

Ana Clara Antonio - n.º USP 9879567

## Experimento 5 - Caba de Ondas

### Introdução

Uma caba de ondas é um aparato que serve para gerar ondas em uma superfície (usualmente água), e que permite observar os fenômenos físicos envolvidos na propagação de ondas no meio. É possível também, fazermos uma analogia entre os fenômenos de propagação de ondas mecânicas com as ondas de luz, devido à similaridade existente entre elas, embora as ondas mecânicas necessitem de um meio para se propagar e as ondas eletromagnéticas não.

As geramos uma perturbação num meio líquido a sua superfície livre se ondula e se propaga ao longo do plano determinado por ela. As raios luminosos, provenientes da lâmpada, ao encontrar uma superfície curva irão convergir ou divergir nestas lentes formadas pelas cristas e ventres da onda que se propaga na água. As cristas funcionam como lentes convergentes, gerando as regiões



claras, enquanto que as vagas como  
lentes divergentes, gerando as regiões  
escuras, quando projetadas em um  
anteparo. O comprimento da onda  $\lambda$   
é dado pela distância entre duas  
pontas claras ou escuras

### Materiais

- Estroboscópio
- Cubo com água
- Sistema de suporte para cubo
- Anteparo branco para folha A4
- Vibrador com medidor de frequência
- Objetos de acrílico em diferentes  
formas para anteparos
- Paquímetro
- Régua e trena

### Métodos

- Para a montagem do cubo, foi colo-  
cado água até uma altura de  
0,5 a 0,75 cm.
- Ligando a fonte e variando lenta-  
mente a frequência do motor  
do vibrador. Observando as ondas no  
anteparo e estabelecendo um melhor  
foco.
- Desligou o motor, e foi colocado  
uma lamina de acrílico e trans-  
parente no fundo do cubo, obser-  
vando a imagem formada.



### 1- Experimento de Reflexão

• Ser produzidas ondas planas com frequências de 10, 20 e 30 Hz. Anotando as figuras e calculando os comprimentos de onda e a velocidade de propagação

• Ser inserido na cuba um anteparo retilíneo com três ângulos diferentes. Analisando as ondas incidentes e refletidas em função do ângulo para uma frequência fixa

• Inserindo um obstáculo curvilíneo e estudar as diferentes reflexões

### 2- Experimento de Refração

• Produzir ondas planas. Inserir a placa de acrílico oblíqua em relação a direção da propagação das ondas.

• Ser obtido e analisado o espectro resultante para ao menos duas inclinações diferentes e duas frequências diferentes

### 3- Experimento de Interferência

• Ser utilizado uma fonte pontual e obtida a figura resultante para 10, 20 e 30 Hz. Analisando com o cálculo do comprimento de onda e a velocidade de propagação

• Ser utilizado duas fontes pontuais presas ao gerador e distanciadas



de 5 cm com frequências de 10, 20 e 30 Hz. marcando a figura resultante e estudar o fenômeno observado.

• Foi repetido o experimento para distâncias de 7,5 e 10 cm.

#### 4. Experimento de Difração

• Foi utilizado um gerador de ondas planas com frequência de 10, 20 e 30 Hz.

• Foi colocado um obstáculo reto com uma fenda e foi estudada a figura resultante em função da abertura da fenda.

• Foi colocado um obstáculo reto com duas fendas em paralelo e estudado o fenômeno observado.

#### Resultado e Discussão

Pelo cálculo da frequência temos que:

$$f = \frac{v}{\lambda} \quad (1)$$

Foram usados três frequências diferentes 10, 20 e 30 Hz, e em se tratando de ondas em um líquido a profundidade da cuba é levada em consideração. Entretanto, como a profundidade é a mesma para as três frequências, é esperado então que os resultados fiquem próximos.



## 1) Reflexão

Em primeiro momento do experimento, foi analisado a reflexão das ondas a partir da variação das frequências onde foi obtido diferentes comprimentos de onda, representados na tabela 1 em anexo.

Já em um segundo momento do experimento, foi observado a reflexão das ondas a partir de uma frequência fixa de 30Hz, e a variação do ângulo de anteparo. Os resultados obtidos estão nos imagens em anexo.

A partir da equação (1), foi observado que na primeira parte do experimento conforme a frequência aumenta o comprimento de onda diminui, sendo inversamente proporcional.

Partindo da segunda parte do experimento, observou-se que conforme o ângulo de incidência aumenta há a formação de interferência destrutiva observadas próximas ao anteparo.

Observando as imagens do anteparo curvilíneo, chegou-se a conclusão de que por conta dos diferentes ângulos de incidência em toda extensão, a interferência formada é maior.



## 2) Refração

Sei observado nessa parte a refração das ondas em uma mudança de meio, com duas frequências diferentes, e com o ângulo de incidência de  $45^\circ$ . As imagens obtidas estão em anexo.

Quando a placa de acrílico está em um ângulo de  $90^\circ$ , é possível observar que há uma variação no comprimento de onda e a variação no ângulo de refração é quase nula, podendo ser observados através da equação (2)

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \quad (2)$$

Como o seno do ângulo de incidência é 1, temos que:

$$\frac{\lambda_2}{\sin r} = \lambda_1 \quad (3)$$

Para que a equação (3) dê certo, é preciso que o seno seja 1, então sendo assim o ângulo de incidência e refração são iguais.

