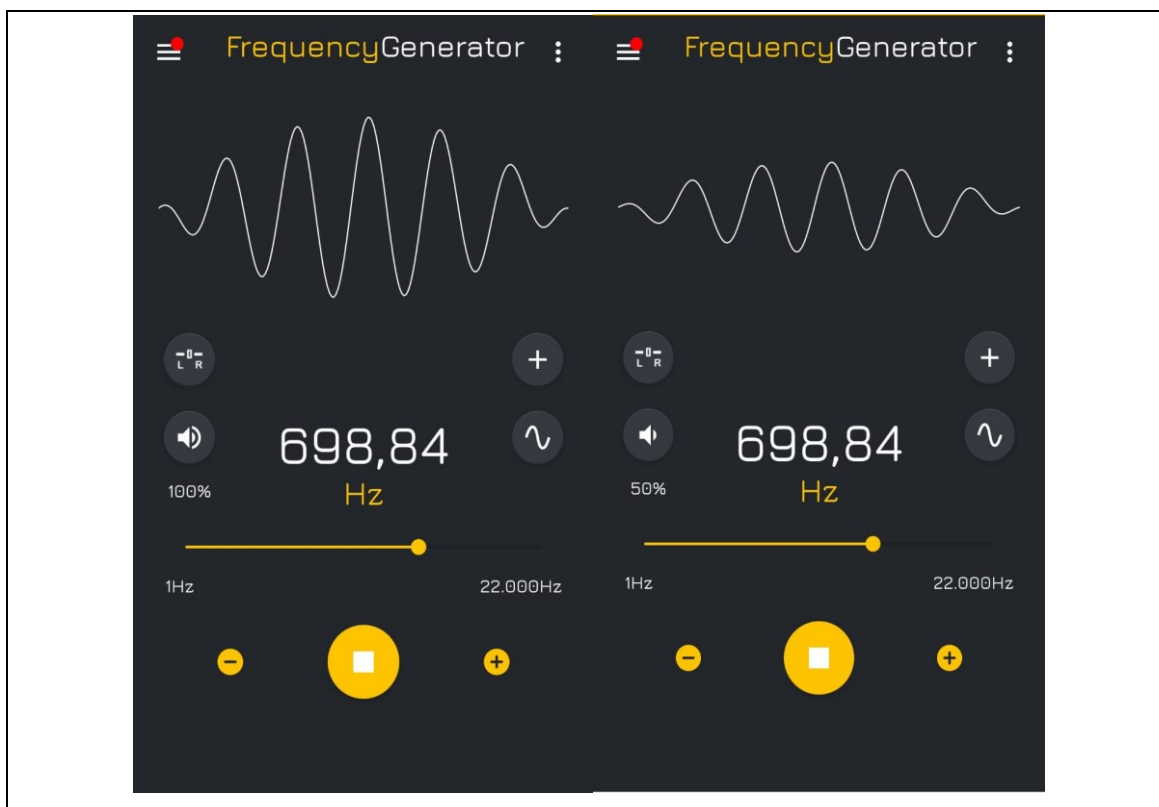
No caso de ter alunos cegos, as imagens printadas podem ser reproduzidas, pelos próprios colegas (alunos videntes) em um papel, utilizando a sobreposição com barbante, conforme figura abaixo, de modo que o aluno cego tenha a mesma percepção da imagem obtida, para identificação das propriedades das ondas.

Figura 6: Print de tela do aplicativo, mostrando a frequência relacionada a nota musical SOL, com volumes diferentes, em 100% e 50%.



Fonte: Imagem próprio autor

Figura 7: Print de tela do aplicativo, mostrando a frequência relacionada a nota musical FA, com volumes diferentes, em 100% e 50%.



Fonte: Imagem próprio autor

Aula 6 e 7: Compreendendo a luz

Objetivo: Compreender a natureza ondulatória da luz – direção e sentido de propagação dos vetores campo elétrico e magnético, assim como do vetor densidade de fluxo de energia conhecido como Vetor de Poynting, dando ênfase a explicação qualitativa, sem deixar de lado a noção quantitativa na análise dos resultados obtidos com uso dos recursos IV e V.

ATIVIDADE 1: Apresentação da maquete (Recurso IV – figura), a qual representa as propriedades geométricas de uma onda eletromagnética em um determinado instante.

- 1- Solicitar aos alunos que façam a observação tátil-visual para percepção do comprimento de onda e amplitude dos campos elétricos e magnéticos, assim como a observação de que estes campos se encontram em planos perpendiculares, ou seja, formando ângulo de 90° entre si.

- 2- A partir da observação anterior também pode-se conceituar que a luz é uma onda transversal (direção de propagação perpendicular à de oscilação).
- 3- Discussão do texto de apoio “Telefone”. Britannica Escola. Pode ser visualizado no link <https://drive.google.com/drive/folders/1haGmq-rSqrqCbdBlorrHpX-7JnyMS6Ov?usp=sharing> , e também encontra-se disponível em <<https://escola.britannica.com.br/artigo/telefone/482652>>

ATIVIDADE 2 – OPCIONAL: Utilização do Recurso V – Vetor de Poynting: compreendendo a onda eletromagnética como frente de onda esférica de uma fonte puntiforme

1- Aprofundar a discussão lançando alguns questionamentos:

- Como acontece a comunicação via telefone com fio? E via smartphone? Eles apresentam o mesmo princípio de funcionamento?

De acordo com as atividades e discussões anteriores, espera-se que os estudantes tenham a compreensão de que o telefone com fio usa ondas mecânicas para funcionar enquanto outros meios de comunicação, como o rádio, a TV ou celular, usam as ondas de natureza eletromagnéticas. Esperamos que os estudantes entendam que as ondas eletromagnéticas sofrem menos atenuação que ondas mecânicas e são largamente usadas na telecomunicação.

- Como cada um de vocês sente a luz do sol? Como ela chega até nós? A sensação de diferença de temperatura entre locais fechados (interior de uma casa) e locais abertos (exposição direta ao sol)?

- O que é uma onda? Como ela se propaga? Como vai de um ponto para outro?

Com estes questionamentos, espera-se que os alunos demonstrem que estas sensações não ocorrem via contato, e que ele não consegue explicar. Mas esta compreensão poderá ser obtida através da próxima atividade.

2- Utilizar o Recurso V (Opcional), para compreensão da densidade do fluxo de energia:

- Apresentar o dispositivo arduíno aos alunos e explicar seu funcionamento. Solicitar aos alunos que ativem o recurso “ok google ” em seus smartphones, solicitando ao mesmo que acenda a lanterna.

- Com a lanterna acesa o smartphone deve ser aproximado e afastado do arduíno que emitirá sons de diferentes intensidades conforme ocorre a alteração da intensidade da fonte luminosa, devido à distância.

Esta parte do experimento, levará os alunos a compreenderem a questão da energia transportada por uma onda, e que esta intensidade é inversamente proporcional ao raio elevado ao quadrado.

- Aos alunos cegos, e videntes também, podem ser apresentadas esferas de diferentes raios (podem ser esferas de isopor), utilizadas concomitantemente ao dispositivo, para demonstrar a questão da tridimensionalidade da onda: A área da esfera está aumentando, é porque a intensidade diminui com o raio ao quadrado.

- Fazer a relação com nossa principal fonte de Luz e calor, o Sol. Levá-los a compreenderem que quanto mais próximos da fonte maior será a energia recebida, ou seja, como os corpos na Terra estão a uma distância de $1,5 \cdot 10^{11}$ m do Sol, a energia sentida é bem menor.

- Apresentar a relação matemática da Intensidade luminosa: $I = P/4\pi r^2$, considerando a distância Terra-Sol e que a Potência irradiada do Sol é de aproximadamente $4 \cdot 10^{26}$ Watts, solicitar aos estudantes que calculem a Intensidade luminosa (energia radiante) percebida na Terra – ou somente demonstrar isso a eles, fazendo um comparativo com a energia muito próximo ao Sol. O estudante será capaz de entender que esta energia é muito menor aqui na Terra, ou seja, na ordem de grandeza de 10^3 W/m² , enquanto muito próximo a fonte na ordem de grandeza de 10^{25} W/m² .

Aula 8: Interferência – uma comprovação de que a luz é um fenômeno de natureza ondulatória.

Objetivo: Compreender a natureza ondulatória da luz – a partir da interpretação de fenômenos ondulatórios como a Interferência. Dando ênfase a explicação qualitativa, com utilização de um recurso tátil-visual.

