

nome: Estilani de M. Neguiera n° USP: 10292990

## Experimento 6 - Princípios da Incerteza

### Resumo

Este experimento consistiu em verificar o princípio da incerteza utilizando ondas eletromagnéticas (laser) e mecânicas (ondas sonoras).

### Introdução

Na mecânica clássica, as equações de movimento de um sistema em função das forças que atuam sobre ele, podem ser resolvidas de forma a dar informações sobre a posição e o momento da partícula em dado intervalo de tempo.

No entanto, na física clássica esse processo é um pouco diferente, não é possível determinar ao mesmo tempo posição e momento com a precisão, a precisão para essas determinações é dada pelo princípio da incerteza de Heisenberg.

Este princípio é dividido em duas partes. A primeira é relativa à medida simultânea de posição e momento. Ela afirma que experimentos não podem determinar simultaneamente o valor exato de uma componente do momento e também o valor exato da coordenada correspondente a sua posição, a precisão está inversamente limitada da seguinte forma:

$$\Delta p \cdot \Delta x \geq \frac{h}{2} = \frac{h}{4\pi} \quad (1),$$

onde  $p$  é conhecida com ~~uma~~ <sup>uma</sup> incerteza  $\Delta p$  e a posição  $x$  no mesmo estado com incerteza  $\Delta x$ .

A segunda parte do princípio da incerteza está relacionada com a medida de energia  $E$ , de tempo  $t$  necessário à medida.

$$\Delta E \Delta t \geq \frac{h}{2} \quad (2),$$

onde  $\Delta E$  é a incerteza da energia  $E$  de um sistema e  $\Delta t$  é o intervalo de tempo característico com que ocorrem mudanças no sistema.

## Objetivo

Obter as incertezas na frequência e no tempo das ondas sonoras e a incerteza associada às ondas eletromagnéticas para validar o princípio da incerteza de Heisenberg.

## Material e métodos

### Parte 1

a) Com um microfone de registro - ou o sinal de amplitude em função do tempo, utilizando-se uma

frente com frequências de 200 Hz. Do mesmo modo  
foi feito o experimento com o diapasão

Parte 2

b) Com um ~~feixe~~ laser centralizado em uma fenda  
com abertura variável mediu-se o tamanho máximo  
central

