

PRINCIPIO DA INCERTEZA

Resumo: Citarei a formulação do Principio da incerteza, proposto por Heisenberg, e explico que o mundo microscópico de átomos e partículas elementares, e impossível conhecer suas características simultaneamente criando uma impressão de comportamento futuro desses corpos.

O experimento estudado foi dividido em duas partes, ondas mecânicas e ondas eletromagnéticas. Para os dois processos, foi verificado a validade do principio da incerteza de Heisenberg em que se diz que o produto das incertezas estudadas nunca podem ser inferior a uma certa quantidade.

INTRODUÇÃO: Para uma explicação simplificada do principio da incerteza de Heisenberg, podemos fazer uma analogia com um jogo de bilhar (ou sinuca) e que digamos que queremos saber de onde estaria a bola; ou seja, qual seria a posição da bola. Para isso precisaríamos iluminar a bola, fica evidente que se a bola permanecer no escuro, ninguém vai conseguir vê-la. Agora, digamos que queremos localizar um átomo ou partícula (partículas microscópicas), precisaríamos fazer a mesma coisa, iluminar este átomo ou elétron. Entretanto, acontece que a luz é constituída, também, de partículas, chamadas de fótons. Então quando iluminamos um objeto qualquer, os fótons colidem com esse objeto, imprimindo uma velocidade pela transferência de momento. Então ao iluminar um átomo, perdemos a informação sobre a velocidade da mesma. É como se na bola de bilhar, ao invés de utilizarmos para iluminar a bola, usarmos luz, nós usamos

uma outra bala para podermos localizá-la.

Se a bala lançada mudar sua trajetória, inferimos que houve um choque, onde conseguimos a informação da posição da outra bala, mas perdemos a informação de sua velocidade inicial.

Uma formulação matemática que envolve as incertezas na energia e no tempo, podemos imaginar uma partícula livre que se move ao longo do eixo x com uma energia dada pela equação (I) a seguir:

$$E = \frac{p_x^2}{2m} \quad \text{(I)}$$

Da equação (I) temos que p_x é o momento no eixo x e m a massa de um elétron por exemplo.

Para uma incerteza da energia, podemos utilizar de um artifício matemático das derivadas parciais para o cálculo da incerteza ΔE da energia. Considerando a incerteza do momento Δp_x a incerteza da velocidade, que é expressa pela incerteza do tempo. Usando assim:

$$\Delta E \Delta t = \Delta p_x \quad \text{(II)}$$

Porém, Heisenberg demonstrou que $\Delta p_x \Delta x \geq \frac{h}{2}$. Portanto temos:

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{h}{2} \quad \text{(III)}$$

Para o experimento realizado, a partir da medida da largura mais altura (w) obtida nos gráficos aqui

apresentado nos resultados e discussões determinamos a partir da mesma a energia ΔE como mostrado na equação (IV) a seguir

$$E = h \cdot f$$

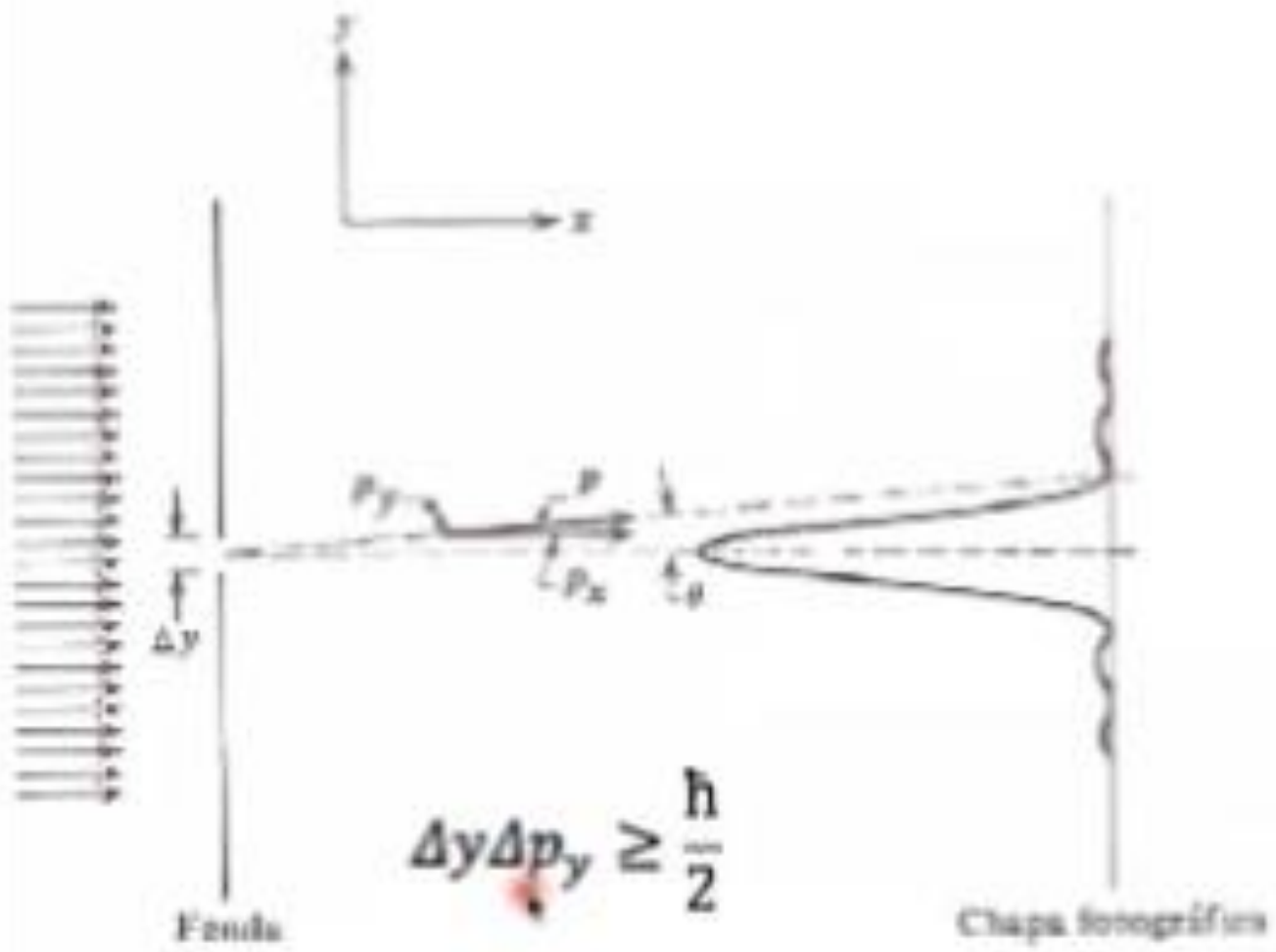
$$\Delta E = h \cdot \Delta f$$

(IV)

A partir do ΔE obtido a partir da largura mais altura (Δf) substituímos na equação (III) e junto com o tempo Δt obtido ao analisar os gráficos, verifica-se se o princípio da incerteza é válido para tal medida.

Para a segunda parte do experimento a partir do aparato apresentado na figura 1 a seguir ao passar através da fenda mostrada, Δy , a onda será difratada. O ângulo θ do primeiro mínimo é dado por $\text{sen } \theta = \lambda / \Delta y$. Embora seu momento na direção y fosse conhecido com grande precisão antes de passar pela fenda (p_y), muito pouco se sabe a respeito de sua posição y após passar por ela, seu momento pode assumir qualquer valor entre $-p_y$ e $+p_y$ com $\text{sen } \theta = p_y / p$. Assim, a posição y torna-se imprecisa pela medida da coordenada y devido à difração da onda do elétron.

Figura 1 - Esquemático difração



A incerteza é:

$$\Delta p_y \approx p_y = p \sin \theta = \frac{p_y}{\Delta y} \quad \textcircled{V}$$

Utilizando a relação de De Broglie $p = \frac{h}{\lambda}$ que relaciona características da partícula; ora ondulatória, ora corpuscular; obtemos

$$\Delta p_y \Delta y = h \quad \textcircled{VI}$$

Ao invés de escrevermos a frequência de uma partícula de onda, vamos utilizar da relação de De Broglie e usando $h = \frac{h}{2\pi}$, temos a expressão propriamente dita, da incerteza de Heisenberg

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{2} \quad \textcircled{VII}$$

MATERIAIS E METODOLOGIA

Ilustramos o experimento em duas partes, a primeira parte empregada com ondas acústicas e a segunda parte a utilização de ondas eletromagnéticas.

Para a primeira parte foi utilizado um gerador de funções AC com frequência definida em 200 Hz, e para registrar o valor da amplitude pelo tempo, um microfone acoplado com um software de computador para gravação. Foi feita a medida de

data . .

0512035

varios pacotes de intervalos de tempos diferentes, a partir da medida desses pacotes foi realizada uma transformada de Fourier nos dados e a partir do grafico da amplitude \times frequencia após a transformada foi obtida a largura meio altura e com tal medida verificamos a incerteza de Heisenberg utilizando as equações descritas na introdução deste relatório.

Para a segunda parte do experimento, foi montado um aparato experimental tal que um laser incide em uma fenda e projeta-se um padrão de difração em um anteparo. Para zerar o micrometro, foi fechado, quase que totalmente, as fendas e a partir daí abriu-se as mesmas até que sua distancia entre elas não interferisse no diametro do máximo central do feixe. Determinando assim, o diametro do feixe pelo deslocador do aparato com detector e uma máscara, e a largura da fenda feita diretamente pela leitura do micrometro; foi repetido até varrermos os valores possíveis para a distancia entre as fendas. Com isso foi apresentado um grafico da variação da largura do máximo de difração com a largura da fenda.

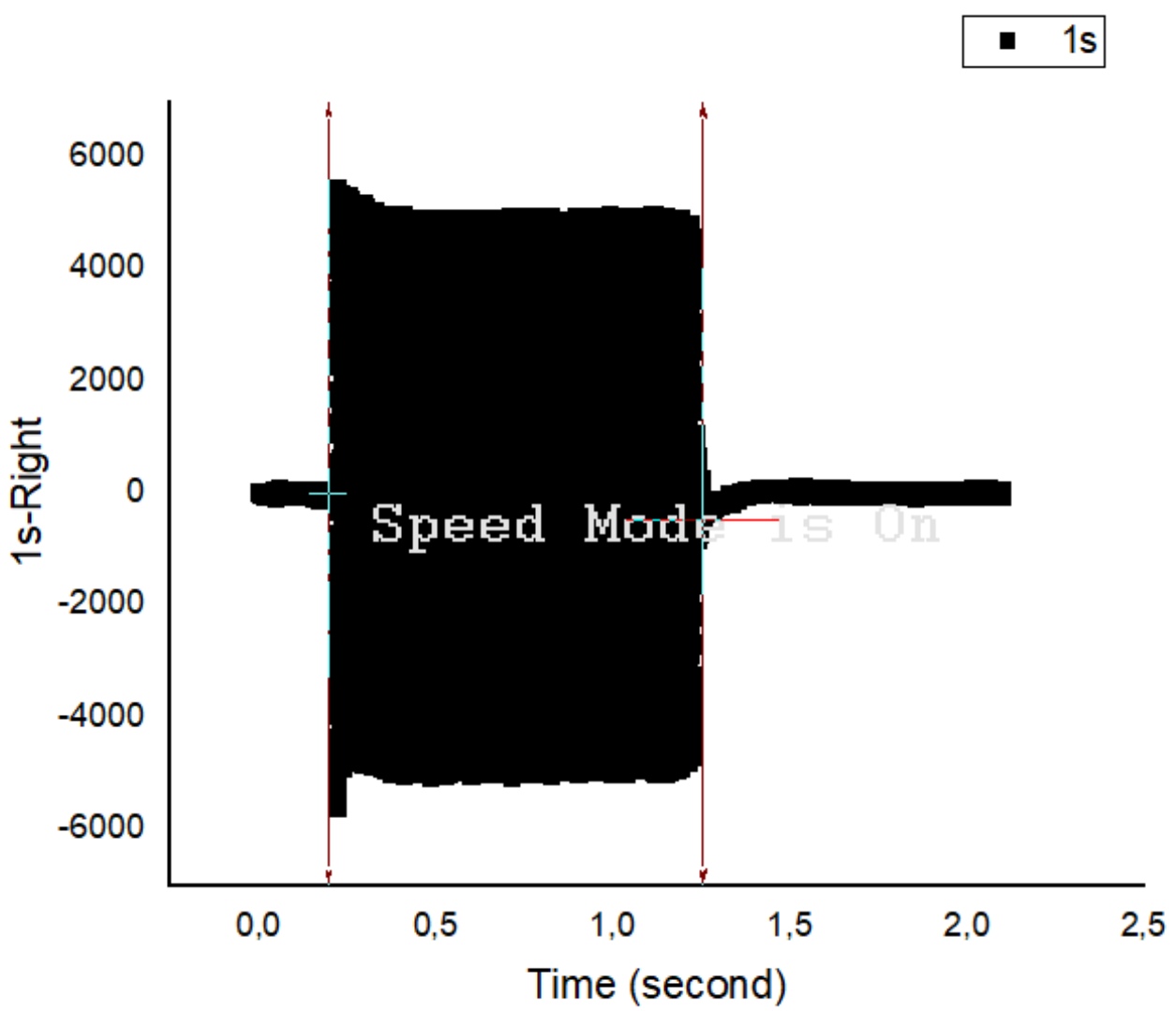
Foi determinado as incertezas trabalhadas e confrontado com o principio da incerteza de Heisenberg.

Resultados e Discussão

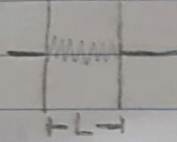
Primeiramente foi importado para o software utilizado o audio gravado e graficado o valor da intensidade do sinal pela tempo gravado e obtido por meio do software o

Tamanho da "caixa de ondas" em relação a variação de tempo gravada.

GRAFICO 1 Determinação da caixa de ondas (1s)



A partir do gráfico 1 obtemos que o tamanho da caixa de ondas referente aos valores de 1s é:

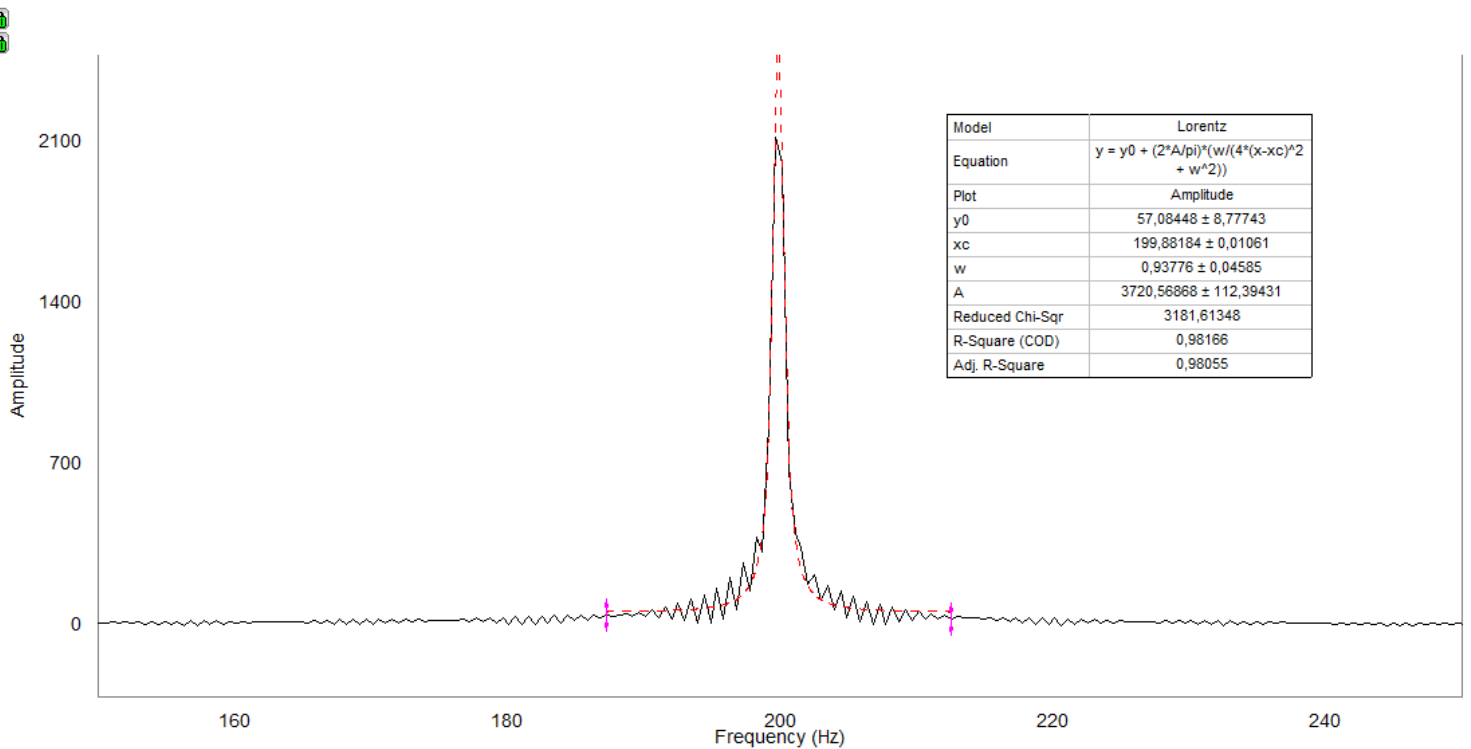


$$L = 1,2531 - 0,1973$$

$$L = 1,0557 \text{ s}$$

Com o auxílio da função de transformada de Fourier (FFT) obtemos o gráfico 2

GRÁFICO 2 - FFT (domínio da frequência (1s))