Quando o ângulo de incidência é igual a  $45^\circ$ , observa-se uma variação no ângulo de refração e no comprimento de onda, podendo ser visto a partir das



diferenças das ondas vistas nas imagens, comprovando a teoria da equação (2)

### 3) Interferência

Na primeira parte foi determinado o comprimento de onda com duas diferentes frequências. Já na segunda parte, a interferência das ondas foi observada a partir de distâncias diferentes na mesma frequência, as imagens resultantes estão em anexo.

A partir dos resultados obtidos, foi possível identificar que todas as ondas exercem interferência construtiva, já que estão em uma mesma distância uma das outras, além de terem a mesma frequência.

### 4) Difração

Foi observado nesta parte o efeito da difração em frequências de 20 e 30 Hz e a variação da abertura do anteparo em relação aos comprimentos de onda. As imagens com os resultados estão em anexo.

Em primeiro momento foi compreendido que as ondas quando atravessam as fendas se comportam como pequenas fontes pontuais, comprovando o princípio de Huygen, cada ponto



de uma frente de onda se comporta como uma nova fonte de ondas elementares, que se propagam para além da região já atingida pela onda original e com a mesma frequência que ela.

É possível observar também que conforme o tamanho da abertura o comprimento de onda aumenta como mostra nas imagens em 20Hz e 3Hz.

### Conclusão

Sendo assim, com a realização do experimento, foi possível observar e entender o comportamento das ondas em duas dimensões, tais como os fenômenos característicos. O comportamento das ondas provocados pela cuba de água foi semelhante ao dos raios de luz, principalmente os princípios de reflexão e refração.

Portanto, a partir do experimento foi compreendido o estudo sobre os fenômenos ondulatórios e também como executá-los.



## 1- Reflexão

### 1ª Parte

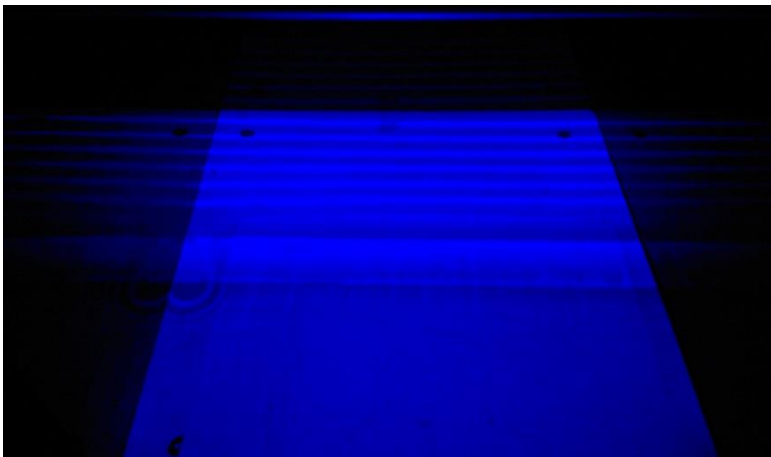
#### Variação de frequência

Frequência (Hz)	$\lambda$ (cm)
10	4,31
20	2,27
30	1,80

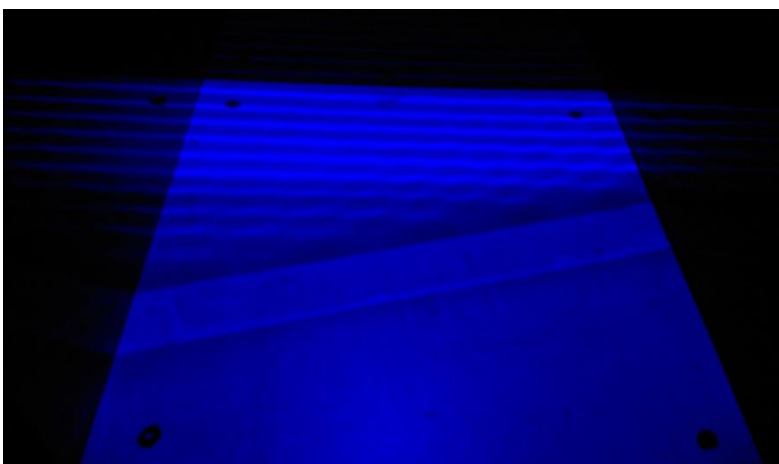
Tabela 1 - frequência e comprimento de onda projetado no papel