## Resultados e Discussões

Parte 1

Os pontos dos dados foram feitos os seguintes gráficos

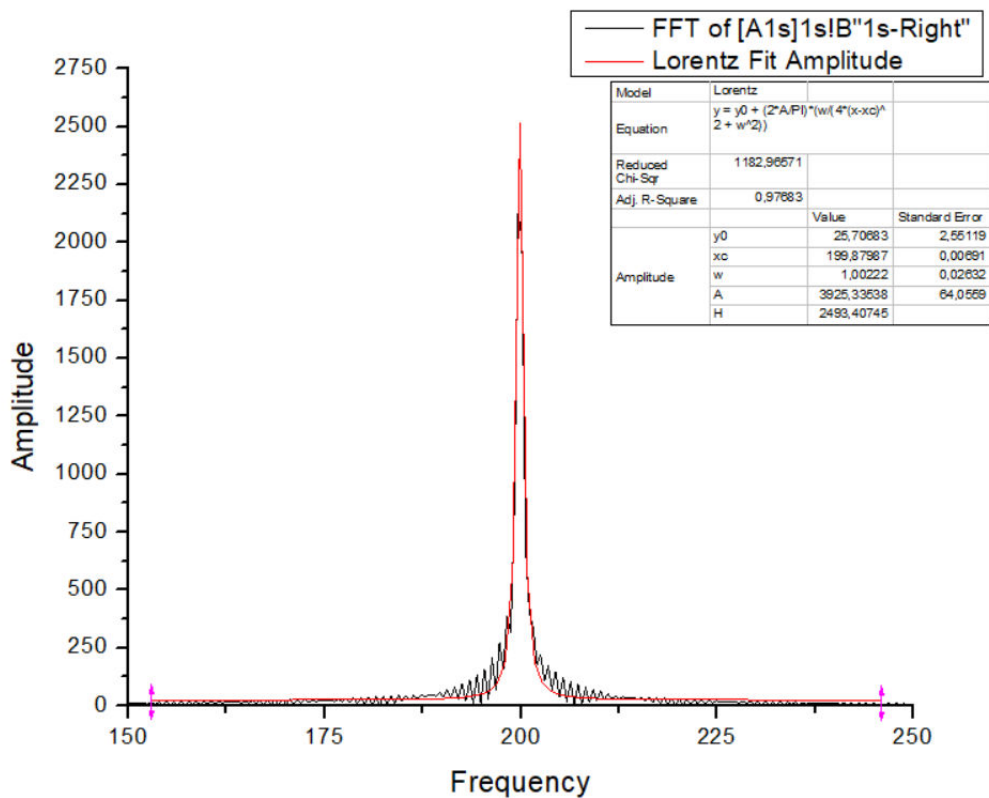


Gráfico 1 - amplitude x frequencia para 1 segunda

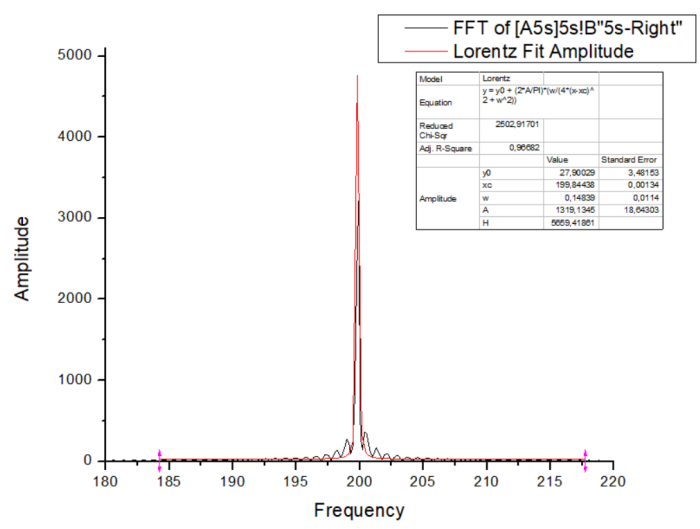


Gráfico 2 - Amplitude x frequência para 5 segundos

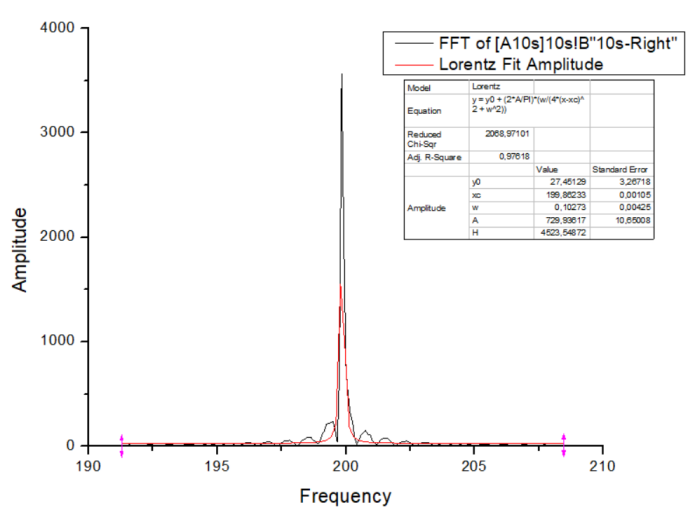


Gráfico 3 - Amplitude x frequência para 10 segundos

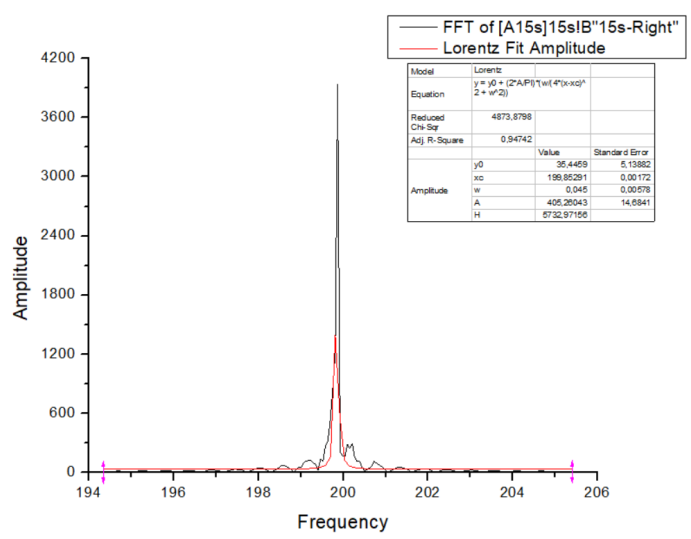


Gráfico 4 - Amplitude x frequência para 15 segundos

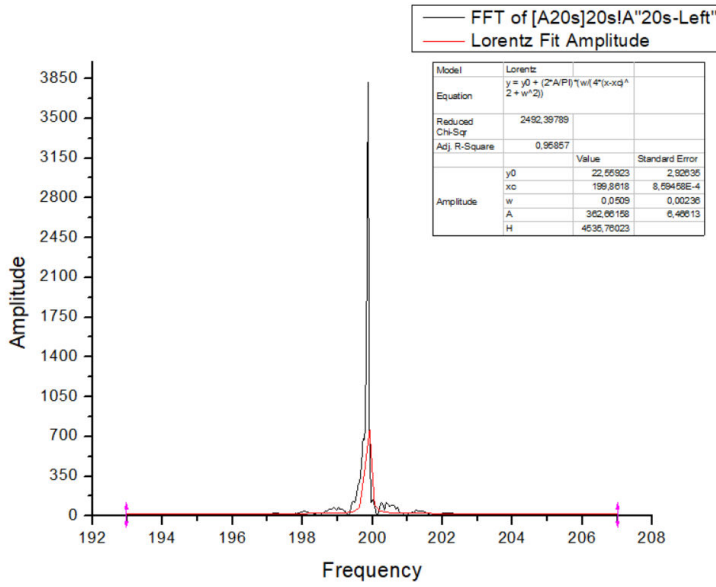


Gráfico 5 - Amplitude x frequência para 20 segundos