ATIVIDADE 1: Leitura e discussão do texto que trata do experimento Thomas Young, o qual pode ser obtido no Apêndice A.

Apresentação do Recurso VI, que representa o fenômeno de interferência ondulatória, este recurso pode ser somente visualizado pelos alunos que enxergam e tateados, sob orientação do professor, pelos alunos cegos ou baixa visão.

Figura 8 -Representação do Fenômeno de Interferência Ondulatória



Fonte: Imagem próprio autor



Fonte: Imagem próprio autor

Aula 9: Avaliação

Aplicação de um pós teste, com o mesmo questionário utilizado no pré teste, com o objetivo de verificar o conhecimento construído pelos alunos após a realização das aulas sugeridas nesta proposta.

3. DESCRIÇÃO DOS RECURSOS DIDÁTICOS

3.1. Recurso I: Quebra cabeça em alto relevo – discutindo as propriedades das ondas.

A proposta inicial deste material é a construção do mesmo em material acrílico, tanto a base para demonstração quanto as peças separadas que compõem o quebra cabeça. Essa produção depende de uma impressora 3D a laser (no caso foi construída no laboratório da UTFPR – Campus Medianeira), sem custo. Mas foi realizada tomada de preços e pode ser confeccionada em gráfica no valor de R\$ 150,00 em média, (vale a pena pois fica material de uso permanente ao professor).

Outra sugestão de construção é utilizando MDF, o que reduz o custo em cinquenta por cento, mas ressalta-se que a higienização do material fica a desejar, pois o acrílico pode ser higienizado com água e sabão ou álcool.

Sugere-se ainda, a construção do mesmo com papel cartão e barbante, mas isso toma tempo e serve para uma única utilização, pois o material se descola com facilidade, mas pode ser utilizado com o mesmo objetivo.

Dicas Importantes:

O tamanho da base não pode ser maior que uma folha A3, pois isso facilita o manejo na carteira da sala de aula e para o aluno deficiente visual é um tamanho adequado para que não se perca no limite de espaço.

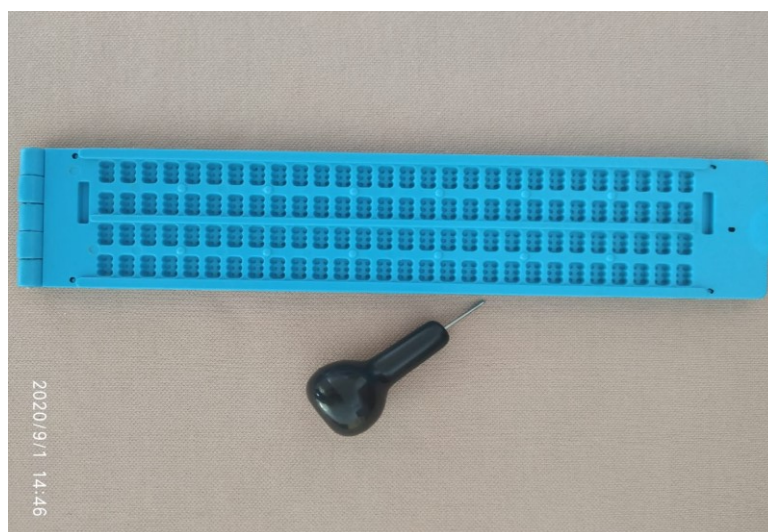
Os eixos x (período) e y (amplitude) devem ter algum diferencial em relação a onda. Esse diferencial pode ser um baixo relevo ou uma textura diferenciada (gravada a laser) para que o aluno perceba através do tato (alunos cegos) ou através da visão, que são relacionados a conceitos diferentes. No caso de produzir o material com papel cartão sugere-se a onda com barbante e os eixos com uma tira de lixa fina.

Outro detalhe importante é a distância entre cada meia oscilação de onda (deve ter uma distância de, no mínimo, 7cm para que seja possível a inserção

da escrita em Braille de cada um dos períodos relacionados). Deste modo, no tamanho de base sugerido A3, é possível colocar, no máximo, dois comprimentos e meio de onda.

A escrita em Braille pode ser feita utilizando papel *contact*. reglete e punção (materiais que servem para fazer escrita em braile como a máquina), a sugestão do papel *contact* foi dada por um servidor do CAPDV - Centro de Apoio Pedagógico à Pessoa com Deficiência Visual, de Francisco Beltrão - PR. Faz-se a escrita em Braille no *contact* e sobrepõe no acrílico, a leitura fica facilitada aos alunos cegos.

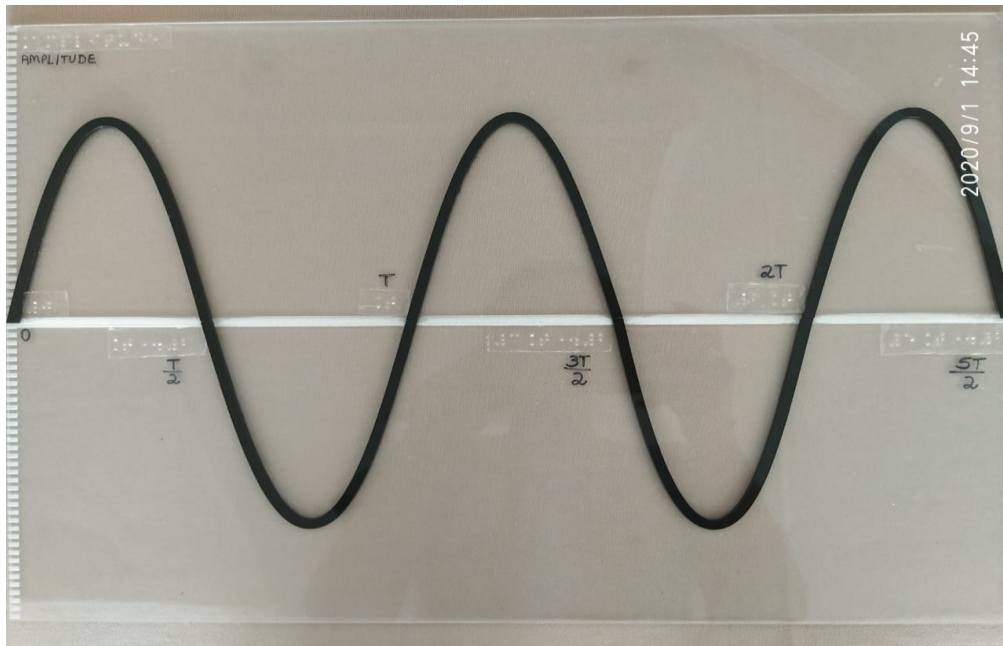
Figura 9: Reglete e punção



Fonte: Imagem próprio autor

Para os alunos que não têm problemas de visão, faz-se a escrita com caneta marcador para retroprojeter/CD, conforme a Figura 10a e 14b

Figura 10: Onda com marcações em Caneta



Fonte: Imagem próprio autor

Figura 11: Onda com marcações em Caneta

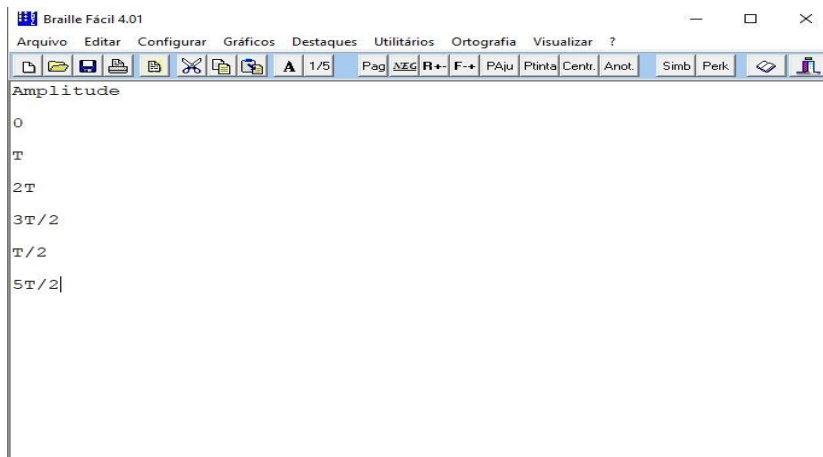


Fonte: Imagem próprio autor

O manual de escrita em Braille pode ser encontrado no site do ministério da Educação, onde é possível instalar um programa – Braille Fácil 4.01 que faz

a transcrição para Braille dando o modelo a ser reproduzido com uso da reglete, por exemplo.