### 2ª Parte

Frequência fixa de 30Hz e variação do ângulo do anteparo

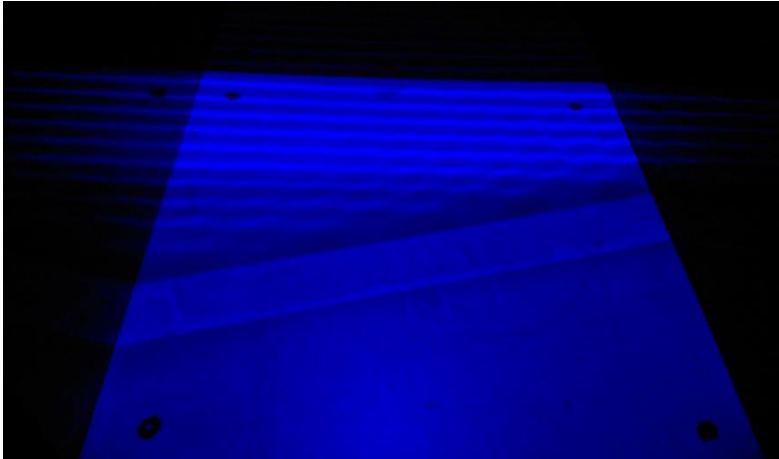


Ângulo  $0^\circ$

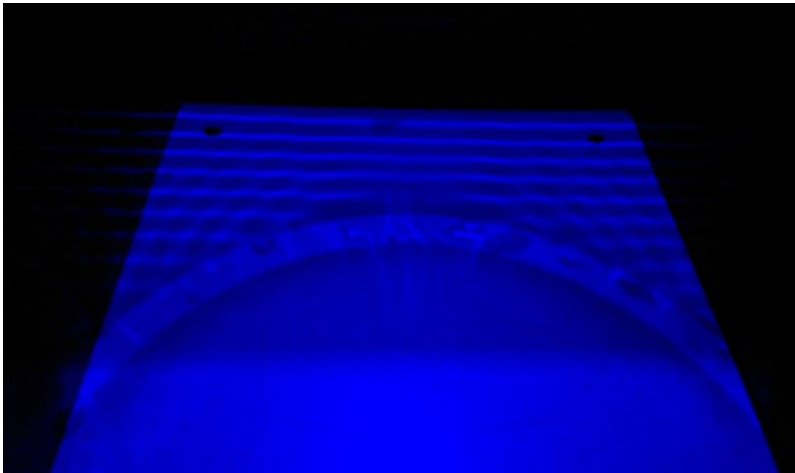


Ângulo  $30^\circ$





Ângulo  $45^\circ$



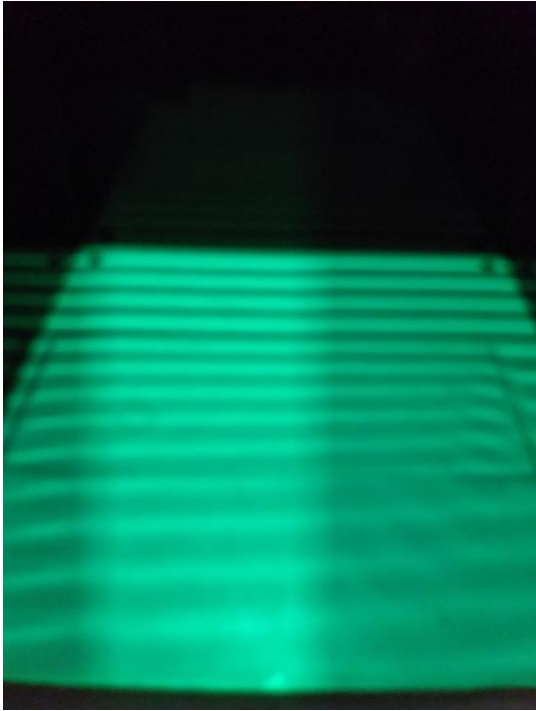
Anteparo Curvilíneo

2-Refração

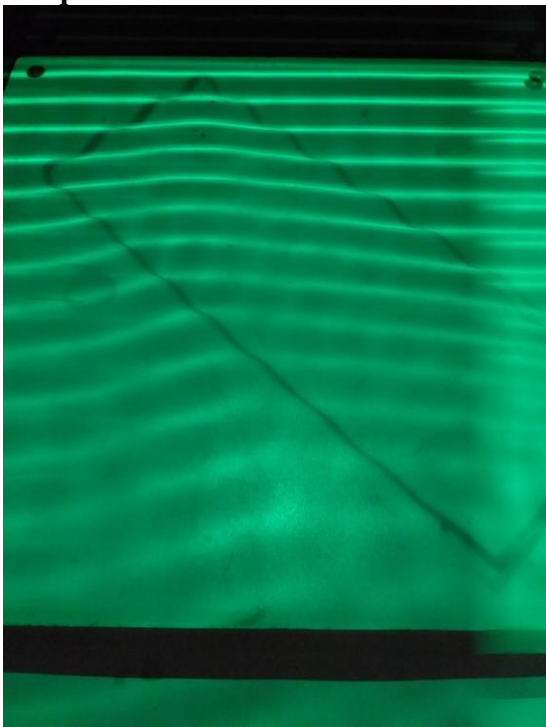
**Variação da frequência e ângulo do anteparo**