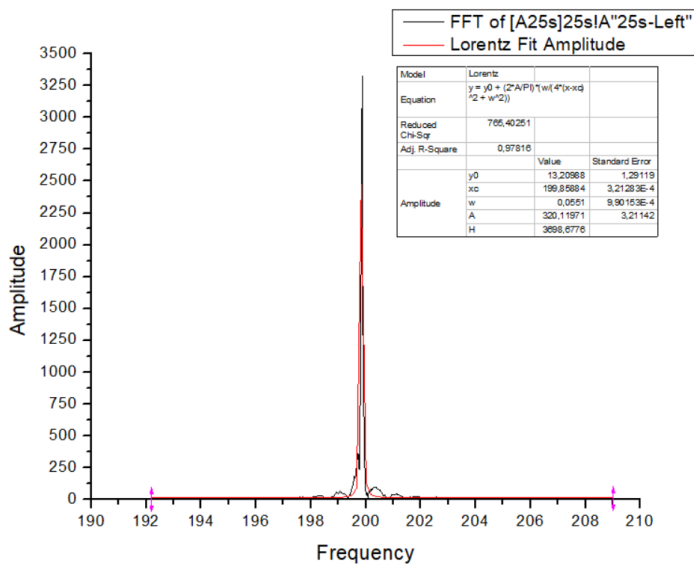


Gráfico 6 - Amplitude x frequência para 25 segundos

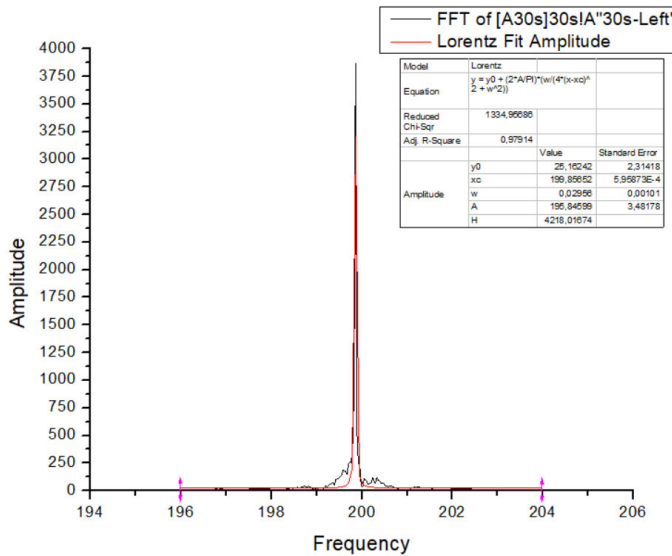


Gráfico 7 - Amplitude x frequência para 30 segundos

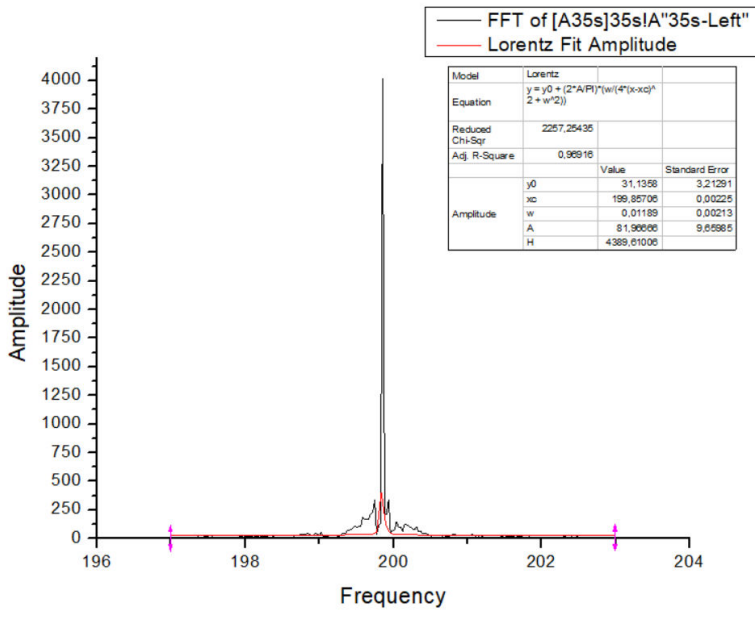


Gráfico 8 - Amplitude x frequência para 35 segundos

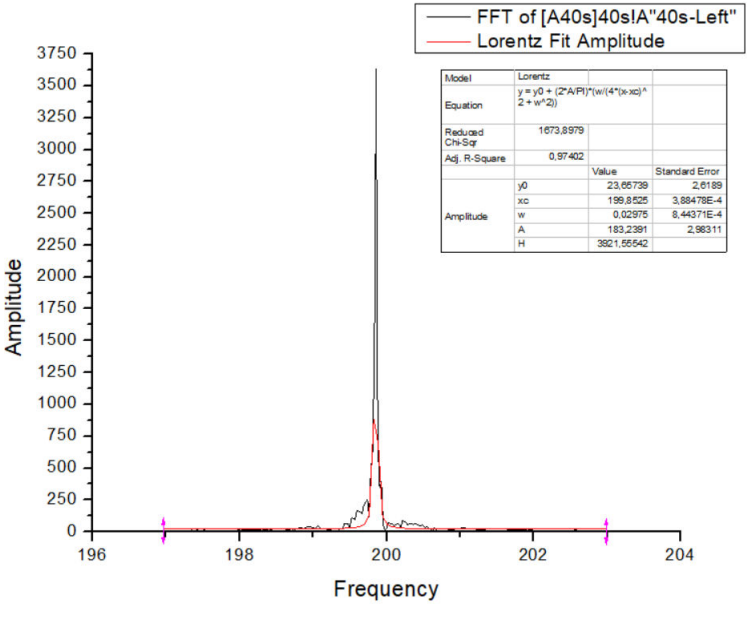


Gráfico 9 - Amplitude x frequência para 40 segundos

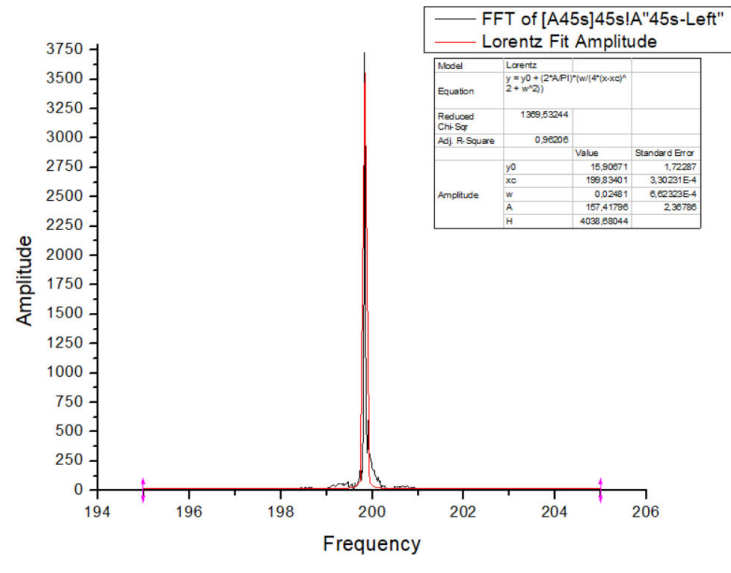


Gráfico 10 - Amplitude x frequência para 45 segundos

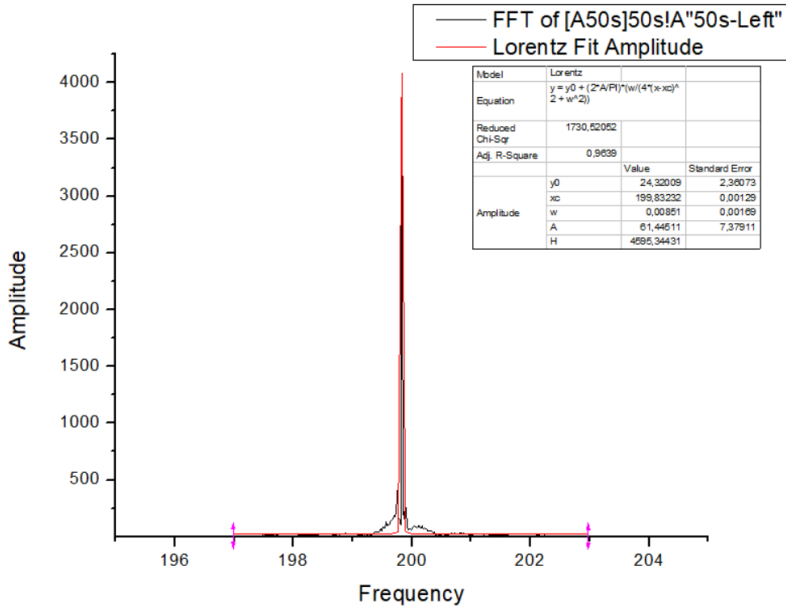


Gráfico 11 - Amplitude x frequência para 50 segundos

