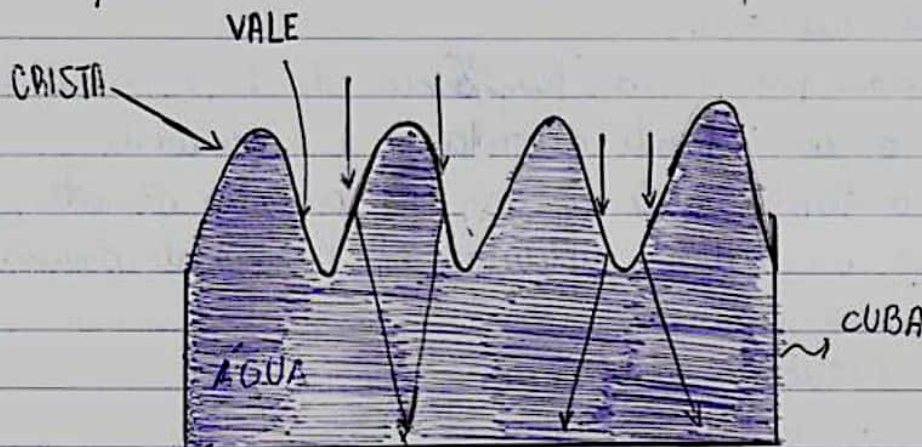


Experimento 5: Cula de Ondas

Introdução

As ondas possuem algumas propriedades como **reflexão**, **refração**, **interferência** e **difração**: estas por sua vez podem ser observadas através da formação de ondas em uma cula de água, onde as ondas se movem na superfície e utilizando luz e um fundo transparente na cula de água, torna-se possível projetar imagens das ondas em um anteparo. Esse fenômeno ocorre pois a parte superior das ondas, denominada crista, funcionam como uma lente convergente focalizando a luz. Já a parte inferior, denominada vale, atua como uma lente divergente dispersando a luz, e no anteparo as cristas aparecem como faixas brilhantes e os vales como faixas escuras, e a distância entre os dois vales ou duas cristas é o comprimento de onda λ .



Neste experimento, o objetivo será estudar os 4 fenômenos de ondas citados anteriormente.

Mitoseleja

Lista de material:

- Estroboscópio
- Cula com água
- sistema de suporte para cula
- paquímetro
- régua ($\pm 0,005$ m)
- anteparo branco para folha A4
- vibrador com medidor de frequência ($\pm 1\%$)
- objeto de acrílico
- trena

Procedimento Experimental

- ~> Colocar água na cula até uma altura de 0,5 cm a 0,75 cm
- ~> Variar lentamente a frequência do motor do vibrador
- ~> Desligar o motor e colocar uma lâmina de acrílico transparente no fundo da cula até formar uma imagem no anteparo

a) Experimento de Reflexão

- Produzir ondas planas nas frequências de 10, 20 e 30 Hz
- Determinar o comprimento de onda λ e a velocidade
- Inserir um anteparo retilíneo com três ângulos diferentes.

Analise as ondas incidentes e refletidas em função do ângulo para uma frequência fixa

- Inserir um obstáculo curvilíneo

b) Experimento de Refração

- Produzir ondas planas com a placa de acrílico inserida
- Obter e analisar o espectro resultante para as mesmas duas inclinações diferentes e duas frequências

c) Experimento de Interferência

- Utilizar fonte pontual para 10, 20 e 30 Hz. Analisar obtendo o comprimento de onda e velocidade de propagação

~º Utilizar duas fontes pontuais puras ao quador distando 5 cm com frequências de 10, 20 e 30 Hz.

~º Repetir o procedimento para distâncias de 7,5 e 10 cm

d) Experimento de difração:

~º utilizar um quador de ondas planas com frequência de 10, 20 e 30 Hz. Colocar um obstáculo reto com fenda e estudar a figura resultante em função da abertura da fenda

~º Colocar um obstáculo reto com duas fendas em paralelo e estudar o fenômeno observado.