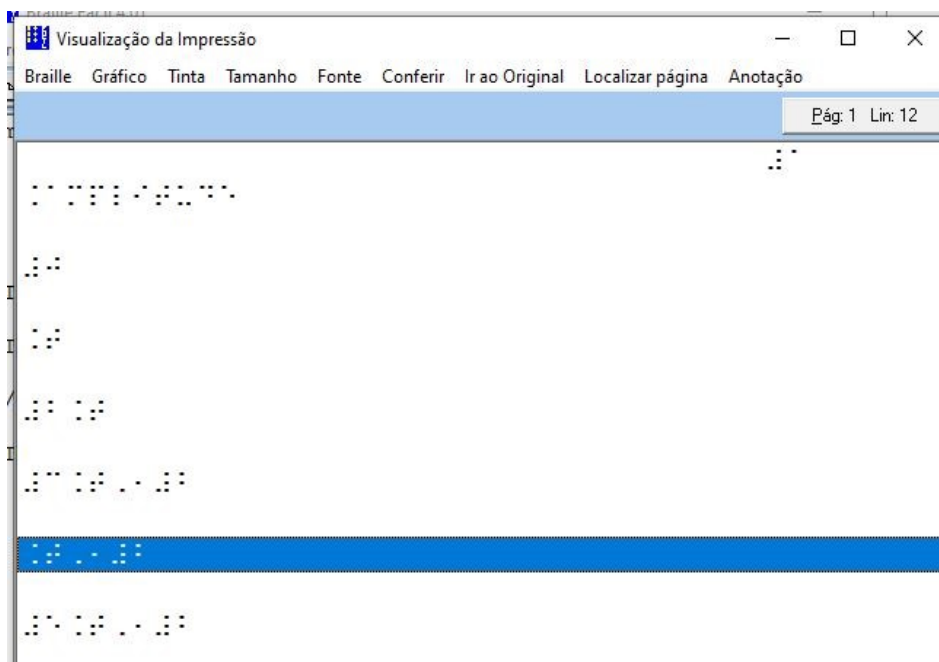
Figura 12: Tela inicial do programa, onde foi digitado aquilo que precisa ser transcrito



Fonte: Imagem próprio autor

Após clicar em visualizar, e aparece a tela com a transcrição em Braille.

Figura 13: Tela inicial do programa, onde foi digitado aquilo que precisa ser transcrito



Fonte: Imagem próprio autor

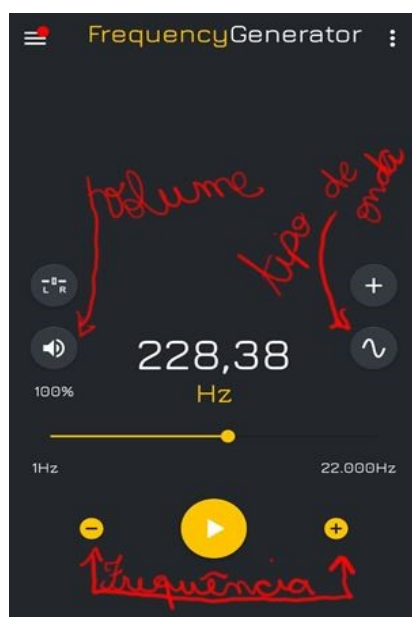
3.2. Recurso II: Gerador de Frequência – discutindo a diferença entre onda mecânica e eletromagnética.

Este recurso é um aplicativo disponível no *Play Store*, denominado *FrequencyGenerator*. A sugestão de uso é em grupos de alunos, de modo a facilitar o acesso, pois basta um dos alunos de cada grupo ter um aparelho celular que opere em *android* para baixar o aplicativo.

O tutorial de instalação e uso do aplicativo encontra-se em um vídeo com áudio disponível no link <https://youtu.be/-arPm60fj-Y>, o que facilita a utilização do mesmo, por todos que necessitem ou não de alguém para auxiliar.

O manuseio é simples, tem poucas funções e será utilizado para a prática somente as funções de frequência, volume e o tipo de onda a ser reproduzida na tela.

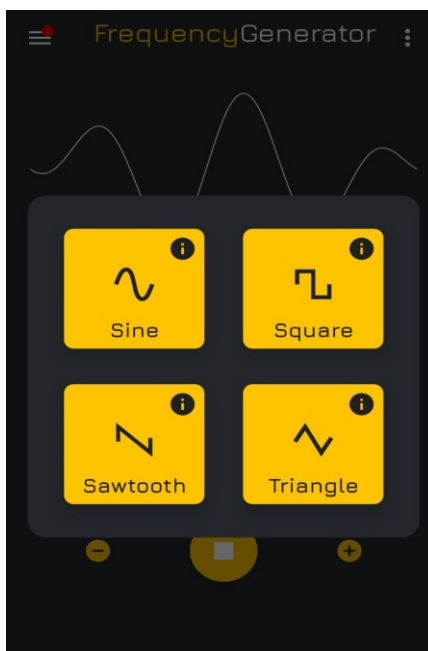
Figura 14: FrequencyGenerator



Fonte: Imagem próprio autor

Na opção tipo de onda, aparecem os formatos da figura, orienta-se utilizar o modelo *Sine*.

Figura 15: Tipos de onda possíveis de serem reproduzidos no aplicativo



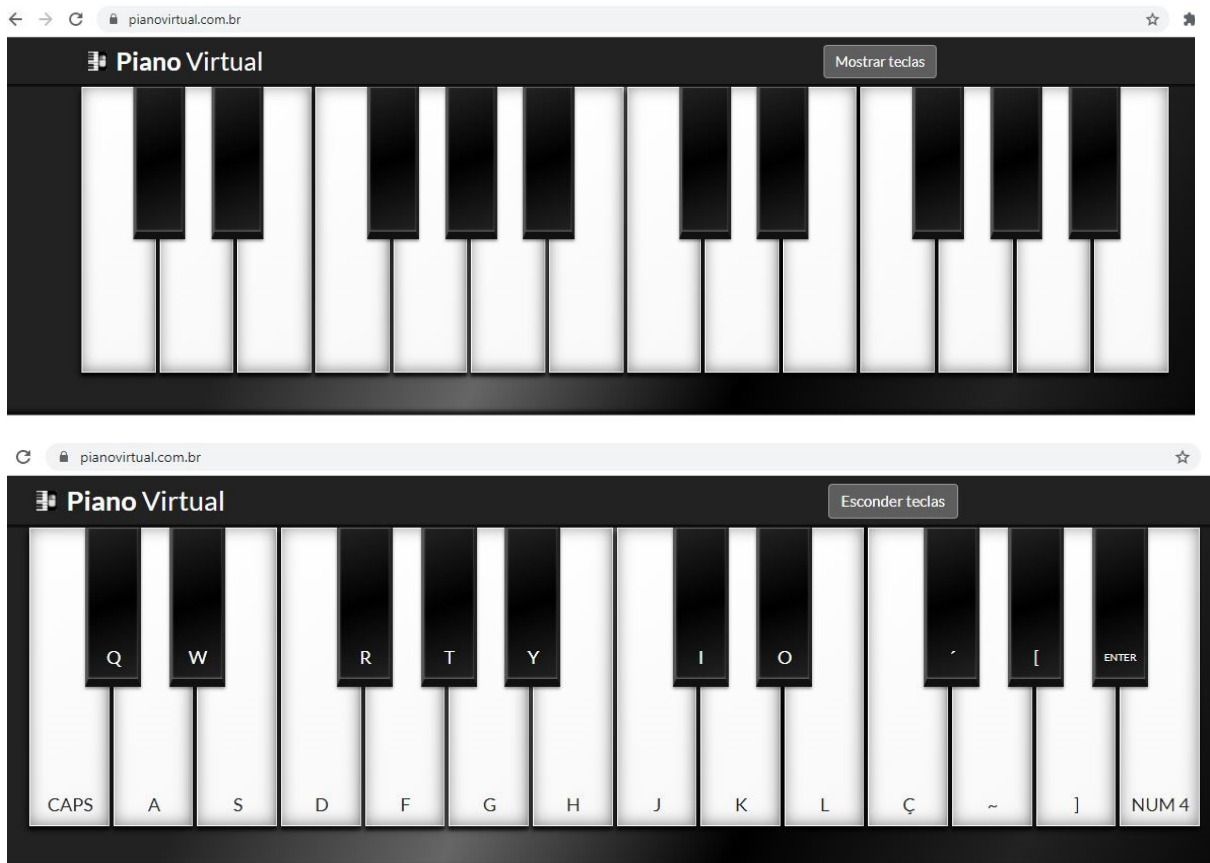
Fonte: Imagem próprio autor

3.3. Recurso III: Piano – relacionando sons e cores.

Este Recurso também é de fácil acesso, não tem nada a ser construído, necessita apenas de um piano de brinquedo (quem tem criança em casa, geralmente tem um), onde seja possível identificar as notas musicais (Dó, Ré, Mi, Fá, Sol, Lá, Si).