A partir dos dados obtidos pelo gráfico, foi feita construída a seguinte tabela.

$\Delta t$	F pico (Hz)	<u>FWHM</u> (Hz)	$\Delta E$	$\Delta E * \Delta t$	$\hbar$ ( $\times 10^{-34}$ J.s)
1	199,87	1,002	6,643E-34	6,643E-34	1,054
5	199,84	0,148	9,812E-35	4,906E-34	1,054
10	199,86	0,102	6,763E-35	6,763E-34	1,054
15	199,85	0,045	2,984E-35	4,475E-34	1,054
20	199,86	0,051	3,381E-35	6,763E-34	1,054
25	199,86	0,055	3,647E-35	9,116E-34	1,054
30	199,86	0,030	1,989E-35	5,967E-34	1,054
35	199,86	0,012	7,956E-36	2,785E-34	1,054
40	199,86	0,030	1,989E-35	7,956E-34	1,054
45	199,83	0,025	1,658E-35	7,459E-34	1,054
50	199,83	0,008	5,304E-36	2,652E-34	1,054

Tabela 1 - Princípio da incerteza para ondas sonoras

Pelo princípio da incerteza

$$\Delta p \Delta x \geq \frac{h}{2} \Rightarrow \frac{h \nu}{\Delta \lambda} \Delta \nu \geq \frac{h}{2}$$

$$\frac{\Delta \nu}{\nu} \Delta \nu \geq \frac{1}{4\pi} \Rightarrow \Delta \nu \Delta t \geq \frac{1}{4\pi}$$

Com isso pode se observar que ~~as~~ as valores obtidos ~~na~~ na tabela 1 ~~estão de acordo~~ estão de acordo com o princípio da incerteza de Heisenberg.