**Frequência de 20 Hz**



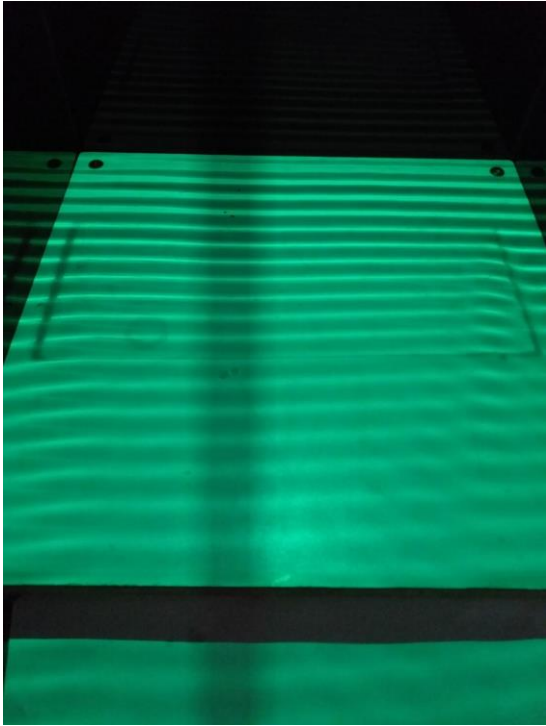


**Frequência de 20 Hz - 45°**



**Frequência de 30 Hz**





**Frequência de 30 Hz - 45°**



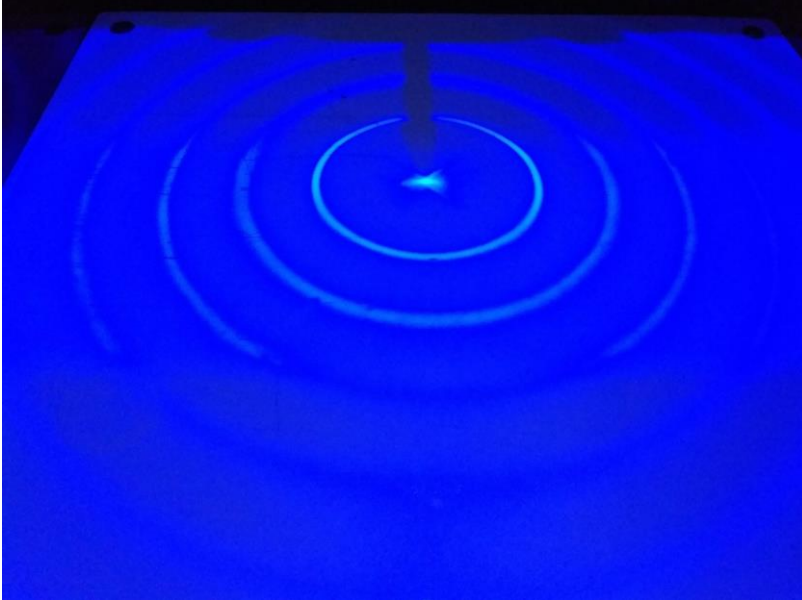
**3- Interferência**



## 1ª Parte

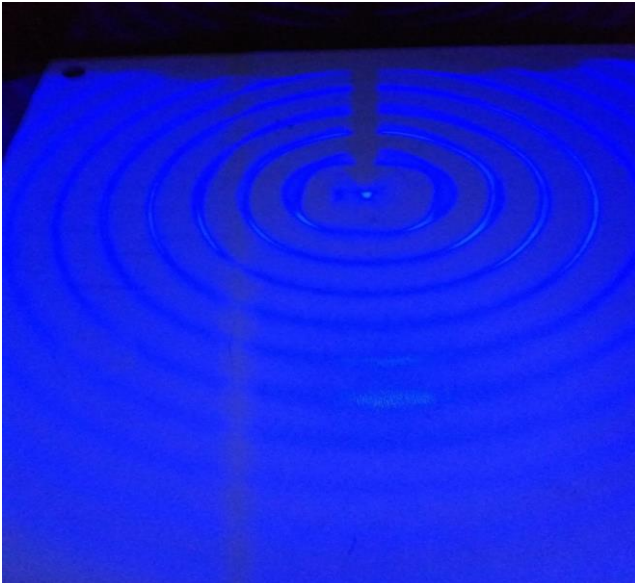
Uma fonte pontual

20 Hz



Comprimento de onda projetado =  $28 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$   
Referência = 18 mm/Referência projetada 38mm

30 Hz

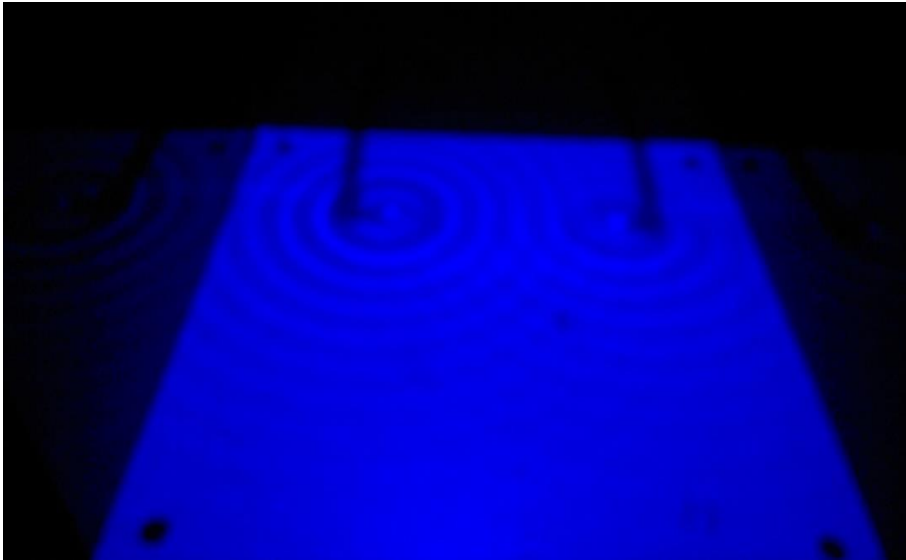


Comprimento de onda projetado =  $18,5 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$   
Referência = 18 mm/Referência projetada 38mm