Caso tenha um instrumento profissional, o som sai de melhor qualidade, mas isso também pode ser utilizado através do computador, basta ter acesso a internet e digitar no Google – Piano Virtual, vão aparecer várias sugestões, das quais, a de mais fácil utilização é encontrado no site www.pianovirtual.com.br (figura 50)

Figura 16: Piano Virtual



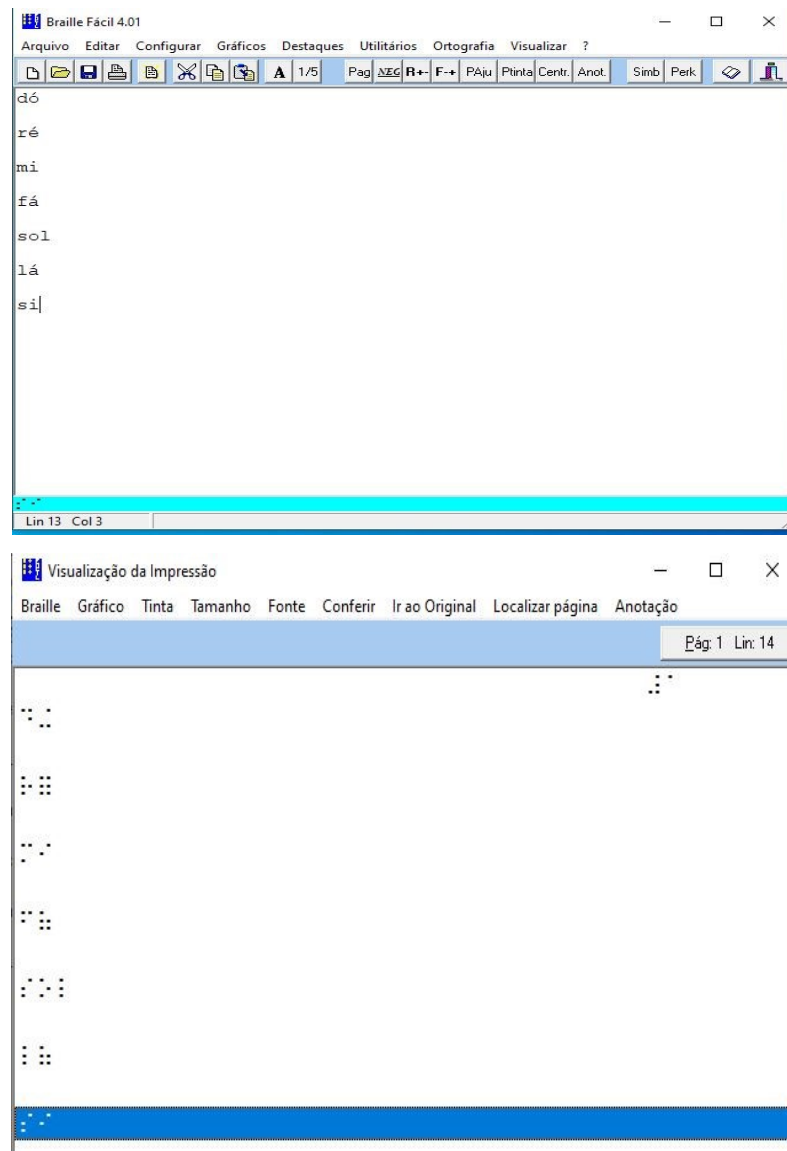
Fonte: Imagem próprio autor

Quando acessa o site aparece a primeira imagem, então deve-se clicar em mostrar teclas para fazer a relação entre as letras do teclado do computador com as notas musicais.

Para o objetivo proposto é necessário, somente a relação com as letras das teclas J, K, L, Ç, ~,), NUM4; que correspondem, nesta ordem às notas musicais Dó, Ré, Mi, Fá, Sol, Lá, Si.

Essas notas também podem ser transcritas em braile no papel *contact*, reglete e punção, utilizando o mesmo programa Braille Fácil para fazer o modelo a ser transcrito.

Figura 17: Braille Fácil - exemplo de transcrição



Fonte: Imagem próprio autor

3.4. Recurso IV: Maquete de representação de uma onda Eletromagnética

Este recurso é uma reprodução do fenômeno em 3D da onda eletromagnética, referenciado por Eder Pires de Camargo em seu livro Inclusão e necessidade educacional especial: compreendendo identidade e diferença por meio do ensino de física e da deficiência visual.

Para construir a maquete, foram utilizados os seguintes materiais:

- 1 chapa de MDF de 6mm de espessura e 58 x 18 cm de lados;
- 4 peças de acrílico de 3mm de espessura e 12 x 16 cm de lados;
- 4 peças de acrílico de 3mm de espessura e 12 x 8 cm de lados;
- 1 barra de PVC de 1 x 1 x 58 cm;
- 1,5 m de cordão na cor laranja (tipo cadarço);
- 1,0 m de cordão na cor verde (tipo cadarço);
- 1 folha de papel *Colorset* laranja;
- 1 folha de *Colorset* verde;
- Cola branca;
- Fita dupla face;
- Tinta spray automotiva cor preta;
- Esmalte incolor para unhas.

Para construção são necessárias as seguintes ferramentas: Serra de fita, serra circular, lixadeira, furadeira, brocas de 2,5mm e 3mm, serra, lima fina, régua, esquadro, estilete, pistola de cola quente.

Para a construção da maquete:

Faça esquemas num papel grosso (quatro meio período de oscilação para a onda elétrica, e quatro para a magnética, com comprimento de onda de 24 cm e amplitude 16 cm), cole sobre a placa de acrílico com fita dupla face. Corte as peças com uma serra fita e, em seguida, refine o corte utilizando uma lixadeira.

Antes de retirar o papel que serviu de molde, risque com estilete no acrílico, linhas paralelas, de modo que as marcas fiquem em alto relevo. Essas marcas representarão a direção e sentido de oscilação dos vetores associados aos campos elétrico e magnético.

Em cada face da barra de PVC de 1 x 1 x 58 cm, faça um rebaixamento de 3mm de largura. Eles devem ir de um extremo a outro das faces da barra. Para isso utiliza uma serra circular. A barra sustentará as peças de acrílico a serem encaixadas e coladas com esmalte incolor.

Nas canaletas, a cada 12 cm (comprimento de meio período de oscilação da onda), faça, com a broca de 3mm, um furo passante.

Para a construção da base de apoio, utilize uma chapa de MDF cru, de 6mm, de dimensões 58 x 18 cm e duas hastes de madeira de 18 cm, parafusadas na vertical.

Cole os cordões coloridos sobre as peças senoidais, os quais tem o objetivo de diferenciar, aos alunos videntes, ou baixa visão, as representações do campo elétrico e magnético da onda. Salienta-se que esse parâmetro é arbitrário, sendo necessário esclarecer aos alunos que a ideia de campo, na Física, não contém ideia de cor.

A etapa final consiste em pintar a base com tinta automotiva preta. Para isso primeiro passe cola branca sobre toda a superfície da madeira para evitar que esta absorva muita tinta.

Use cola quente para prender a representação dos campos aos suportes de madeira. Com papel grosso faça a representação do vetor que mostra a direção e o sentido da propagação da onda eletromagnética.

Recorte pequenas setas no papel Colorset para representar os vetores associados aos campos elétrico e magnético. Essas setas devem ser coladas com esmalte incolor nos riscos paralelos das peças de acrílico.