A partir do gráfico 2 obtemos o valor de largura
meio altura e a partir da mesma e as equações
descritas na introdução deste relatório obtemos:

$$\Delta f = 0,93776 \pm 0,04585$$

$$\Delta E = h \cdot \Delta f$$

$$\Delta t = 1,0557_s$$

$$\Delta E = 6,21366 \cdot 10^{-34}$$

$$\Delta E \cdot \Delta t = 6,55976 \cdot 10^{-34}$$

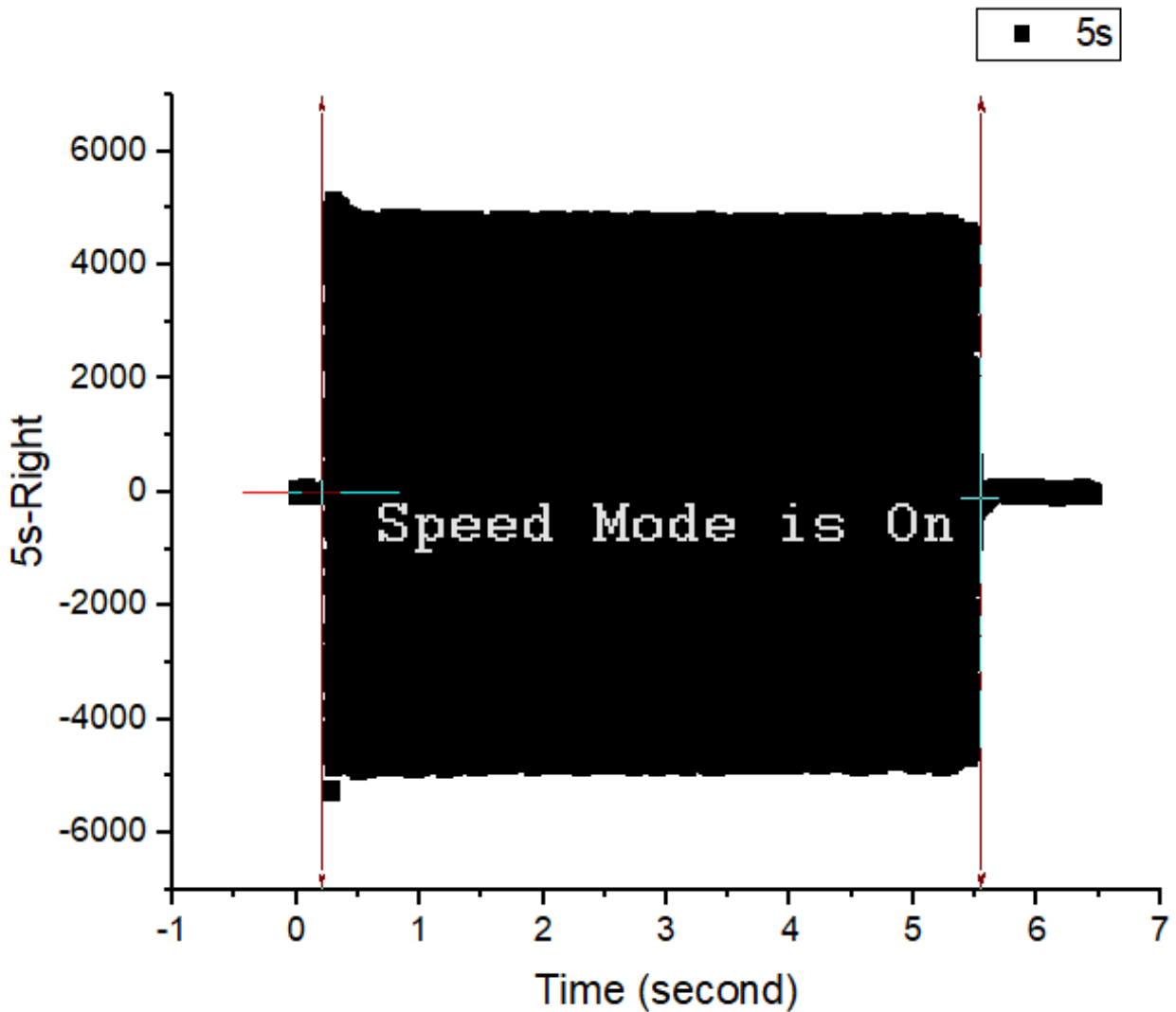
$$\frac{h}{2} = 5,2728 \cdot 10^{-35}$$

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{h}{2}$$

data
① ② ③ ④ ⑤ ⑥

Logo após realizamos o gráfico para encontrar
o tamanho da caixa para 5 segundos

Gráfico 3 - Determinação da caixa de ondas (5s)

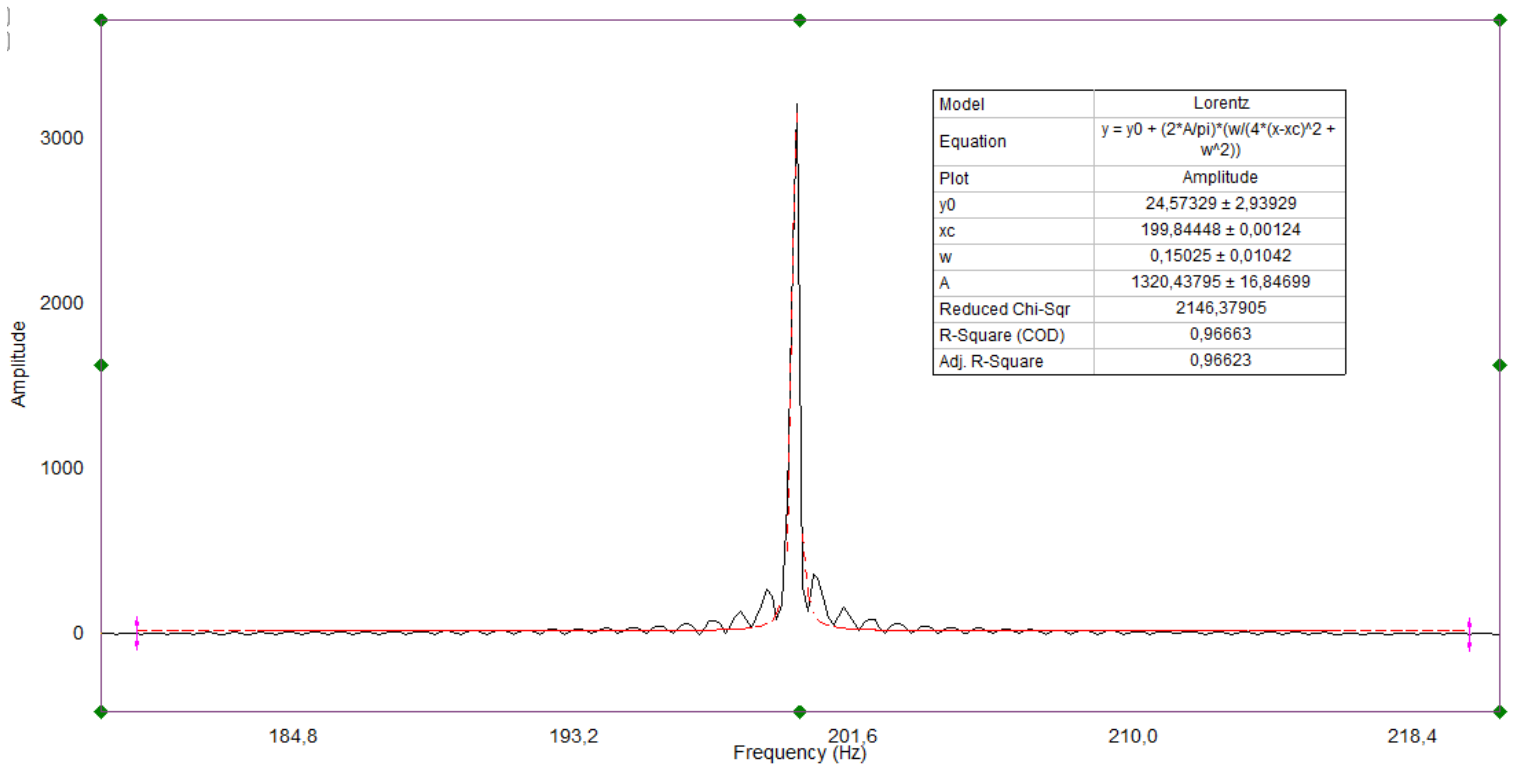


A partir do grafico 3 obtemos que o tamanho da caixa de ondas referente a 5s é

$$L = 5,5436 - 0,2084 = 5,33515 \text{ s}$$

Com o auxilio da função FFT obtemos o grafico 4 para 5s

GRAFICO 4- FFT (Domínio da frequência (5s))



Com o valor de largura meia altura da grafico 4 temos:

$$\Delta f = 0,15025 \pm 0,01042$$

$$\Delta E = 9,95567 \cdot 10^{-35}$$

$$\Delta \tau = 5,33515$$

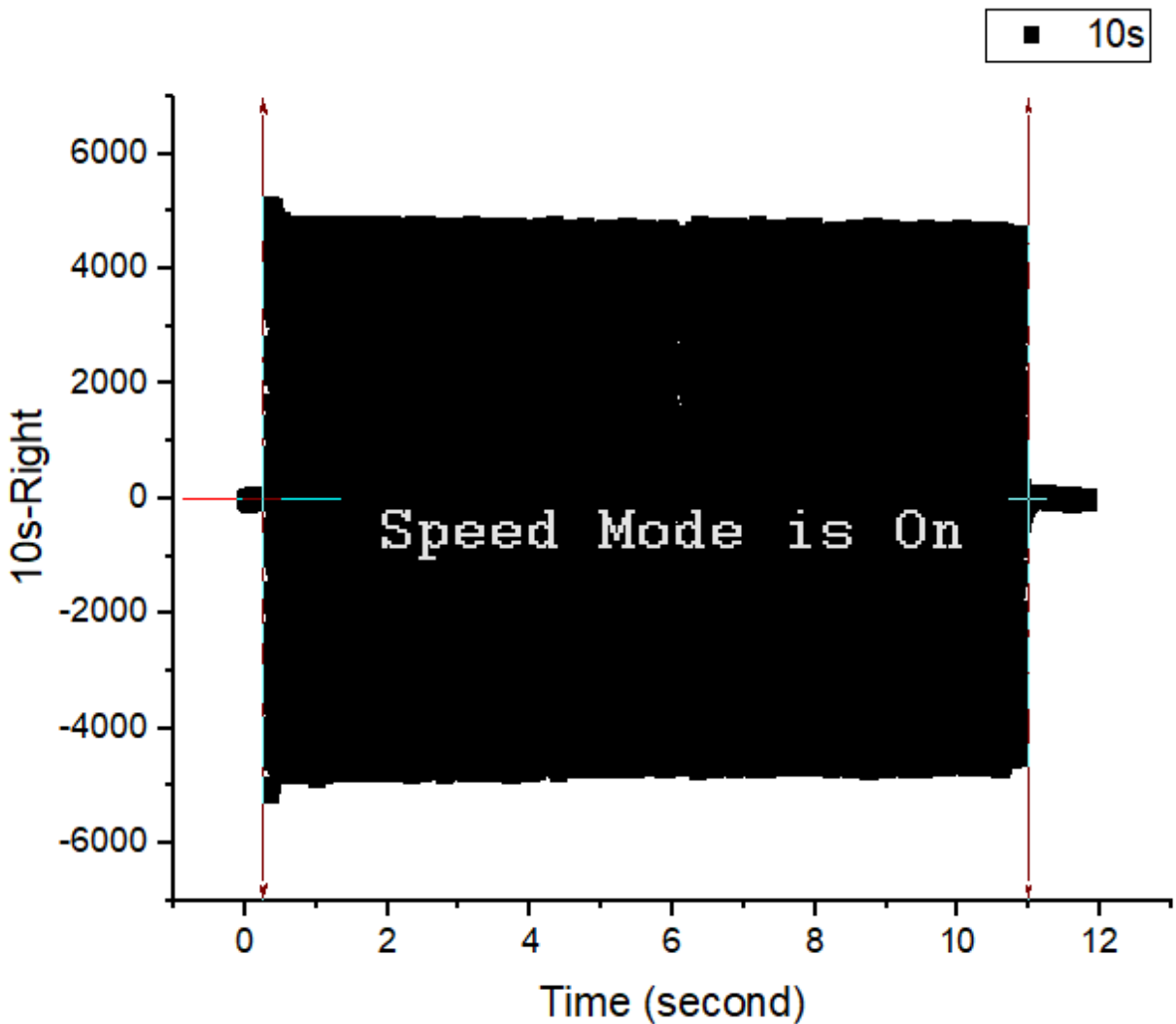
$$\Delta E = h \cdot \Delta f$$

$$\Delta E \cdot \Delta \tau \geq \frac{h}{2} \Rightarrow 5,31149 \cdot 10^{-34} \geq 5,2728 \cdot 10^{-35}$$

data . .
① ② ③ ④ ⑤ ⑥

Exemplos o grafico para encontrar o tamanho da caixa para 10s

GRAFICO 5 - Determinação da caixa de ondas (10s)

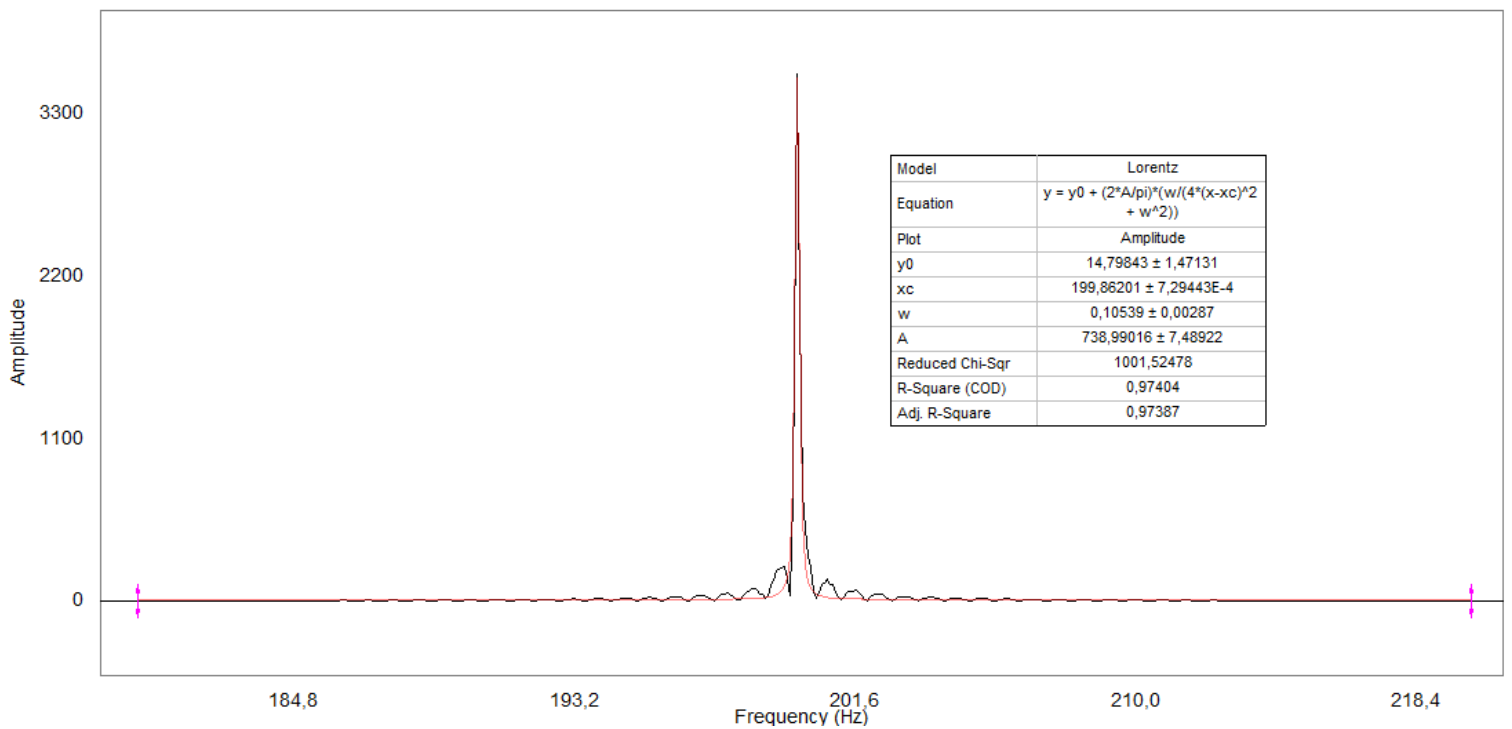


A partir do grafico 5 obtemos que o tamanho da caixa de ondas referente a 10s e

$$L = 10,9936 - 0,2471 \Rightarrow L = 10,7465 \text{ s}$$

Com o auxilio da função FFT obtemos o grafico 6 para 10s

GRAFICO 6 - FFT (Domínio da frequência (10s))