Do mesmo modo que as antenas foram obtidos os seguintes gráficos para o uso do diapásio

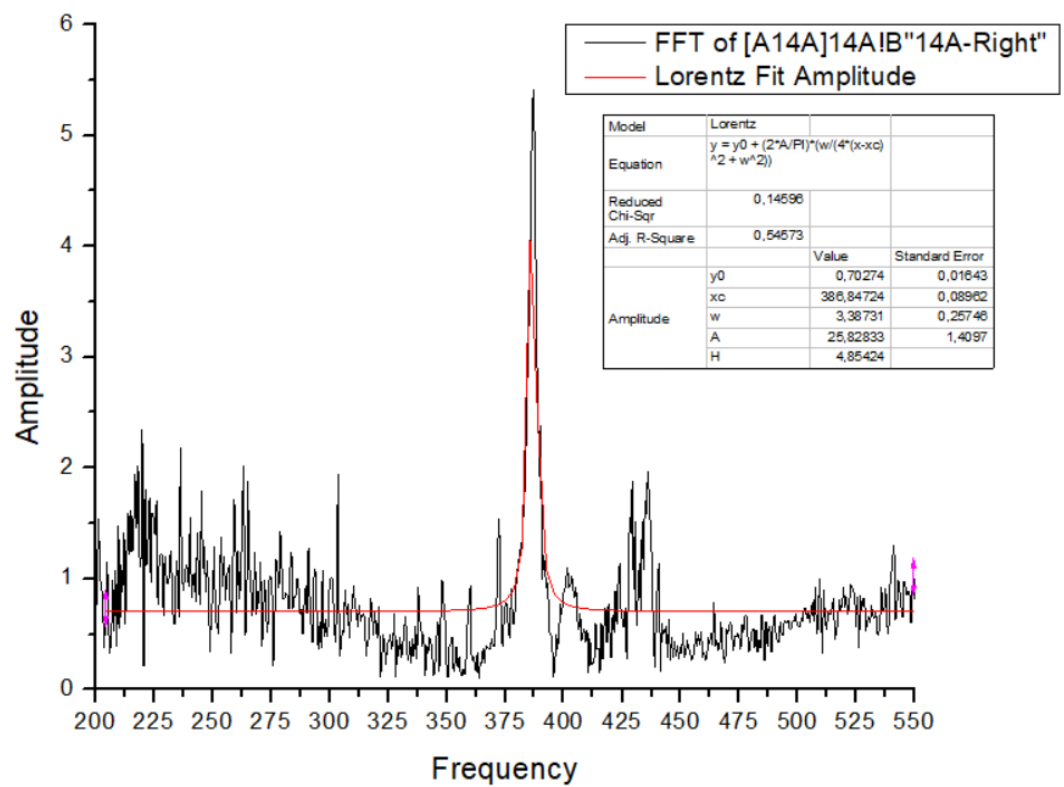


Gráfico 12 - Amplitude x frequência para o diapásio 14 a



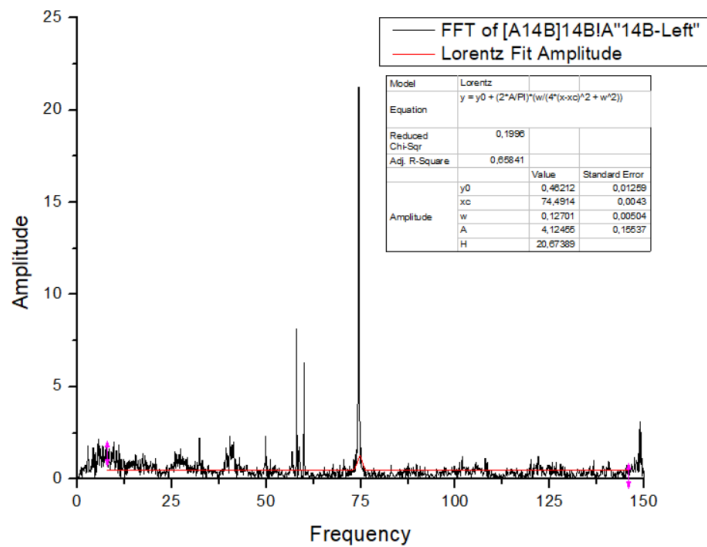


Gráfico 13 - Amplitude x frequência para o diapasão 14 b

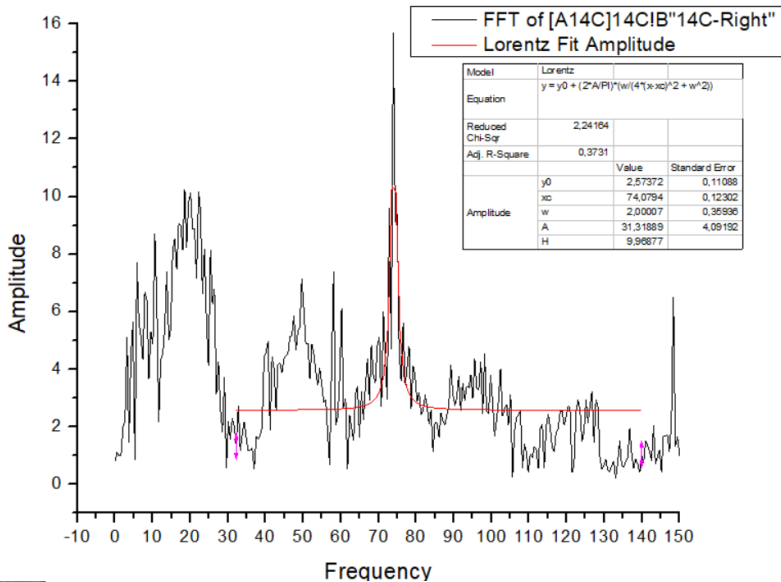


Gráfico 14 - Amplitude x frequência para o diapasão 14 c

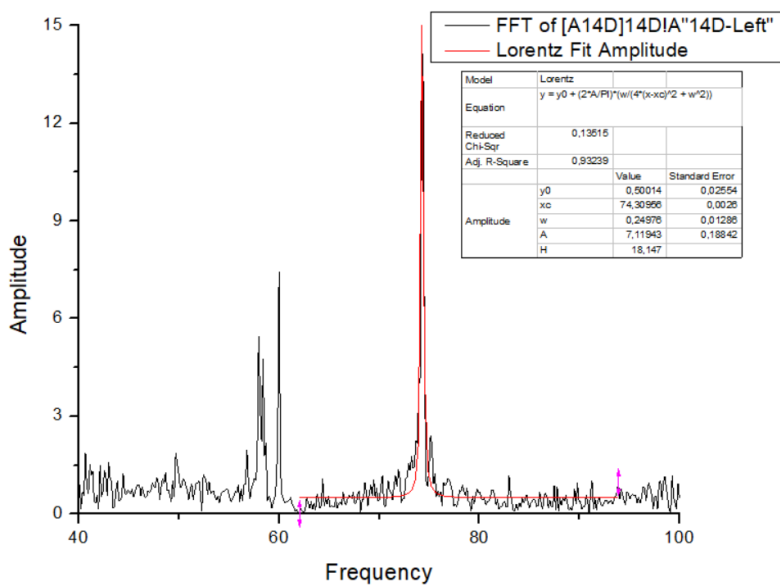


Gráfico 15 - Amplitude x frequência para o diapasão 14 d

Com os dados dos gráficos foi montado a seguinte tabela:

Diapasão						
dados	$\Delta t$ (s)	f (pico)	FWHM	$\Delta E$	$\Delta E * \Delta t$	$\frac{h}{\Delta E * \Delta t}$ ( $\times 10^{-34} \text{J.s}$ )
14 a	1,22	386,84	3,39	2,25E-33	2,74E-33	1,054
14 b	8,45	74,491	0,13	8,42E-35	7,12E-34	1,054
14 c	1,27	74,078	2,00	1,33E-33	1,68E-33	1,054
14 d	5,71	74,309	0,25	1,65E-34	9,42E-34	1,054

Tabela 2 - Princípio da incerteza para ondas sonoras (Diapasões)

Observando-se a tabela, conclui-se que todos os valores estão dentro do princípio da incerteza de Heisenberg.