Resultados e Análise

1) Reflexão

na primeira parte foi analisado a reflexão exercida pelas ondas com uma variação na frequência, onde obtive-se diferentes comprimentos de onda λ . Na segunda parte foi analisado a reflexão com uma frequência fixa e variação do ângulo no anteparo, onde obtive-se os seguintes resultados

Tabela 1 - Frequência e λ projetado na folha A4

Frequência (Hz)	λ (m)
10	0,0431
20	0,0227
30	0,018

As velocidades foram calculadas pela equação (2)

$$v = \lambda \cdot f$$

Encontrou-se as seguintes valores:

$$V \text{ para } f = 20 \text{ Hz} \Rightarrow 0,431 \text{ m/s}$$

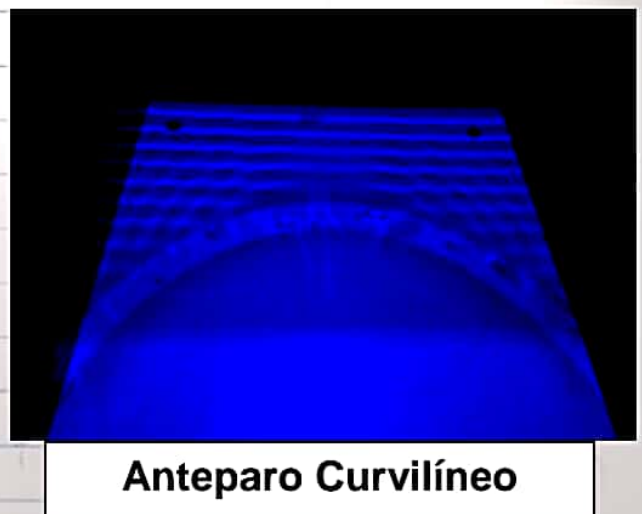
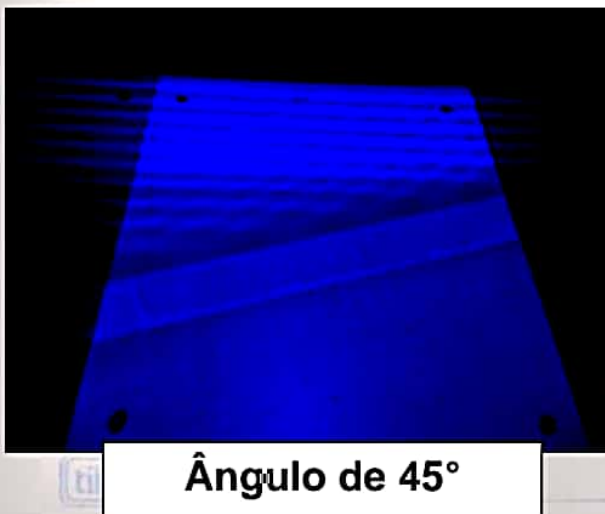
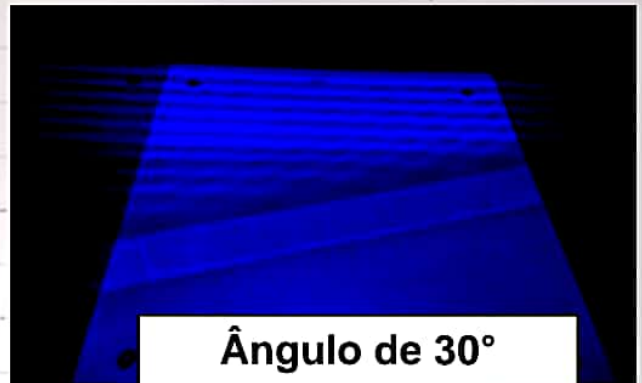
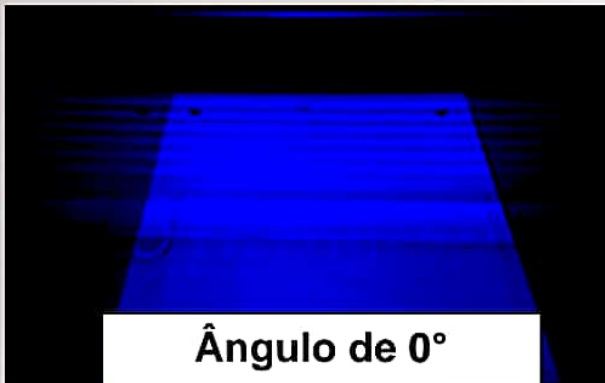
$$V \text{ para } f = 20 \text{ Hz} \Rightarrow 0,454 \text{ m/s}$$