Com os valores de largura mais altura do gráfico 6 temos:

$$\Delta f = 0,10539 \pm 0,00287$$

$$\Delta E = h \cdot \Delta f$$

$$\Delta E = 6,983215 \cdot 10^{-35}$$

$$\Delta t = 10,7465 \text{ s}$$

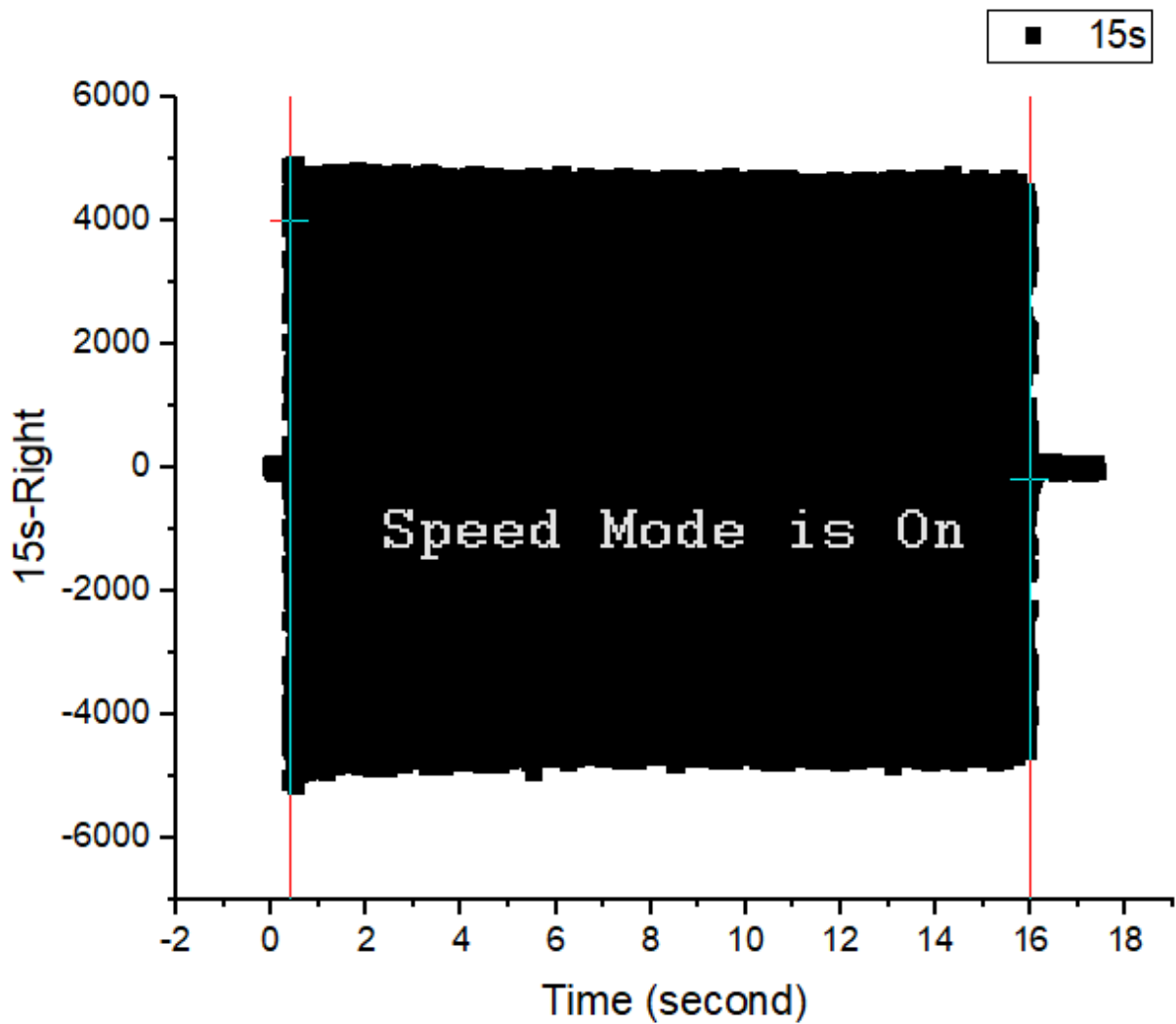
$$\Delta E \Delta t \geq \frac{h}{2} \approx 7,5045 \cdot 10^{-34} \gg 5,2728 \cdot 10^{-35}$$

Logo após foi feito o gráfico para encontrar o tamanho da caixa para 15s

data

(1) (5) (7) (9) (9) (5) (5)

GRÁFICO 7 - Determinação da caixa de ondas (15s)

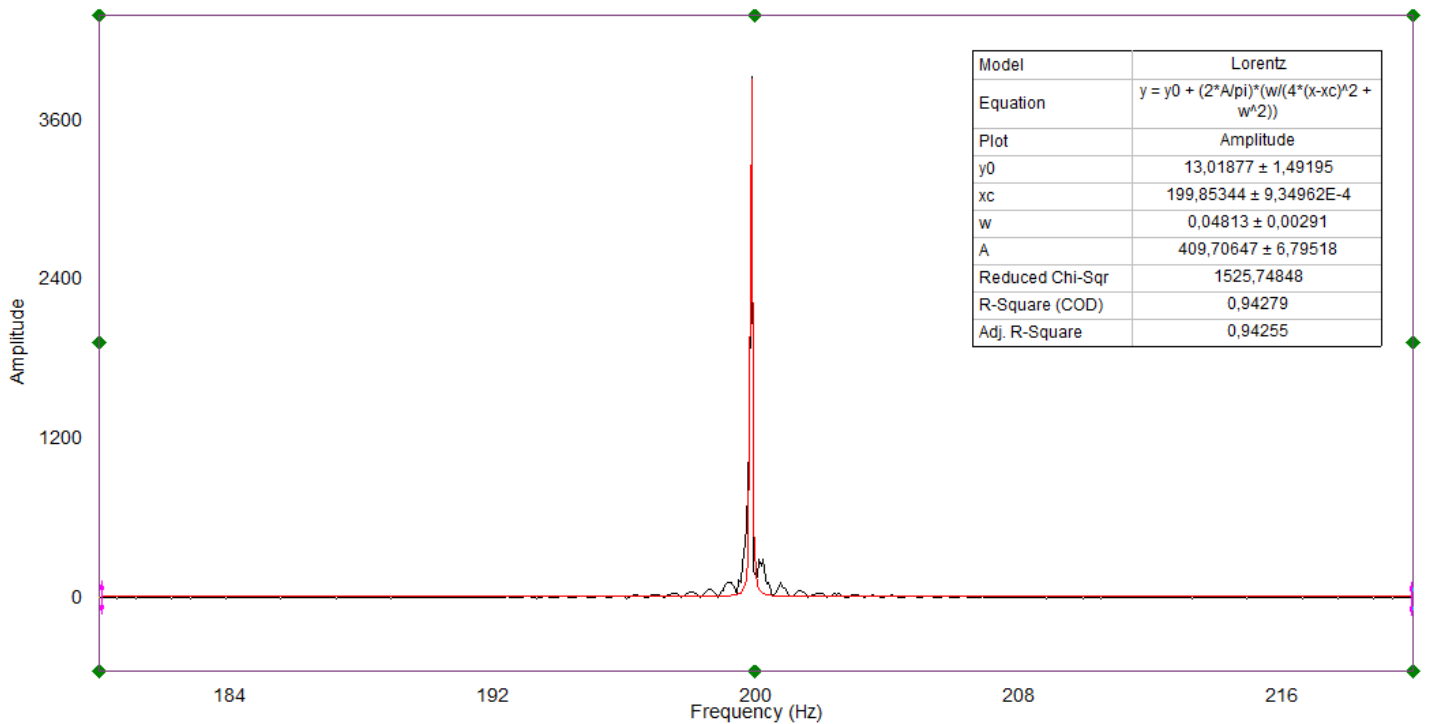


A partir do gráfico 7 obtivemos que o tamanho da caixa de ondas referente a 15s é:

$$L = 15,99021 - 0,4019 \Rightarrow L = 15,5885 \text{ s}$$

Com o auxílio da função FFT obtemos o gráfico 8 para 15s

GRÁFICO 8 - FFT (Domínio da frequência (15s))



Com os valores de largura meia altura do gráfico 8 temos:

$$\Delta f = 0,0413 \pm 0,00291$$

$$\Delta E = h \cdot \Delta f$$

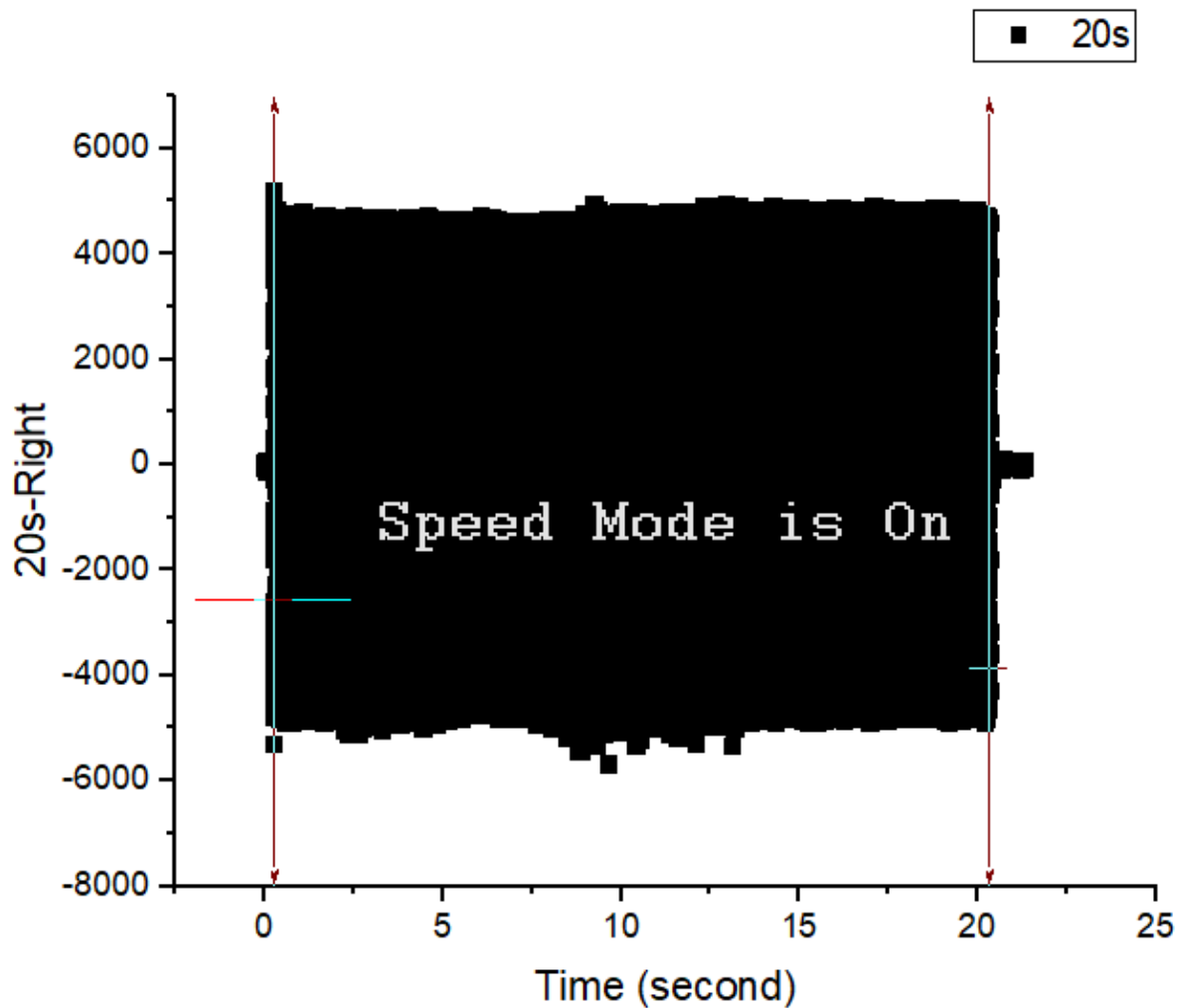
$$\Delta E = 2,7366 \cdot 10^{-35}$$

$$\Delta T = 15,5885$$

$$\Delta E \Delta T \geq \frac{h}{2} \Rightarrow 4,2659 \cdot 10^{-34} \geq 5,2728 \cdot 10^{-35}$$

A seguir foi realizado o gráfico para encontrar o tamanho da caixa para 20s

Gráfico 9 - Determinação da caixa de ondas (20s)

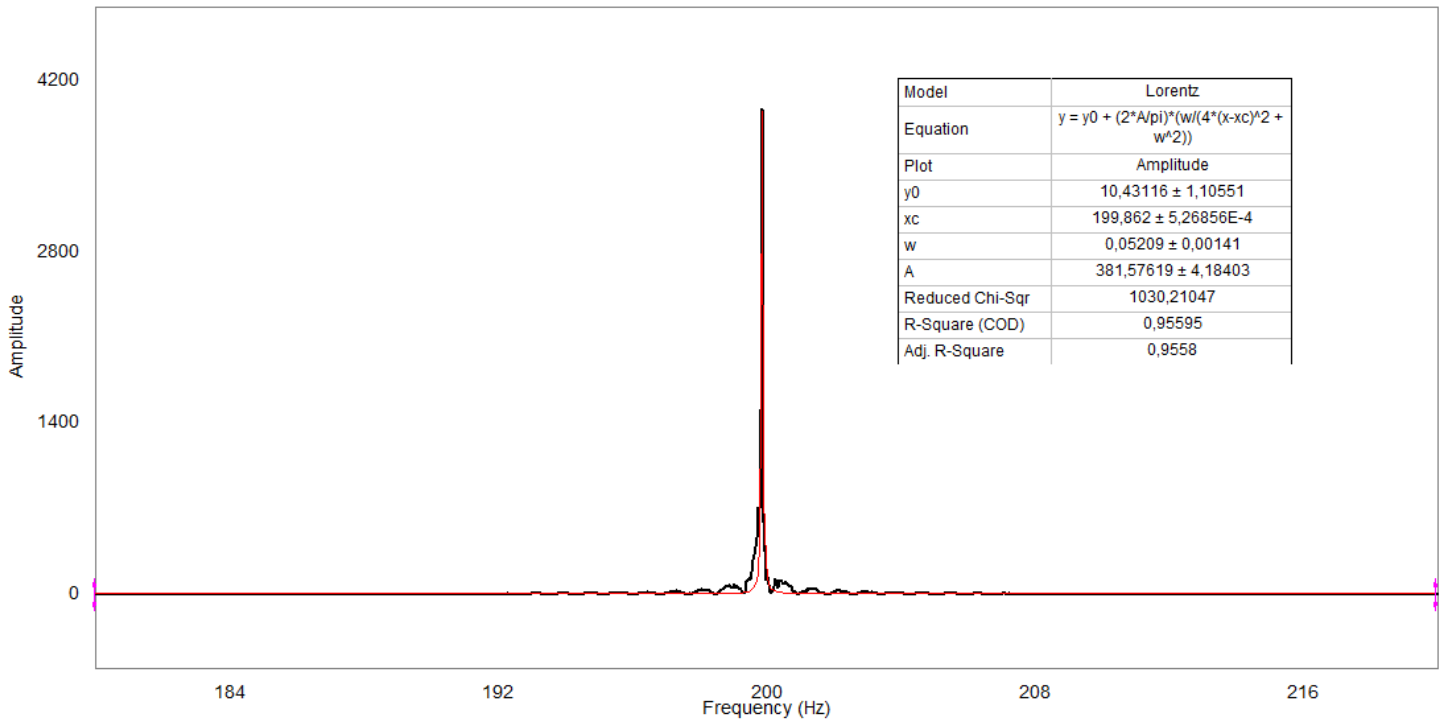


A partir do gráfico 9 obtivemos que o tamanho do casco de ondas referente a 20s é:

$$L = 20,3132 - 0,2694 = 20,0438 \text{ s}$$

Com o auxílio da função FFT obtemos o gráfico 10 para 20s

Gráfico 10 - FFT (Domínio da frequência) (20s)