## Parte 2

Com partir dos dados, plotar-se o seguinte gráfico:

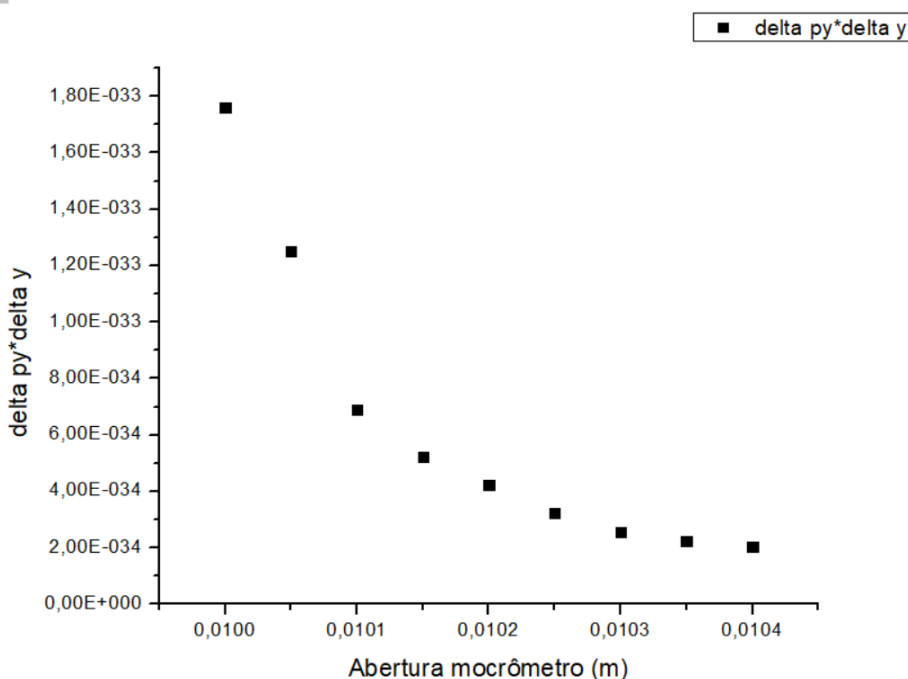


Gráfico 16 -  $\Delta p_y * \Delta y$  x abertura do micrômetro

Na parte do dodo, montou-se também a seguinte tabela:

Abertura Micrômetro (m)	Largura Feixe (m)	Cateto oposto (m)	sem ( $\theta$ )	$\lambda$ (m)	$\Delta p_y$	$\Delta p_y \cdot \Delta y$	$\hbar/2 J.s$
0,01	0,0265	0,01325	0,008	7,672E-05	6,630E-32	1,76E-33	5,25E-35
0,01005	0,019	0,0095	0,006	5,528E-05	6,597E-32	1,25E-33	5,25E-35
0,0101	0,0105	0,00525	0,003	3,07E-05	6,564E-32	6,89E-34	5,25E-35
0,01015	0,008	0,004	0,002	2,351E-05	6,532E-32	5,23E-34	5,25E-35
0,0102	0,0065	0,00325	0,002	1,92E-05	6,500E-32	4,23E-34	5,25E-35
0,01025	0,005	0,0025	0,001	1,484E-05	6,468E-32	3,23E-34	5,25E-35
0,0103	0,004	0,002	0,001	1,193E-05	6,437E-32	2,57E-34	5,25E-35
0,01035	0,0035	0,00175	0,001	1,049E-05	6,406E-32	2,24E-34	5,25E-35
0,0104	0,0032	0,0016	0,001	9,635E-06	6,375E-32	2,04E-34	5,25E-35

Tabela 3 - Princípio da incerteza para ondas eletromagnéticas por meio do uso de laser

Pode concluir por meio da tabela que todos os valores são maiores que  $\hbar/2$ , portanto obedecem o princípio da incerteza.

## Conclusão

Este experimento ilustra o princípio da incerteza de Heisenberg, mostrando que não é possível determinar ao mesmo tempo a posição e o momento de uma partícula.