Variações: O eixo de sustentação pode ser feito em madeira e as representações de onda eletromagnética de acrílico pode ser substituída por papel grosso (papel Paraná 3mm) ou madeirite flexível. As linhas paralelas de representação de direção e sentido de oscilação dos vetores associados aos campos elétrico e magnético pode ser feita utilizando fios de luz e as setas substituídas por pequenas lâmpadas, fazendo uma montagem de circuito elétrico onde o aluno, além de tatear a tridimensionalidade da onda, poderá sentir o calor emitido pela onda luminosa em todas as direções (Figura 18, Figura 19)

Figura 18: Maquete de representação de uma onda Eletromagnética



Fonte: Imagem próprio autor

Figura 19: Maquete de representação de uma onda Eletromagnética



Fonte: Imagem próprio autor

3.5. Recurso V – OPCIONAL: Uso do Arduino para o ensino de Vetor de Poynting – densidade de fluxo de energia

Como o nome sugere, o recurso é um projeto de arduino, cujo código e modelo segue abaixo:

Materiais:

1 Placa de arduino (qualquer uma funciona, a leonardo, uno e etc);

7 Jumpers para fazer as conexões;
1 Sensor de luminosidade LDR;
Buzzer (tem dentro de computadores);
Resistor 10kOhm.

Código para funcionar o arduíno:

// Projeto de intensidade de Luz usando Arduíno

//Sensor de luz com LDR

Quadro 1: Código para Programação do Arduíno

```
int ledPin = 7; //Buzzer no pino 7
int ldrPin = 0; //LDR no pino analógico 0
int ldrValor = 0; //Valor lido do LDR

void setup() {
    pinMode(BuzzerPin,OUTPUT); //define a porta 7 como saída
}

void loop() {
    //ler o valor do LDR
    ldrValor = analogRead(ldrPin); //O valor lido será entre 0 e 1023

    //se o valor lido estiver entre 0 e 300, frequencia do bip é máxima
    if (ldrValor >= 0 && ldrValor <= 300){
        tone(buzzer,1500);
        delay(250);
    }
}
```

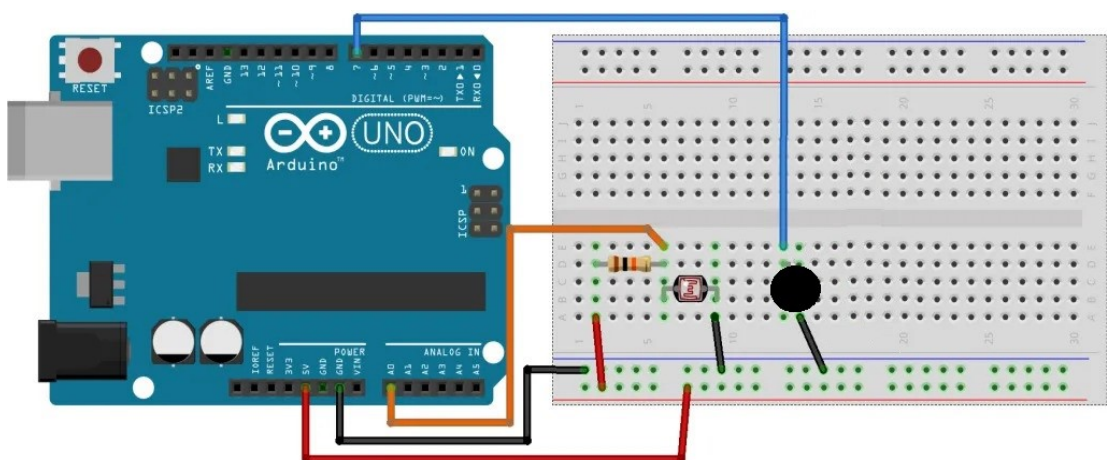
(continua)

(continuação)

```
//se o valor lido estiver 300 e 700, frequencia do bip é média
else if (ldrValor> 300 && ldrValor <= 700)) {
    tone(buzzer,1500);
    delay(500);
}
//se o valor lido estiver 700 e 1000 frequencia do bip é média
else if (ldrValor> 700 && ldrValor <= 1000)) {
    tone(buzzer,1500);
    delay(1000);
}
delay(100);
}
```

Fonte: Elaborada pela autora, 2020

Figura 20: Uso do Arduino para o ensino de Vetor de Poynting – densidade de fluxo de energia - Montagem



Fonte: Imagem do próprio autor utilizando o software *Fritzing*

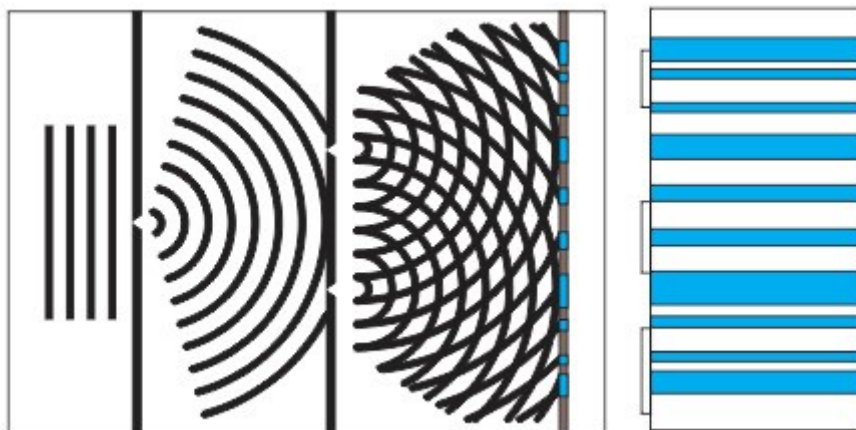
3.6. Recurso VI – Fenômeno de Interferência: Recurso Tátil - Visual para compreender o experimento de Thomas Young

Este recurso é uma representação, como o nome sugere, do fenômeno de Interferência da Luz, baseado na imagem proposta na página 82 do livro de Halliday (2009).

A partir da imagem do livro, no programa denominado *Inkscape*- um software profissional de edição e criação de imagens vetoriais. Ele é uma alternativa livre e gratuita ao *Adobe Illustrator* e ao *CorelDraw*. Para posterior impressão, em baixo relevo, numa impressora 3D a Lazer.

O projeto da referida representação , é demonstrada na Figura 21 :

Figura 21 - Representação do Fenômeno de Interferência da Luz

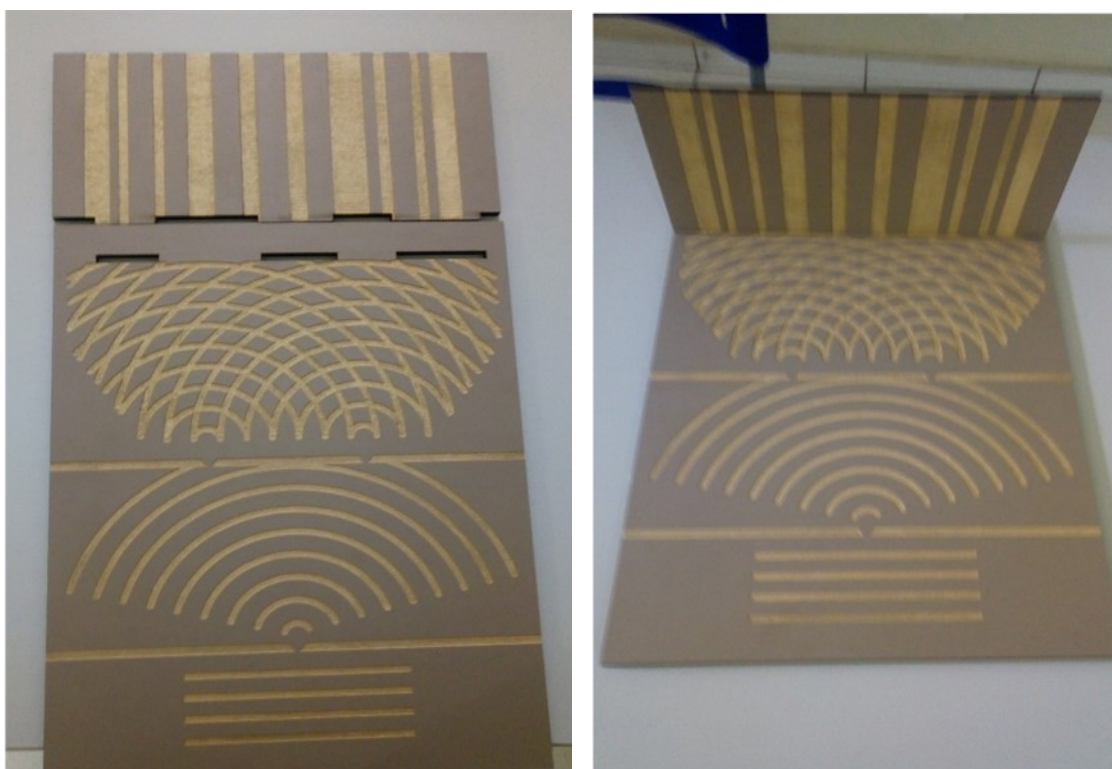


Fonte: Elaborado pelo autor, 2020

Para ser feito em duas peças, sendo possível demonstrar aos alunos a imagem formada no anteparo, ou seja, os máximos e os mínimos da interferência.