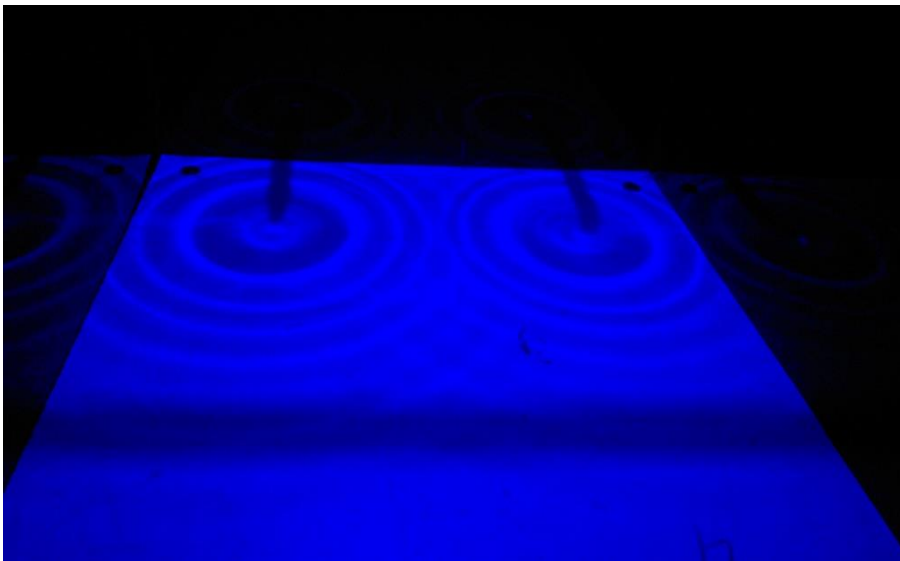


**2ª Parte**

20Hz

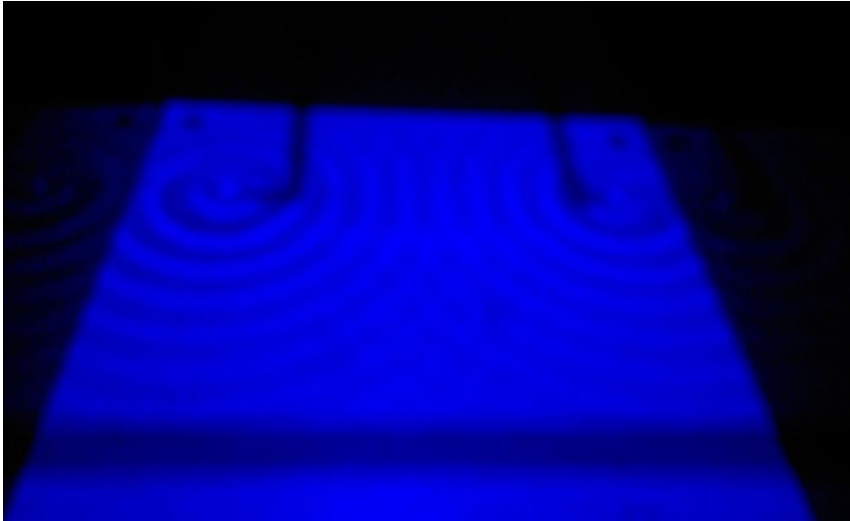


5 cm



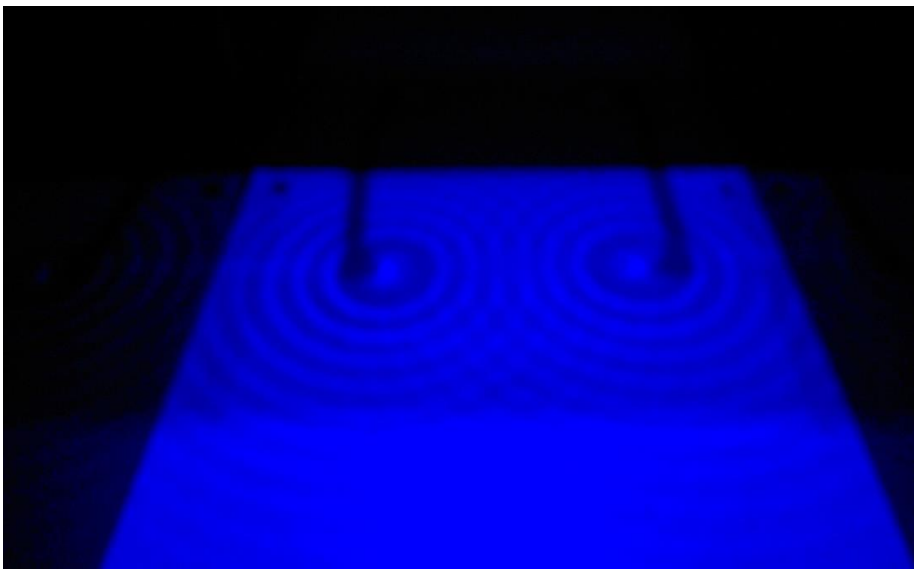
7,5 cm





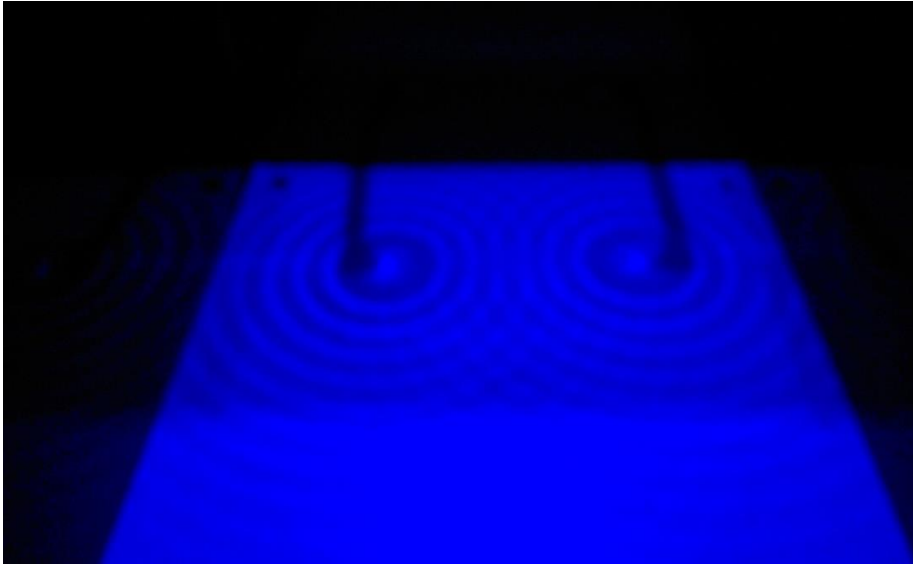
10 cm

30 Hz

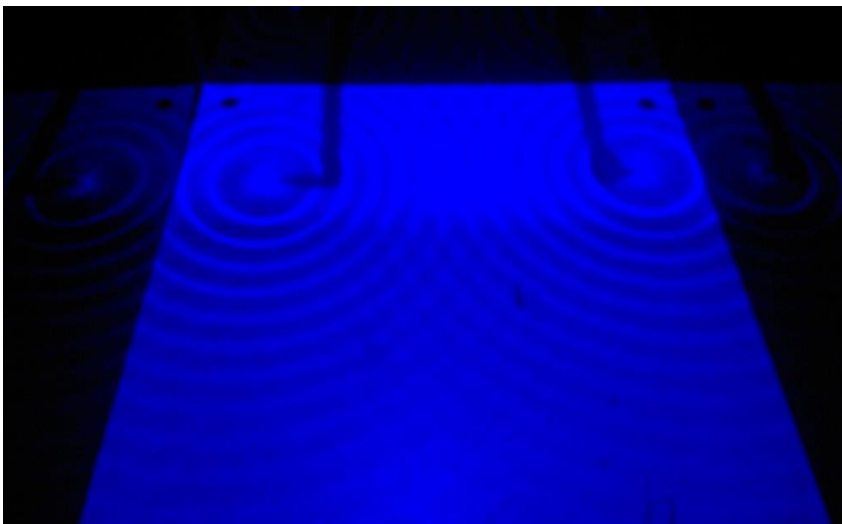


