

Ótica Coerente

10/23

LFEA II - LEFT - IST

Salvador Torpes - 102474

Sofia Nunes - 102633

Estêvão Gomes - 102650

Pedro Curvo - 102716

Ótica de Fourier

Objetivos

1. **Filtro AB:**

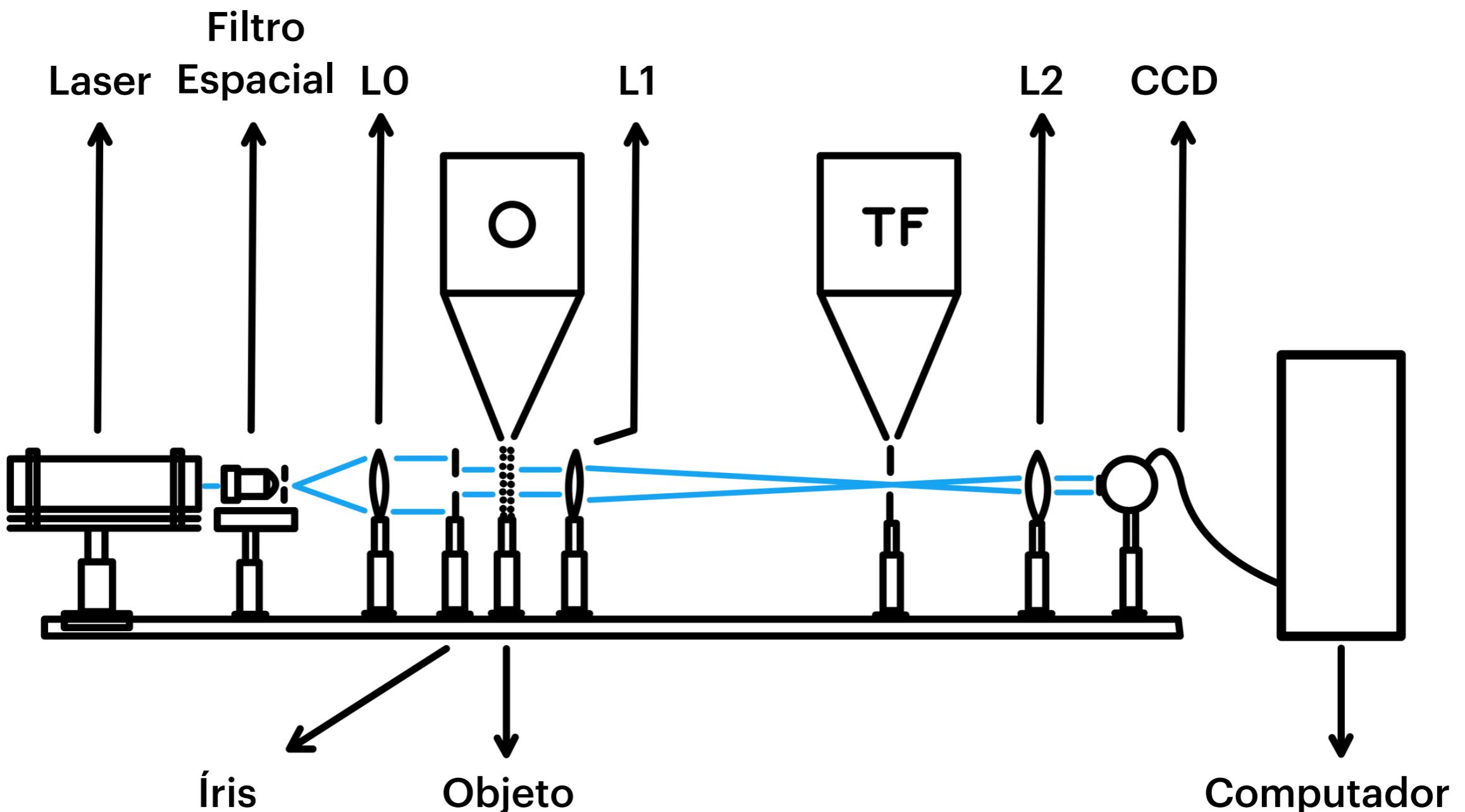
- Transformada de Fourier Ótica;
- Determinação das frequências espaciais;
- Extra 1 e 2 (Simulação e Filtro Espacial);

2. Redes de **Ronchi** e Redes **TEM**:

- Determinar a intensidade em função dos pontos máximos na rede de Ronchi e na rede TEM;

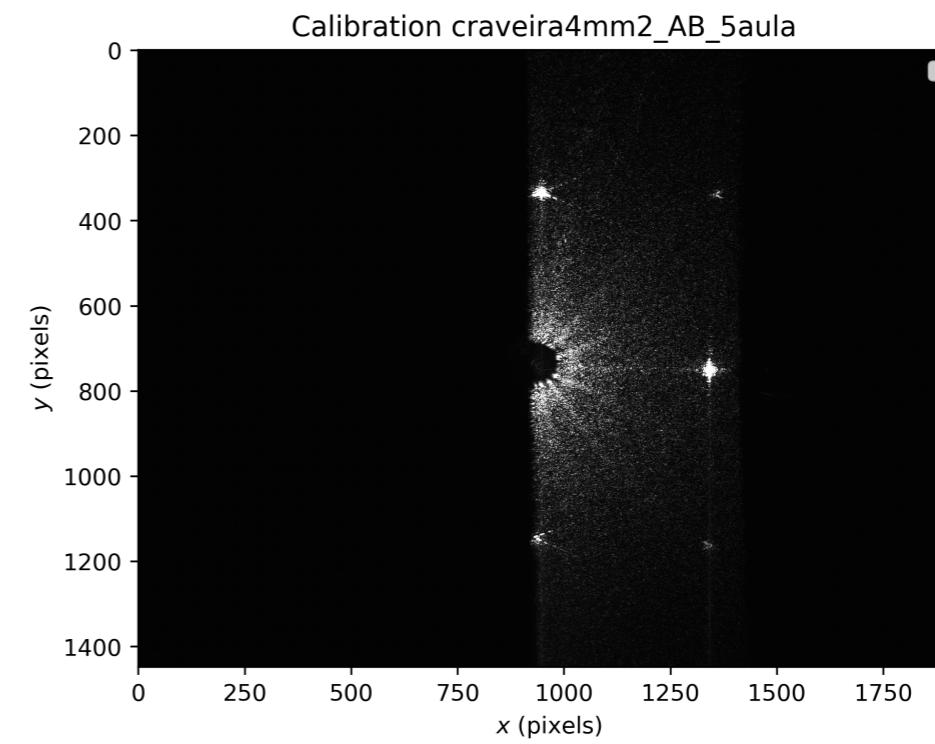
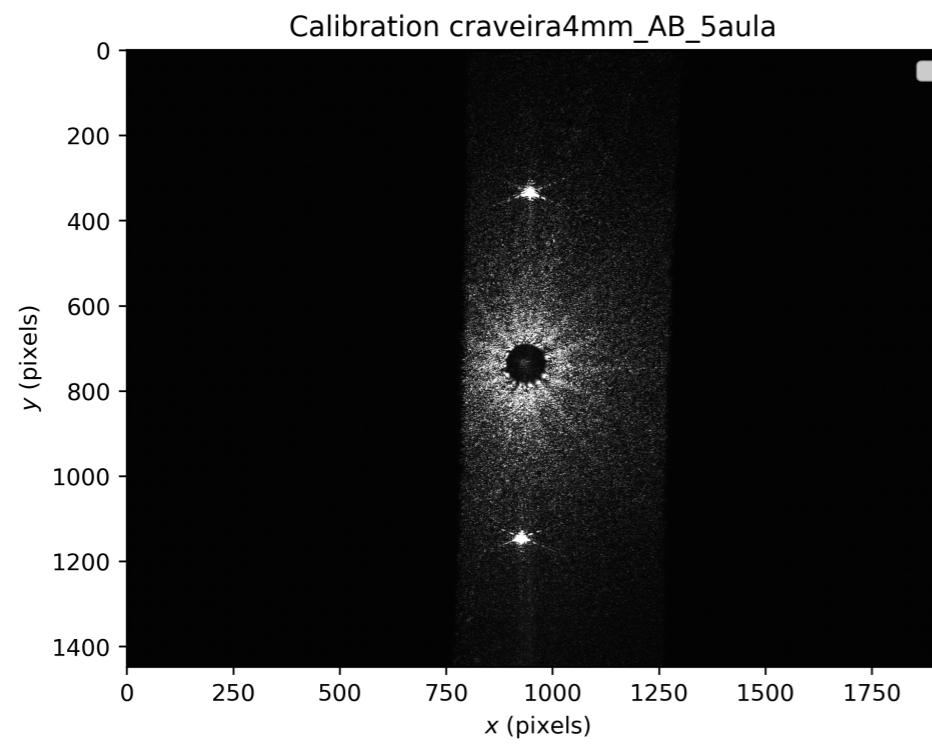
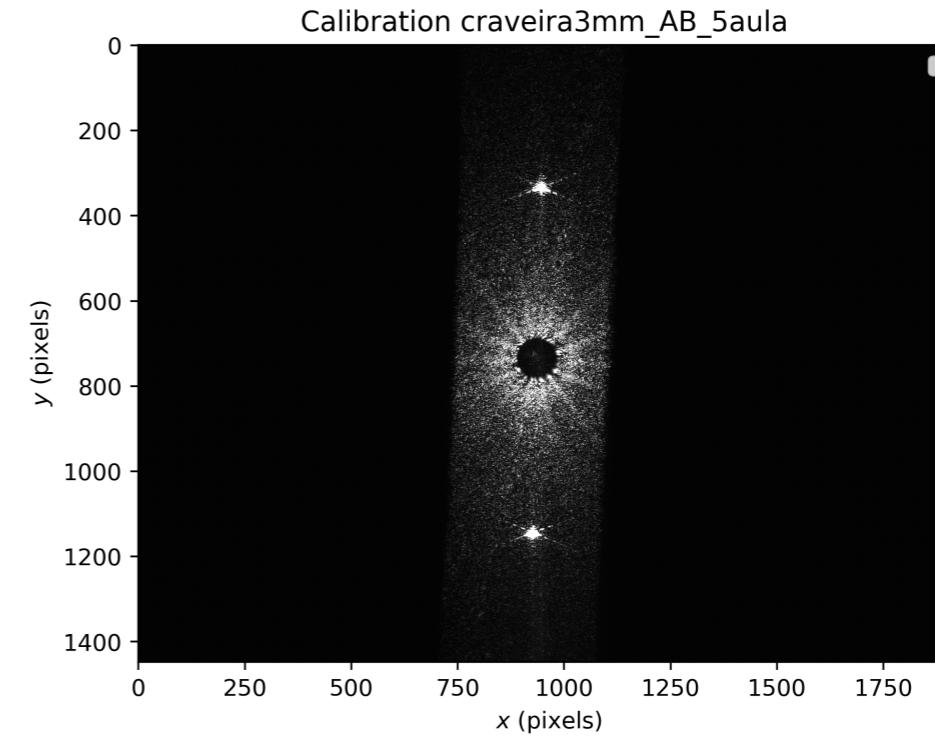
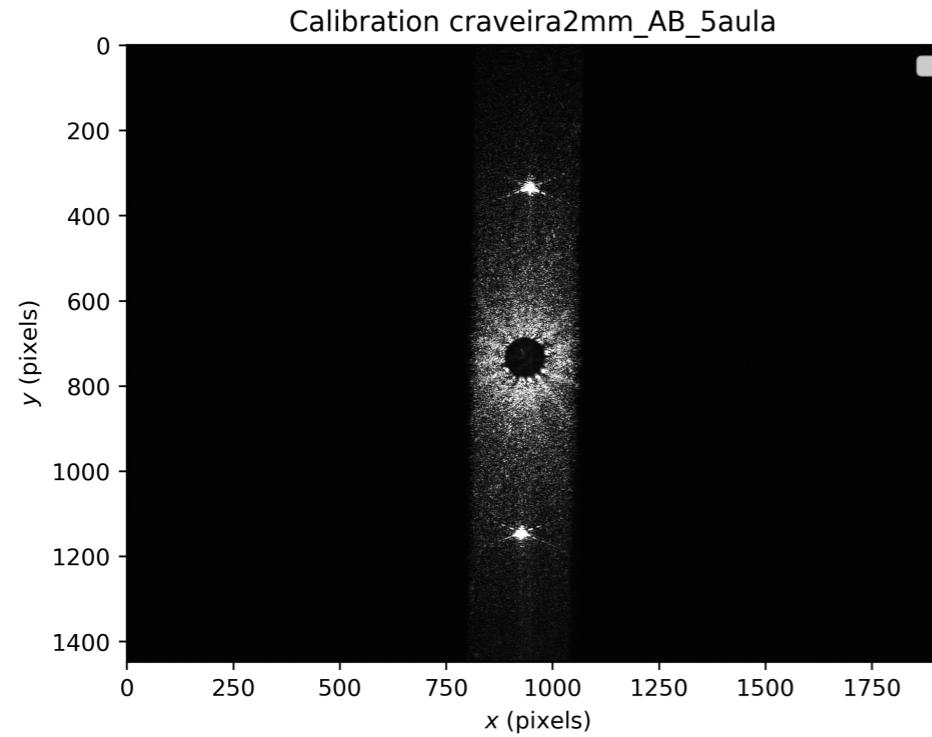
3. Discos de Airy e Resolução