$$V \text{ para } f = 30 \text{ Hz} \Rightarrow 0,540 \text{ m/s}$$

Extraindo o valor médio, obtive-se:

$$\bar{V} = 0,475 \text{ m/s}$$

As imagens abaixo foram registradas na 2ª parte, com
frequência fixa de 30 Hz



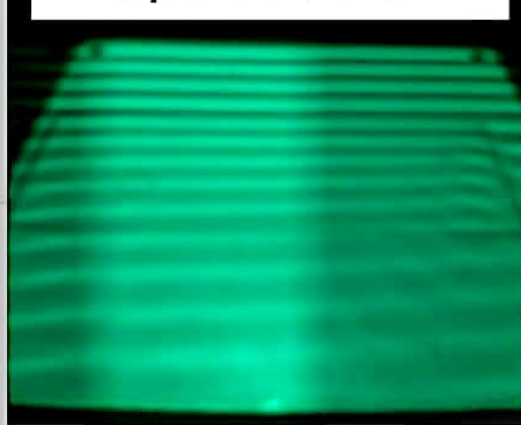
Nesta 1ª etapa podemos observar que conforme a frequência aumenta, o comprimento de onda λ diminui, o que condiz com a equação (2) utilizada.

Na 2ª etapa (imagem), observamos que conforme o ângulo de incidência aumenta, há a formação de raias destrutivas, podendo ser observadas próximas do anteparo. No anteparo curvilíneo, por conta dos diferentes graus de incidência em toda a sua extensão, a interferência formada é menor.

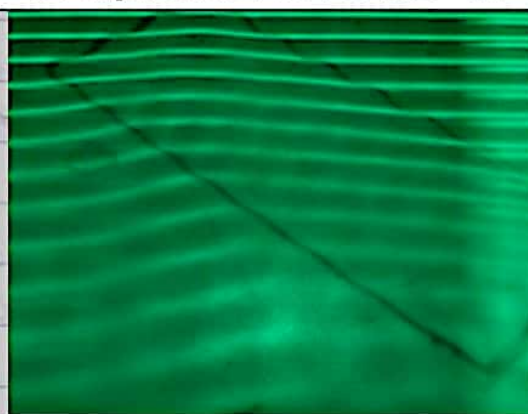
i) Reflexão

Nesta parte, observou-se o comportamento das ondas em uma mudança de meio, com duas frequências diferentes com um ângulo de incidência $\theta = 45^\circ$.