A impressão pode ser feita em acrílico ou MDF (opção com melhor custo benefício). E fica conforme Figura 22:

Figura 22 - Representação de Interferência na Onda - Impressa



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020

Uma sugestão que onera menos o professor é reproduzir em papel com barbante:

Figura 23 - Representação da Interferência na Onda em Barbante



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Produto Educacional aqui apresentado, se constitui em uma ferramenta didática que busca oportunizar a inclusão educacional nas aulas de Física, mais especificamente, no que tange aos conteúdos da Natureza Ondulatória da Luz.

Os recursos didáticos propostos podem ser construídos e replicados sem a necessidade de conhecimentos avançados, auxiliam o docente no ensino do conteúdo pretendido, à medida que também contribuem para a concretização de uma aprendizagem significativa, tanto para alunos videntes quanto para alunos deficientes visuais.

A Proposta Didático Pedagógica aqui sugerida, pode servir de apoio ao professor que realmente vislumbre esse tipo de aprendizagem, mas isso não significa que a mesma, deva obrigatoriamente, ser seguida e aplicada na íntegra. As atividades propostas podem ser utilizadas de forma independente, de acordo com o conteúdo trabalhado pelo professor nas aulas de Física, sendo recursos úteis para o ensino da Ondulatória, assim como para o ensino da Natureza Ondulatória da Luz.

Importante salientar que os mesmos recursos podem ser utilizados para uma sala de aula onde não tenha, necessariamente, um aluno deficiente visual incluso, ou seja, é possível que o professor aguçe nos alunos a utilização de diferentes sentidos, não exclusivamente a visão, para compreender diferentes conceitos relacionados à Física.

As ações didáticas como as propostas no texto de apoio ao professor, refletem uma aprendizagem significativa, permitindo a todo e qualquer aprendiz fazer uso dos mais diversos sentidos, e ainda utilizando da intervenção pedagógica do professor e dos colegas, com diferentes contextos e representações (jogos, sons, atividades em grupos, palavras...). Ou seja, a Aprendizagem Significativa de Ausubel e o Interacionismo de Vygotski, aliados à Didática Multissensorial podem dar conta de garantir o processo de aprendizagem dos alunos deficientes visuais inclusos numa sala de aula de ensino regular. Cabe oferecer a todos os educandos as mesmas oportunidades e exigências.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

5.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA EM ENSINO-APRENDIZAGEM

AUSUBEL, D. P. **Aquisição e retenção de conhecimentos: Uma perspectiva cognitiva**. 1.^a edição. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 2003

CAMARGO, E. P. Inclusão e Necessidade Educacional Especial. Compreendendo Identidade e Diferença. In: CAMARGO, E. P. de. (Org.). **Inclusão e necessidade especial: compreendendo identidade e diferença por meio de física e da deficiência visual**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2016.

COSTA, D. A. F. Superando limites: a contribuição de Vygotsky para a educação especial. **Rev. psicopedag.**, São Paulo, v. 23, n. 72, p. 232-240, 2006. Disponível em http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84862006000300007&lng=pt&nrm=iso

LAPLANE, A. L. F.; BATISTA, C. G. Ver, Não Ver E Aprender: A Participação De Crianças Com Baixa Visão E Cegueira Na Escola. **Cad. Cedes**, Campinas, vol. 28, n. 75, p. 209-227, maio/ago. 2008 Disponível em <http://www.cedes.unicamp.br> Acesso em 01 de junho de 2020

LA TAILLE, Y.; OLIVEIRA, M. K. de; DANTAS, H. **Piaget, Vigotski, Wallon: Teorias psicogenéticas em discussão**. São Paulo: Summus Editorial, 2019

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa: a Teoria e Textos Complementares**. 1^a Edição. São Paulo: Livraria da Física, 2011

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa, Organizadores Prévios, Mapas Conceituais, Diagramas e Unidades De Ensino Potencialmente Significativas**. Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 2012

MOREIRA, M. A.; MASSONI, N. T. **Interfaces Entre Teorias De Aprendizagem E Ensino De Ciências/Física**. Porto Alegre: UFRGS, 2015. Disponível em <https://www.if.ufrgs.br/public/tapf/tapf_v26_n6.pdf> Acesso em 22 de setembro de 2018

MOREIRA, M. A. Aprendizagem Significativa: Um Conceito Subjacente (Meaningful learning: an underlying concept). **Aprendizagem Significativa em Revista/Meaningful Learning Review** – V1(3), pp. 25-46, 2011. Disponível em: <https://lief.if.ufrgs.br/pub/cref/pe_Goulart/Material_de_Apoio/Referencial%20Teorico%20-%20Artigos/Aprendizagem%20Significativa.pdf> Acesso em 22 de setembro de 2018

MOREIRA, M. A. **Subsídios Teóricos para o Professor Pesquisador em Ensino de Ciências: A teoria da Aprendizagem Significativa**. 2ª Edição. Porto Alegre: UFRGS, 2016. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/~moreira/Subsidos6.pdf>> Acesso em 15 de setembro de 2018

OLIVEIRA M. K. de . **Vygotsky: aprendizado e desenvolvimento: Um processo sócio-histórico**. 4ª Edição. São Paulo: Scipione, 2005

5.2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA EM ENSINO-APRENDIZAGEM

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física**. 8. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, c2009 vol 4; p. 82

HELWITT, P. G. **Física conceitual** (recurso eletrônico) / Paul G. Hewitt ; tradução: Trieste Freire Ricci ; revisão técnica: Maria Helena Gravina. – 12. ed. – Porto Alegre : Bookman, 2015. p. 363

NUNSENZVEIG, H. M.. **Curso de Física Básica**, Volume 2 – Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor. 4ª edição , São Paulo: Editora Blucher, 2010

APÊNDICE A: Texto: Luz – Onda Eletromagnética

LUZ : ONDA ELETROMAGNÉTICA

“Luz, com a qual enxergamos, é apenas uma pequena parte do vasto espectro de um mesmo tipo de coisa, as várias partes deste espectro sendo distinguidas pelos diferentes valores de uma mesma grandeza, a qual varia. Esta grandeza variável poderia ser chamada de comprimento de onda. Conforme esta varia na faixa do espectro do visível, a luz aparentemente muda de cor do vermelho para o violeta” (Feynman, 2008, p. 270)

Compreender a natureza da luz sempre foi um objetivo da Física. A luz é um fenômeno complexo que apresenta muitas oportunidades de aplicações e a interferência ótica ou interferência de ondas luminosas é uma destas oportunidades, pois explica vários fenômenos da natureza, dentre eles a percepção das diferentes cores, daí a necessidade de ir além do estudo da ótica geométrica. (Halliday, 2009, vol.4)

A natureza da Luz foi estudada e explicada por diferentes concepções ao longo da história, mas houve por um bom tempo a predominância da teoria corpuscular da luz, defendida veementemente por Isaac Newton. No final do século XVIII, no entanto, os modelos mecânicos da ótica newtoniana não deram conta de explicar vários fenômenos relacionados com a luz, o que abriu possibilidades para retomarem a teoria da luz como onda, até então defendida por Christian Huygens (primeiro físico a apresentar uma teoria ondulatória convincente para a luz, em 1678) mas com pouca aceitação e com a necessidade de algumas correções, porém teve a vantagem de explicar as leis da reflexão e refração em termos de ondas. Foi então que, no início do século XIX grandes obras baseadas na concepção de ondas impulsionaram o desenvolvimento da teoria ondulatória da luz e foram ganhando espaço, à medida que conseguiam explicar com mais clareza, dando detalhes quantitativos e qualitativos a fenômenos como a interferência, difração e polarização da luz,

entre outros importantes fenômenos ópticos. (Martins e Silva, 2019. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol.41; Hewitt, 2015)

A liderança dos estudos sobre a nova teoria ondulatória da luz se deu por Thomas Young (1773-1820) e Augustin Fresnel (1788-1827), através de pesquisas sobre difração e interferência.