Montagem



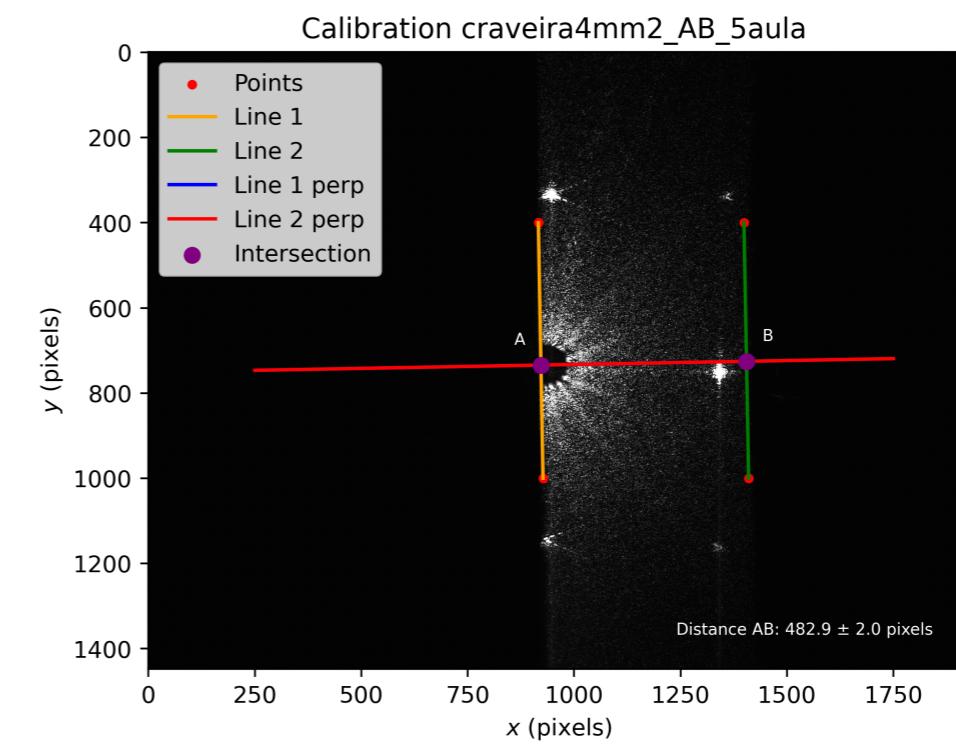
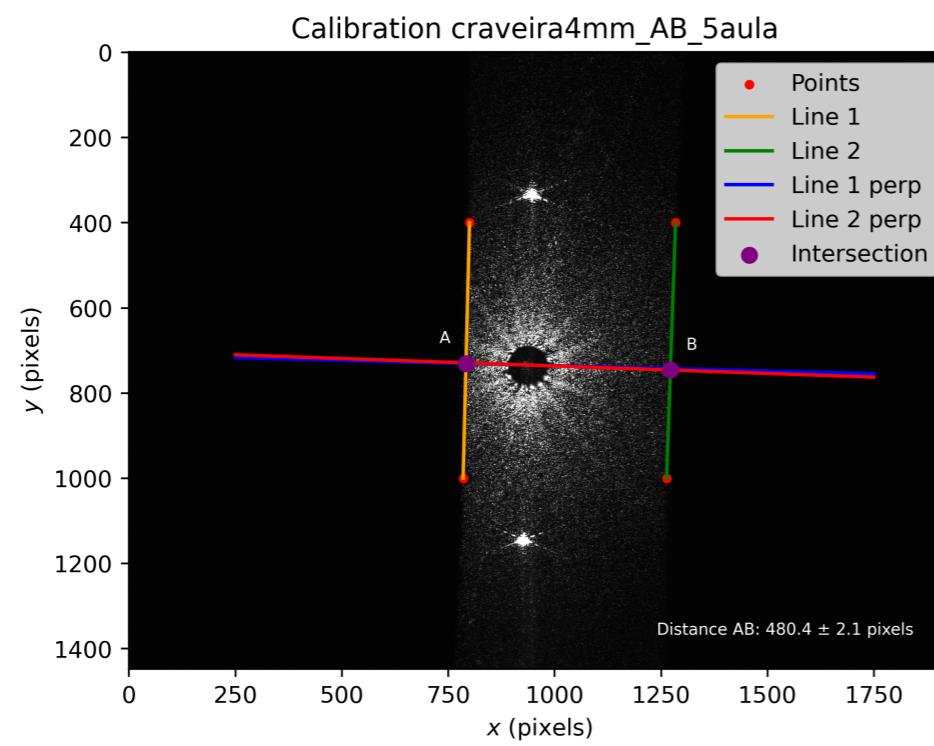
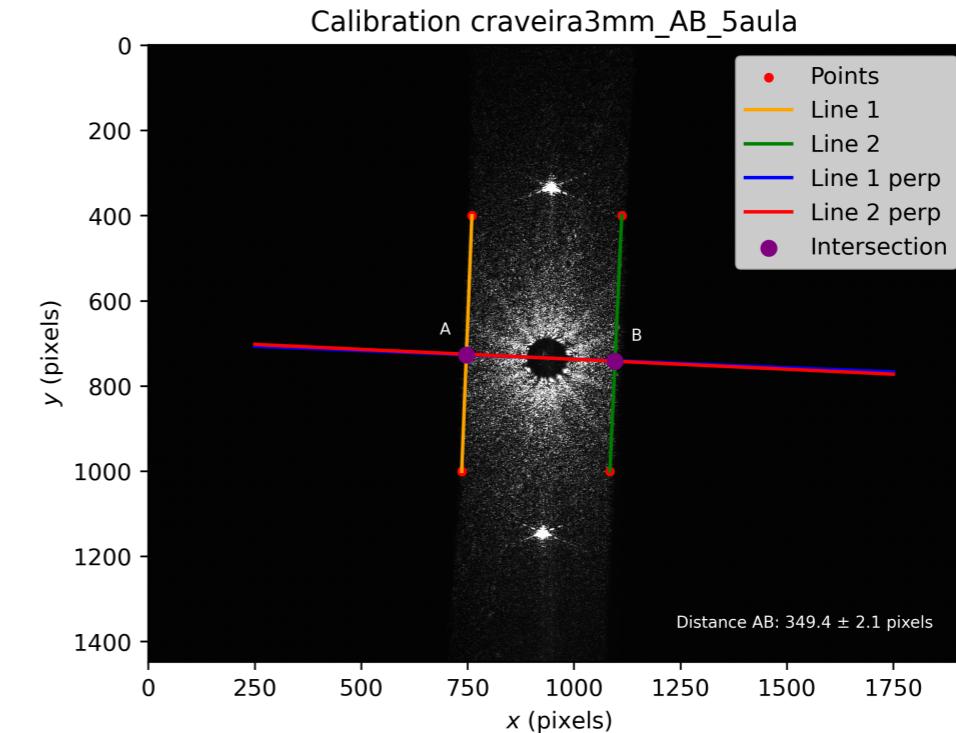
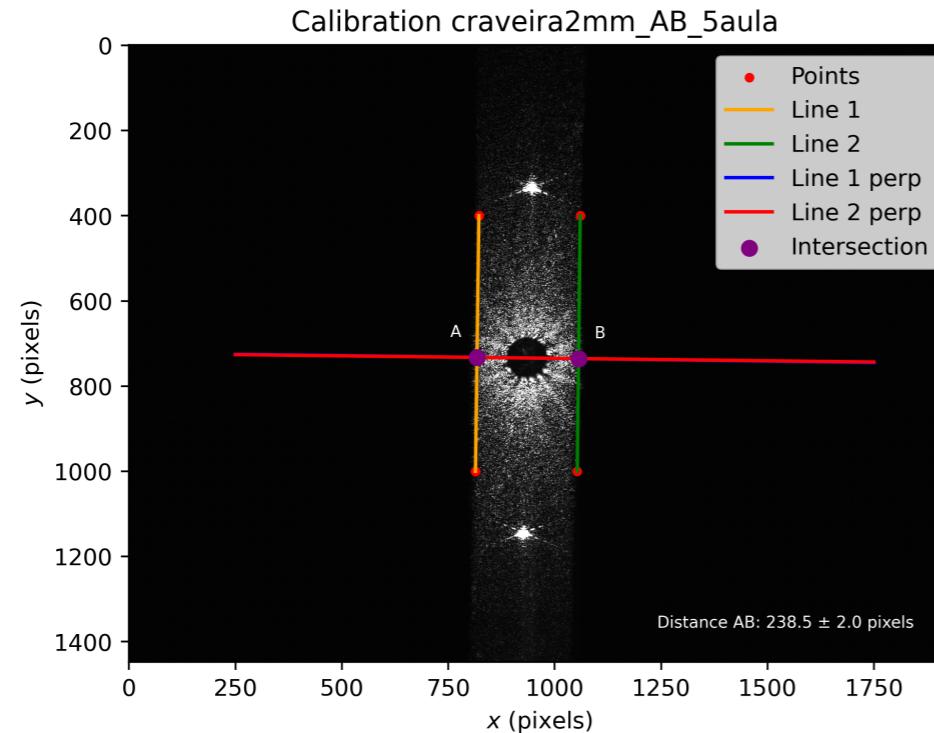
Calibração

Valores utilizados para a calibração:



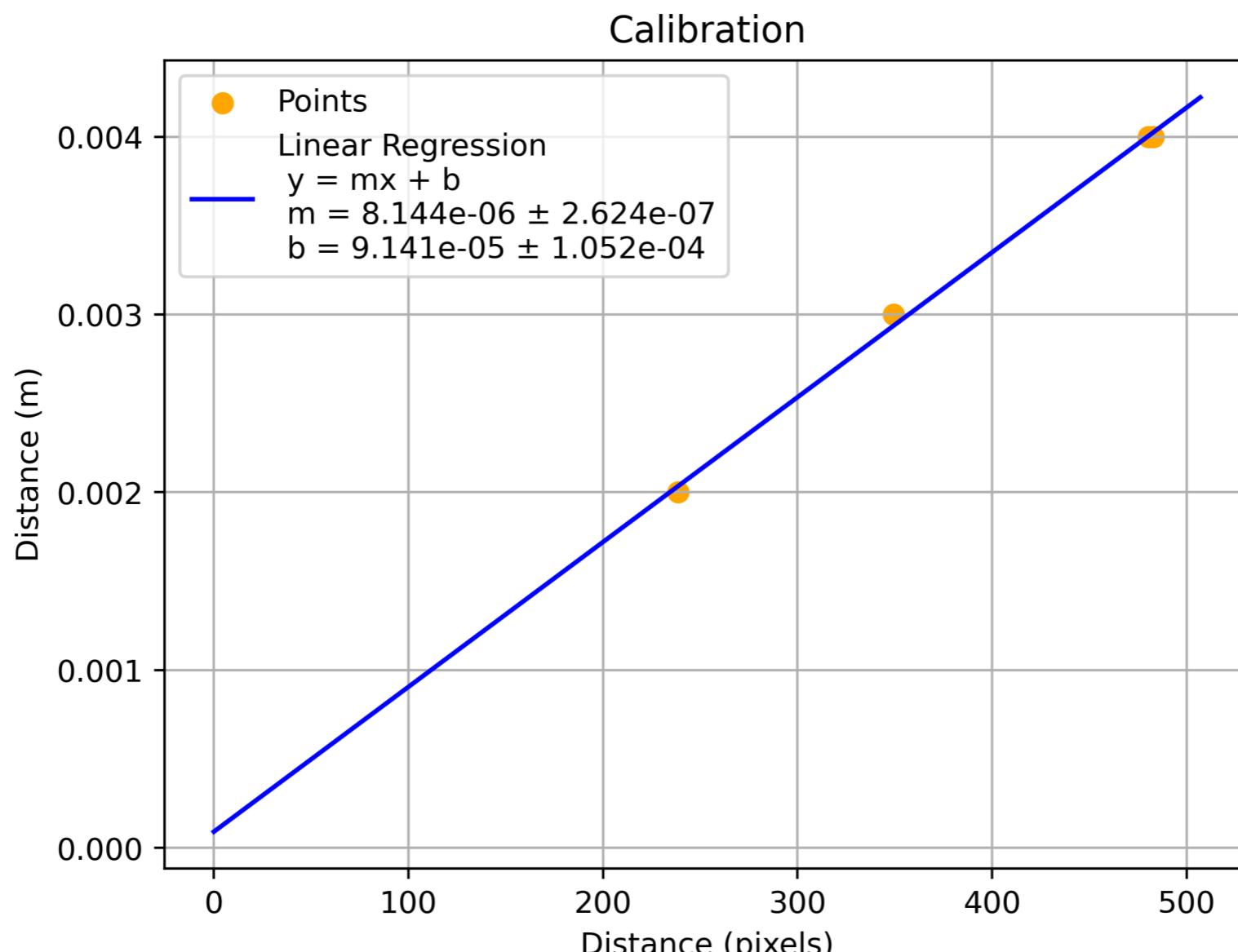
As distâncias entre pixels foram determinadas computacionalmente.

Valores utilizados para a calibração:



As distâncias entre pixels foram determinadas computacionalmente.

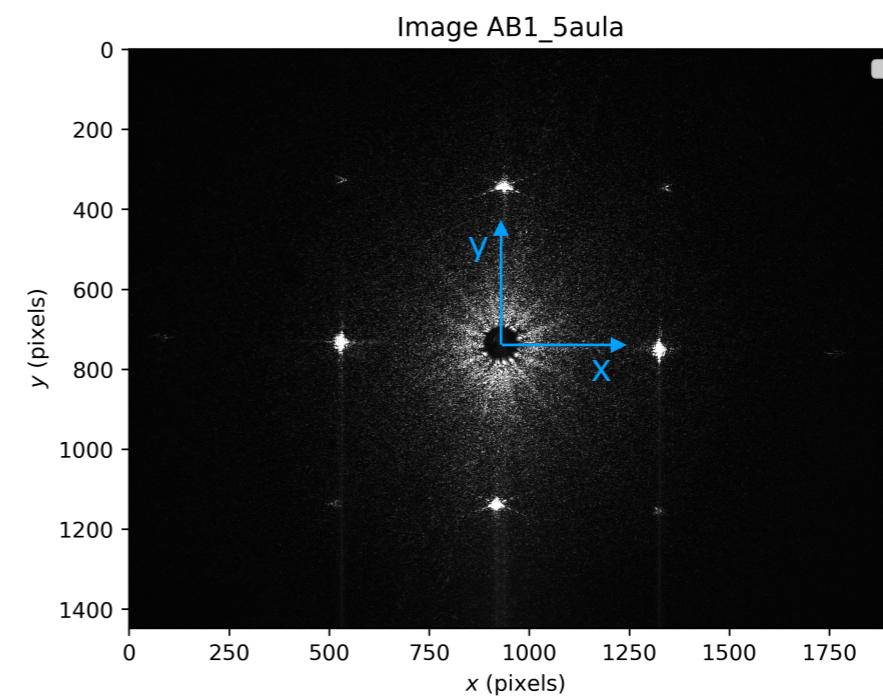
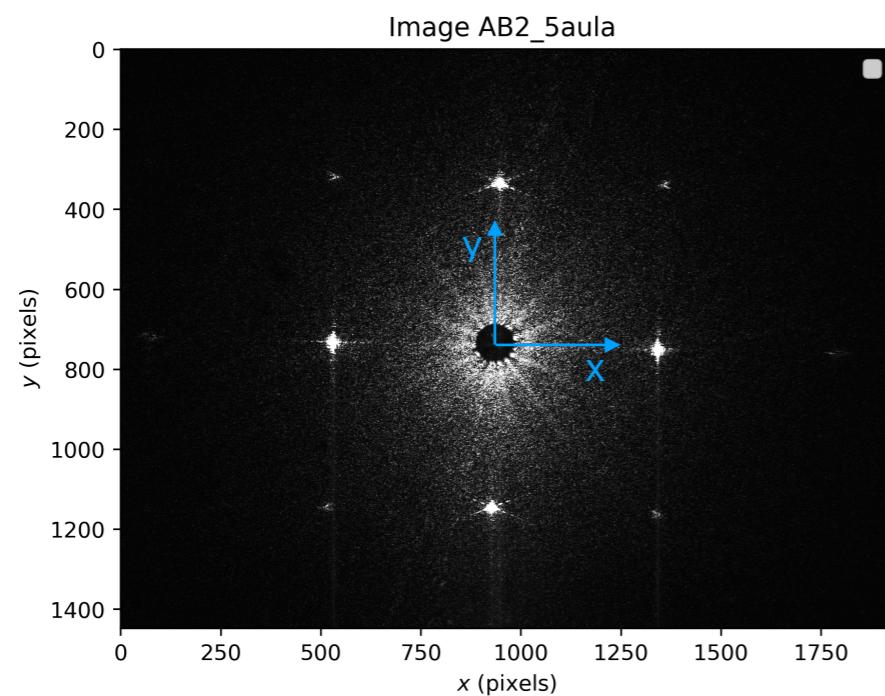
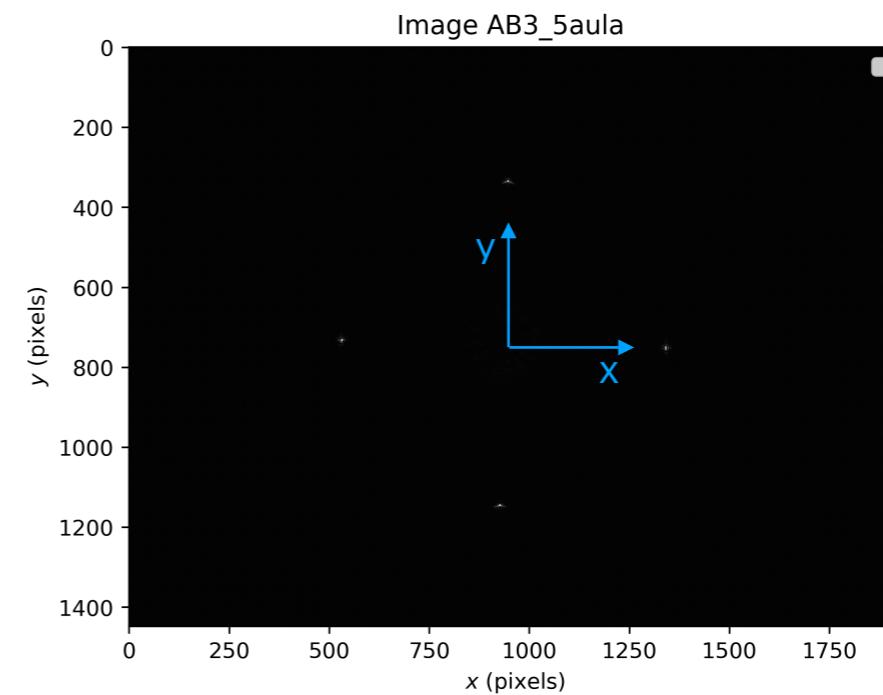
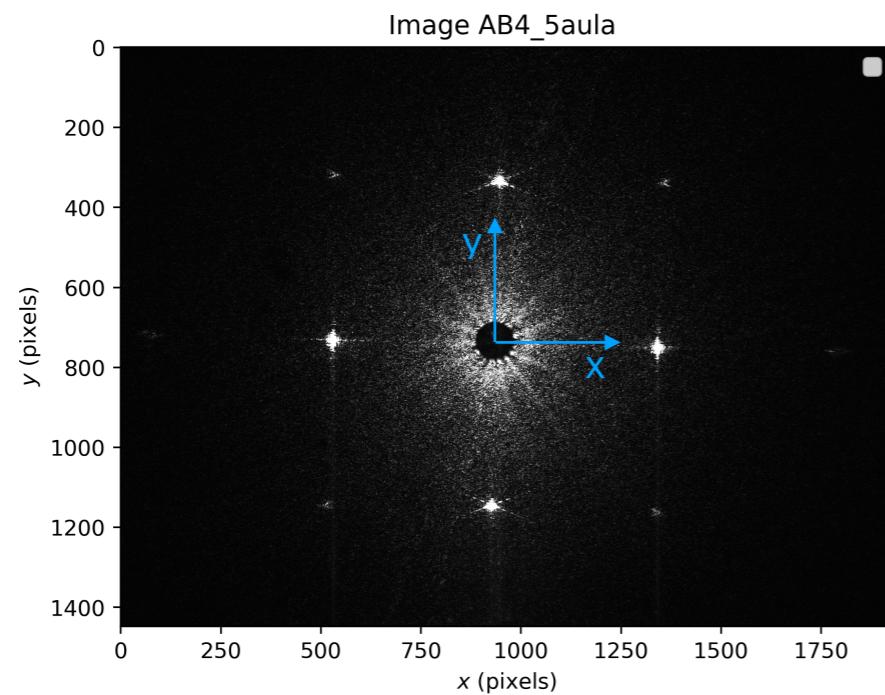
Reta de Calibração



$$\text{Distance (m)} = 8.144 \times 10^{-6} \times \text{Pixels} + 9.141 \times 10^{-5}$$