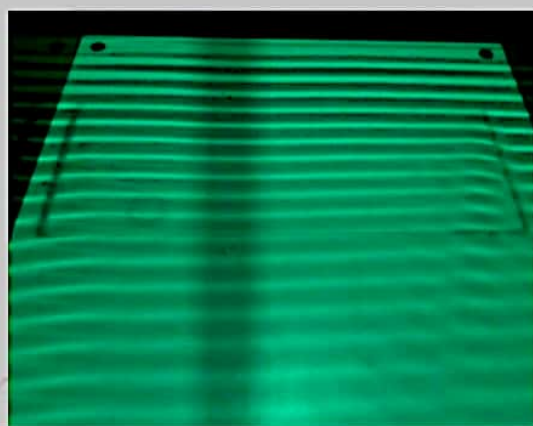
Frequência de 20 Hz



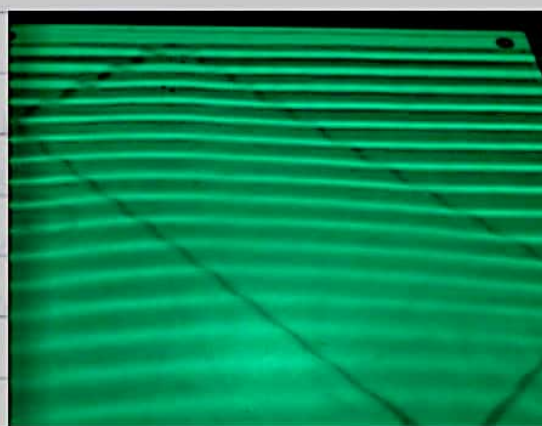
Frequência de 20 Hz- 45°



Frequência de 30 Hz



Frequência de 30 Hz- 45°



Podemos observar que quando a placa de acrílico está em um ângulo de 90° , a refração no comprimento de onda e no ângulo de refração é quase nula, tal fato se prova através da equação (1)

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \quad (1)$$

Como o ângulo de incidência é 90° , o seno será 1, obtendo a expressão:

$$\frac{\lambda_2}{\sin r} = \lambda_1$$

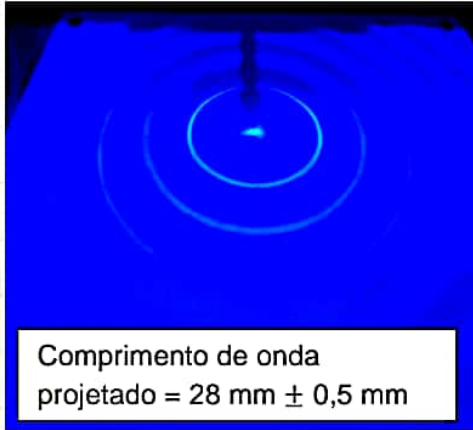
Para $\lambda_2/\sin r$ ser igual λ_1 , $\sin r = 1$. Portanto o ângulo de incidência e refração são iguais.

Observou-se que quando o ângulo de incidência é 45° , há uma refração no ângulo de refração e em seu comprimento de onda, podendo ser visto pela diferença das ondas através das imagens, comprovando assim a teoria da equação acima. Nesta parte, observou-se também que o comportamento das ondas guadas pela cuba de água é semelhante aos raios de luz.

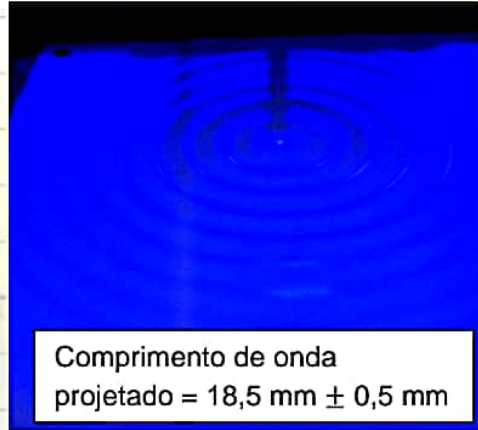
3) Interferência

Na 1ª parte determinou-se o comprimento de onda λ em duas frequências diferentes. Na 2ª, observou-se interferência das ondas em distâncias diferentes, na mesma frequência. Segue em anexo as imagens capturadas.