Maxwell (1831-1879), deu forma à teoria moderna do Eletromagnetismo, unificando a eletricidade, o magnetismo e a óptica, apresentando uma teoria eletromagnética para a luz, ou seja comprovou que a luz é uma propagação de ondas elétricas e magnéticas, através de comprovações algébricas.

4.1- O EXPERIMENTO DE THOMAS YOUNG

Thomas Young, físico, médico e egiptólogo britânico, desenvolveu um experimento de interferência que ficou conhecido como experimento da fenda dupla ou experimento de Young, provando que a luz é uma onda, através da demonstração de que a luz, assim como outras ondas (ondas sonoras, onda do mar) sofre interferência. No entanto, somente a partir de 1830, um século após a morte de Newton, que a teoria ganhou aceitabilidade entre vários estudiosos da época. (Martins e Silva, 2019; Halliday, 2009).

Martins e Silva, realizaram um estudo aprofundado sobre os mais diversos trabalhos, nacionais e internacionais de Thomas Young, dentre eles algumas transcrições de suas teorias e apresentam em sua publicação de 2019, na Revista Brasileira de Ensino de Física, as repercussões dos trabalhos de Thomas Young, explicando, inclusive, que os estudos sobre a teoria ondulatória da luz e os fenômenos de interferência levaram em média sete anos para serem concluídos e que, nenhuma contribuição algébrica veio de seus estudos. Apontam que Young fez vários estudos relacionando a luz com o som, para provar a natureza ondulatória da luz, e que suas primeiras pesquisas buscaram explorar os temas de acomodação visual e acústica, servindo de introdução ao seu trabalho de óptica física.

De acordo ainda com Martins e Silva, 2019, um dos argumentos utilizados por Young, baseou-se no fato de que a luz devia mover-se mais devagar num meio mais denso, revendo assim a teoria da refração que não podia ser explicada pela teoria corpuscular. Tentava fundamentar essa ideia, assim como

outras argumentações acerca da natureza ondulatória da luz, não só a partir de experimentos, mas também por meio da analogia com o som.

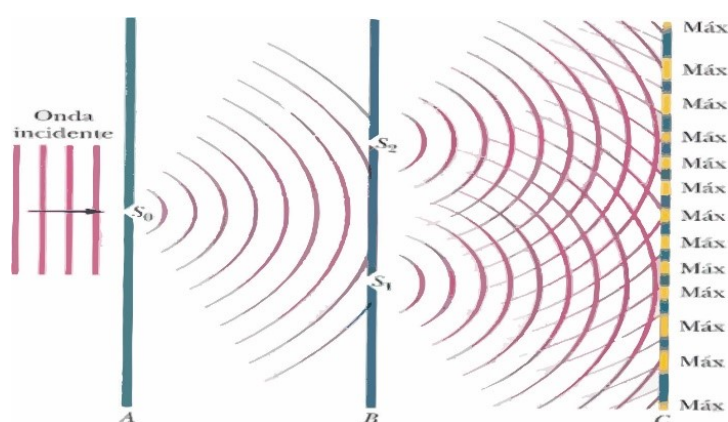
De acordo com Halliday (2009) e Martins e Silva (2019), Young desenvolveu um experimento que buscou a comprovação do princípio da interferência, o qual foi publicado na *Philosophical Transactions*, em 1804 com o título “*Experiments and Calculations Relative to Physical Optics*”, onde ele afirma que realizou experimentos sobre franjas coloridas e que encontrou provas de que estas franjas são produzidas por duas porções de luz, de acordo com a transcrição dos documentos, na leitura de Martins e Silva, Young descreveu assim o experimento:

Eu fiz um pequeno orifício na persiana da janela, e cobri este com um pedaço de papel grosso, que eu perfurei com uma agulha fina. Para maior comodidade de observação, eu coloquei um pequeno espelho sem a persiana da janela, em tal posição de modo a refletir a luz do Sol, na direção aproximadamente horizontal, na parede oposta, e para fazer o cone de luz divergente passar por cima da mesa, onde havia várias telas pequenas de papel cartão. Eu trouxe para o raio do Sol um cartão deslizante, de aproximadamente um trigésimo de uma polegada de largura, e observei sua sombra, seja na parede, ou nos outros cartões mantidos a diferentes distâncias. Além das franjas coloridas em cada lado da sombra, a própria sombra era dividida por franjas paralelas similares, de dimensões menores, diferindo em número, conforme a distância que a franja era observada, mas deixando o meio da sombra sempre branco. Desta maneira, essas franjas eram os efeitos comuns das porções de luz passando em cada lado do cartão deslizante; infletidas, ou melhor difratadas, na sombra. Pois, uma pequena tela sendo colocada a poucas polegadas do cartão, de modo a receber qualquer uma das bordas da sombra na sua margem, todas as franjas que tinham antes sido observadas na sombra na parede imediatamente desapareceram, embora a luz infletida no outro lado pudesse manter seu curso (2019, p.5)

Na interpretação de Halliday (2009), Thomas Young provou que a luz é uma onda em seu experimento de interferência. O experimento é descrito de modo que uma luz monocromática (onda incidente), incide numa fenda feita em um anteparo e é difratada. Quando esta onda incidente atravessa o anteparo, emite frentes de onda semicirculares que, ao atravessarem um segundo

anteparo e acaba sendo difratada novamente por outras duas fendas separadas por uma certa distância, e se comportam como duas fontes luminosas pontuais, essas ondas luminosas que deixam as fendas se combinam e sofrem interferência, formando um padrão de interferência composto de máximos e mínimos em uma tela de observação que é usada para interceptar a luz, esses máximos e mínimos também são chamados de franjas claras que são aquelas listras iluminadas que são observadas nas famosas fotos de figura de interferência, e as listras sem iluminação (onde as ondas se cancelam), denominadas franjas escuras, que no conjunto formam a figura de interferência.

Figura 24 - Experimento de Young



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020

Em outra interpretação, pode-se dizer que através deste experimento, Young descobriu que a luz que incide e atravessa dois furos de alfinete muito próximos, produz franjas claras e escuras sobre uma tela colocada atrás deles. As franjas brilhantes ou claras, se formam quando a crista de uma onda luminosa que veio de um dos furos se superpõe simultaneamente, na tela, à crista de uma onda luminosa que veio do outro furo. As franjas escuras se formam quando a crista de uma onda que veio de um dos furos se superpõe simultaneamente, na tela, ao vale de uma onda luminosa que veio do outro furo. (Hewitt, 2015, p.550)

Ainda de acordo com as interpretações de Martins e Silva (2019), Young desenvolveu estudos e experimentos para mostrar que a Lei da Interferência concordava com diversos fenômenos, como a formação de franjas de difração, arco íris entre outros.

Entre os principais aspectos dos trabalhos de Young, podemos concluir que ele: 1) recorre sempre a analogias para explicar os fenômenos luminosos,

como a analogia com fluidos, corpos elásticos e, principalmente, a analogia com o som; 2) defende a realização de experimentos para corroborar as conjecturas feitas acerca dos fenômenos luminosos; 3) não se utiliza de formulações algébricas, mas utiliza raciocínios geométricos; 4) cita o nome de outros estudiosos, a exemplo de Huygens, Newton e Euler. (Martins e Silva, 2019, p.5)

Assim Young comprovou experimentalmente que a luz é uma onda, pois além de apresentar características de onda, explica fenômenos luminosos que somente a teoria ondulatória pode explicar, pois são incompatíveis a teoria corpuscular e, de acordo com Halliday (2009), ele conseguiu medir o comprimento de onda médio da luz solar de 570 nm, muito próximo do valor aceito nos dias de hoje, de 555 nm.

4.2- DIFRAÇÃO E INTERFERÊNCIA - UMA PROVA DE QUE A LUZ É UM FENÔMENO ONDULATÓRIO

Nos experimentos de Young fala-se em luz sendo difratada, e que após esta difração elas sofrem interferência, mas o que são estes fenômenos?