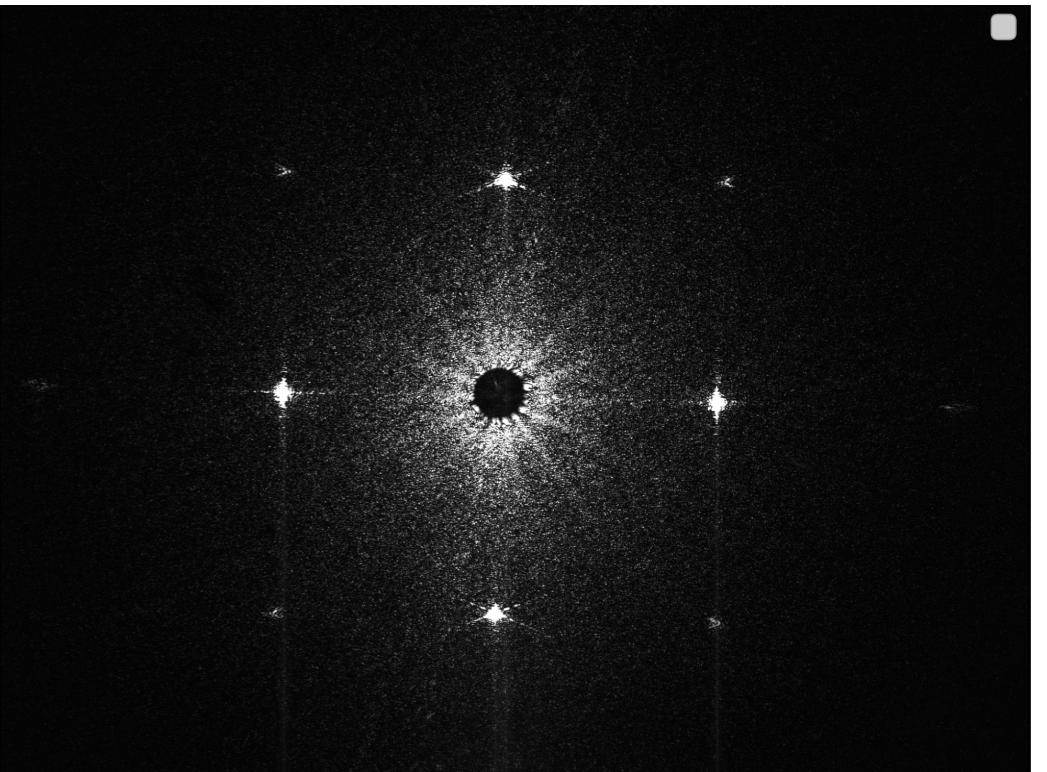
Filtro AB

Imagens obtidas em aula para o estudo do filtro AB:

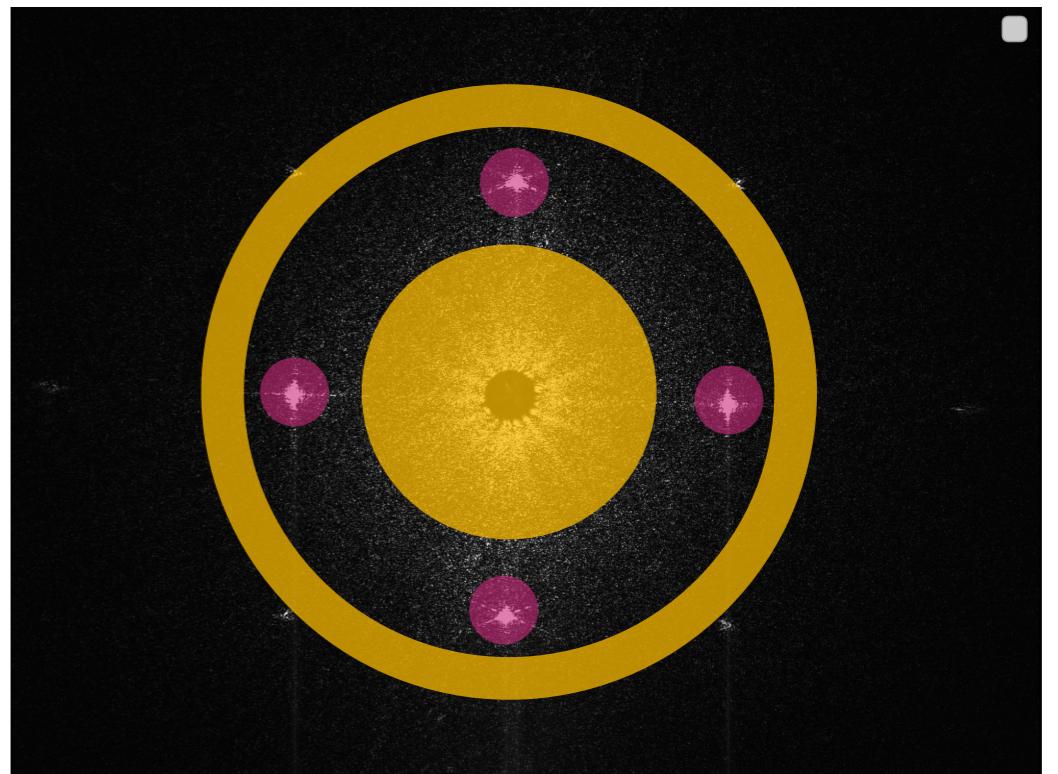


$$f = (247,5 \pm 0,5) \text{ mm} \quad \lambda = 633 \text{ nm}$$

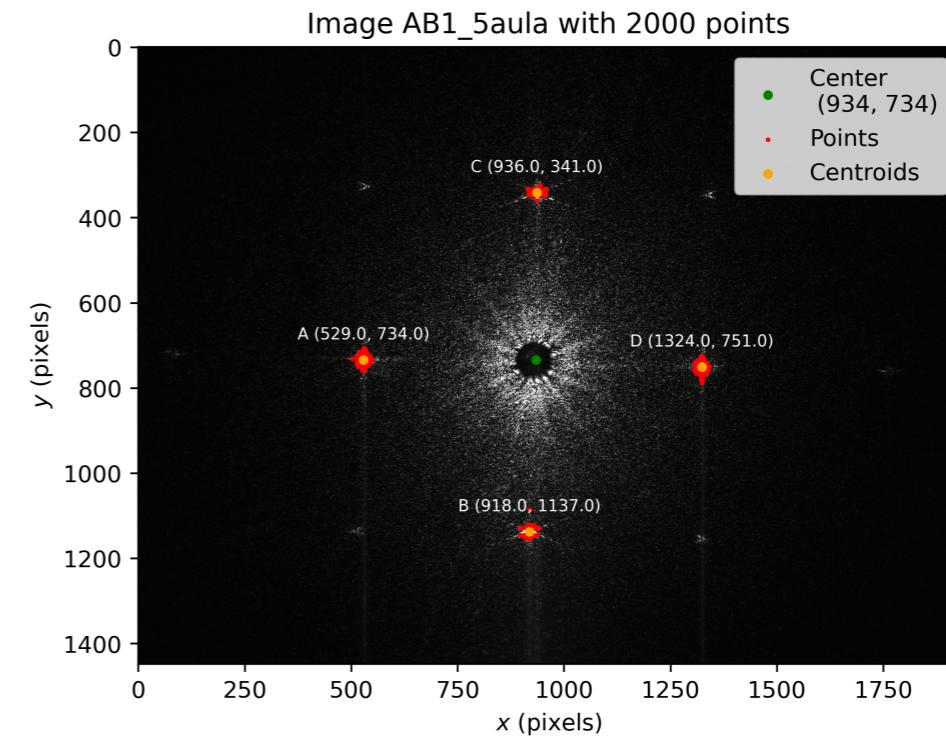
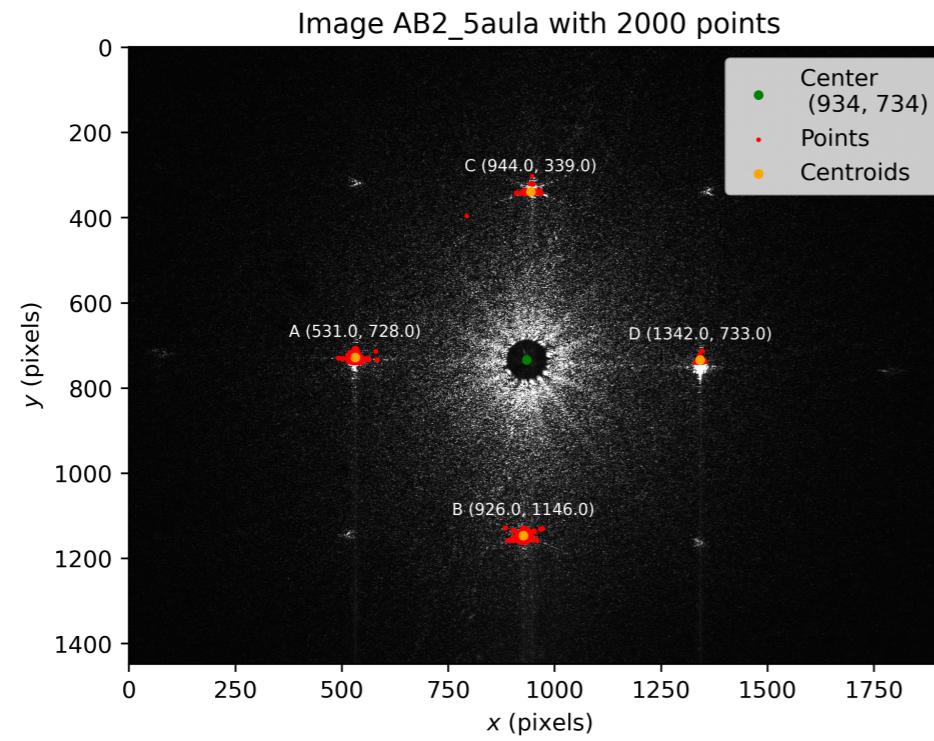
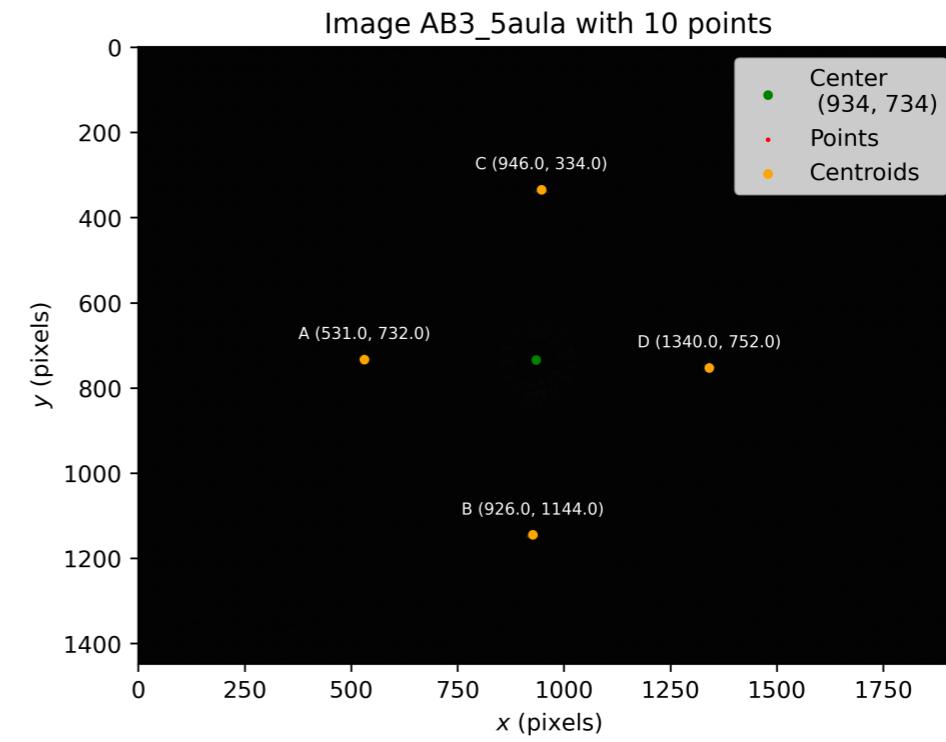
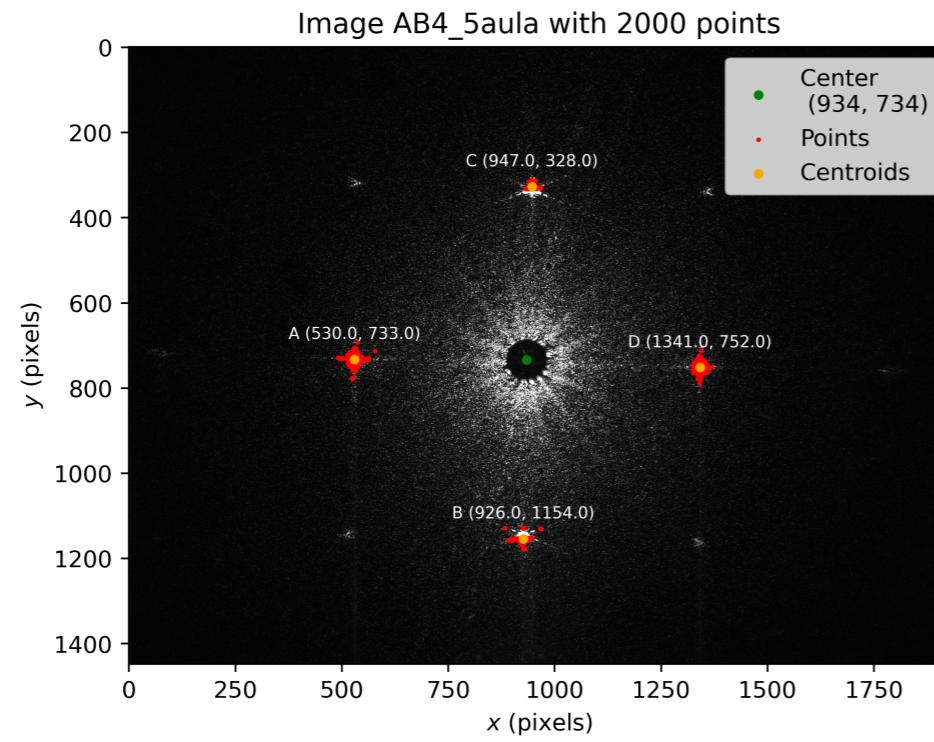
1. **Selecionar** os pontos mais intensos;
2. **Clustering** dos pontos (`sklearn.py`) - as coordenadas utilizadas para cada ponto são as dos centróides de cada cluster;
3. Repetição para as 4 imagens;
4. Média das coordenadas obtidas;
5. Calibração das coordenadas;
6. Obtenção das frequências espaciais;



1. **Selecionar** os pontos mais intensos;
2. **Clustering** dos pontos (`sklearn.py`) - as coordenadas utilizadas para cada ponto são as dos centróides de cada cluster;
3. Repetição para as 4 imagens;
4. Média das coordenadas obtidas;
5. Calibração das coordenadas;
6. Obtenção das frequências espaciais;



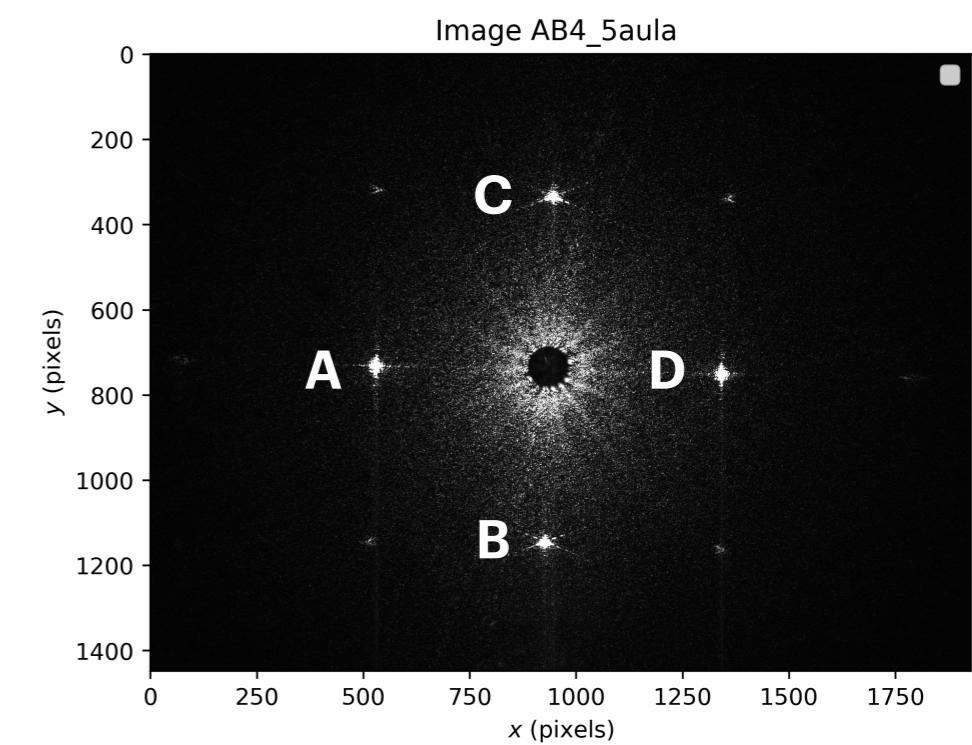
Imagens obtidas após o clustering para determinar as coordenadas dos focos:



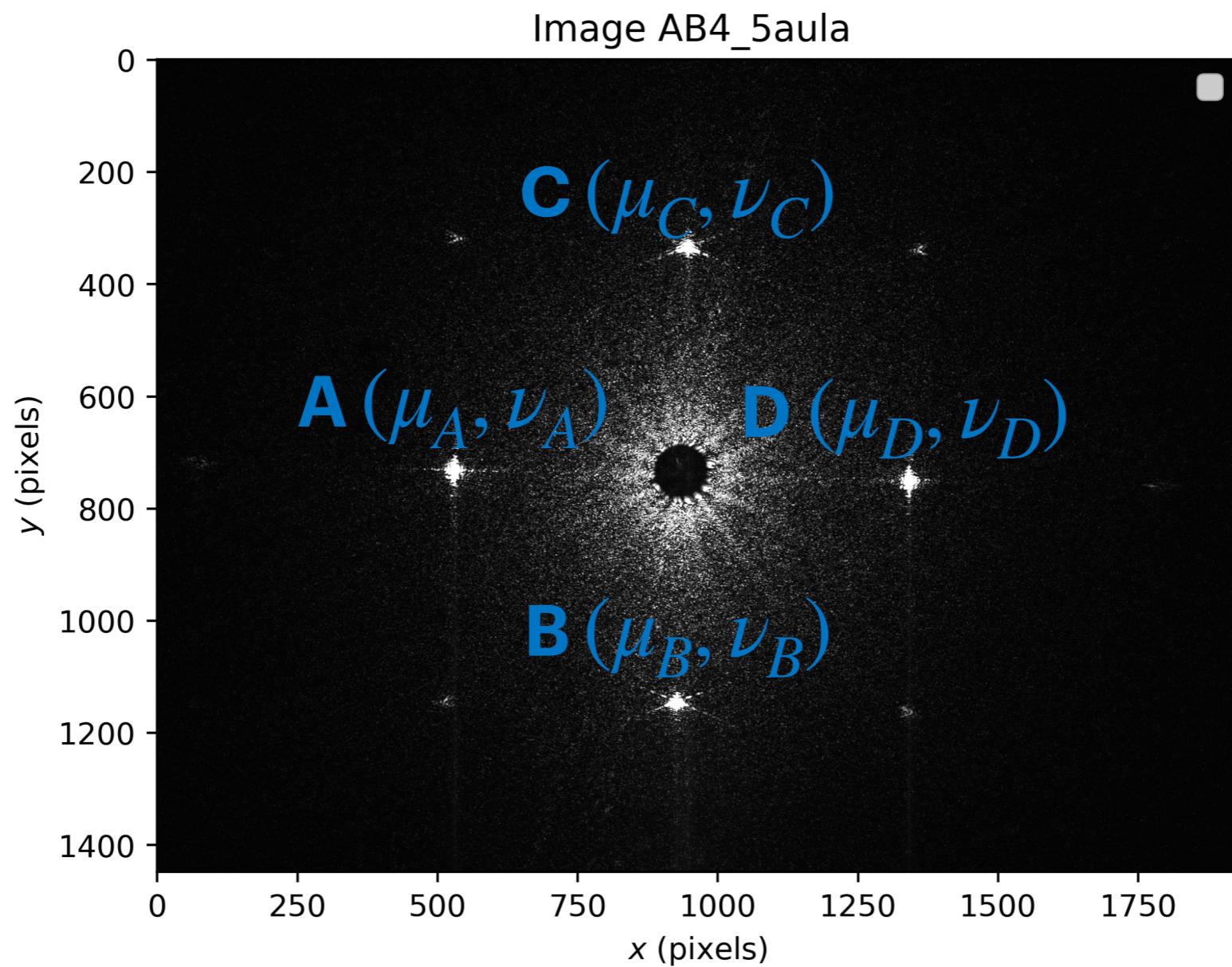
Distâncias

Para os pontos A e D estamos interessados em calcular a abscissa enquanto que para os pontos B e C calculamos a ordenada.

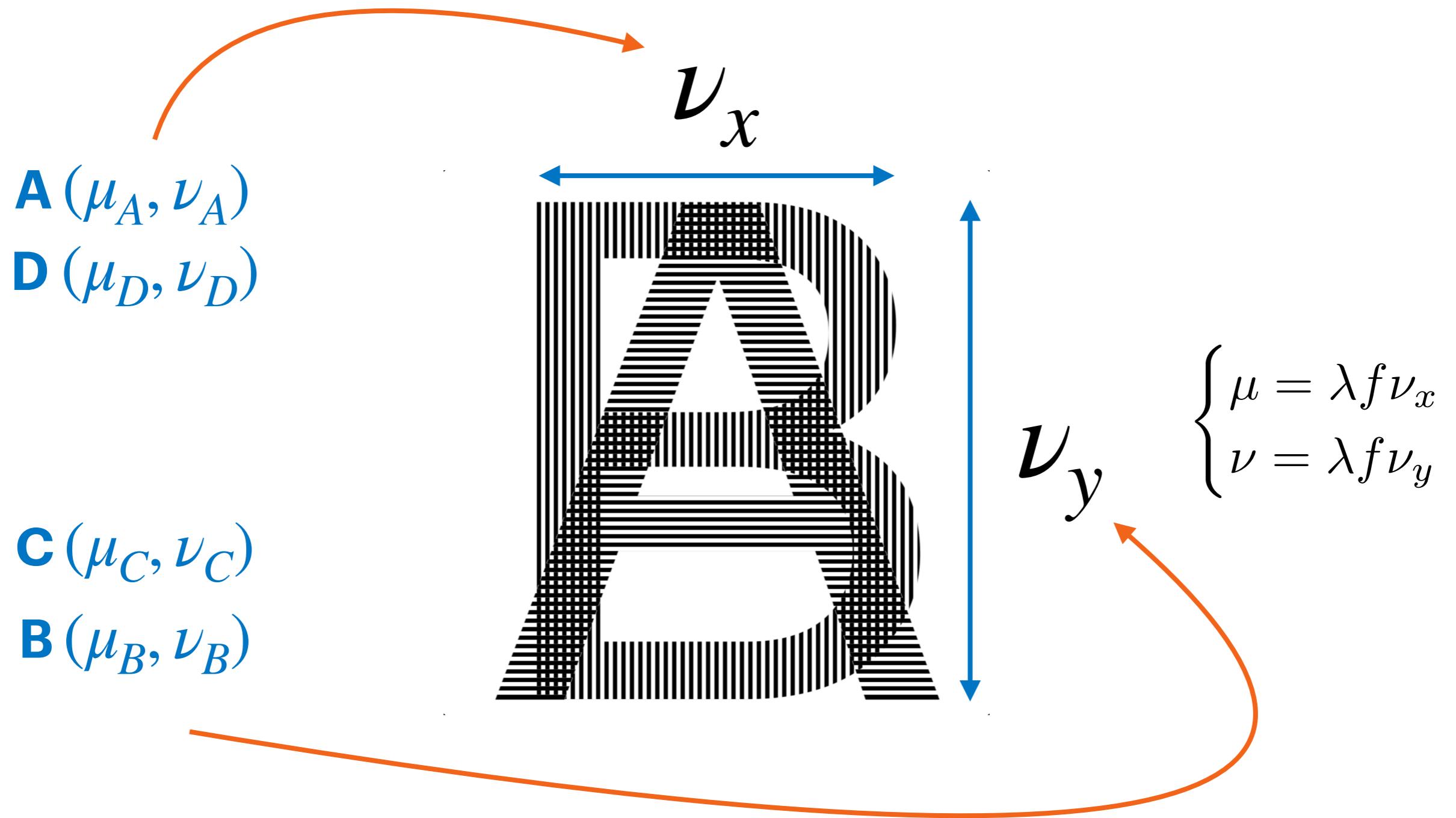
| | Antes da Calibração [pixeis] | Após a Calibração [mm] |
|---|------------------------------|------------------------|
| A | 404 ± 1 | 3.380 ± 0.219 |
| B | 411 ± 1 | 3.443 ± 0.221 |
| C | 399 ± 1 | 3.338 ± 0.218 |
| D | 403 ± 1 | 3.372 ± 0.219 |



Frequências Espaciais



Frequências Espaciais

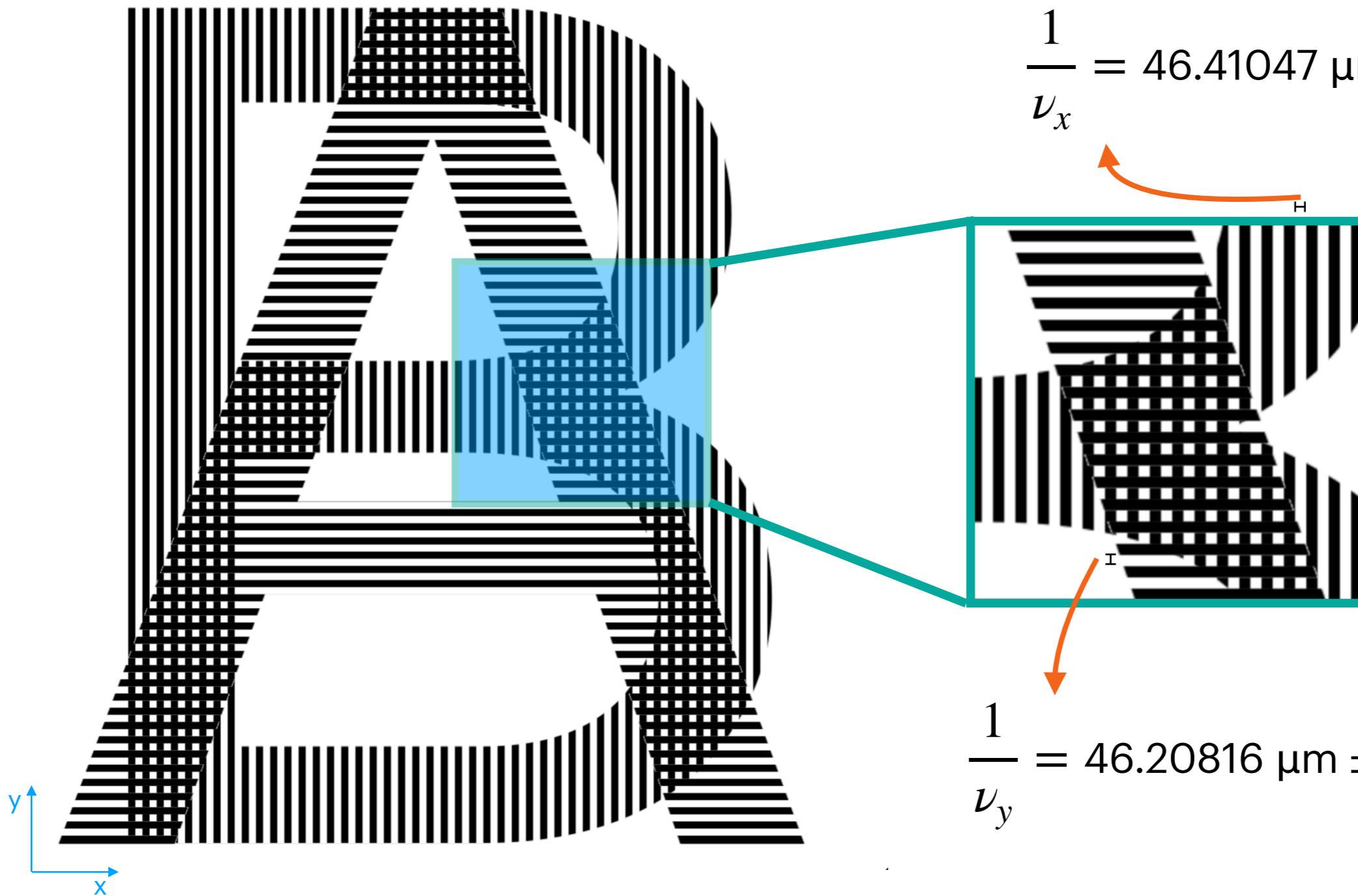


Frequências Espaciais

| Ponto | Frequência (m ⁻¹) | Média (m ⁻¹) | Letra | Frequência (m ⁻¹) |
|-------|-------------------------------|--------------------------|-------|-------------------------------|
| A | 21571.81 ± 6.49% | 21546.86 ± 6.49% | B | ν_x |
| D | 21521.92 ± 6.50% | | | |
| B | 21974.59 ± 6.43% | 21641.20 ± 6.48% | A | ν_y |
| D | 21307.81 ± 6.53% | | | |

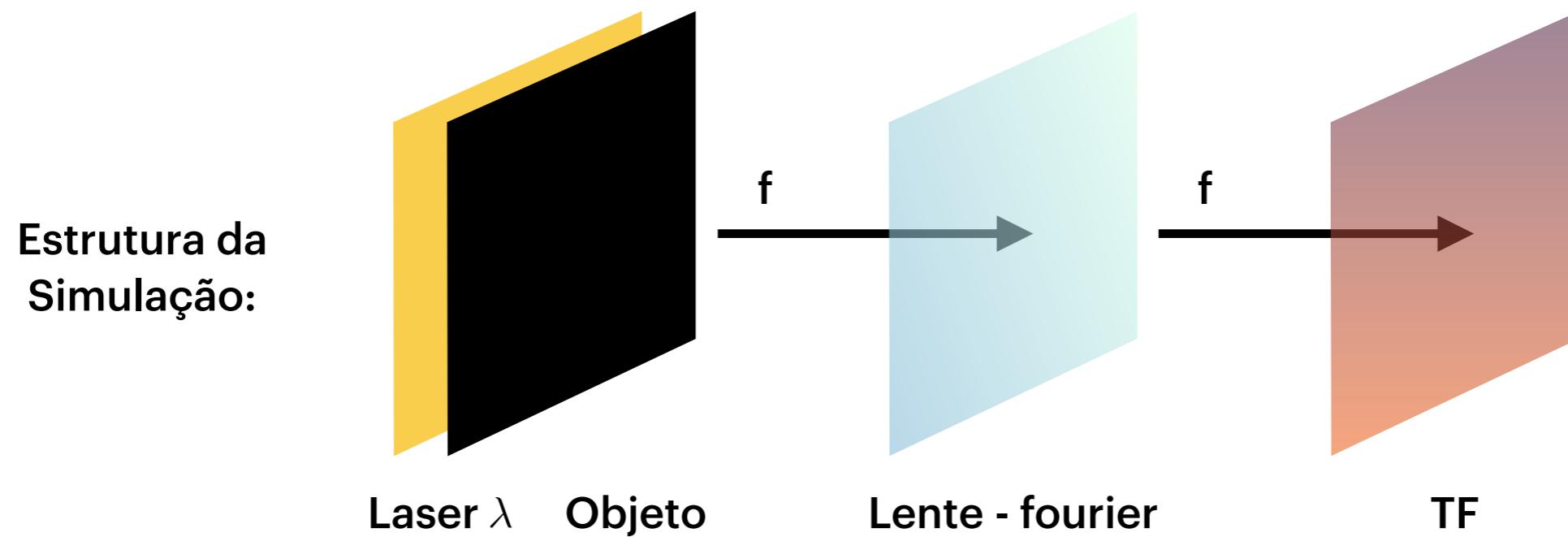
Frequências para as letras A e B muito semelhantes, como era de esperar.