1º Parte: Uma fase pontual



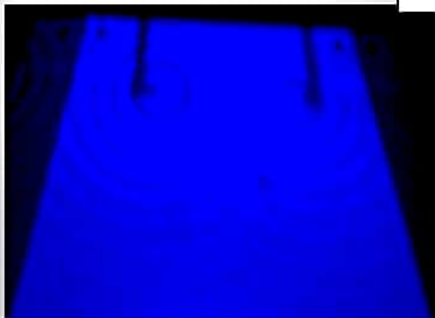
$v = 0,56 \text{ m/s}$



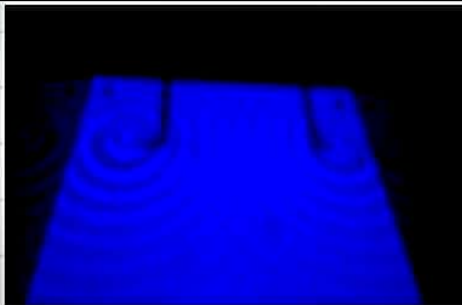
$v = 0,55 \text{ m/s}$

2º Parte: Duas fontes pontuais com distâncias de 5; 7,5 e 10 cm nas frequências de 20 e 30 Hz

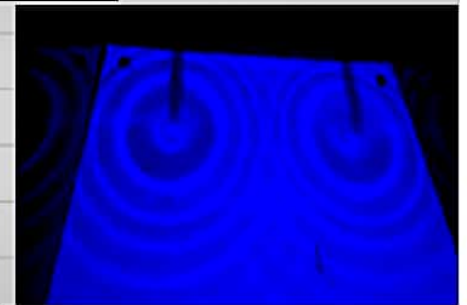
Frequência de 20 Hz



5 cm

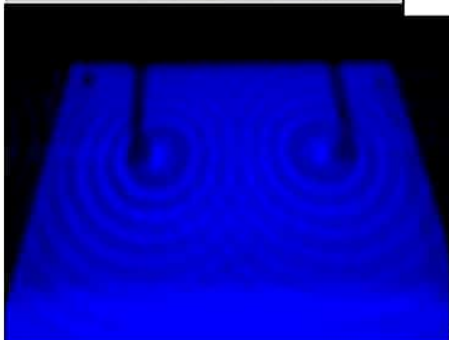


7,5 cm

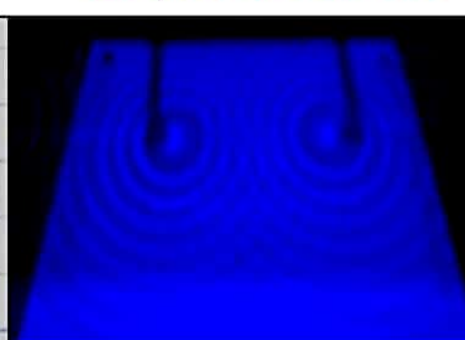


10 cm

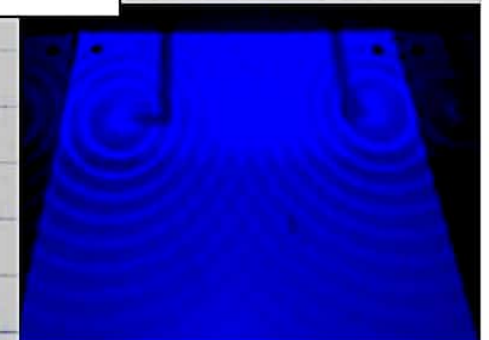
Frequência de 30 Hz



5 cm



7,5 cm



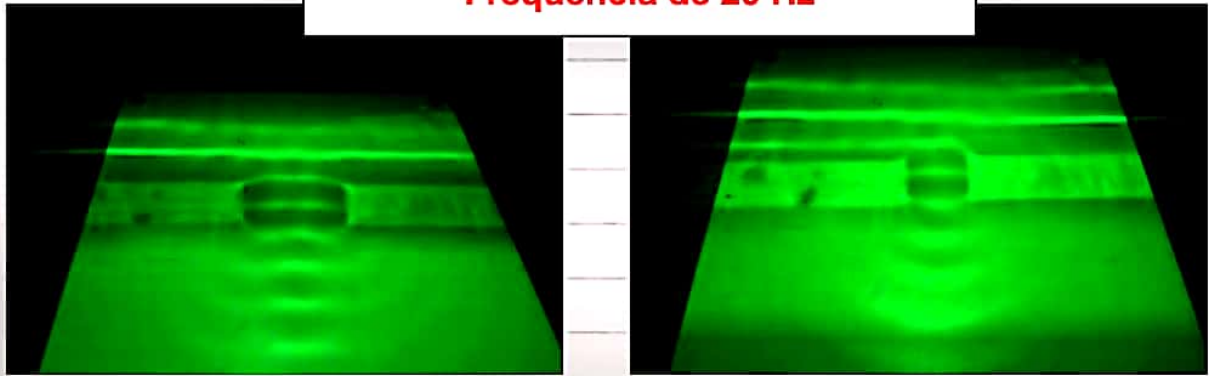
10 cm

Podemos observar que todas as ondas exercem interferência construtiva já que estão a uma mesma distância uns dos outros, além de possuírem a mesma frequência.

4) Difração

Nesta última parte observou-se o efeito de difração nas frequências de 20 e 30 Hz e a variação de abertura de antenas em relação aos comprimentos de onda.

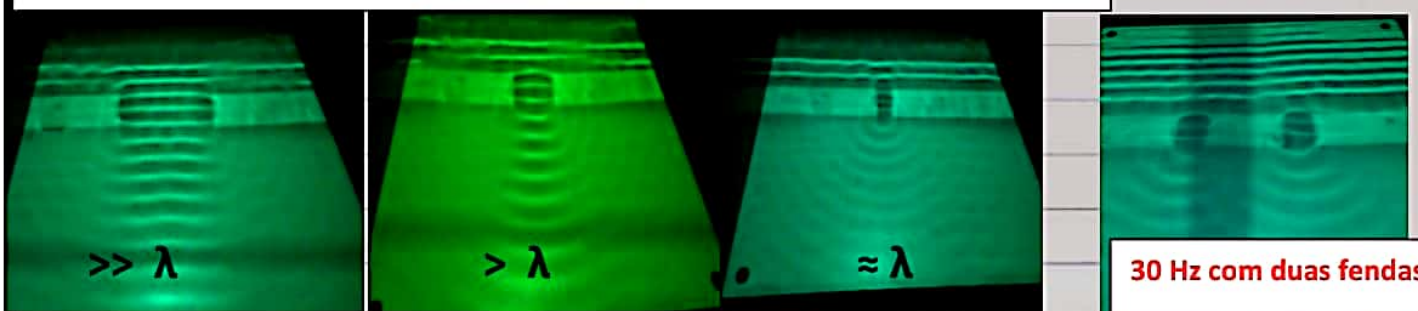
Frequência de 20 Hz



$\gg \lambda$

$> \lambda$

Frequência de 30 Hz



Podemos observar primeiramente que, as ondas quando atravessam as fendas, se comportam como pequenas fontes pontuais, comprovando o princípio de Huygen. Também observamos que conforme o tamanho da abertura, o comprimento de onda ^{aumenta} ~~começa~~, como visto nos vídeos de 20 Hz e 30 Hz.

Conclusão

A partir deste experimento, foi possível estudar o comportamento das ondas em duas dimensões, tais como os fenômenos característicos. O comportamento das ondas provocadas pela superfície de água foi análogo ao dos raios de luz, principalmente no que tange à reflexão e refração. Partindo desse ponto, foi possível analisar também que, quando há um obstáculo no meio, as ondas possuem capacidade de contorná-lo e assim se propagarem com características bem definidas (difração) e formam regiões de nós e ventres, ou seja, regiões onde ocorrem interferências (construtivas ou destrutivas). Desse modo, quanto ao objetivo do experimento, o mesmo foi alcançado e o estudo sobre os fenômenos ondulatórios pôde ser melhor observado e compreendido.