Com os valores de largura mais altura do grafico 10 temos:

$$\Delta f = 0,05209 \pm 0,00141 \quad \Delta E = h \cdot \Delta f$$

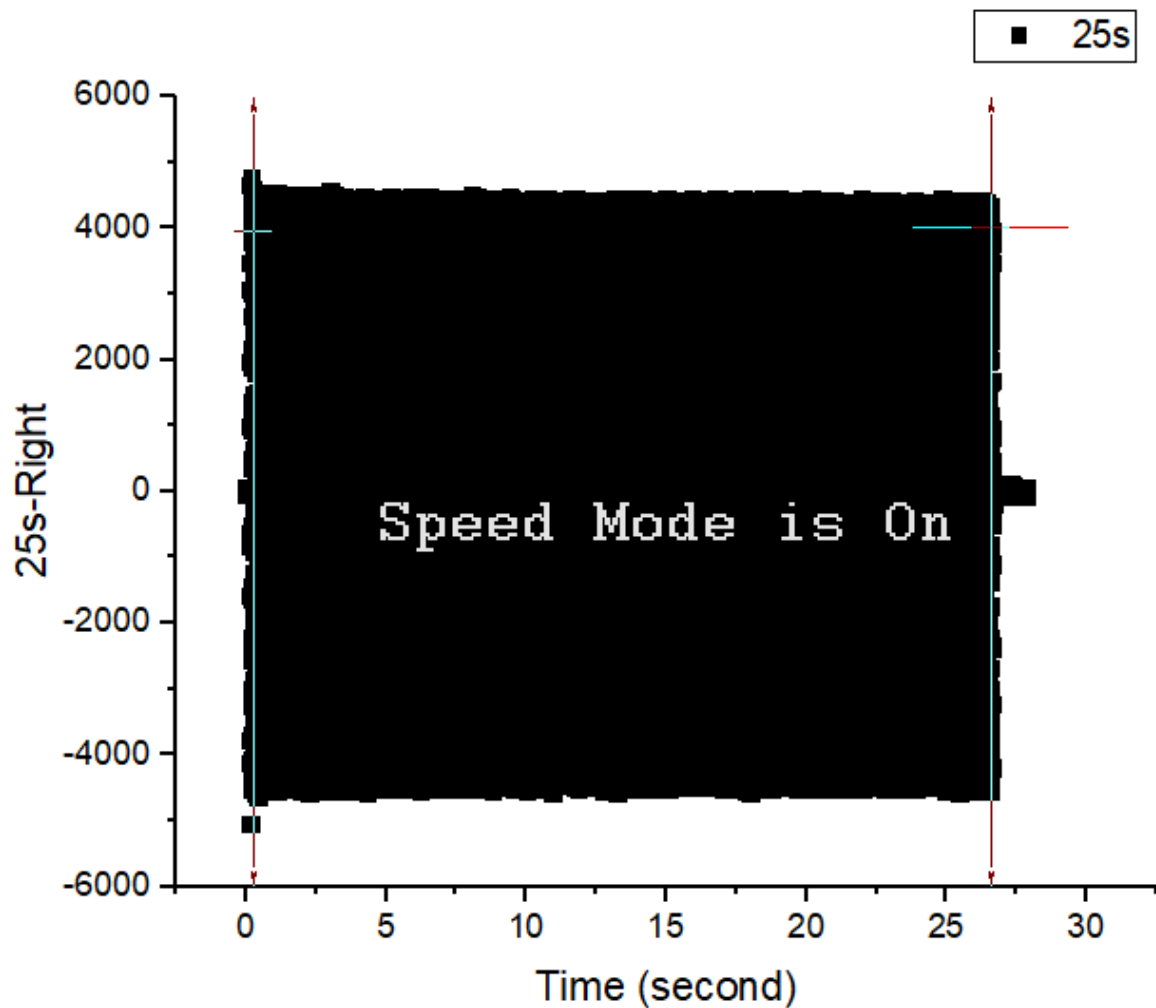
$$\Delta E = 3,4515 \cdot 10^{-35}$$

$$\Delta t = 20,0738$$

$$\Delta E \cdot \Delta t \gg \hbar/2 \Rightarrow 6,9182 \cdot 10^{-34} \gg 5,2728 \cdot 10^{-35}$$

Logo após foi feito o grafico para encontrar o tamanho do caixote para 25n

GRAFICO 11- Determinação do caixote de ondas (25n)



A partir do grafico 11 obtivemos que a tamanho do caixa de ondas referente a 25s é:

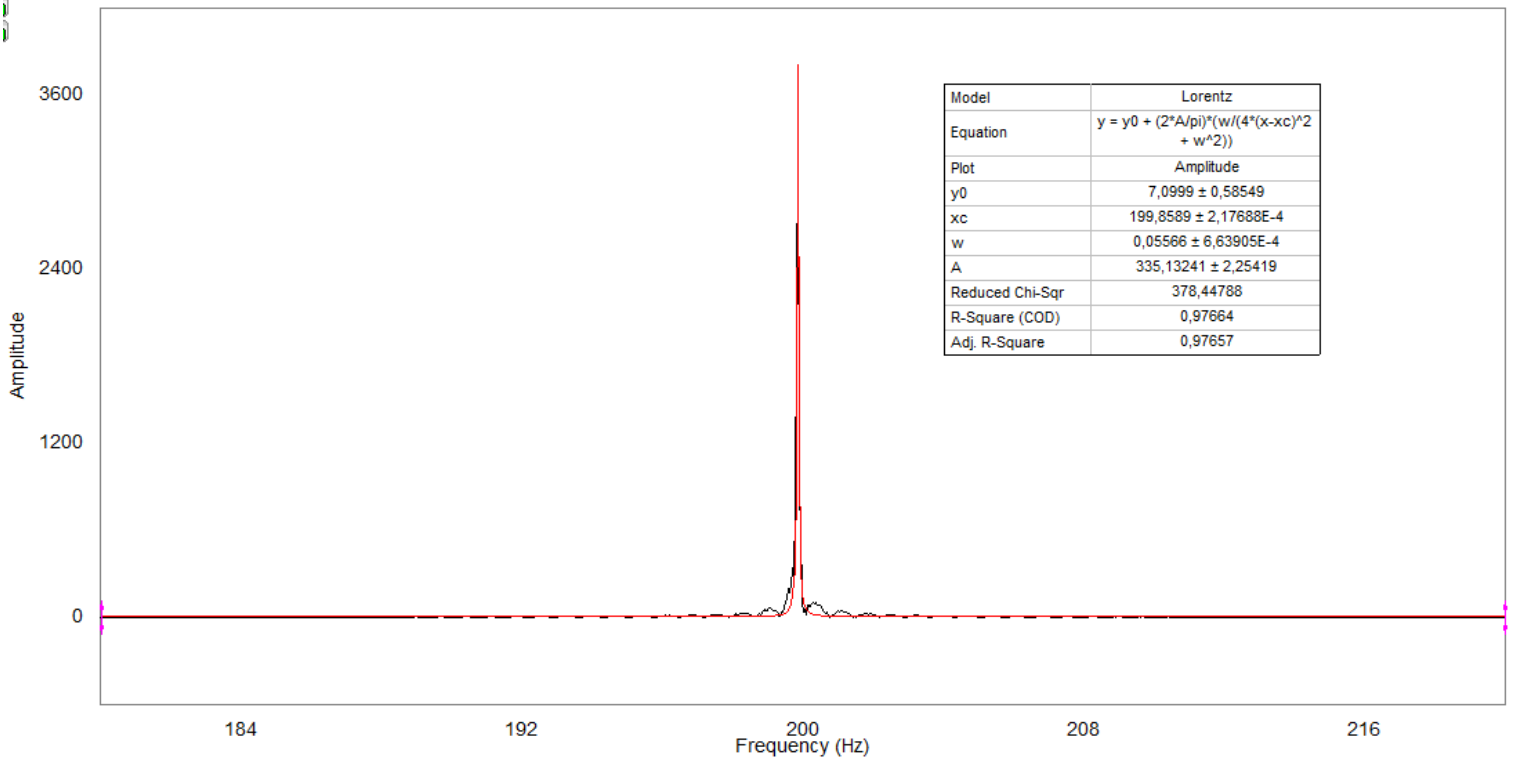
data

(D) (S) (T) (Q) (Q) (S) (S)

$$L = 26,5988 - 0,2751 \Rightarrow L = 26,3237 \text{ s}$$

Com a análise da função FFT obtivemos o gráfico 12 para 25s.

GRÁFICO 12- FFT (Domínio da frequência (25s))



Com os valores de largura mais altura do gráfico 12 temos:

$$\Delta f = 0,05566 \pm 6,63905 \cdot 10^{-24} \quad \Delta E = h \cdot \Delta f$$

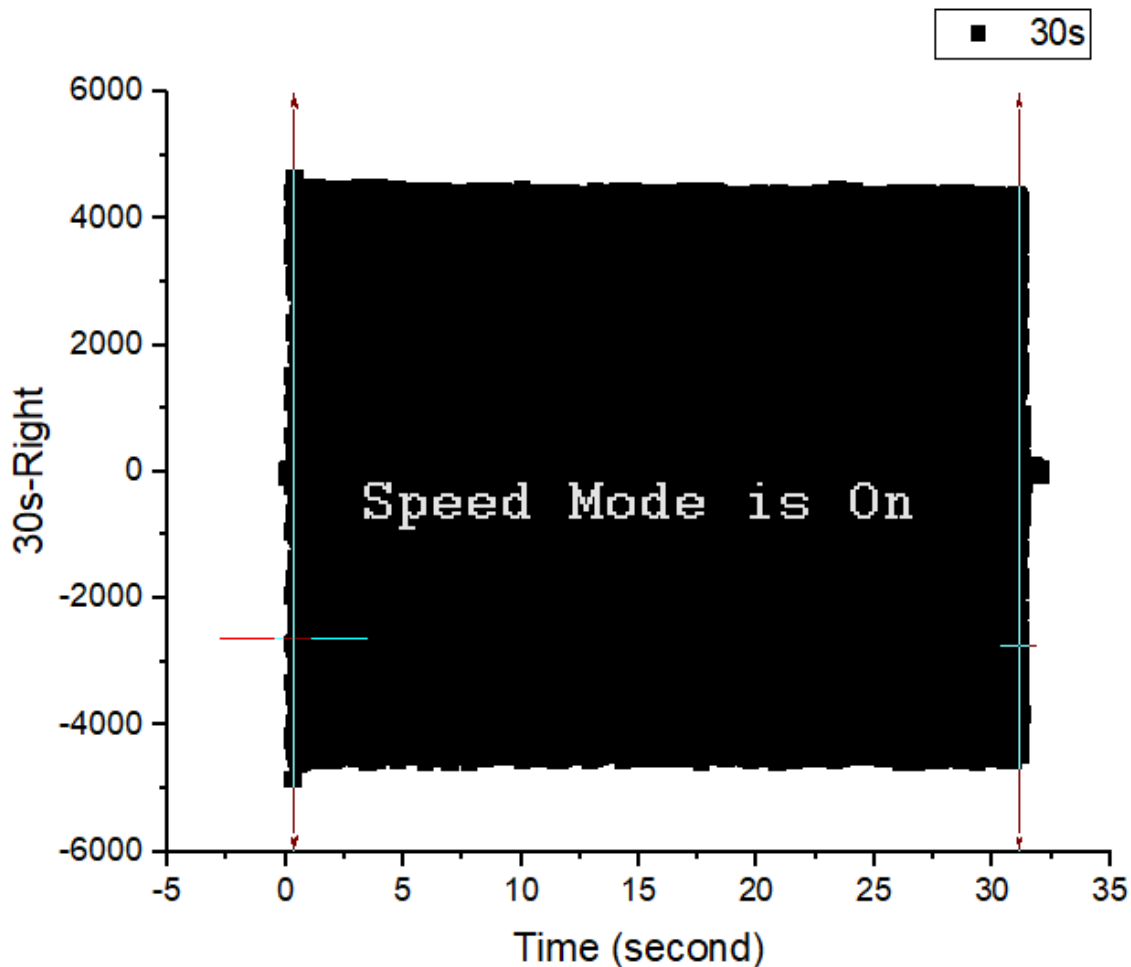
$$\Delta E = 3,6881 \cdot 10^{-35}$$

$$\Delta t = 26,3237 \text{ ns}$$

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{h}{2} \Rightarrow 9,7084 \cdot 10^{-34} \gg 5,2728 \cdot 10^{-35}$$

A seguir foi feito o gráfico para encontrar o tamanho da caixa de ondas referente a 30s

Gráfico 13 - Determinação da caixa de ondas (30s)

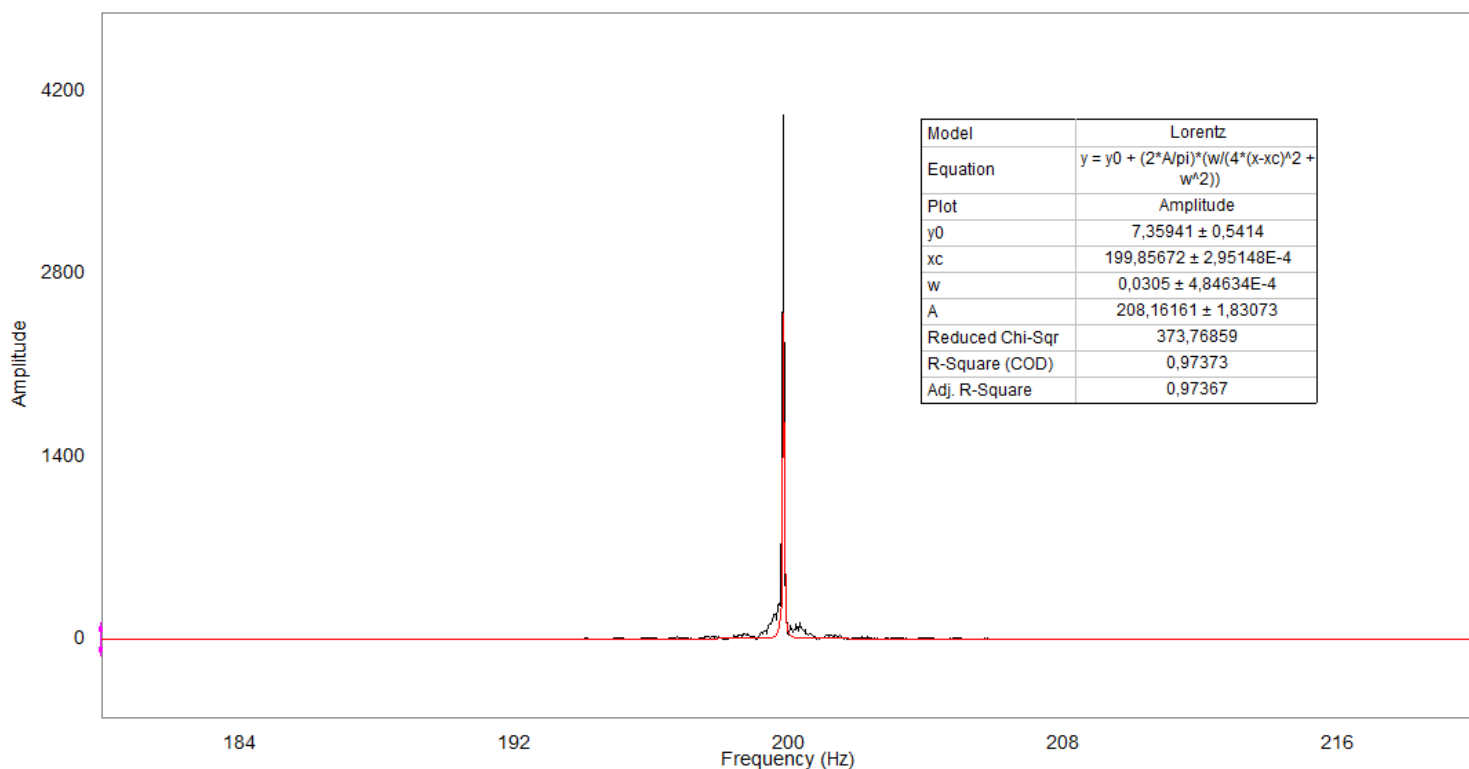


A partir do gráfico 13 obtivemos que o tamanho da caixa de ondas referente a 30 segundos é:

$$L = 31,1266 - 0,3497 \Rightarrow L = 30,7769 \text{ m}$$

Com a análise da função FFT obtivemos o gráfico 17 para 30s

GRÁFICO 17 - FFT (Domínio da frequência (30s))



Com os valores de largura e altura do grafico 14 temos:

$$\Delta f = 0,0305 \pm 4,8763 \cdot 10^{-24}$$

$$\Delta E = h \cdot \Delta f$$

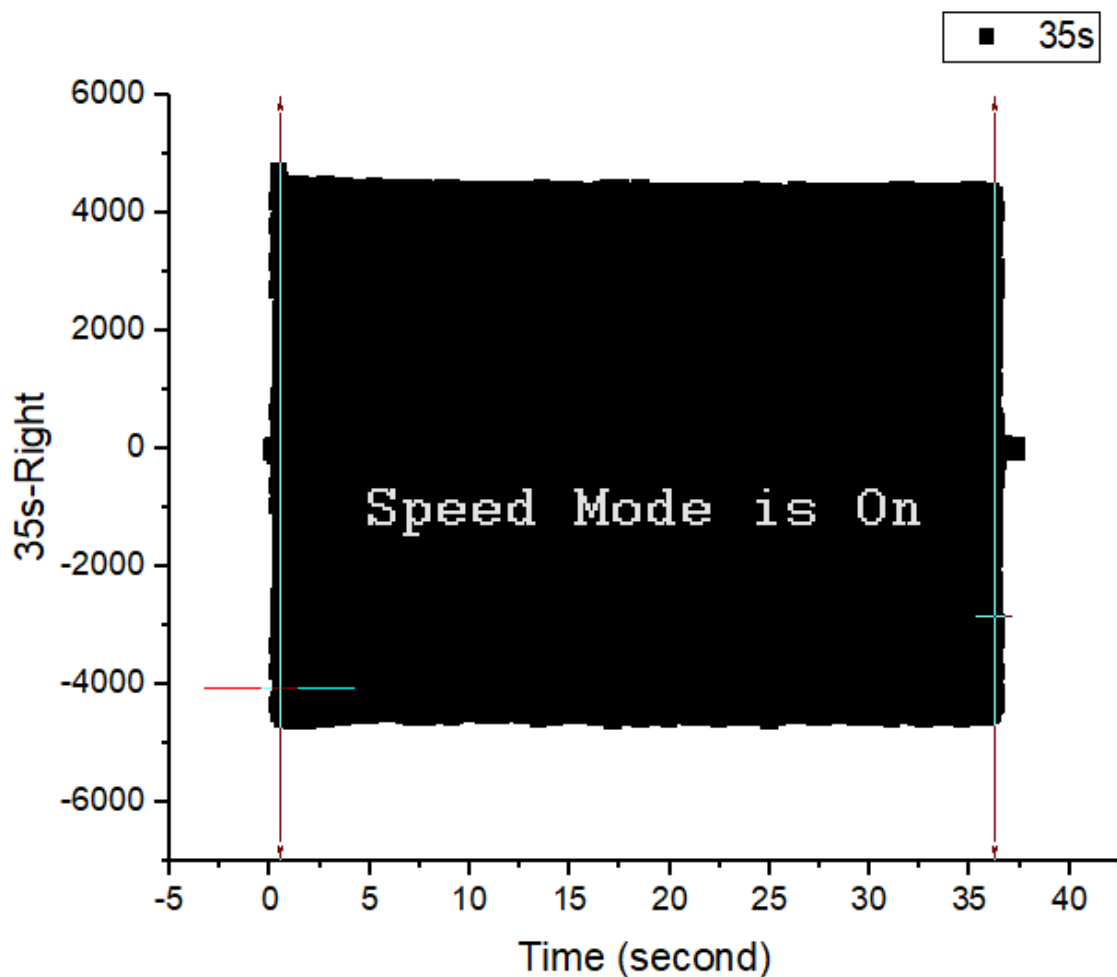
$$\Delta E = 2,0209 \cdot 10^{-35}$$

$$\Delta t = 30,7769 \Delta$$

$$\Delta E \cdot \Delta t \gg \hbar/2 \Rightarrow 6,2199 \cdot 10^{-34} \gg 5,2728 \cdot 10^{-35}$$