Propriedades Objeto



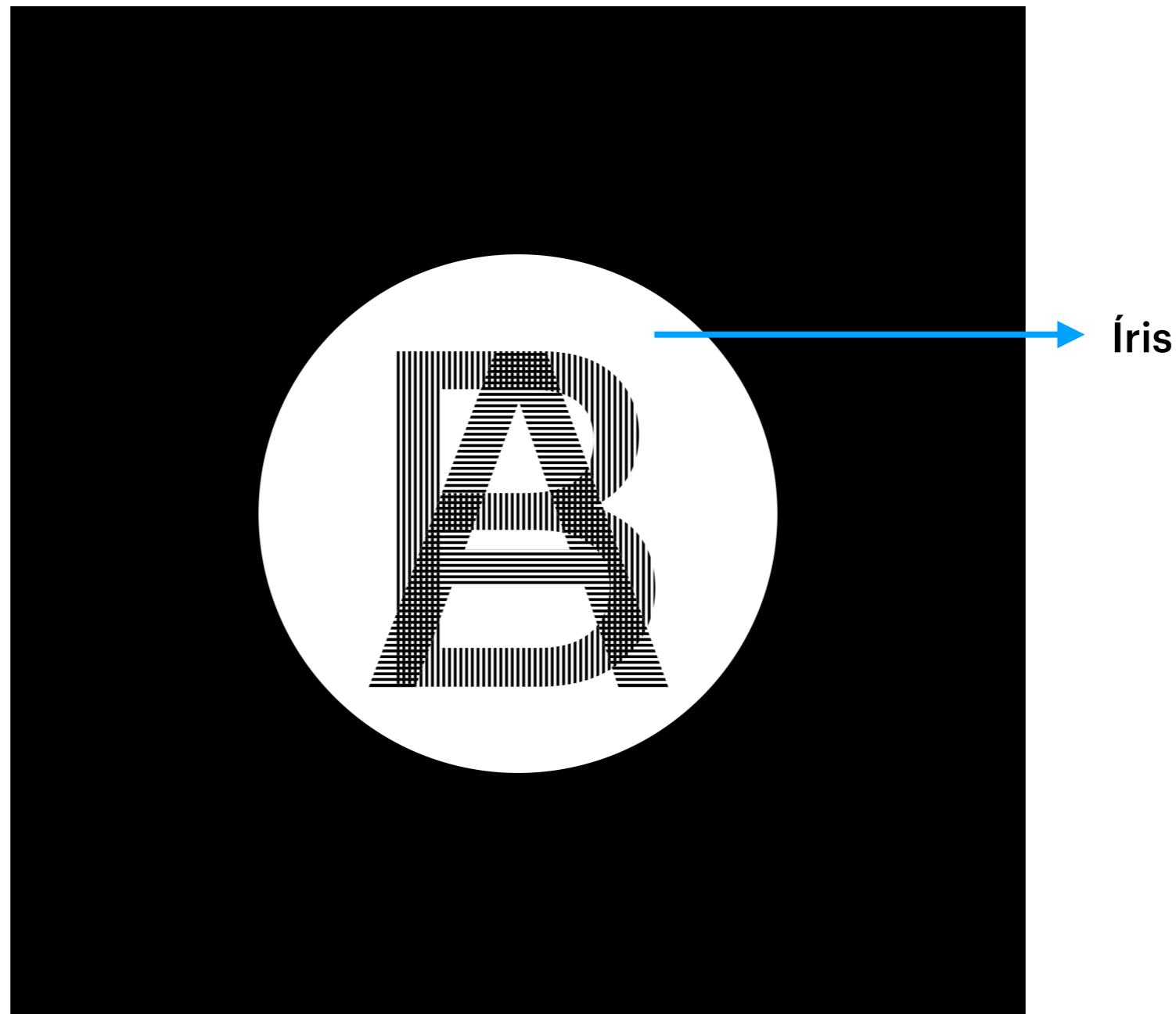
Simulação AB Extra

LightPipes.py

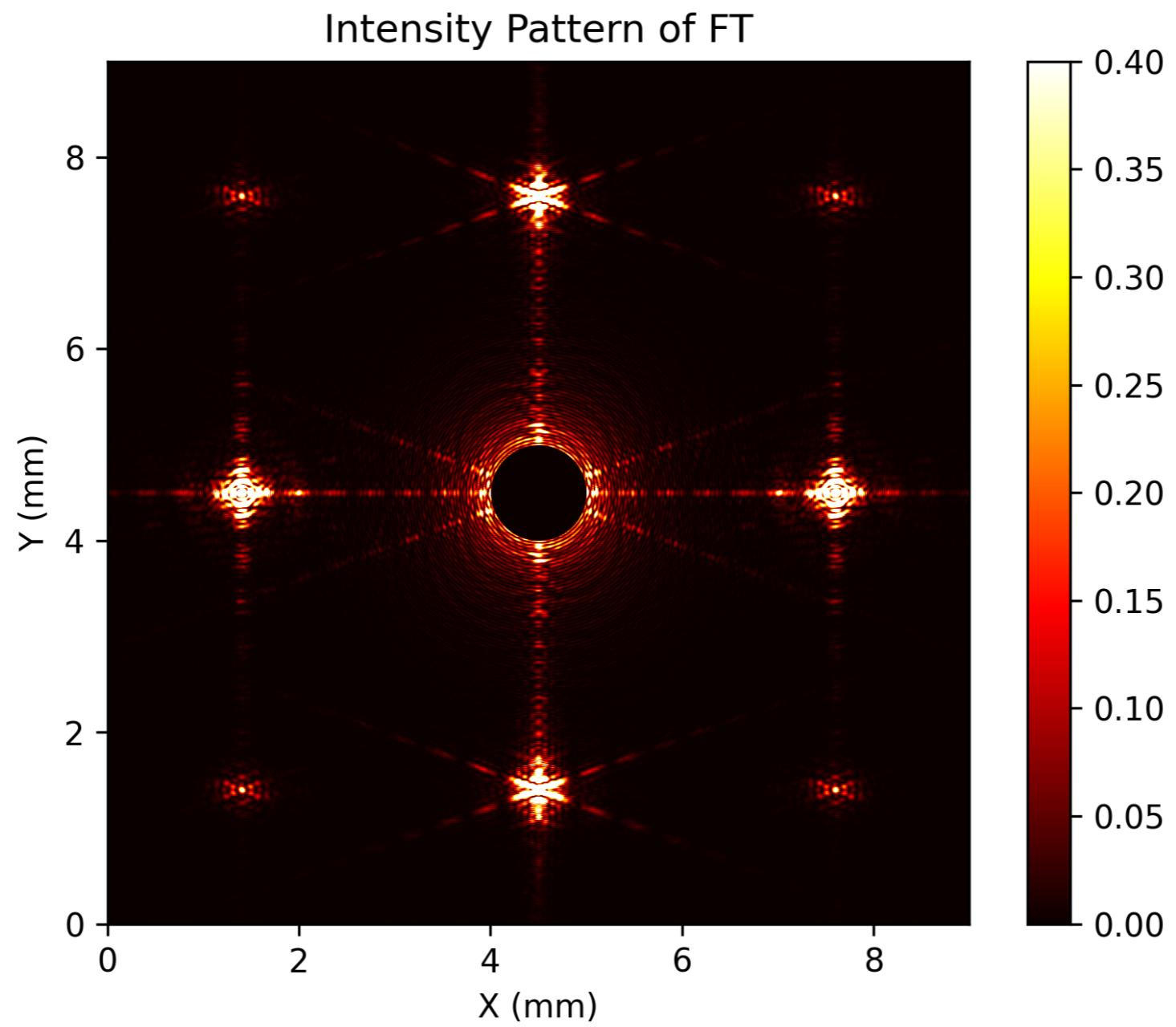


Filtro usado

Desenhamos o filtro usando as frequências espaciais que calculamos anteriormente.

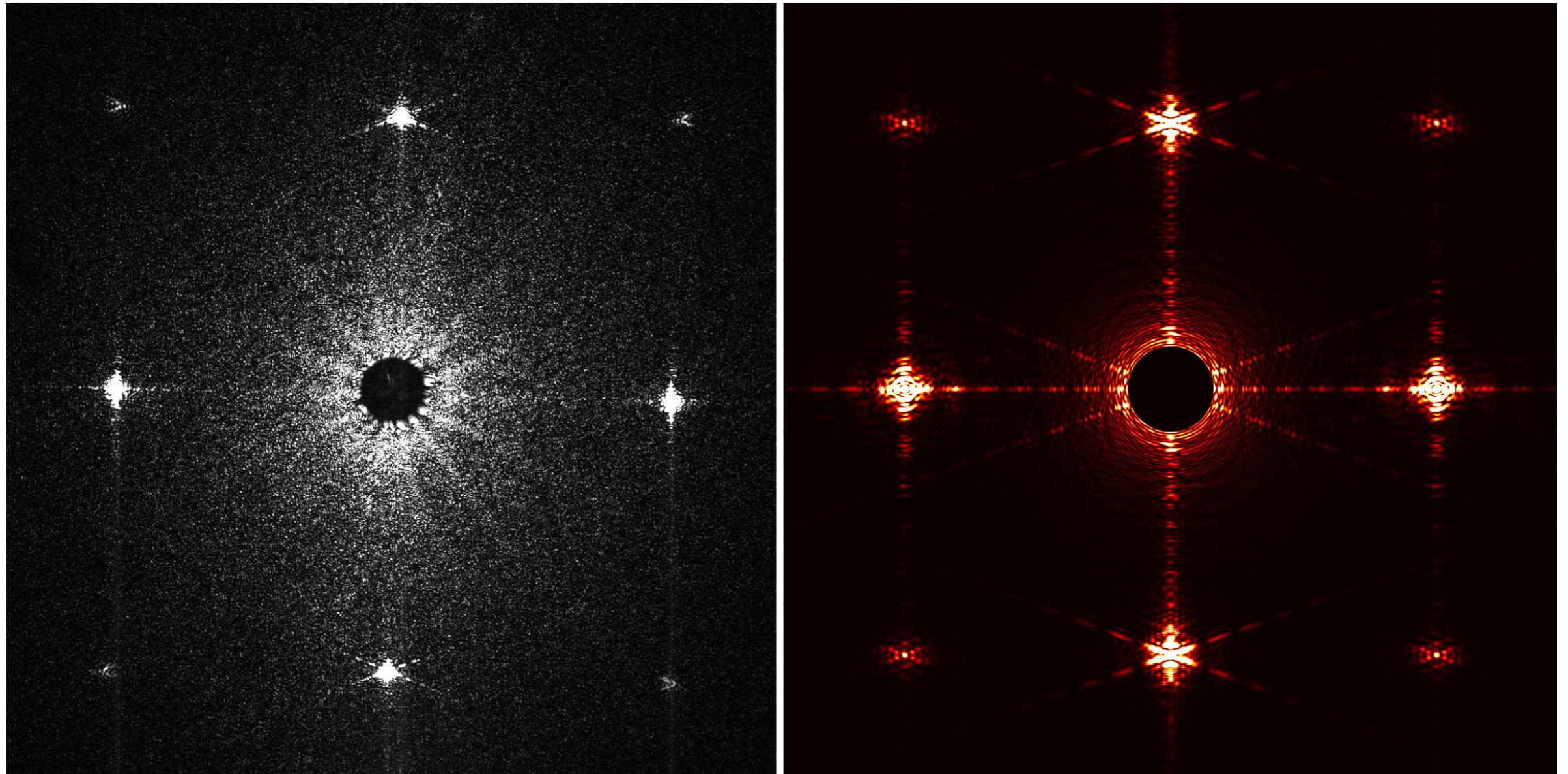


Resultado



Simulação de um padrão de Fourier para um filtro AB em condições idênticas à da atividade laboratorial

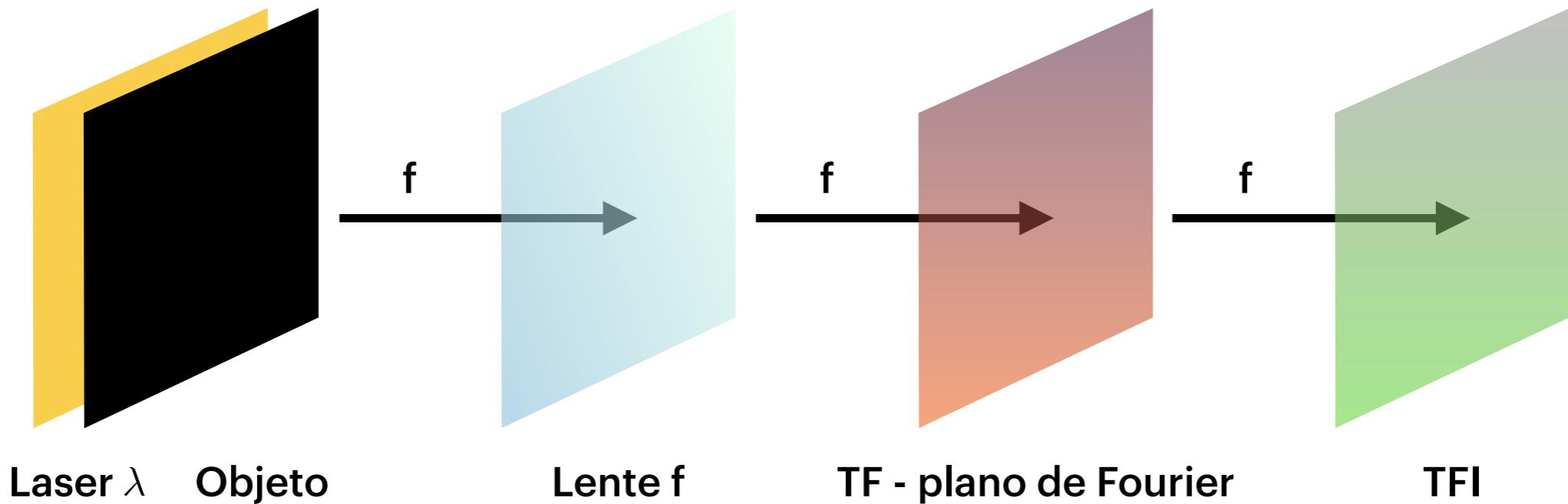
Resultado



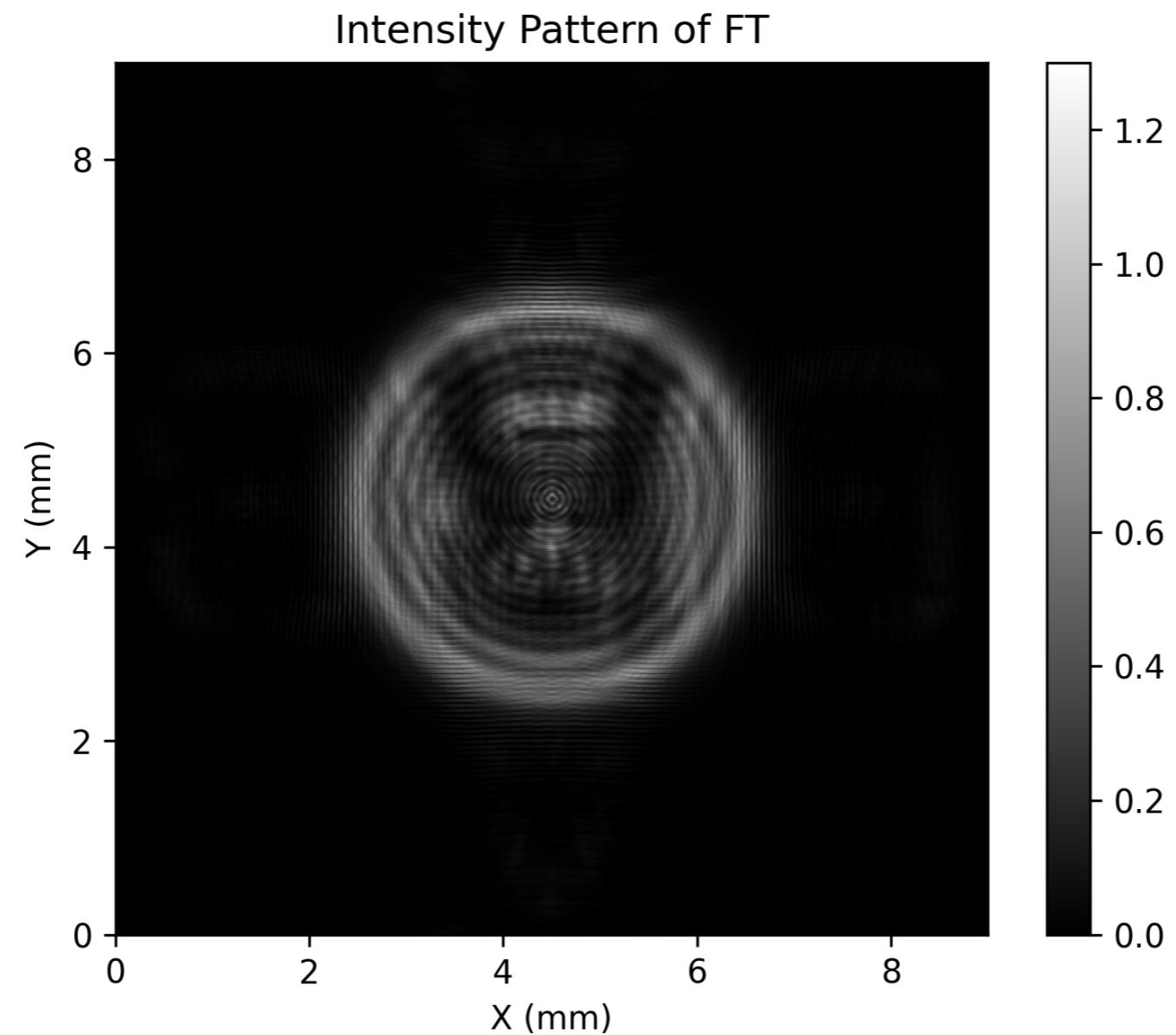
Comparação da imagem obtida no CCD (esquerda) e na simulação (direita)

TF Inversa

Em adição, se propagarmos a simulação um distância f depois da transformada, podemos ver a inversa:



TF Inversa

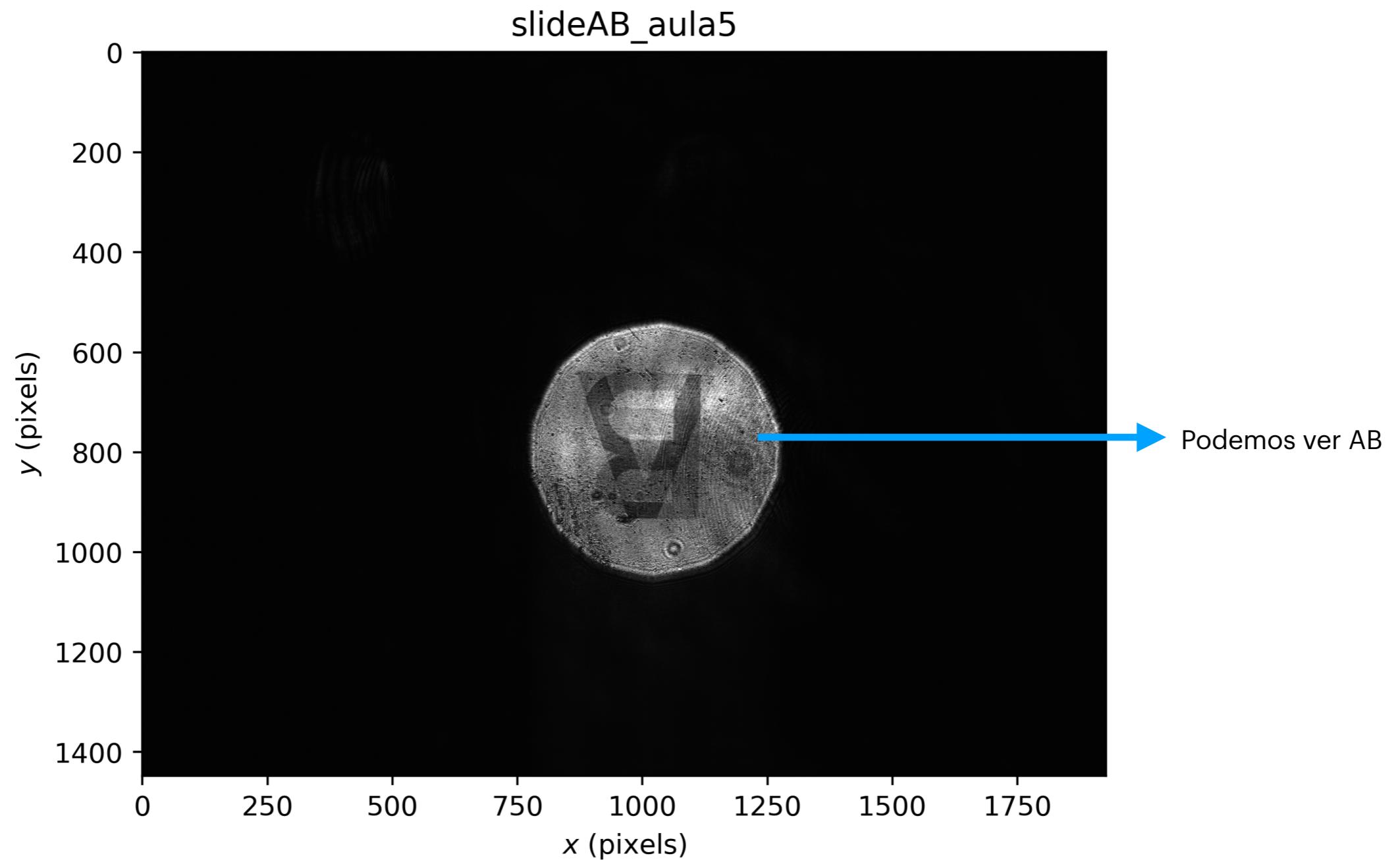


Filtros Físicos

Extra

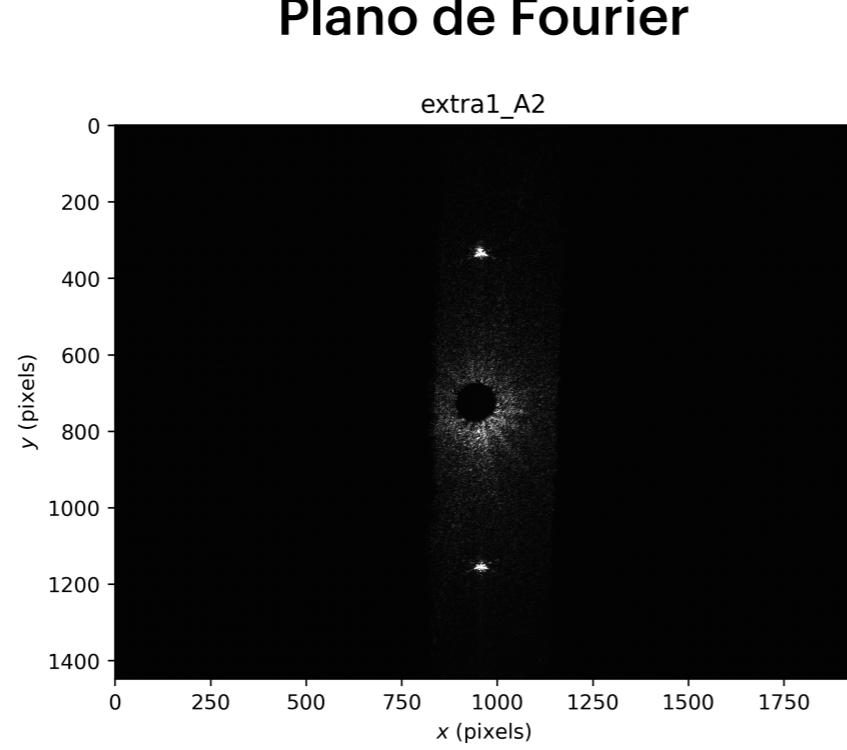
TFO Inversa

Movemos o CCD de modo a observar o plano onde estava a TF inversa do filtro AB, obtendo a seguinte imagem:

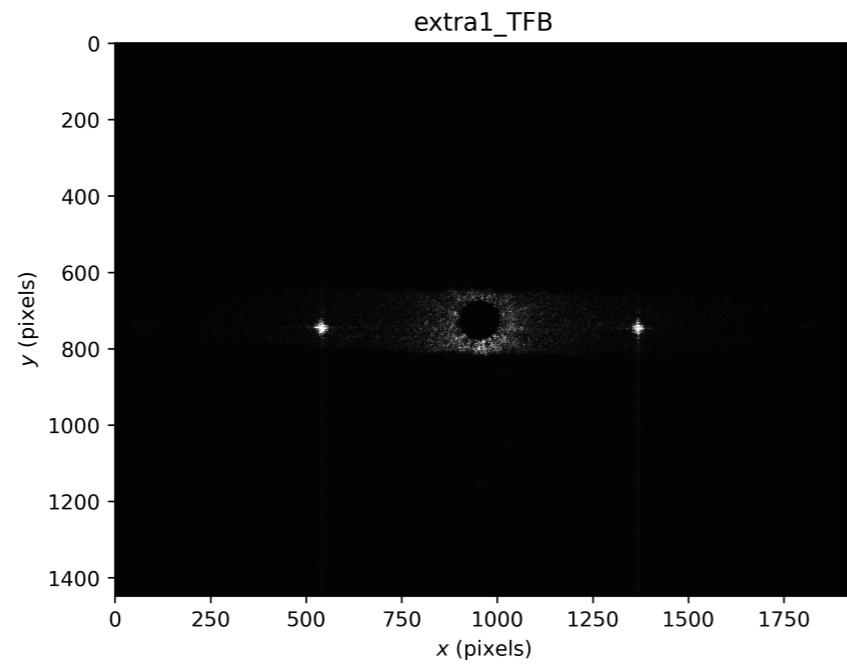


Filtros Horizontal e Vertical

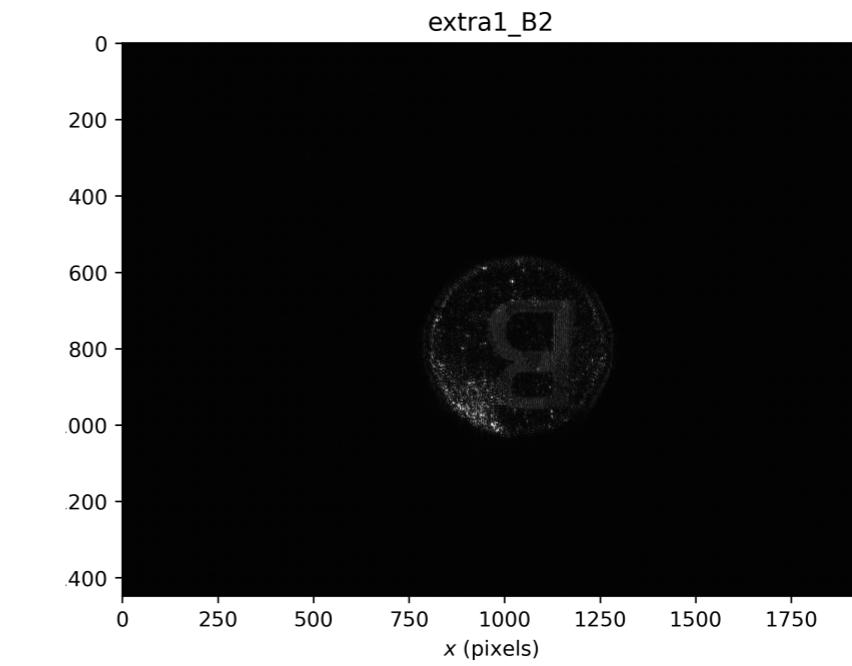
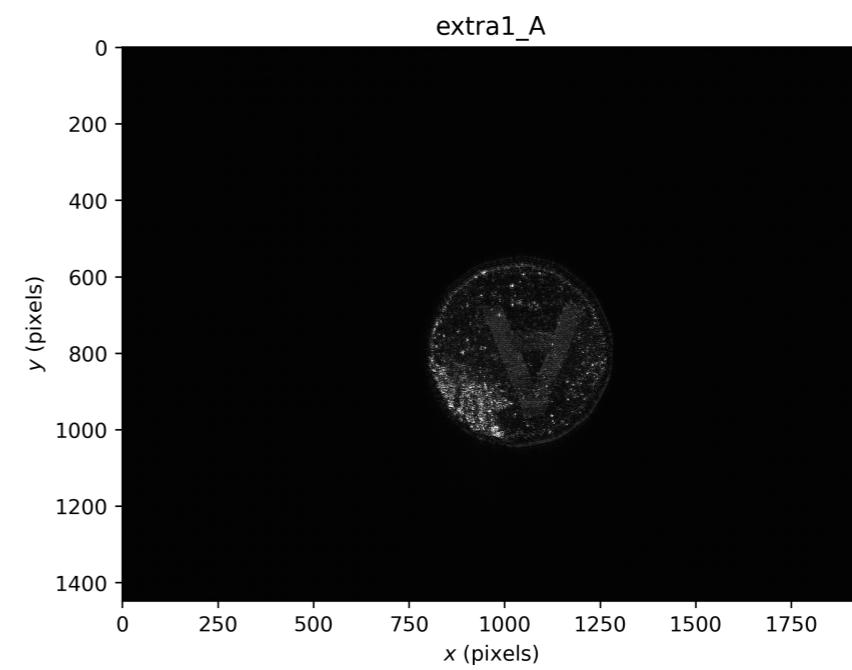
Filtrar a TF da
letra B



Filtrar a TF da
letra A

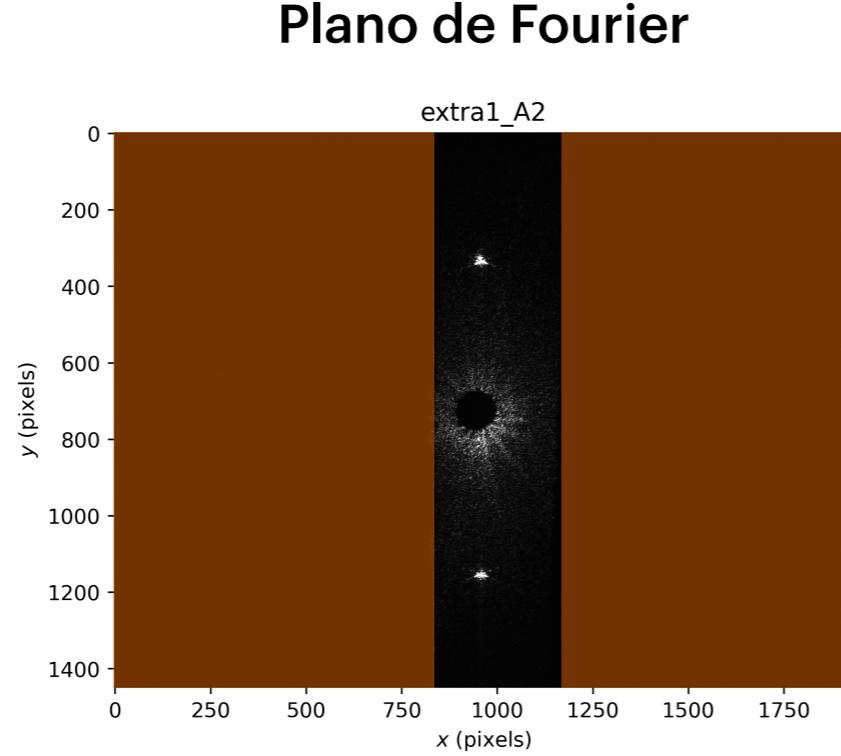


TFI

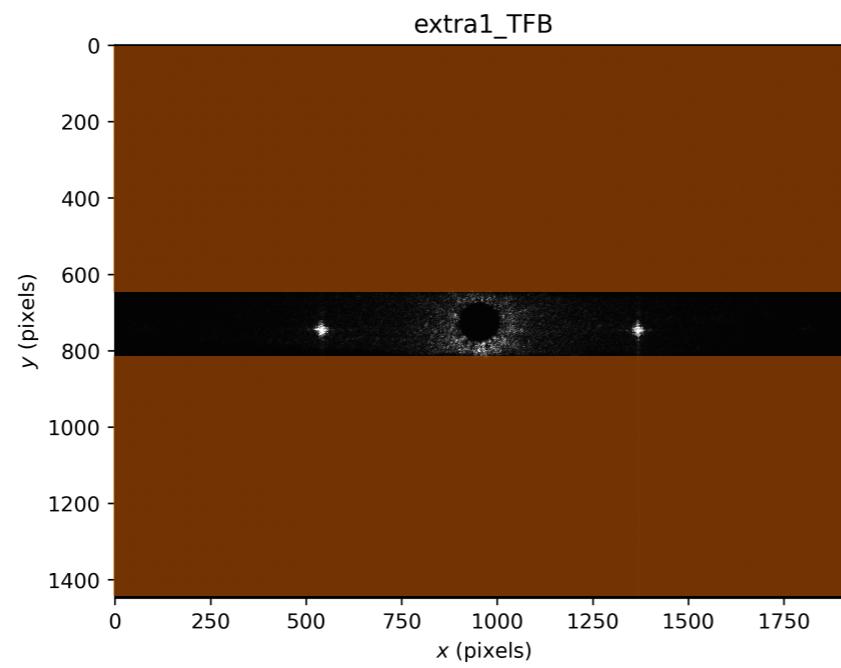


Filtros Horizontal e Vertical

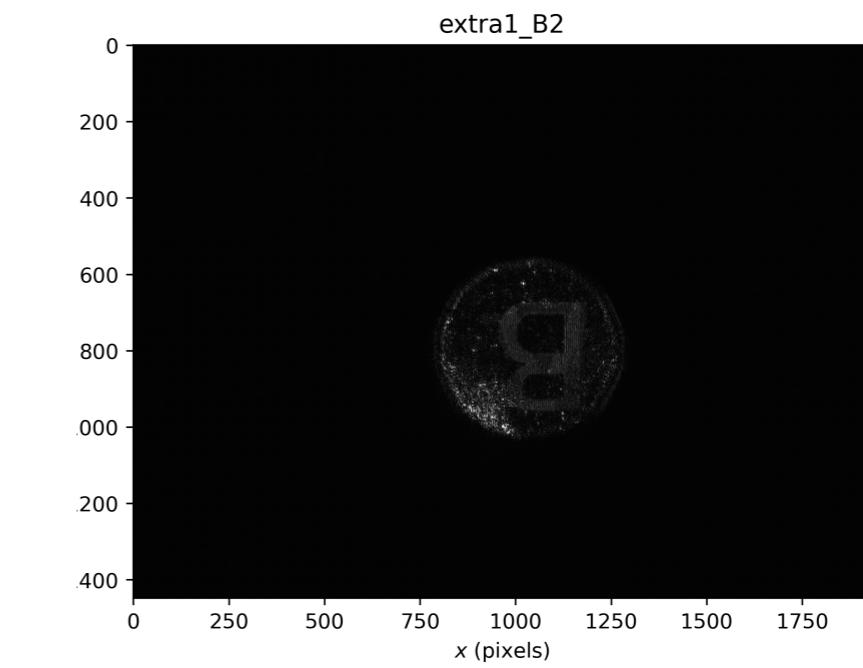
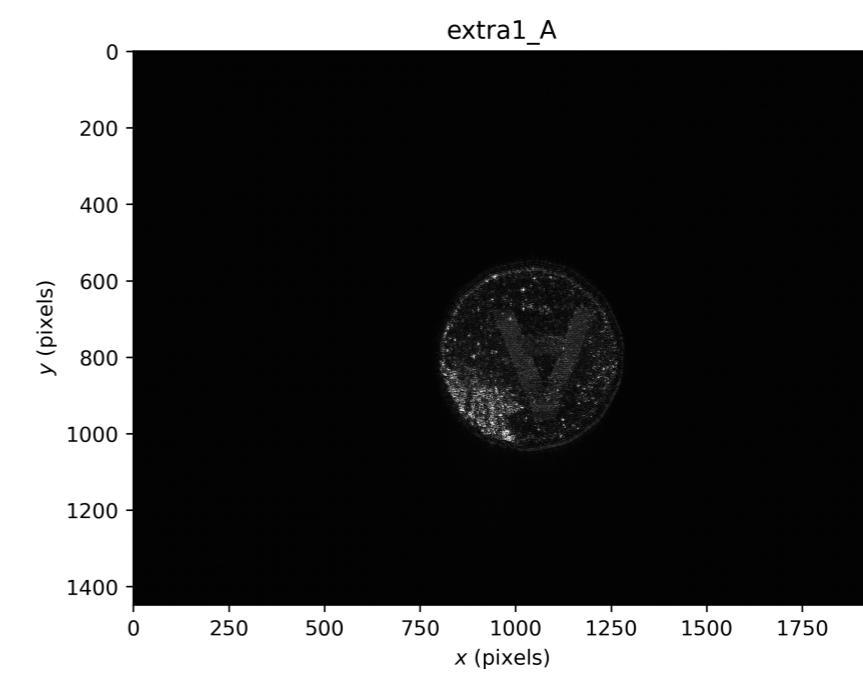
Filtrar a TF da
letra B