Correção

Os valores de comprimento utilizados na primeira versão foram os obtidos experimentalmente, estes não correspondem com os reais, pois por decorrência de uma projeção é necessário calcular o fator de correção para relacionar o objeto real e a imagem projetada. Para isso, utilizamos os valores de espessura do anteparo e o valor da espessura projetada desse mesmo objeto.

espessura anteparo retilíneo (m)	0,0181
espessura anteparo retilíneo projetado (m)	0,0355

Assim sendo, o fator de correção (α) será:

$$\alpha = \frac{0,0181}{0,0355} = 0,51$$

Com isso podemos obter o comprimento de onda real, a velocidade e suas taxas de erro

f (± 1 Hz)	λ projetado ($\pm 0,0005$ m)	λ real (m)	Erro λ real (m)	v (m/s)	Erro v (m/s)
10	0,0431	0,02197	0,00049	0,21975	0,02252
20	0,0227	0,01157	0,00108	0,23148	0,02445
30	0,0180	0,00918	0,00149	0,27532	0,04552



1) Reflexão

Nesta parte apenas nos faltou apontar os padrões formados pelo ângulo de incidência, que são:

Ângulo 0°	Nenhum padrão
Ângulo 30°	Losângos
Ângulo 45°	Retângulos

Com o anteparo retilíneo há a formação de um formato irregular, isso ocorre porque diferentes graus de incidência em todo o comprimento do anteparo vão de quase 0° a 90° formando esse padrão irregular.

2) Refração

Nesta parte nos faltou complementar que a velocidade das ondas se relaciona a profundidade do meio em que se encontram. Para isso, deve-se usar a seguinte equação:

$$v = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi} \tan h \left(\frac{2\pi h}{\lambda} \right)} \quad (2)$$

Para utilizá-la é necessário obter a velocidade das ondas, para isso utilizamos a relação a seguir:

$$\frac{v_1}{\lambda_1} = \frac{v_2}{\lambda_2} = f$$

Como ambas as ondas possuem a mesma fonte, a frequência será a mesma,

assim relacionando esta expressão com a profundidade, com λ sem o anteparo, podemos obter o comprimento de onda de λ_2 .

$$\frac{D}{d} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{0,9}{0,8} = 2,25$$

$$\therefore \lambda_2 = 2,018 \pm 0,044 \text{ cm}$$

Com o λ , obtém-se a velocidade através da expressão:

$$v = \lambda f$$

$$v_1 = 0,404 \text{ m/s}$$

$$v_2 = 0,454 \text{ m/s}$$

Analisando as velocidades é possível observar que há de fato uma mudança na velocidade dependendo da profundidade, assim utilizando a equação (2), podemos calcular a profundidade.

$$v = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi h}{\lambda}\right)}$$

Como ocorre em pequenas profundidades, $\tanh(x) = x$.

$$v = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi} \left(\frac{2\pi h}{\lambda}\right)} \Rightarrow v = \sqrt{gh}$$

Com isso podemos ver que a expressão confirma a mudança da velocidade, sendo que quanto menor a profundidade, menor será a velocidade. Com isso é possível calcular a profundidade da lâmina de água.



com e sem placa de acrílico e até mesmo calcular a espessura da placa.

	f (±1Hz)	vr (m/s)	d(m)	Erro d(m)	valor médio d (m)	Erro valor médio d(m)
incidente	20	0,23148	0,00546	0,00115	0,00604	0,00140
	30	0,27532	0,00773	0,00255		
refratado	20	0,19380	0,00383	0,00115	0,00497	0,00146
	30	0,24480	0,00611	0,00268		

3) Interferência

Nesta parte apenas faltou indicar através da equação (3) se a interferência foi destrutiva ou construtiva. Para isso, utilizamos:

$$|D_a - D_b| = n \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (3)$$

$$|57 - 47| = n \cdot \frac{\lambda}{2}$$

Assim, obtemos $n=2$, o que indica que é uma interferência construtiva (n par).