Logo após foi feito o grafico para encontrar o tamanho da caixa de ondas referente a 35s

GRAFICO 15 - Determinação da caixa de ondas (35s)



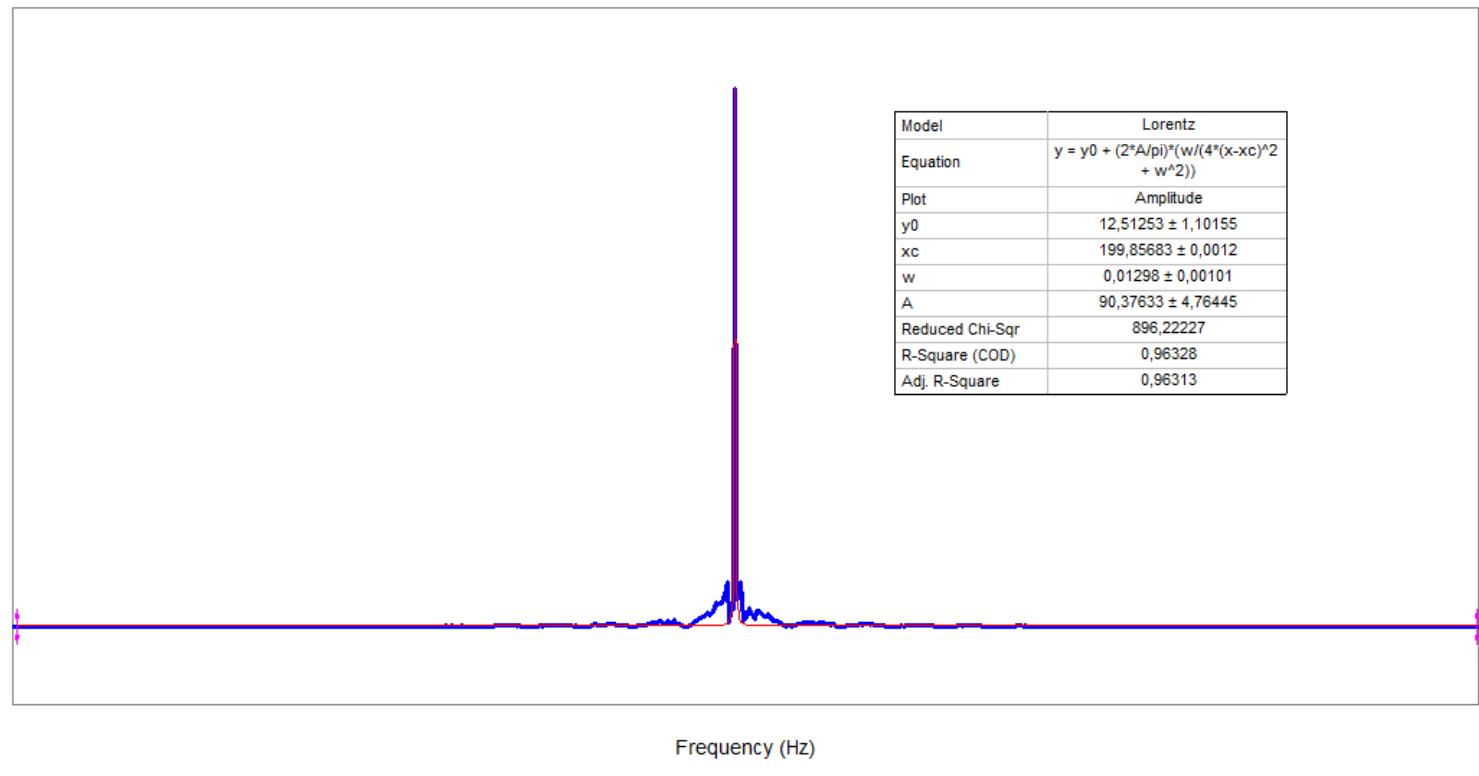
A partir do grafico 15 obtivemos que o tamanho da caixa de ondas referente a 35 segundos e:

$$L = 36,2445 - 0,5194 \approx L = 35,7251 \text{ s}$$

Com o auxilio da função FFT obtivemos a grafico 16 para o referente a 35s

data
D S T Q Q S S

GRAFICO 16 - FFT (Domínio da frequência (35s))



Com os valores de largura meio altura do grafico 16 temos:

$$\Delta f = 0,01298 \pm 0,00101$$

$$\Delta E = h \cdot \Delta f$$

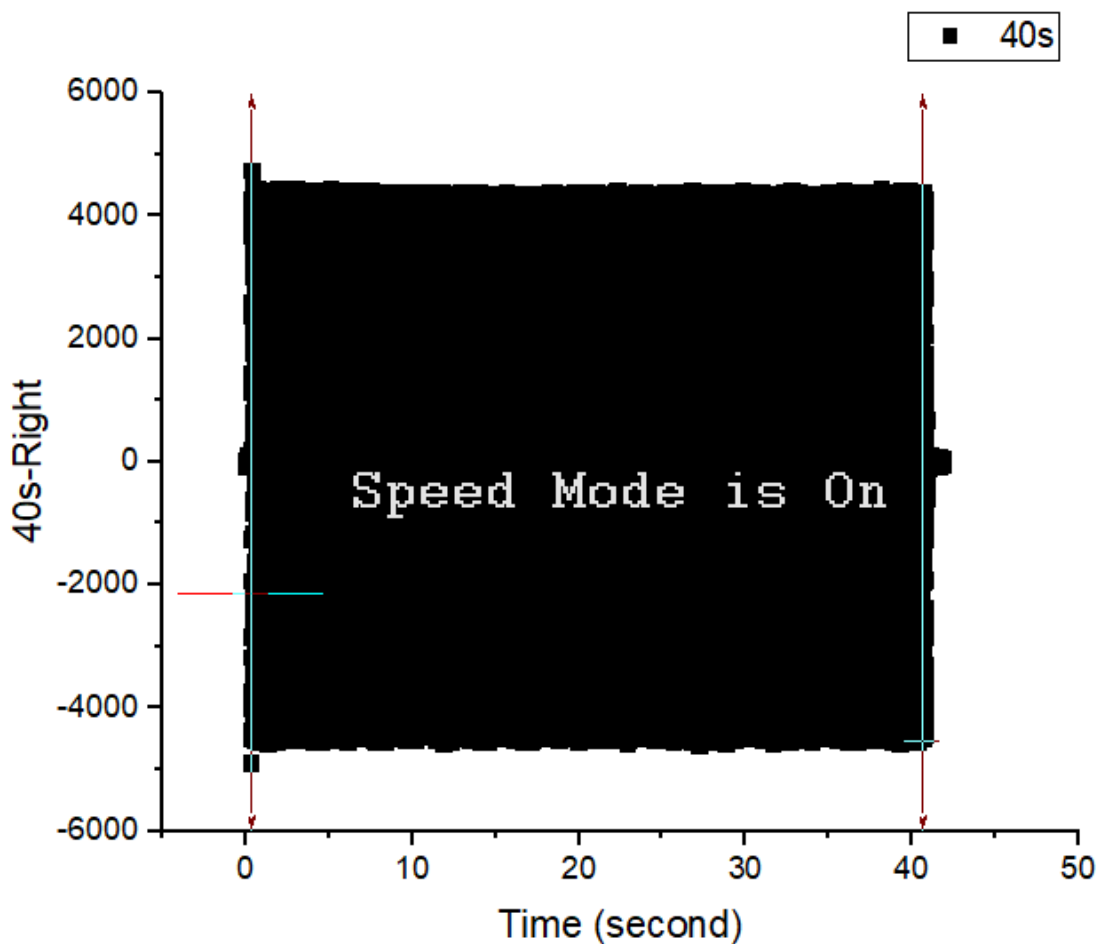
$$\Delta E = 8,6006 \cdot 10^{-36}$$

$$\Delta t = 35,7251 \text{ s}$$

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar/2 \Rightarrow 3,0726 \cdot 10^{-37} > 5,2728 \cdot 10^{-35}$$

A seguir foi feito o grafico para encontrar o tamanho da caixa de ondas referente a 40s

GRAFICO 17 - Determinação da caixa de ondas (40s)

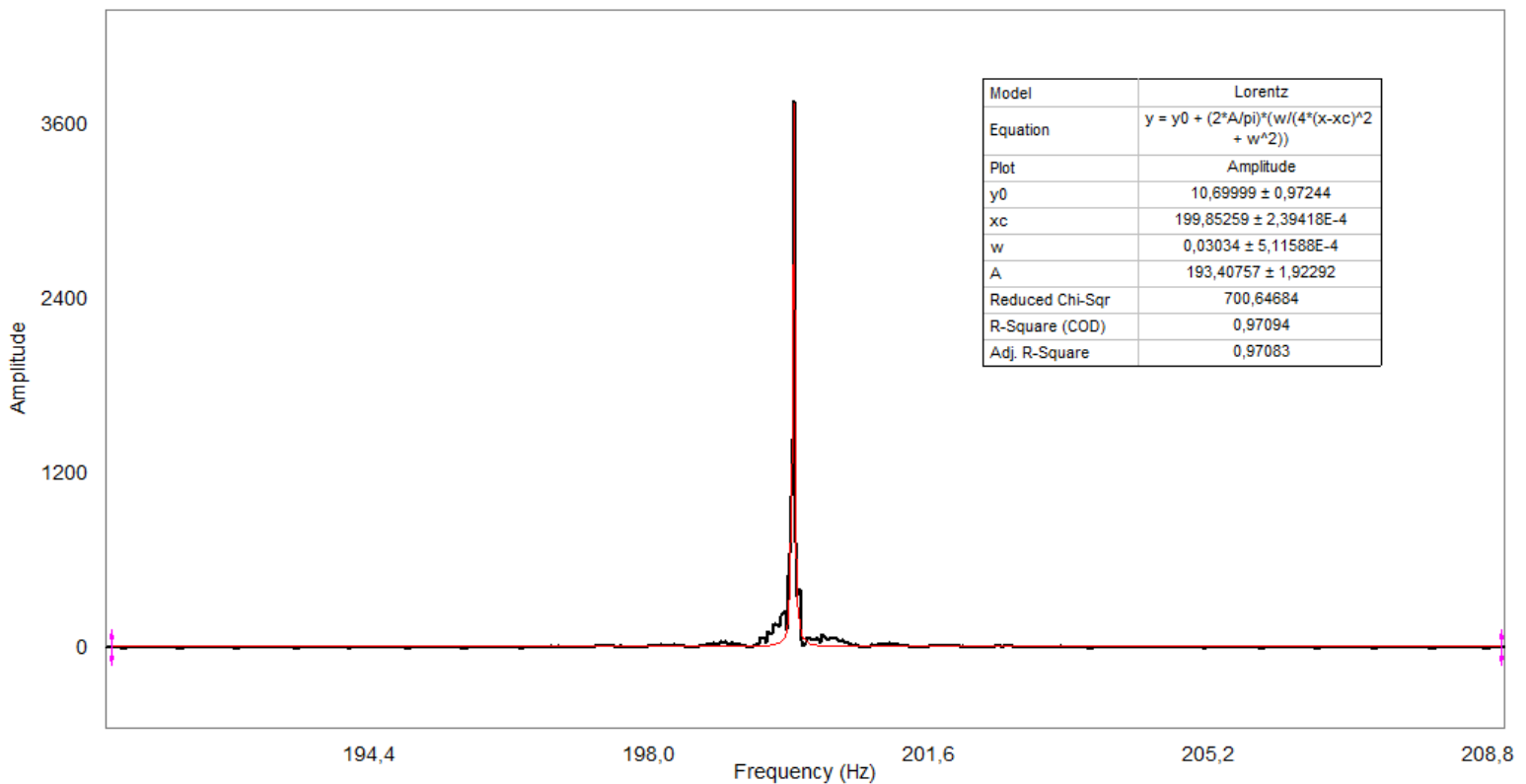


A partir do gráfico 17 obtemos que o tamanho do ciclo de ondas referente a 40 segundos:

$$L = 40,6265 - 0,3258 \quad \text{e} \quad L = 40,3007 \text{ s}$$

Com o auxílio da função FFT obtemos o gráfico 18 para a referente a 40s

GRÁFICO 18 - FFT (Domínio da frequência (40s))



A partir dos valores de largura mais altura do grafico 18 temos:

$$\Delta f = 0,030324 \pm 5,11588 \cdot 10^{-24}$$

$$\Delta E = h \cdot \Delta f$$

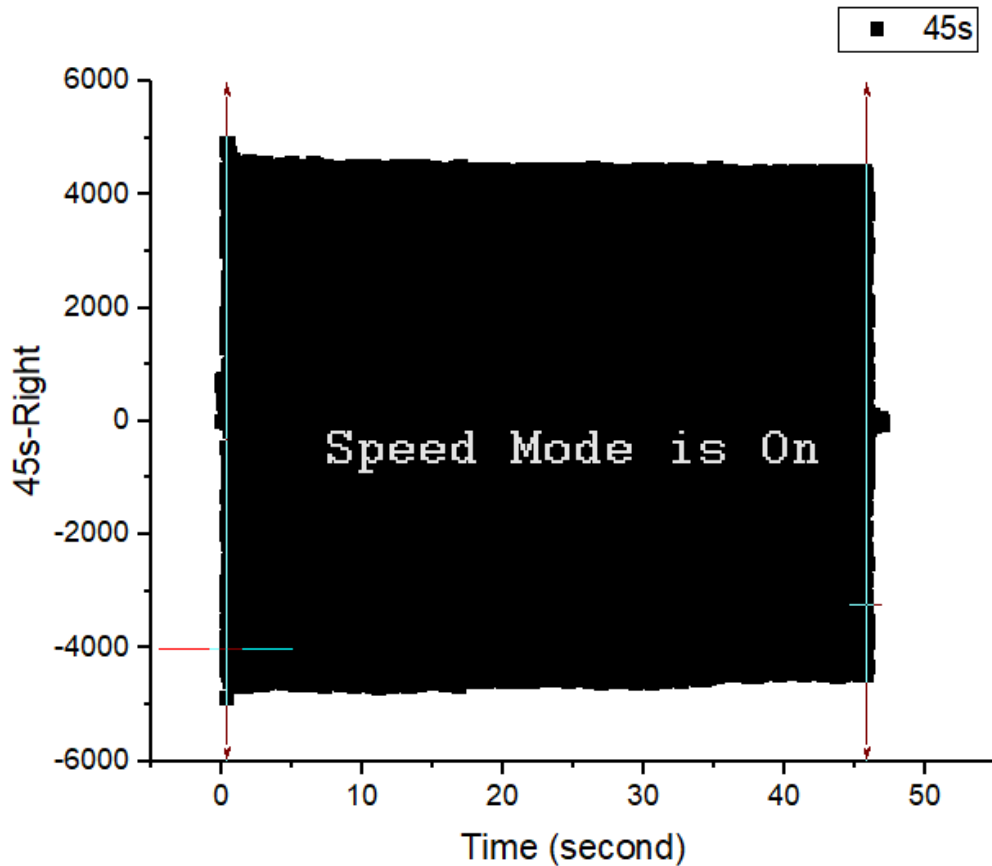
$$\Delta E = 2,0103 \cdot 10^{-35}$$

$$\Delta t = 40,3007$$

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{h}{2} \Rightarrow 8,1019 \cdot 10^{-34} > 5,2728 \cdot 10^{-35}$$

Logo após foi feito o grafico para encontrar o tamanho da caixa de ondas referente a 45s

GRAFICO 19 - Determinação da caixa de ondas (45s)