Halliday (2009) explica a difração de uma onda, como sendo um fenômeno que ocorre com todos os tipos de onda, inclusive as ondas luminosas, ele apresenta o seguinte conceito: **“quando uma onda encontra um obstáculo que possui uma abertura de dimensões comparáveis ao comprimento de onda, a parte da onda que passa pela abertura se alarga (é difratada) na região que fica do outro lado do obstáculo”** (p. 81, vol.4). Huygens já citava esse alargamento em sua teoria, ao explicar a propagação de uma onda plana no vácuo e seu princípio dizia o seguinte: **“Cada ponto de uma frente de onda qualquer pode ser considerado como uma fonte de pequenas ondas secundárias, que dali se espalham divergindo em todas as direções com um mesmo valor de velocidade de propagação.”** (Helwitt, 2015, p. 545).

O Princípio de Huygens pode ser melhor explicado ou visualizado quando se faz com que ondas planas incidam por aberturas de diferentes tamanhos em uma cuba com água, quanto mais larga a abertura, a onda atravessa sem sofrer alterações, mas se a abertura vai sendo diminuída, de modo que seja pequena em relação ao comprimento de onda da onda incidente, se vê a validação do Princípio de Huygens, em que cada parte da onda pode ser uma fonte para

novas ondulações. **“Quando as ondas incidem sobre uma abertura estreita, é fácil notar que a água que se movimenta para cima e para baixo na abertura, atua como uma fonte pontual de novas ondas... dizemos que as ondas foram difratadas.” (Helwitt, 2015, p. 547).**

Nunssenzveig (2010), também trata a difração como sendo um desvio da propagação retilínea da luz, também relacionado à deflexão de raios luminosos, a qual pode ser aplicada tanto à passagem através de uma abertura como ao espalhamento por um obstáculo. E que o grau de difração depende do comprimento de onda da luz em relação ao tamanho da abertura que projeta a sombra, de modo que quanto maior o comprimento de onda, maior a difração.

Um exemplo disso é explicado por Hewitt (2015), ele afirma que os microscopistas utilizam luz azul, ao invés de luz branca, para iluminar os objetos observados com o microscópio, pois com menor comprimento de onda é possível observar melhor os detalhes, pois a difração ocorre em menor grau relacionada a luz branca, da mesma forma que os golfinhos investigam sua vizinhança com ecos de pequenos comprimentos de onda – os ultrassons.

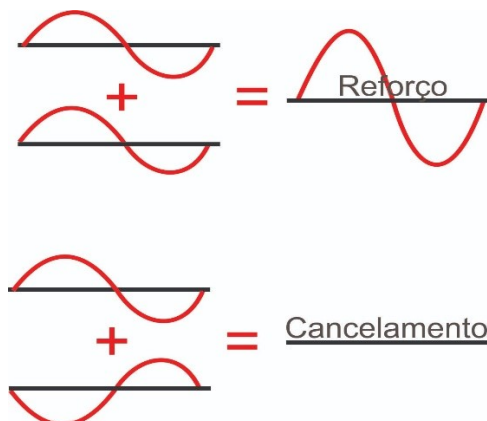
Já o arco-íris que pode ser observado na natureza, é explicado pelo fenômeno da interferência luminosa, e portanto, mais uma prova de que a luz é uma onda. Halliday, faz a seguinte explicação para o fenômeno do arco-íris:

As ondas luminosas penetram em toda a superfície da gota que está voltada para o Sol. Não vamos discutir os detalhes da trajetória dessas ondas, mas é fácil compreender que diferentes partes da onda incidente descrevem trajetórias diferentes no interior da gota. Isso significa que as ondas saem da gota em fases diferentes. Assim, para alguns ângulos de saída a luz está em fase e acontece uma interferência construtiva. O arco íris é o resultado dessa interferência construtiva. (2009, p.80, vol.4)

A interferência é característica de todo movimento ondulatório, podendo ser construtiva ou destrutiva, dependendo de como o deslocamento entre duas ou mais ondas, se superpõe: a interferência é construtiva quando a crista de uma onda se superpõe a crista de outra onda e seus efeitos individuais se somam resultando numa onda com maior amplitude, ou seja duas ondas em fase, como é o caso da percepção do vermelho do arco-íris, que é visualizado

pois as ondas de luz vermelha do arco-íris saem em fase das gotas de chuva na direção que o observador percebe esta parte do arco-íris; já a interferência destrutiva ocorre quando a crista de uma onda se superpõe ao vale de outra e seus efeitos são reduzidos pois estão fora de fase uma em relação à outra. (Halliday, 2009; Hewitt, 2015).

Figura 25 - Superposição de ondas – interferência construtiva e destrutiva



Fonte: elaborada pela autora (2020)

Thomas Young foi o primeiro a chamar atenção para o efeito da interferência e Nunssenzveig (2010) relata o exemplo dado por ele, de dois conjuntos de ondas na água que chegam juntos a um canal estreito:

Se entrarem no canal de tal forma que as elevações de um coincidem com as do outro, produzirão como resultado, elevações maiores; mas se as elevações de um coincidem com as depressões de outro, preencherão exatamente essas depressões, e a superfície da água permanecerá em repouso. Afirimo agora que resultados semelhantes ocorrem quando duas porções de luz se juntam, e é o que chamo de lei geral da interferência da luz. (p. 51, vol. 4)

“Os fenômenos de difração, como os de inferência, aos quais estão estreitamente ligados, são característicos de uma teoria ondulatória” (Nunssenzveig 2010)

APÊNDICE B: PRÉ TESTE E PÓS TESTE

- 1- O que é uma onda? Você pode responder citando exemplos.
- 2- Tente explicar como uma onda se propaga, ou seja, como ela chega de um ponto a outro?
- 3- O que é a luz para você?
- 4- Assinale a alternativa que apresenta as componentes de uma onda:
 - a) velocidade, aceleração, força e movimento
 - b) comprimento, frequência, período e energia
 - c) amplitude, período, frequência e velocidade
 - d) força, energia, elasticidade e velocidade
- 5- Onda transporta: () matéria () energia
- 6- Quanto a natureza das ondas, elas são classificadas em ondas mecânicas, eletromagnéticas e ondas de matéria. Sobre essa classificação, é possível afirmar:
 - a- Ondas mecânicas, eletromagnéticas e de matéria não apresentam diferenças significativas quanto a sua propagação em diferentes meios.
 - b- Ondas mecânicas transportam matéria e ondas eletromagnéticas transportam energia.
 - c- As ondas mecânicas se propagam apenas em meios materiais e as ondas eletromagnéticas não precisam de um meio material para se propagar.
 - d- Todas as ondas, independente de sua classificação, se propagam com a mesma velocidade da luz no vácuo que é de aproximadamente 300.000.000 m/s.
- 7- Nas alternativas abaixo, assinale a opção que melhor define o conceito de natureza da luz:
 - a- Luz pode ser onda e partícula pois todos os fenômenos luminosos são explicados por ambas as teorias.
 - b- Luz é uma onda eletromagnética que se propaga, no vácuo, com velocidade de aproximadamente 300.000.000 m/s.

- c- Fenômenos ondulatórios como difração e interferência da Luz também são explicados pela teoria corpuscular, admitindo assim que a luz é uma partícula.
 - d- Considerando os conceitos estudados na óptica geométrica não é possível admitir que luz seja uma onda eletromagnética.
- 8- Tente imaginar como ocorre a comunicação via telefone com fio (fixo) e via smartphone. De acordo com seus conhecimentos, assinale a alternativa que melhor explique sobre o princípio de funcionamento destes aparelhos de telecomunicação:
- a- Todos os tipos de telefone, sejam eles fixos ou móveis, com fio ou sem fio, funcionam com o mesmo princípio de transmissão via ondas de rádio que são ondas mecânicas.
 - b- O telefone com fio usa ondas mecânicas para funcionar enquanto outros meios de comunicação, como o rádio, a TV ou celular, usam as ondas de natureza eletromagnética, pois sofrem menos atenuação.
 - c- O telefone fixo sem fio e o celular tem o mesmo princípio de funcionamento que é através da transmissão via ondas mecânicas enquanto os fixos com fio a transmissão se dá por ondas eletromagnéticas.
 - d- Todos funcionam através de pulsos elétricos que são transmitidos através de fios visíveis ou por ondas de rádio, tv ou raios infravermelhos.
- 9- A luz do sol pode ser percebida ou sentida através de diferentes sentidos. Explique como você sente a luz do sol, como ela chega até nós? Percebe diferença na sua intensidade de acordo com o horário do dia ou o local que você está?