5 cm





7,5 cm



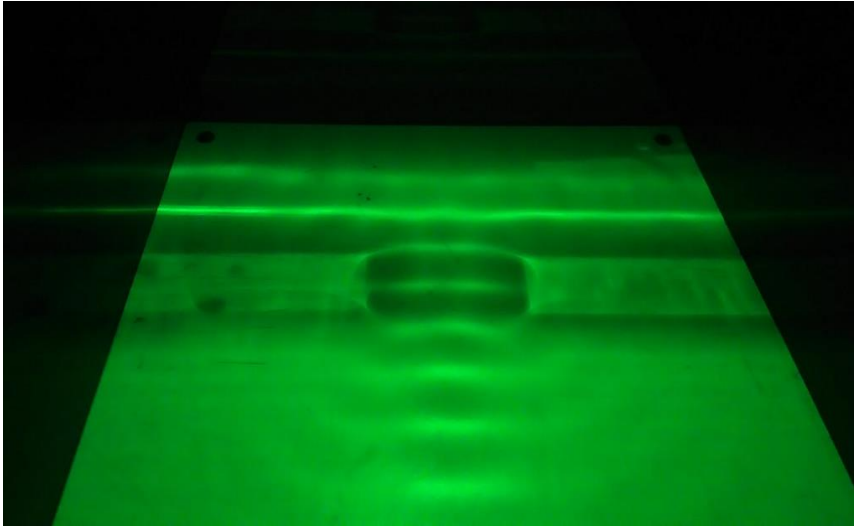
10 cm

#### 4- Difração

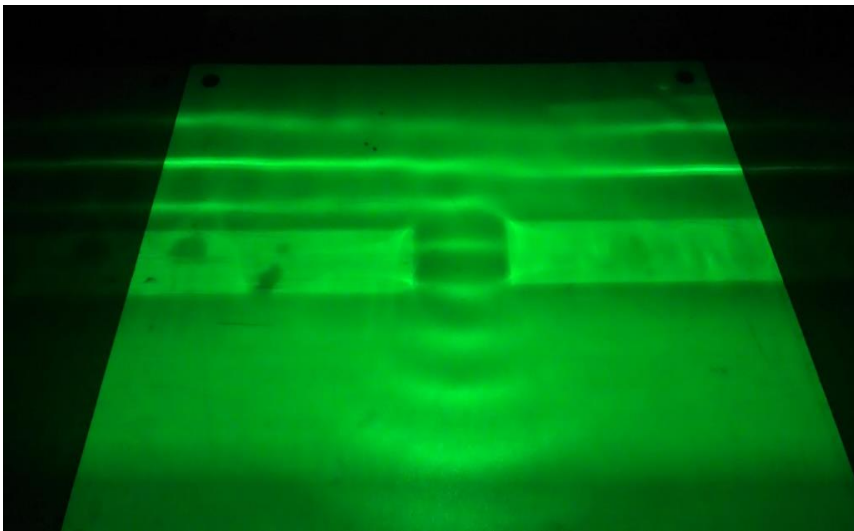
**Frequências de 20 e 30 Hz e variação da abertura do anteparo em relação ao comprimento de onda.**