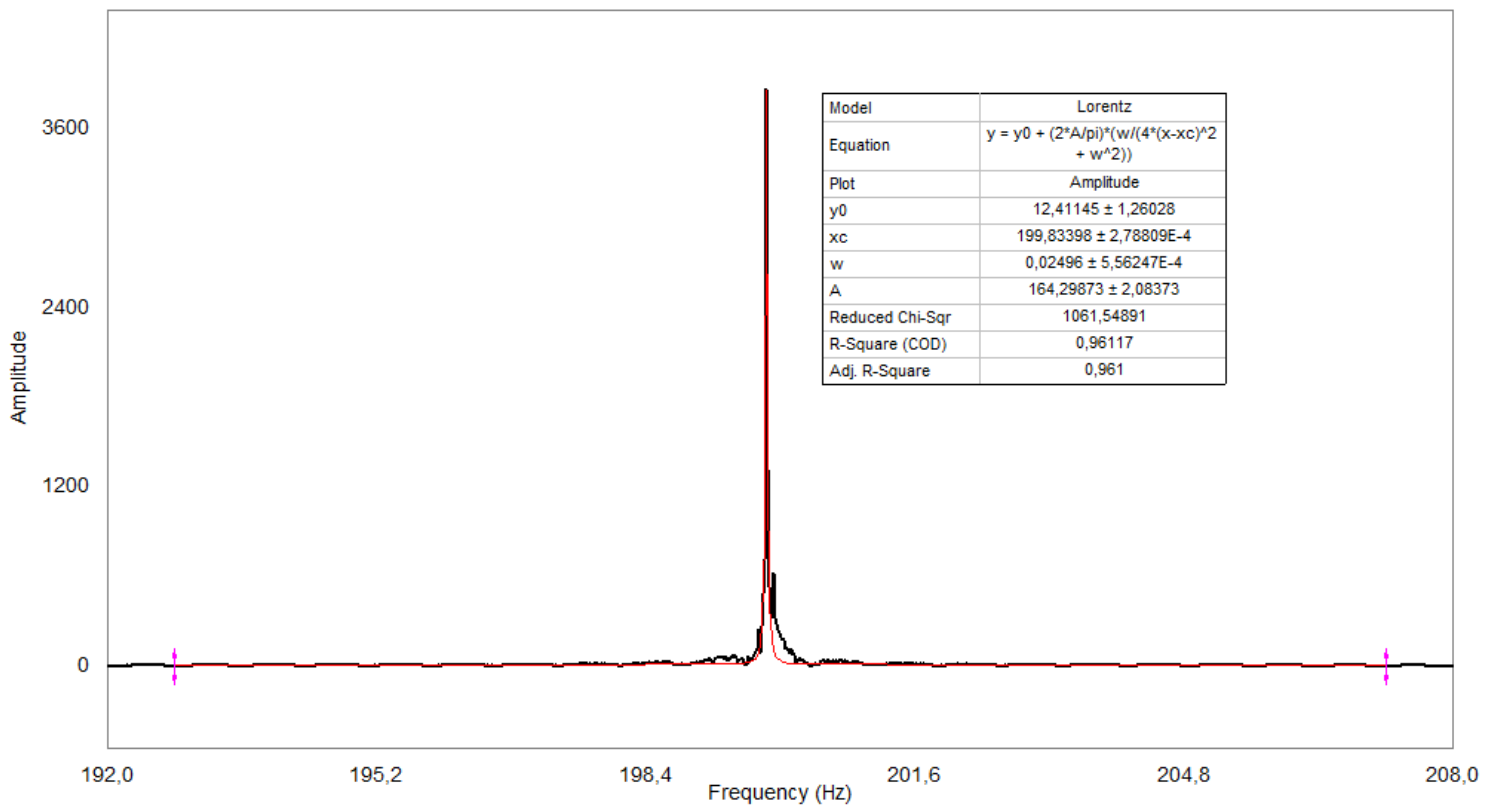


A partir do gráfico 19 obtivemos que o tamanho da caixa de ondas referente a 75 segundos é:

$$L = 75,8270 - 0,3451 \rightarrow L = 75,4819 \text{ m}$$

Com a análise da função FFT obtivemos o gráfico 20 para os valores referente a 75 segundos.

Gráfico 20 - FFT (Denúncia da frequência (75 s))



A partir dos valores de largura e altura do gráfico
20 temas:

data

○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○

$$\Delta f = 0,02496 \pm 5,56247 \cdot 10^{-24}$$

$$\Delta E = h \cdot \Delta f$$

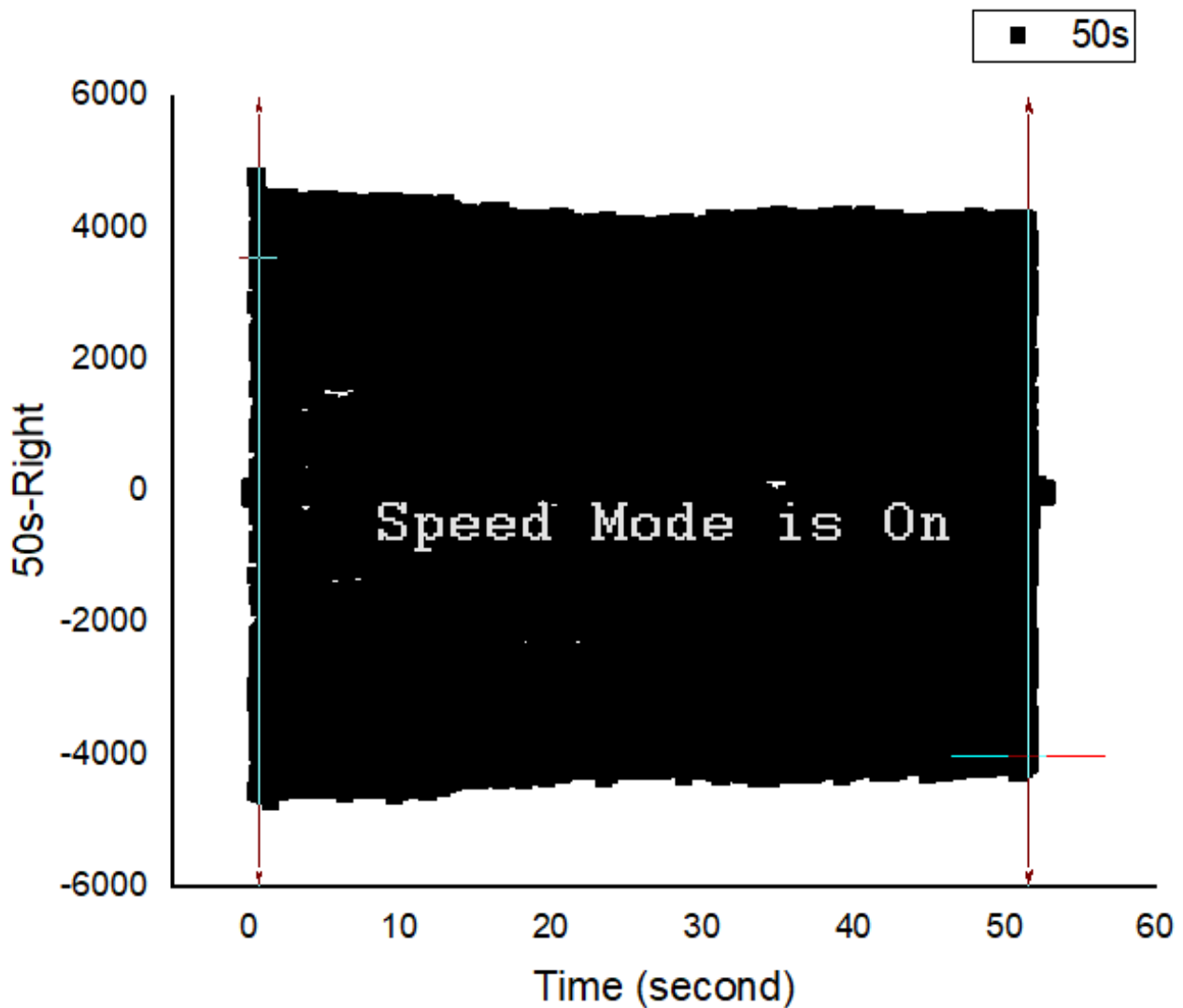
$$\Delta E = 1,6539 \cdot 10^{-35}$$

$$\Delta t = 25,4879 \text{ s}$$

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar/2 \Rightarrow 7,5221 \cdot 10^{-34} > 5,2728 \cdot 10^{-35}$$

A seguir foi feito o gráfico para encontrar a tamanho da caixa de ondas referente a 50 segundos.

GRÁFICO 21 - Determinação da caixa de ondas (50 s)

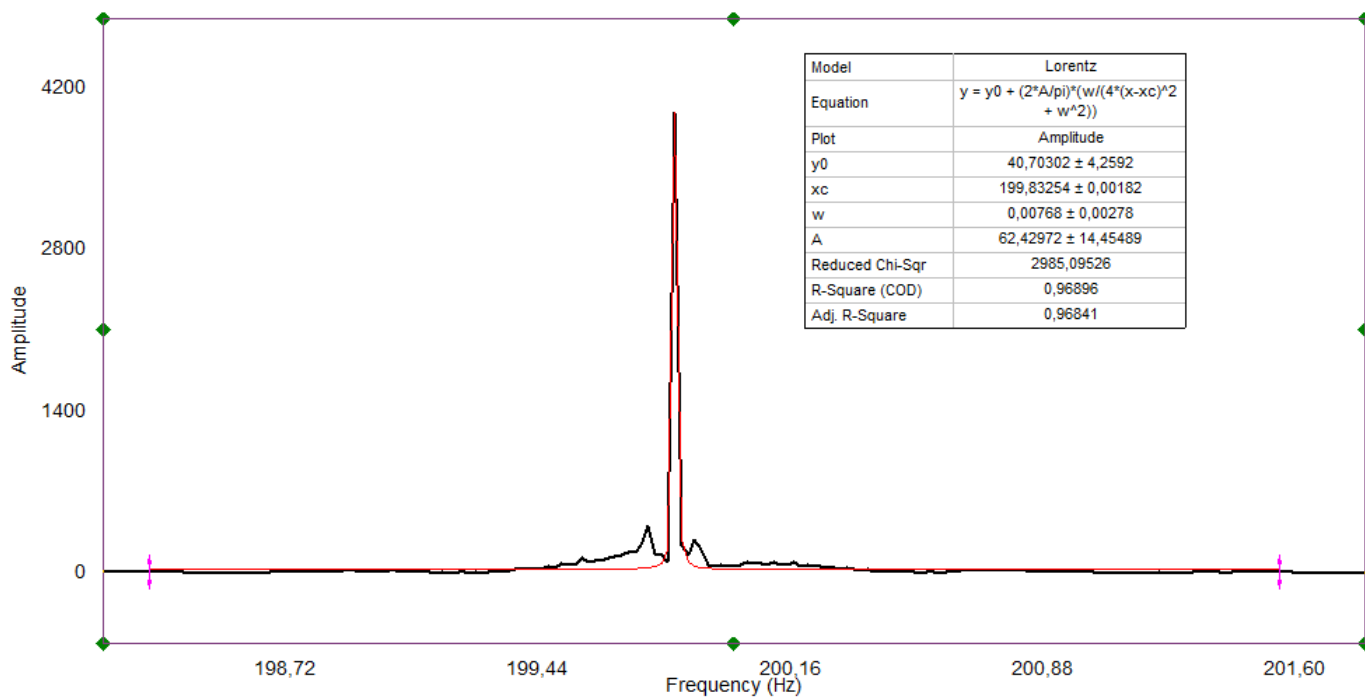


A partir do gráfico 21 obtivemos que o tamanho da caixa de ondas referente a 50 segundos é:

$$L = 51,5732 - 0,6573 \quad \rightarrow \quad L = 50,9159$$

Com o auxílio da função FFT obtivemos o gráfico 22 para o referente a 50s.

GRÁFICO 22 - FFT (Domínio da frequência (50s))



A partir dos valores de largura mais altura da grafico 22 temos:

data . . .
0 5 1 0 0 5 5

$$\Delta f = 0,00768 \pm 0,00278$$

$$\Delta E = h \cdot \Delta f$$

$$\Delta E = 5,0889 \cdot 10^{-36}$$

$$\Delta x = 50,9159 \text{ nm}$$

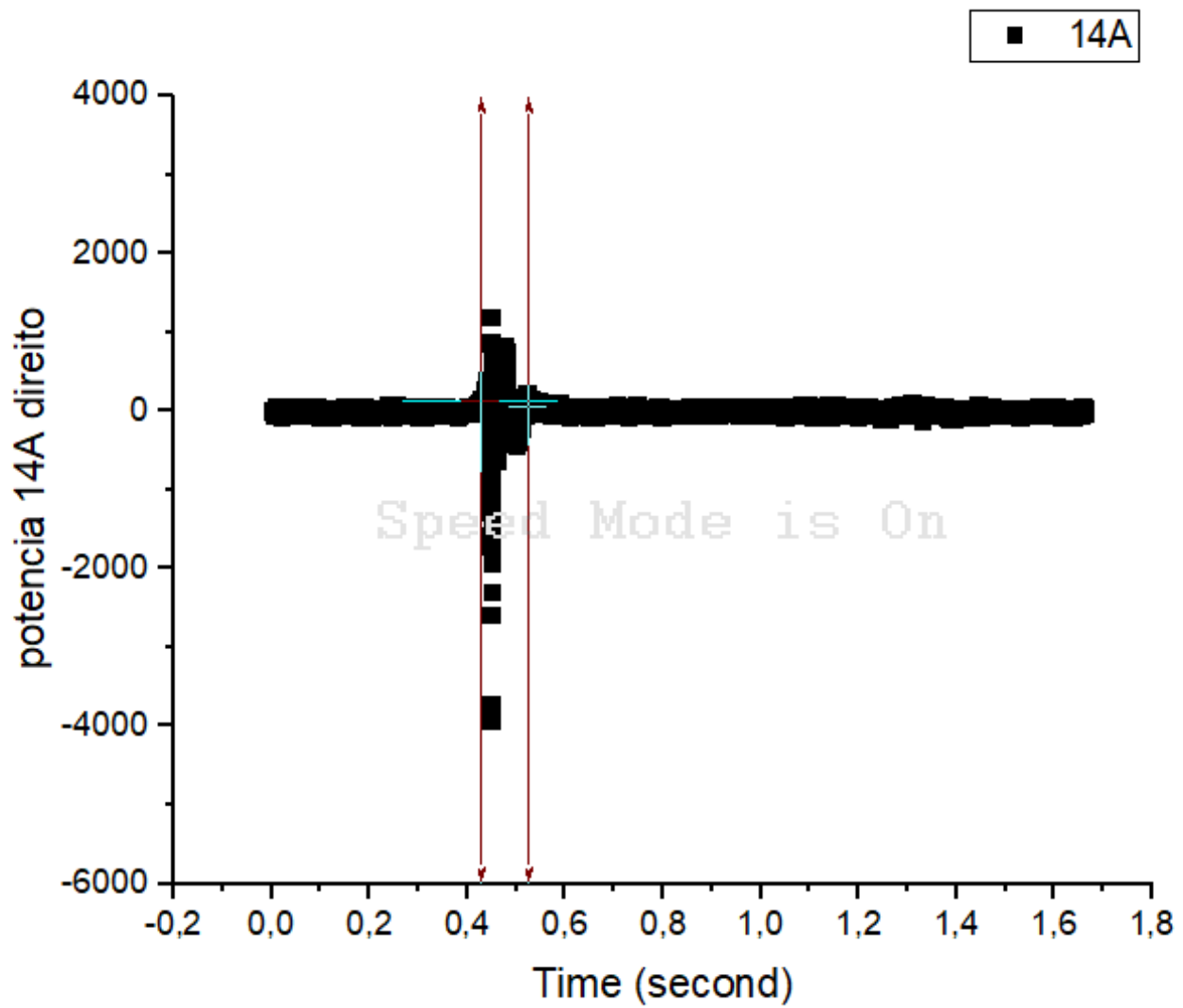
$$\Delta E \cdot \Delta x \geq \hbar/2 \Rightarrow 2,5910 \cdot 10^{-34} > 5,2728 \cdot 10^{-35}$$

Depois de realizado o cálculo e comparado com o valor teórico verificamos que todos estão dentro da incerteza de Heisenberg.

Após isso foi realizado o mesmo procedimento com diapasões de diferentes frequências que determinamos as mesmas pelo pico de amplitude através do método gráfico.

Para a realização utilizamos 4 diapasões que chamaremos de A, B, C, D. Para a diapasão A temos sua apresentação para encontrar o tamanho da caixa de ondas a partir do gráfico 23.

GRÁFICO 23 - Determinação da caixa de ondas; diapasão A



A partir do grafico 23 obtivemos que o tamanho do caixa de ondas referente ao disparo A é:

$$L = 0,5249 - 0,4279$$

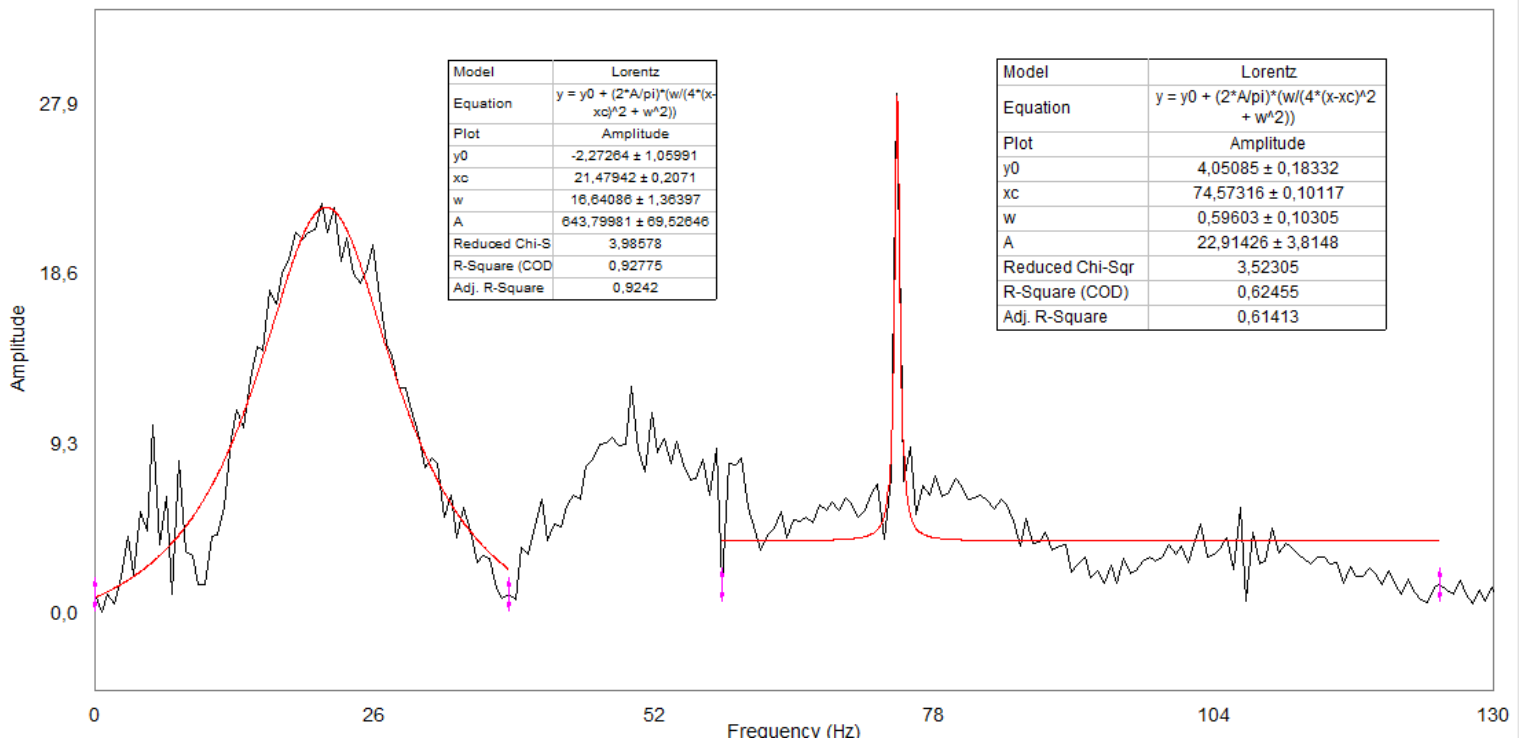
$$L = 0,097 \text{ s}$$

data

(D) (S) (T) (Q) (Q) (S) (S)

Com o auxílio da função FFT obtivemos o gráfico 24 referente ao diapasão A

GRÁFICO 24 - FFT (Domínio da frequência (diapasão A))



A partir dos valores de largura mais altura do grafico 24 temos:

$$\Delta E = h \cdot \Delta f$$

$$\Delta f = 0,59603 \pm 0,10305$$

$$\Delta E = 3,9493 \cdot 10^{-32}$$

$$\Delta t = 0,097 \text{ s}$$

$$\text{Amplitude max: } 74,57316 \pm 0,10117 \text{ Hz}$$

A partir do grafico percebemos que a dispersão A corresponde a uma frequência de $\pm 75 \text{ Hz}$ e para o principio da incerteza temos:

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{h}{2} \quad \text{e} \quad 3,8308 \cdot 10^{-35} < 5,2728 \cdot 10^{-35}$$

Percebemos que o valor não se adequa ao principio da incerteza de Heisenberg, mas se deve ao valor de tempo ser muito pequeno para se obter uma medida mais precisa, observamos isso ao ver o grafico, onde no inicio temos muito ruído e com uma interferência no resultado dos dados.

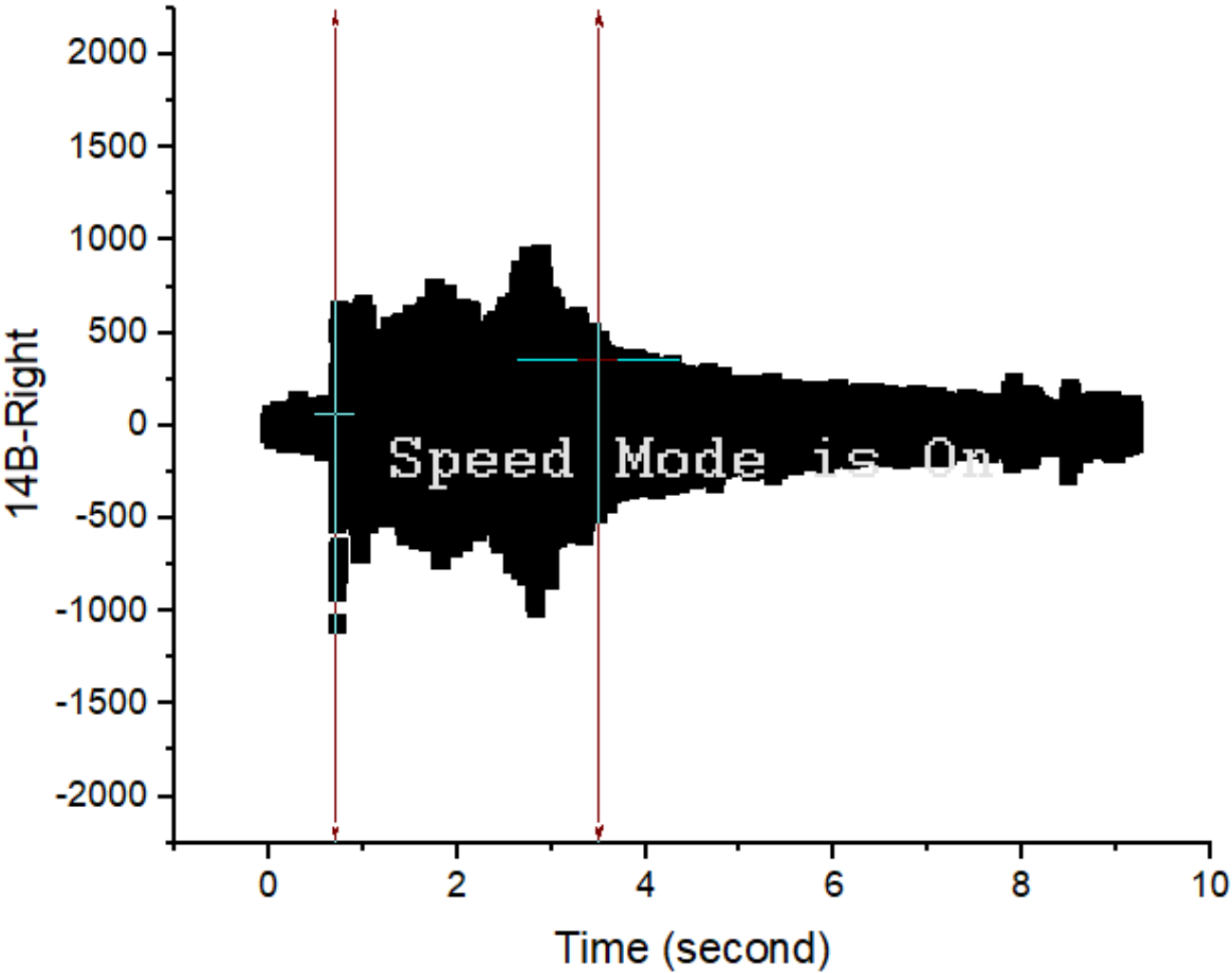
Para a dispersão B realizamos também um grafico para encontrar o tamanho da sua caixa de ondas.

data

05/10/05

GRAFICO 25- Determinação da caixa de ondas (dispersão B)

■ 14B



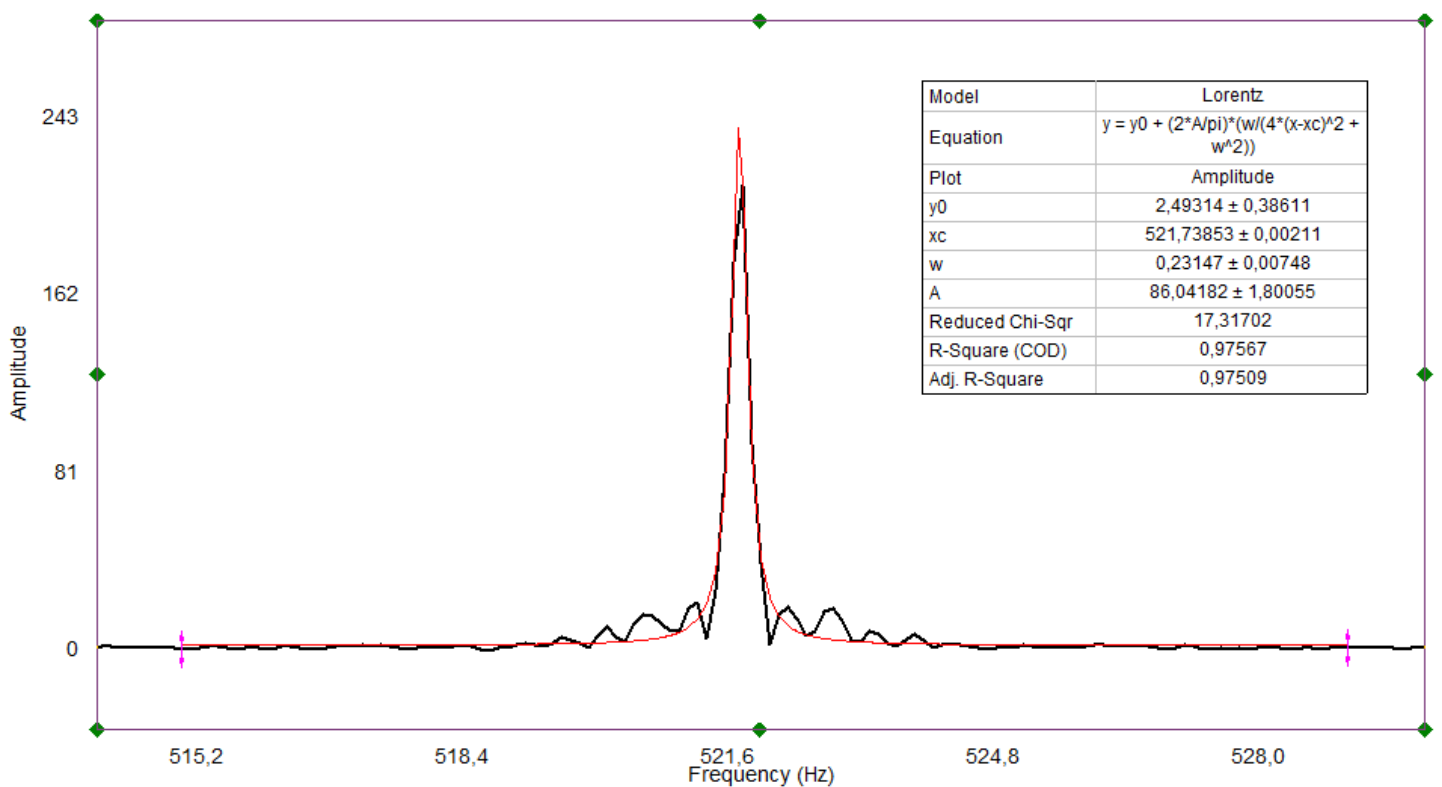
A partir do gráfico 25 obtivemos que a frequência da onda referente ao disparo B é:

$$L = 3,7987 - 0,7072$$

$$L = 2,7945$$

Com o auxílio da função FFT obtivemos o gráfico 26 referente ao disparo B

Gráfico 26 - FFT (Amplitude da frequência (disparo B))



A partir dos valores de largura e altura de grafico 26 temos:

$$\Delta f = 0,23147 \pm 0,00748$$

$$\Delta E = h \cdot \Delta f$$

$$\Delta E = 1,5337 \cdot 10^{-34}$$

$$\Delta \tau = 2,7945$$

$$\text{Amplitude max: } 521,73853 \pm 0,00211$$

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar/2 \quad \Rightarrow \quad 4,2860 \cdot 10^{-34} > 5,2728 \cdot 10^{-35}$$

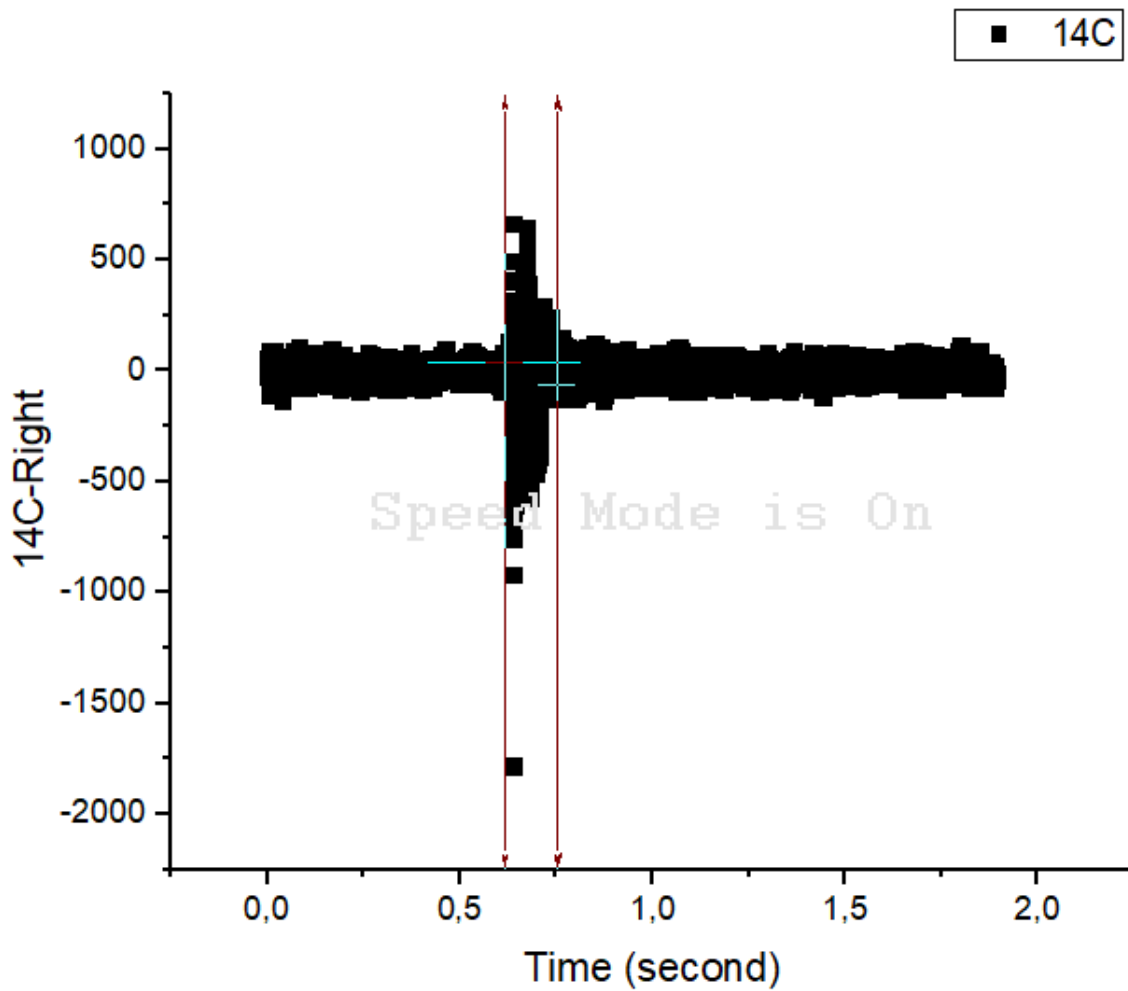
Percebemos que a dispersão B corresponde a uma frequência de $\approx 520 \text{ Hz}$ e percebemos que o princípio da incerteza foi verificado devido a caixa de ondas ser maior que a dispersão A.

Data . . .

②②⑦②②②②

Para a dispersão C realizamos também um grafico para encontrar o tamanho da sua caixa de ondas

GRAFICO 27- Determinação da caixa de ondas (dispersão C)



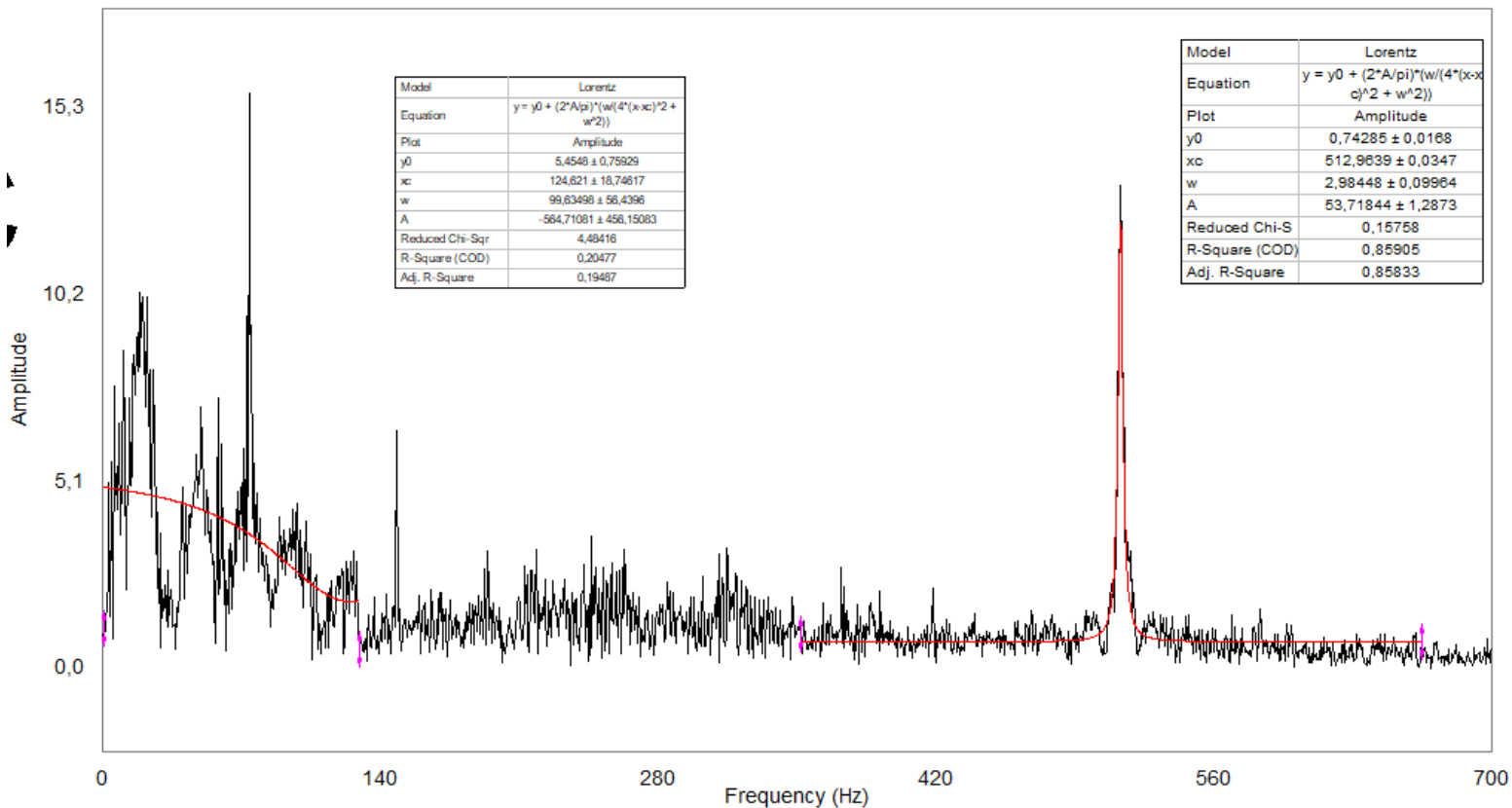
A partir do gráfico 27 obtusemos que o tamanho da caixa de ondas referente ao diapasão C é:

$$L = 0,7531 - 0,6169$$

$$L = 0,1362 \text{ m}$$

Com o auxílio da função FFT obtusemos o gráfico 28 referente ao diapasão C.