20Hz





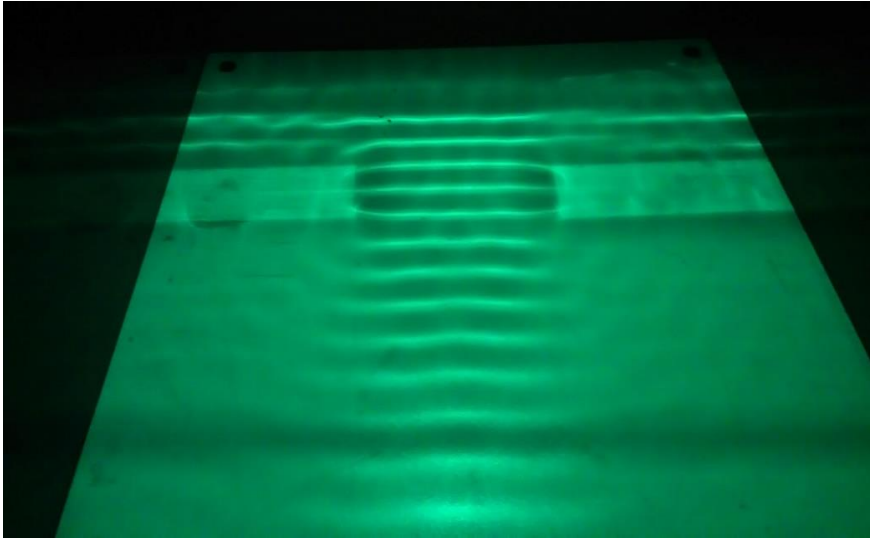
$\gg \lambda$



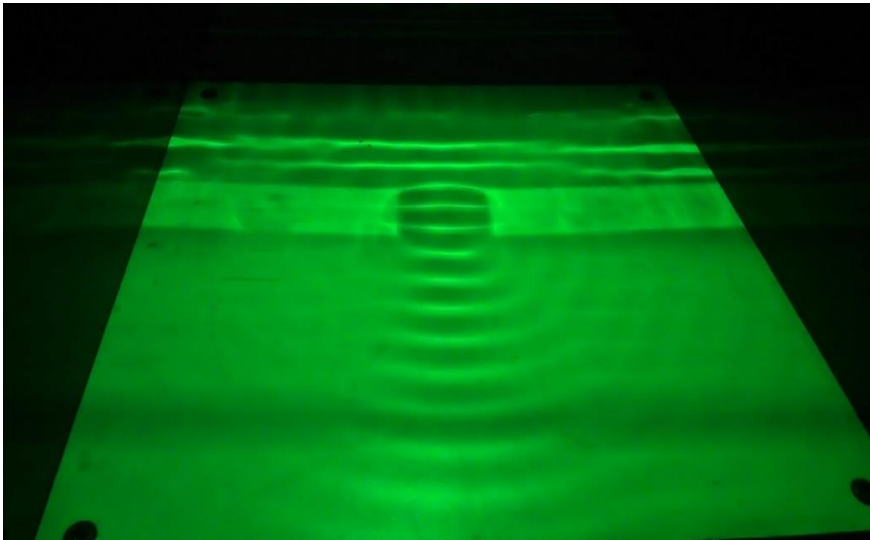
$> \lambda$

30 Hz

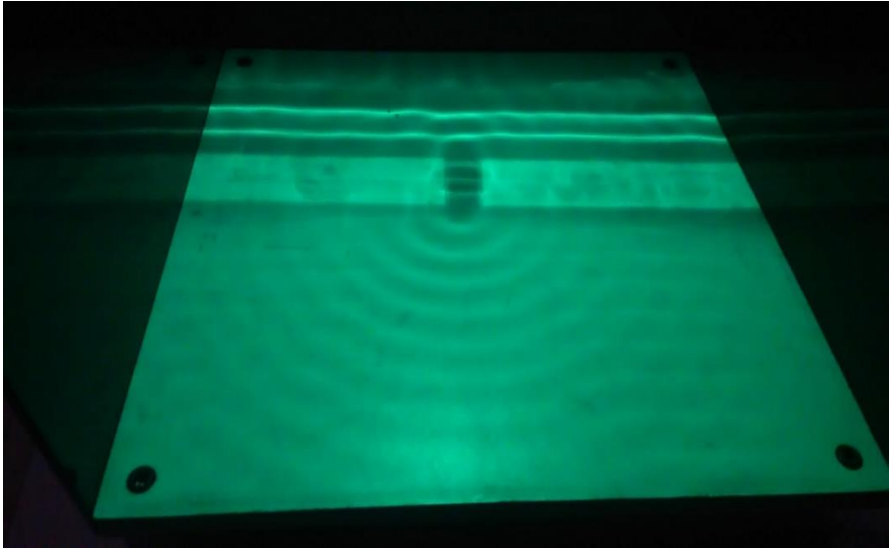




$\gg \lambda$

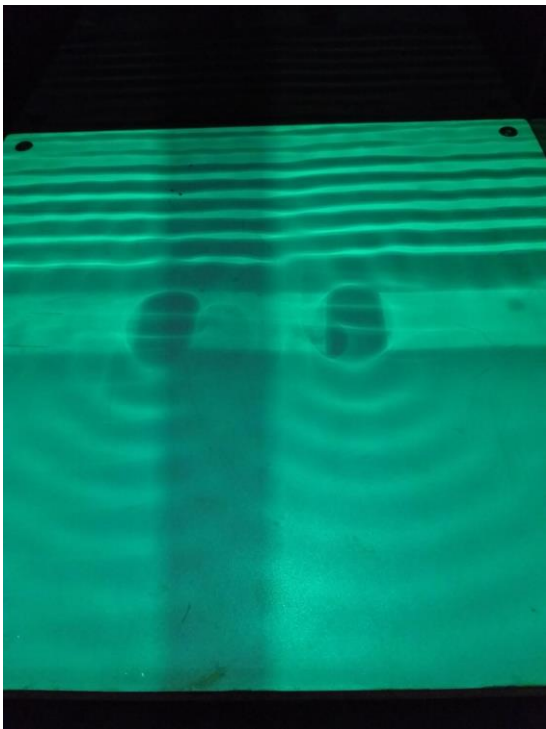


$> \lambda$



$\approx \lambda$

30 Hz com duas fendas





## \* Correção

Os valores de comprimento de onda utilizados na primeira versão foram obtidos experimentalmente, estes não correspondem com os reais, pois por derivarem de uma projeção é preciso calcular o fator de correção para relacionar o objeto real a imagem projetada, para isso, foi utilizado os valores da espessura do anteparo retilíneo e o valor da espessura desse mesmo objeto. O fator de correção ( $\alpha$ ), será:

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

$$\alpha = 0,51$$

É com isso é possível obter o comprimento de onda real, a velocidade e seus respectivos erros. Sabida em amarelo

### 1) Reflexão:

Os padrões formados pelo ângulo de incidência, seriam

Ângulo  $0^\circ$ : nenhum padrão

Ângulo  $30^\circ$ : losângos

Ângulo  $45^\circ$ : retângulos

Com os anteparos retilíneos há a formação de um formato circular, isso ocorre por conta dos diferentes graus de incidência em todo o com-



primento do anteparo que vai de quase  $0^\circ$  a  $90^\circ$ .

## 2) Refração:

A velocidade das ondas se relaciona com a profundidade do meio em que encontram. Deve-se usar a equação:

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

É necessário obter a velocidade das ondas, utilizando a relação:

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

Como ambas as ondas possuem a mesma fonte, a frequência será a mesma, assim relacionando esta expressão com profundidade. Com ou sem anteparo é possível obter comprimento de onda de  $\lambda_2$

$$\frac{D}{d} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$
$$\frac{0,9}{0,8} = \frac{2,27}{\lambda_2}$$

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