GRÁFICO 28- FFT (Domínio da frequência) (diapasão C)



A partir do gráfico obtemos os valores de largura e altura e com esse valor temos:

$$\Delta f = 2,98448 \pm 0,09964$$

$$\Delta E = h \cdot \Delta f$$

$$\Delta E = 1,9775 \cdot 10^{-33}$$

$$\Delta x = 0,4362 \text{ \AA} \quad \text{Amplitude max: } 512,9639 \pm 0,0347 \text{ Hz}$$

A partir do gráfico percebemos que a dispersão é composta de uma frequência de $\pm 512 \text{ Hz}$ e para o

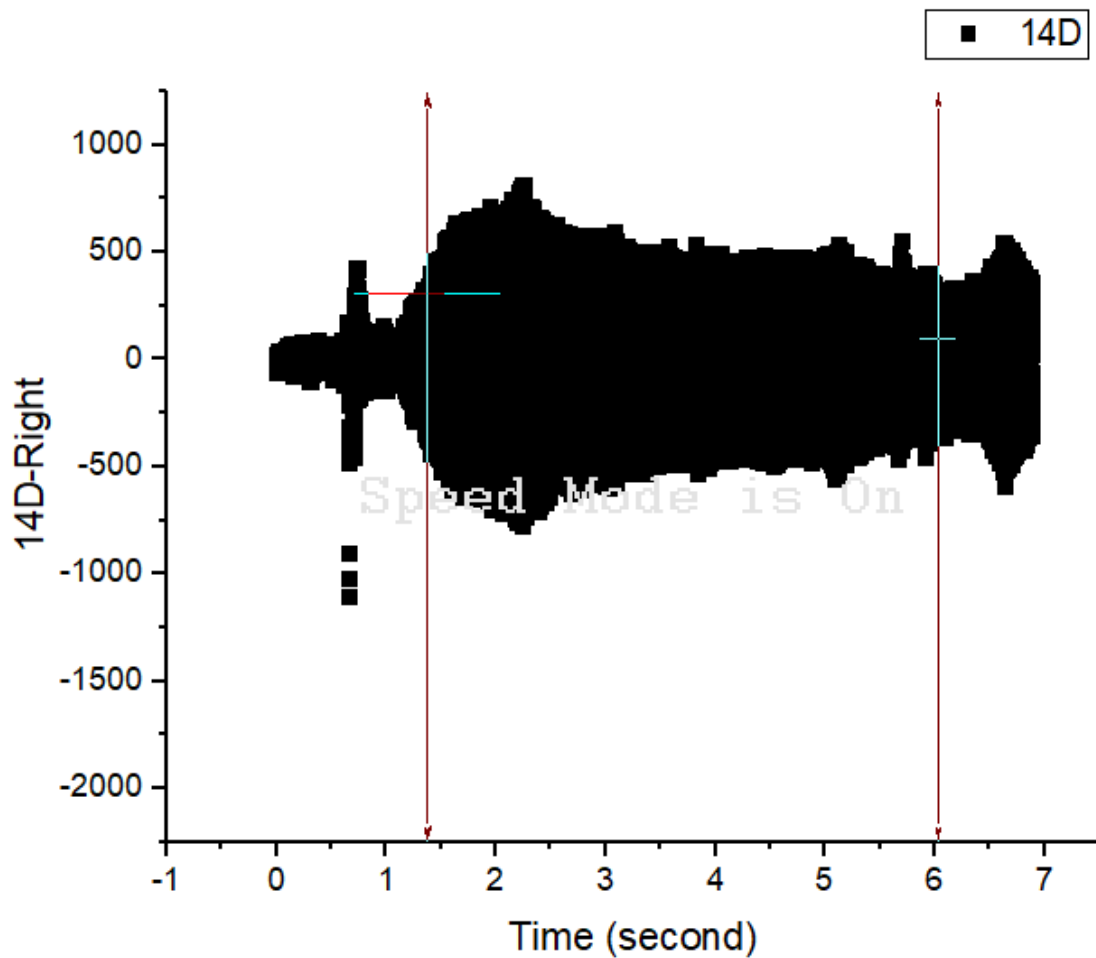
princípio de incerteza de Heisenberg temos:

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{h}{2} \Rightarrow 2,6937 \cdot 10^{-34} > 5,2728 \cdot 10^{-35}$$

Percebemos que mesmo com uma caixa de ondas pequena, ela é maior que a da diapasão A e isso é juntamente com a frequência sendo maior o resultado devido o princípio da incerteza de Heisenberg, porém olhando para o gráfico o ruído é alto em sua amplitude fazendo com que a medida deva ser tomada considerando que o primeiro pico é ruído do sistema devido a caixa de ondas ser pequena.

Por fim para a diapasão D realizamos também um gráfico para encontrar o tamanho de sua caixa de ondas

Gráfico 29. Determinação da caixa de ondas (diapasão D)



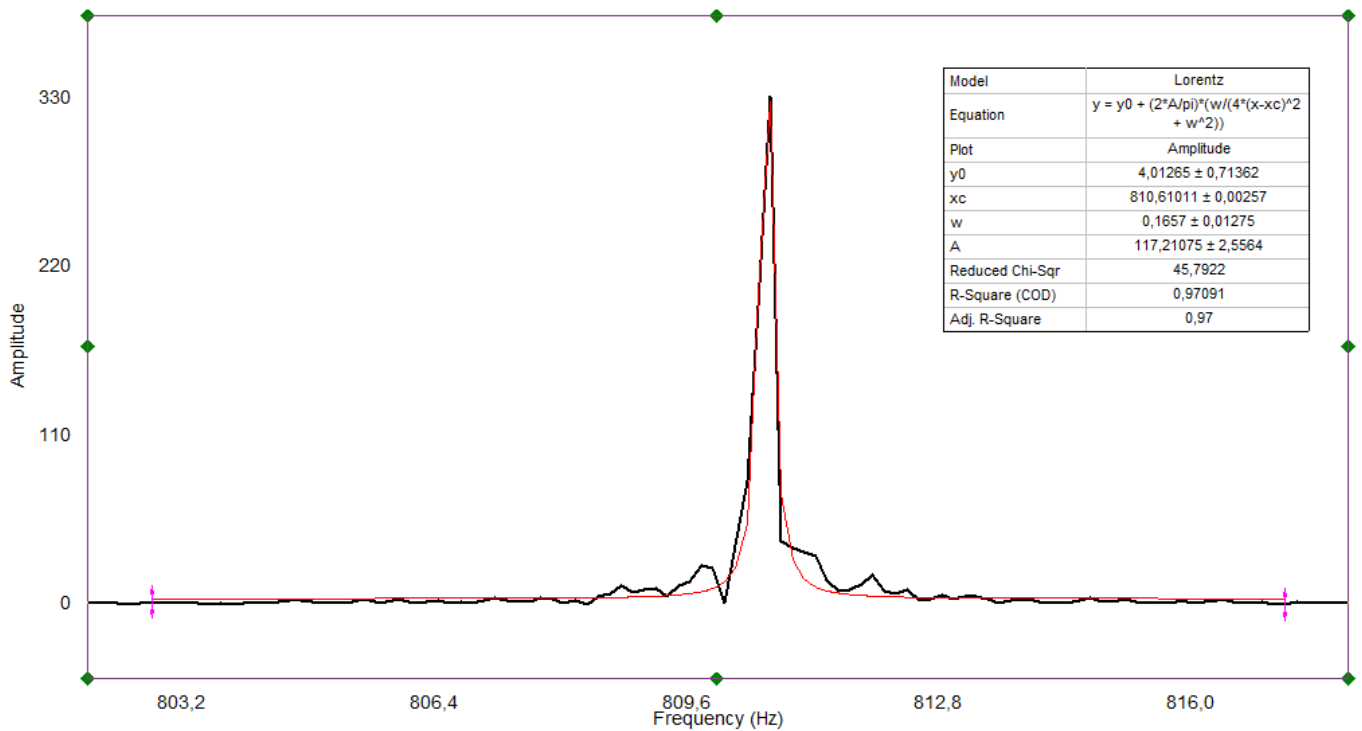
A partir do gráfico 29 obtivemos que o tamanho da caixa de ondas referente ao diapasão D é:

$$L = 6,0339 - 1,3724$$

$$L = 4,6615 \text{ s}$$

Com a auxílio da função FFT obtivemos o gráfico 30 referente ao diapasão D

Gráfico 30 - FFT (Análise da frequência) diapasão D



data

$\Delta f = 0,1657 \pm 0,01275$ $\Delta E = h \cdot \Delta f$
 $\Delta E = 1,0979 \cdot 10^{-31}$
 $\Delta x = 4,6615 \text{ \AA}$ Amplitude Max = $810,6101 \pm 0,0026$

$\Delta E \cdot \Delta x \geq \frac{h}{2} \Rightarrow 5,1180 \cdot 10^{-34} > 5,2728 \cdot 10^{-35}$

Percebemos que a dispersão D corresponde a uma frequência de 810 Hz e o resultado corresponde ao princípio de incerteza.

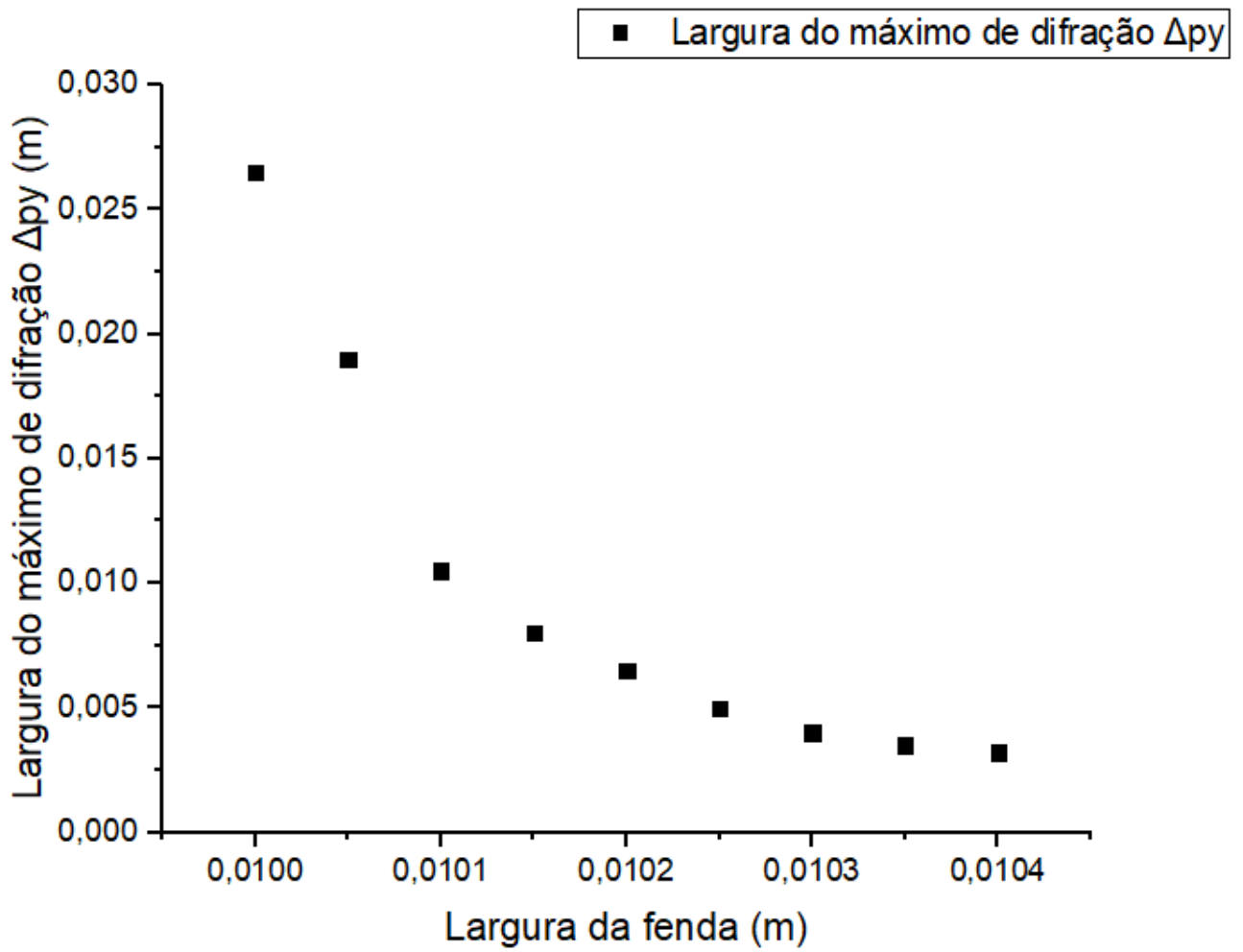
Para melhor visualização dos resultados foi realizada a tabela 1 a seguir:

Tabela 1 - Resultados obtidos

Som	Frequencia pico	Frequencia esperada	$\Delta E \cdot \Delta t$	$\hbar/2$
1s	199,88184	200	6,55976E-34	5,2728E-35
5s	199,84448	200	5,31149E-34	5,2728E-35
10	199,86201	200	7,5045E-34	5,2728E-35
15	199,85344	200	4,2659E-34	5,2728E-35
20	199,862	200	6,9182E-34	5,2728E-35
25	199,8589	200	9,7084E-34	5,2728E-35
30	199,85672	200	6,2199E-34	5,2728E-35
35	199,85683	200	3,0726E-34	5,2728E-35
40	199,85259	200	8,1018E-34	5,2728E-35
45	199,83398	200	7,5221E-34	5,2728E-35
50	199,83254	200	2,591E-34	5,2728E-35
diapásão A	74,57316		3,8308E-35	5,2728E-35
diapásão B	521,73853		4,286E-34	5,2728E-35
diapásão C	512,9639		2,6934E-34	5,2728E-35
diapásão D	810,6101		5,118E-34	5,2728E-35

Para a segunda parte do experimento montamos o aparato referente a figura 1 e como descrito na introdução comprovamos que $\Delta p_y \Delta y \geq \hbar/2$ que é o princípio da incerteza de Heisenberg e verificamos tal princípio através do gráfico de Δp_y versus Δy como mostrado no gráfico 31 a seguir:

GRÁFICO 31- Δp_y versus Δy



data

0 5 1 0 9 5 5

A partir dos dados do gráfico foi montada a tabela 2 a seguir onde podemos ver a correlação com o princípio da incerteza de Heisenberg

TABELA 2 - TABELA DE DADOS

Largura do máx de difração ($\Delta p\gamma$) (m)	Largura da fenda (Δy) (m)	$\hbar/2$	$\Delta p\gamma * \Delta y$
2,65E-02	1,00E-02	5,27E-35	2,65E-04
1,90E-02	1,01E-02		1,91E-04
1,05E-02	1,01E-02		1,06E-04
8,00E-03	1,02E-02		8,12E-05
6,50E-03	1,02E-02		6,63E-05
5,00E-03	1,03E-02		5,13E-05
4,00E-03	1,03E-02		4,12E-05
3,50E-03	1,04E-02		3,62E-05
3,20E-03	1,04E-02		3,33E-05

A partir da tabela 2 vemos que o resultado é coerente com o princípio da incerteza de Heisenberg validando a mesma para a experimento.

CONCLUSÃO

Para o experimento estudado, foi se familiarizado que pelo princípio da incerteza de Heisenberg que é responsável pela impossibilidade de se obter com exatidão duas características de um elétron, por exemplo. Para isso, foi estabelecido uma conexão entre a mecânica quântica e a física clássica.

Referências:

- * Fast Fourier Transform - Algorithms and Applications.
- * Física Quântica Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas Robert Eisberg and Robert Resnick 23^ª edição.