Com o valor de  $\lambda$  é possível calcular a velocidade através da expressão:

$$v = \lambda f$$



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

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

Analisando os valores das velocidades é possível afirmar que há de fato uma mudança na velocidade dependendo da profundidade, assim utilizando a equação (2) e assim calcular a profundidade.

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

Como ocorre em pequenas profundidades temos que:

$$\tanh(x) = x$$

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

$$v = \sqrt{gh}$$

Com isso podemos ver que quanto menor a profundidade, menor será a velocidade. E isto nos será possível então calcular a profundidade da lamina de água com e sem a placa de acrílico e calcular também a espessura da placa. Salda em anexo.

### 3) Interferência

A partir da equação (3) é possível indicar se a interferência foi



destrutiva ou Construtiva.

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

$$|5\lambda - 4\lambda| = n \times \frac{\lambda}{2}$$

Pelo valor de  $n = 2$  nos indica que é um interferência Construtiva, daí que o valor é par.



<b>Espessura anteparo retilíneo (m)</b>	0,0181
<b>Espessura anteparo retilíneo projetado (m)</b>	0,0355

<b>f (<math>\pm 1</math> Hz)</b>	<b><math>\lambda</math> projetado (<math>\pm 0,0005</math>m)</b>	<b><math>\lambda</math> real (m)</b>	<b>Erro <math>\lambda</math> real (m)</b>	<b>V (m/s)</b>	<b>Erro v (m/s)</b>
10	0,0431	0,02197	0,000049	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

Tabela 1. Comprimento de onda real e velocidade e as taxas de erro.

	<b>f (<math>\pm 1</math>Hz)</b>	<b>v<sub>r</sub> (m/s)</b>	<b>d(m)</b>	<b>Erro d(m)</b>	<b>valor médio d (m)</b>	<b>Erro valor médio d(m)</b>
<b>incidente</b>	20	0,23148	0,00546	0,00115	0,00604	0,00140
	30	0,27532	0,00773	0,00255		
<b>refratado</b>	20	0,19380	0,00383	0,00115	0,00497	0,00146
	30	0,24480	0,00611	0,00268		