Filtrar a TF da
letra A



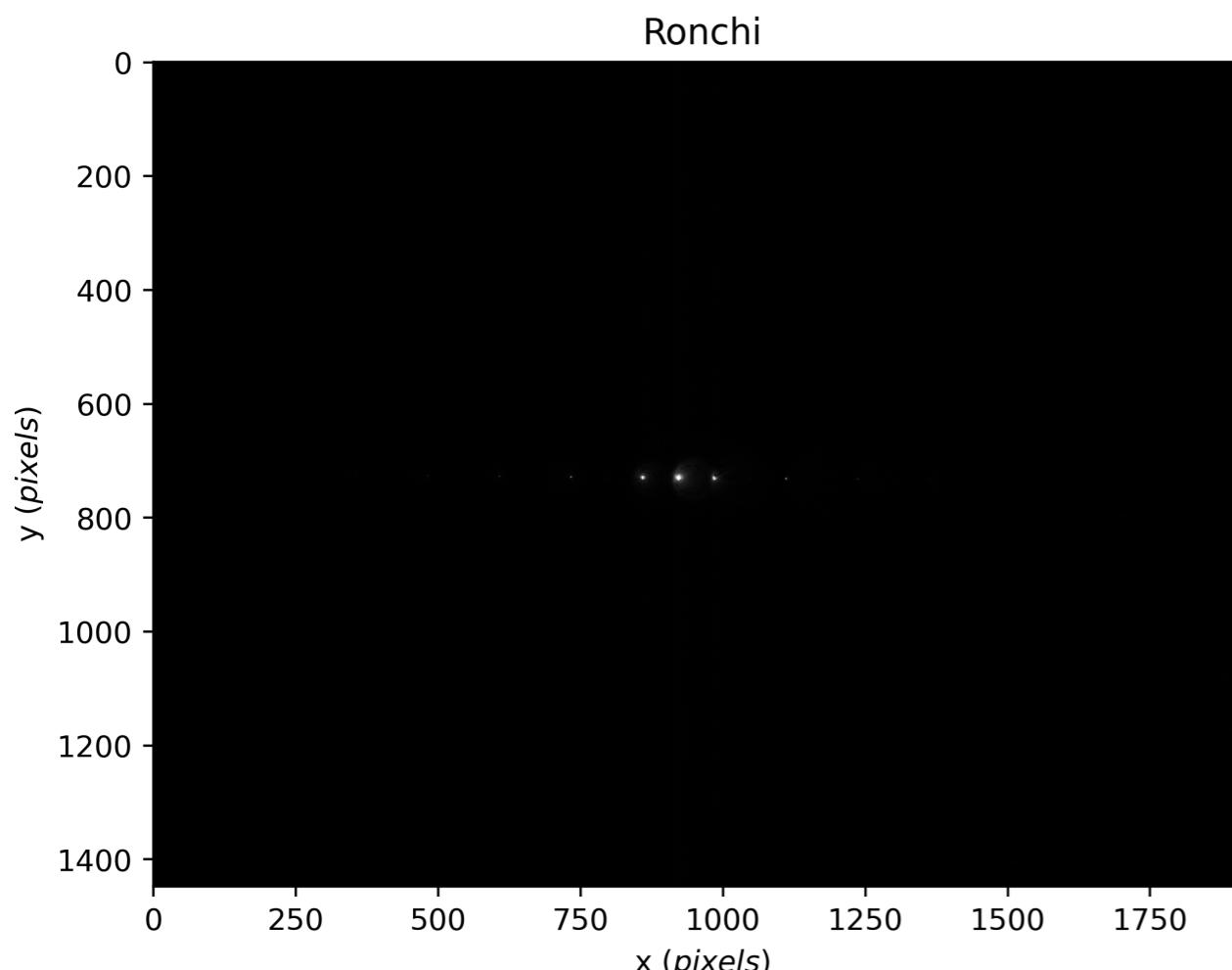
TFI



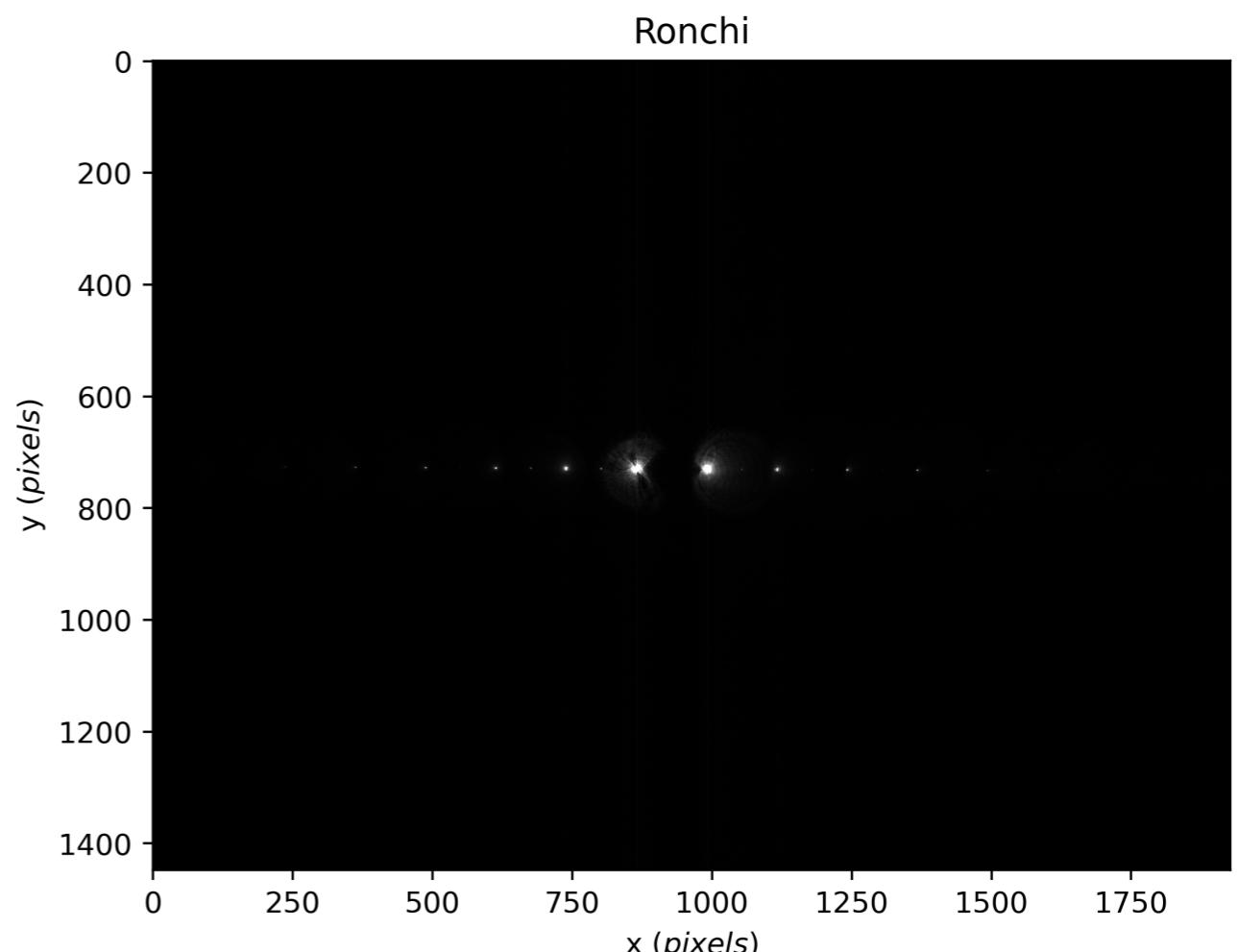
Redes de Ronchi

Redes de Ronchi

Imagens obtidas em aula para o estudo das Redes de Ronchi:

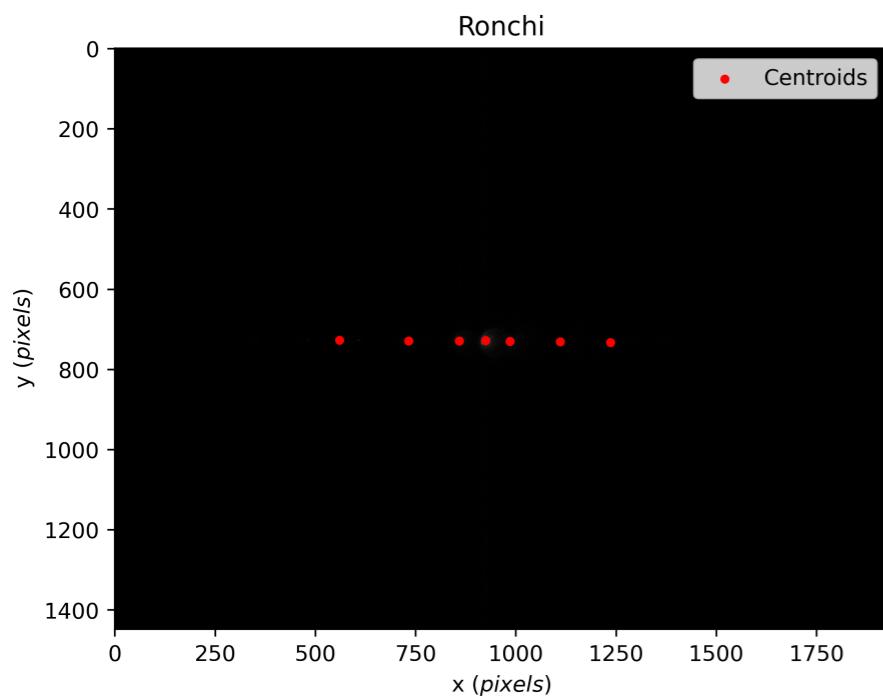


Com íris aberta



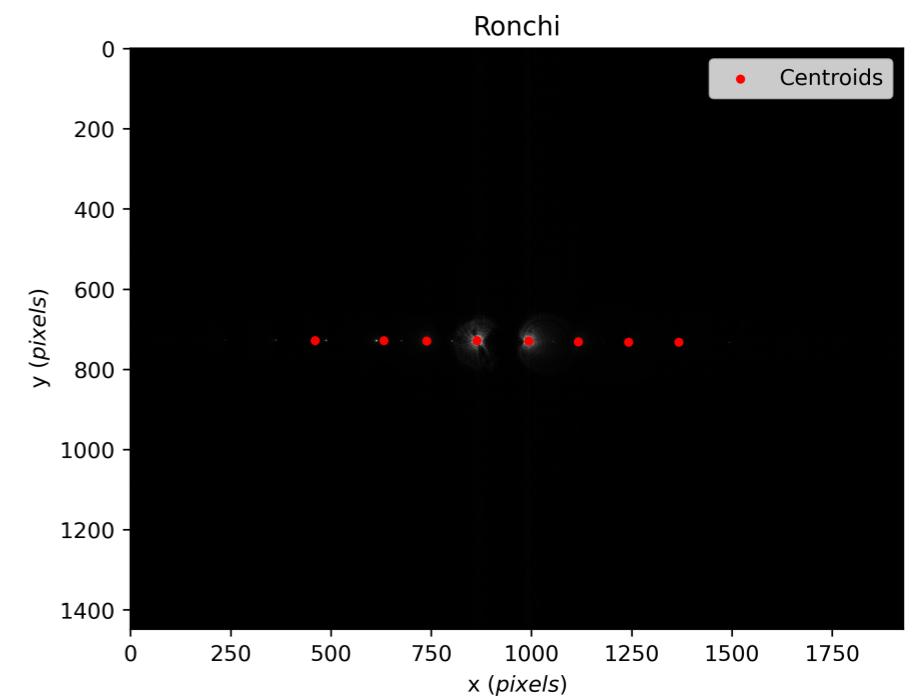
Com íris quase fechada

Coordenadas



Seleção dos
pontos mais
intensos
+
Clustering
=

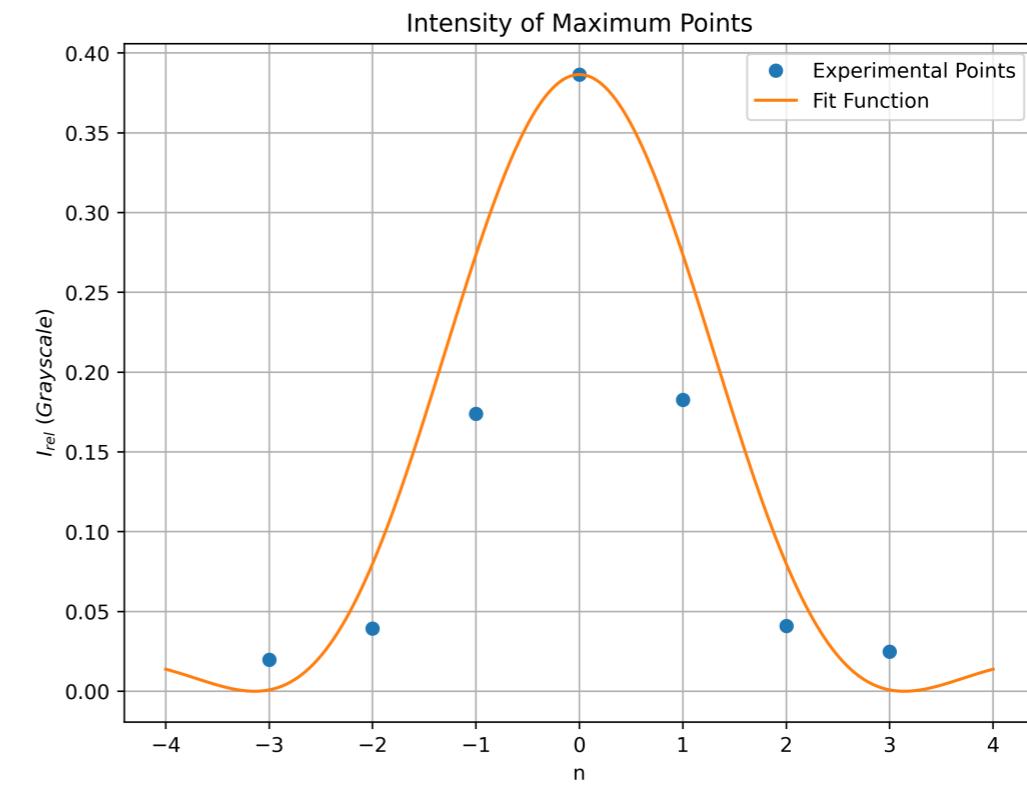
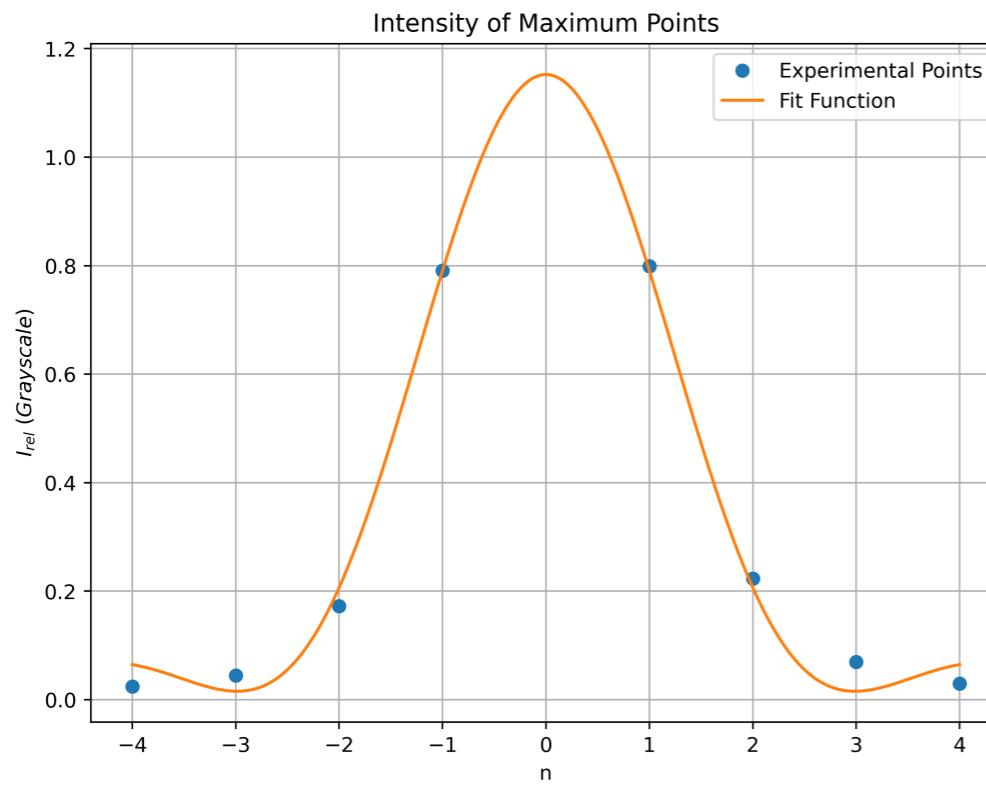
Coordenadas
dos pontos



Intensidade

Obtivemos os gráficos da intensidade em função dos pontos máximos, utilizando a seguinte função:

$$I_{max} = I_0 \cdot \text{sinc}^2\left(\frac{a_x}{\lambda f_l} \cdot (x - x_0)\right) + b$$



Redes TEM

Rede TEM

Mais uma vez aplicamos clustering à imagem da esquerda para obter as coordenadas dos máximo - à direita:

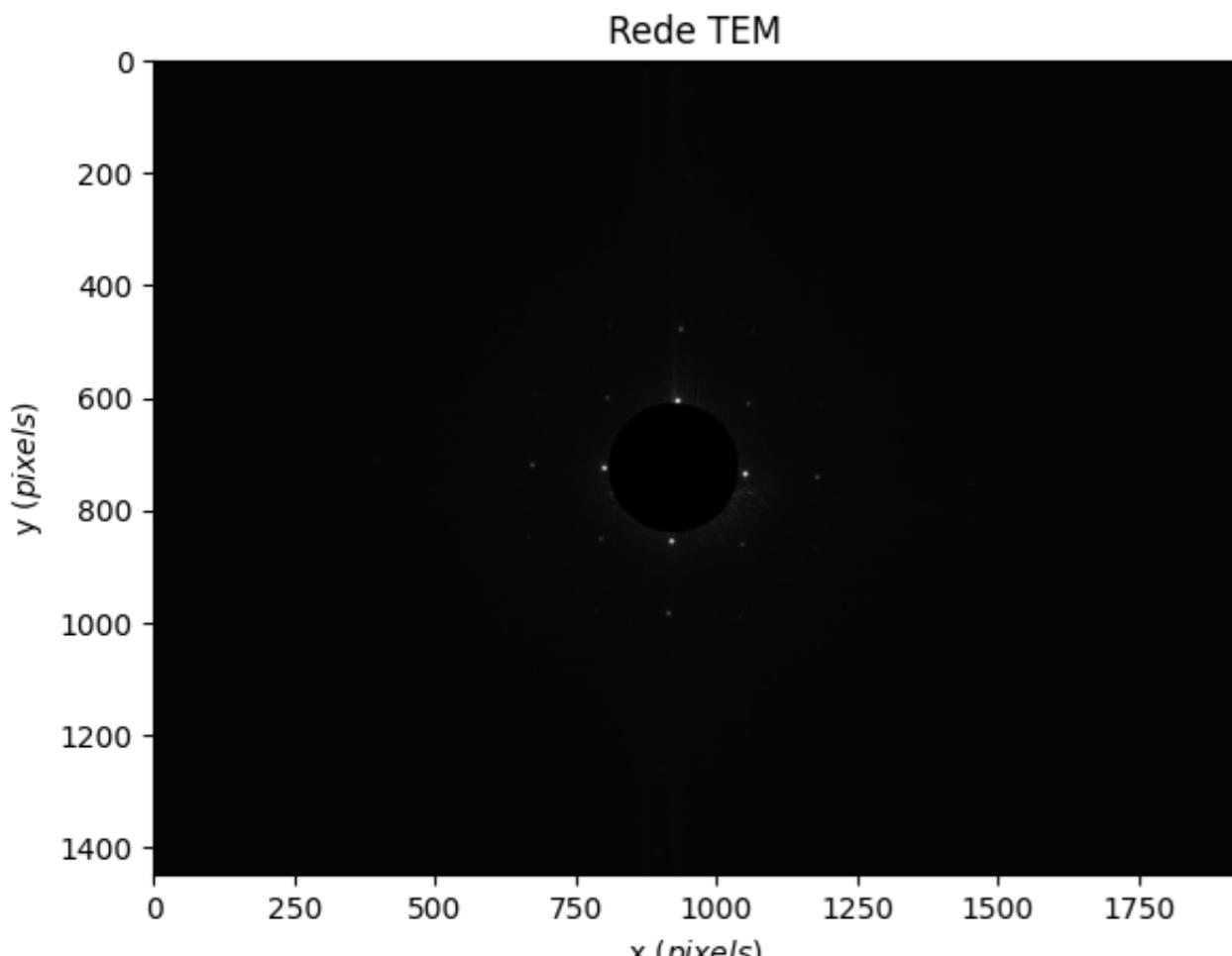
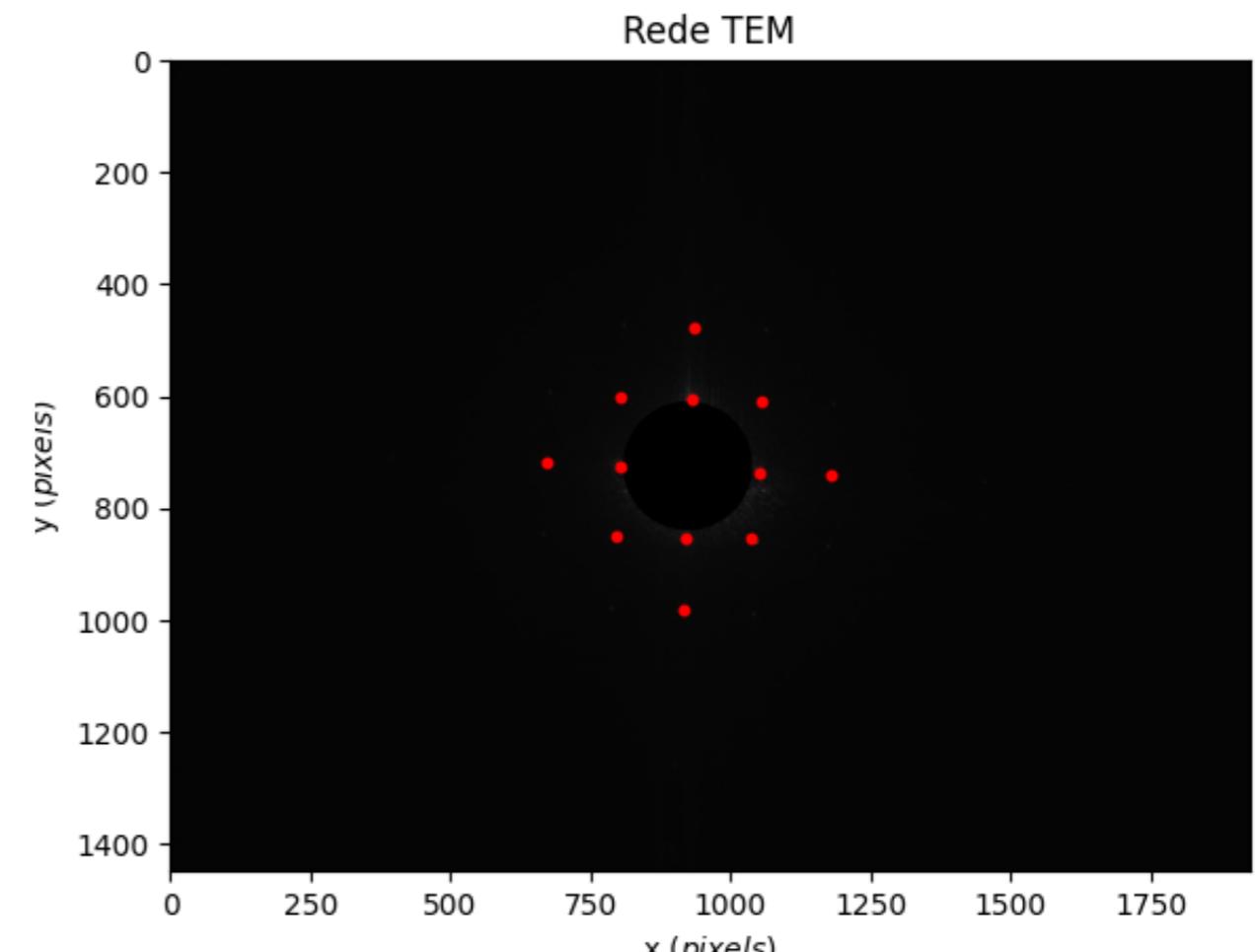


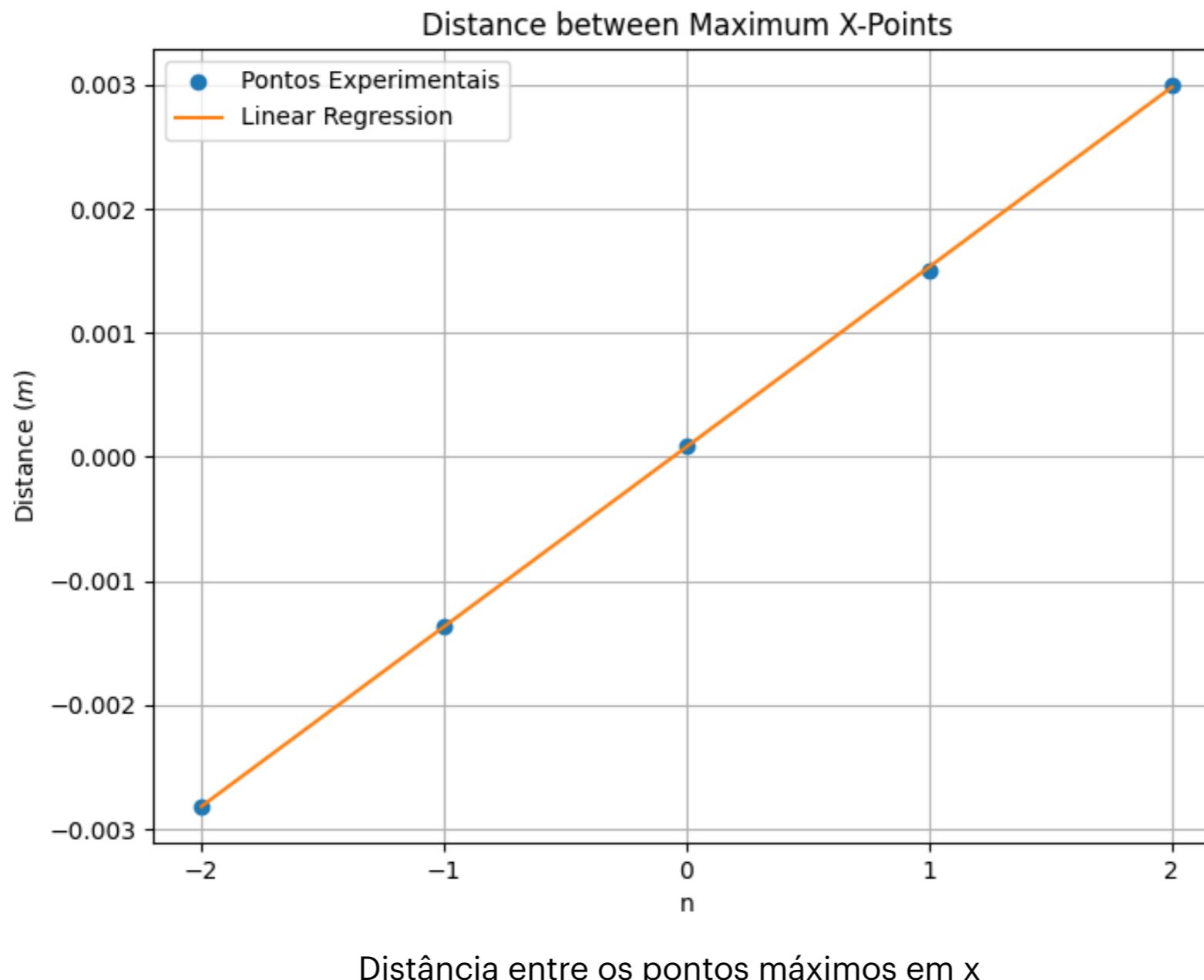
Imagen obtida no laboratório



Pontos máximos obtidos

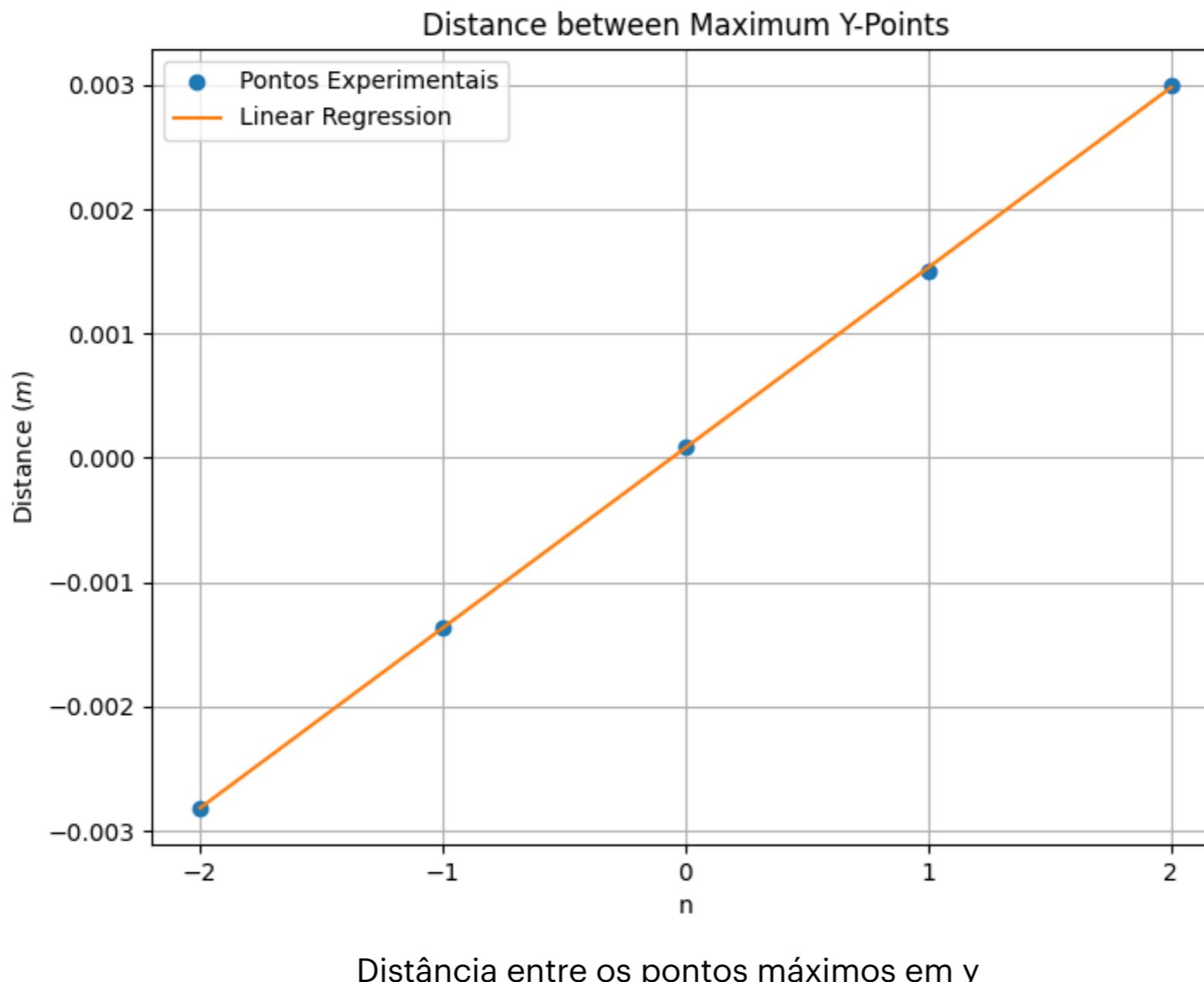
Pontos Máximos

Obtemos a distância entre os pontos máximos em x e em y.



Pontos Máximos

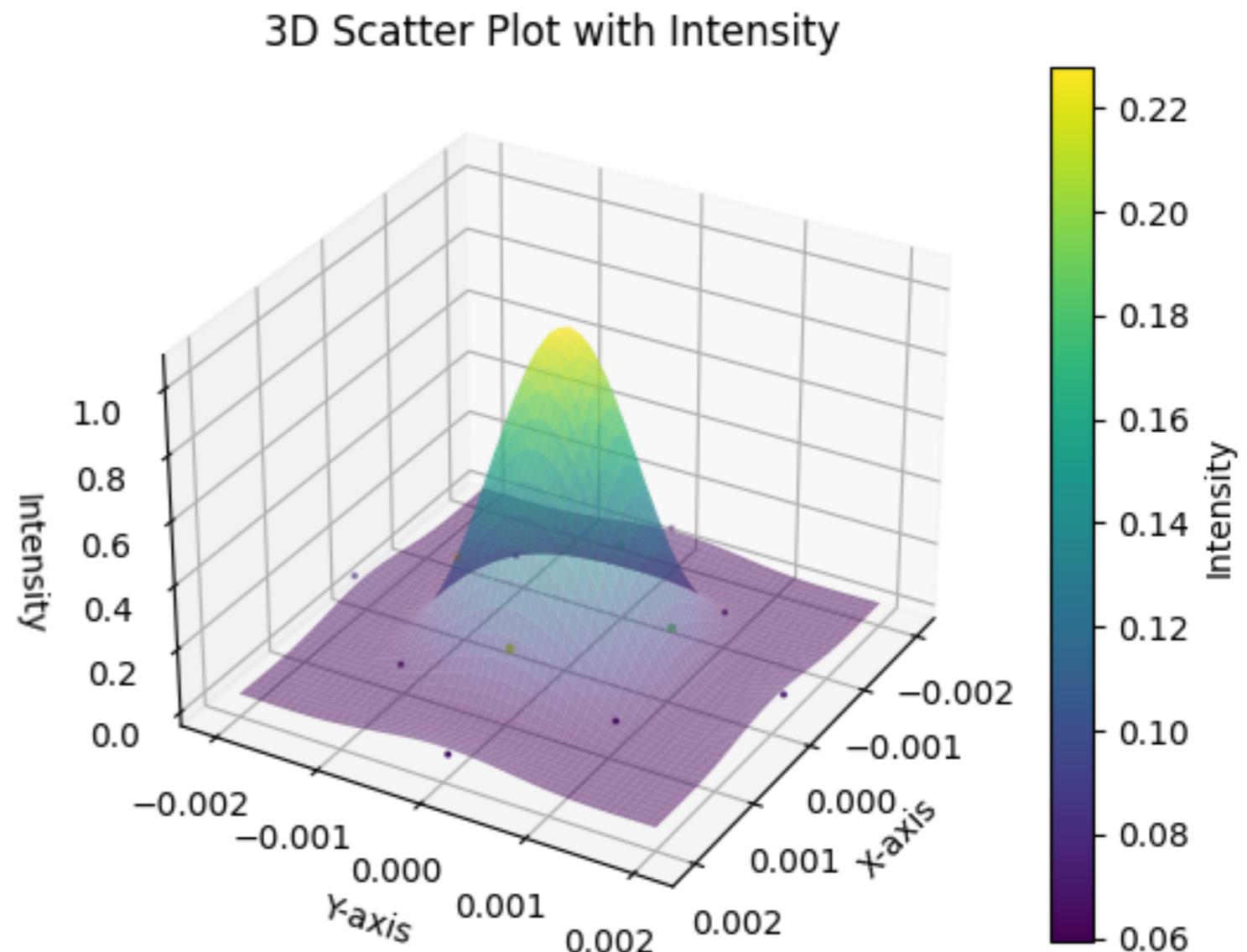
Obtemos a distância entre os pontos máximos em x e em y.



Intensidade

Para a obtenção do gráfico 3D, utilizámos a seguinte equação, a qual nos dá a intensidade em função dos máximos em x e y:

$$I_{max} = I_0 \cdot \text{sinc}^2\left(\frac{a_x}{\lambda f_l}(x - x_0)\right) \cdot \text{sinc}^2\left(\frac{a_y}{\lambda f_l}(y - y_0)\right) + b$$



Discos de Airy

Com a íris com uma abertura 3.85 mm, obtivemos a imagem do disco de Airy e fizemos o gráfico 3D deste:

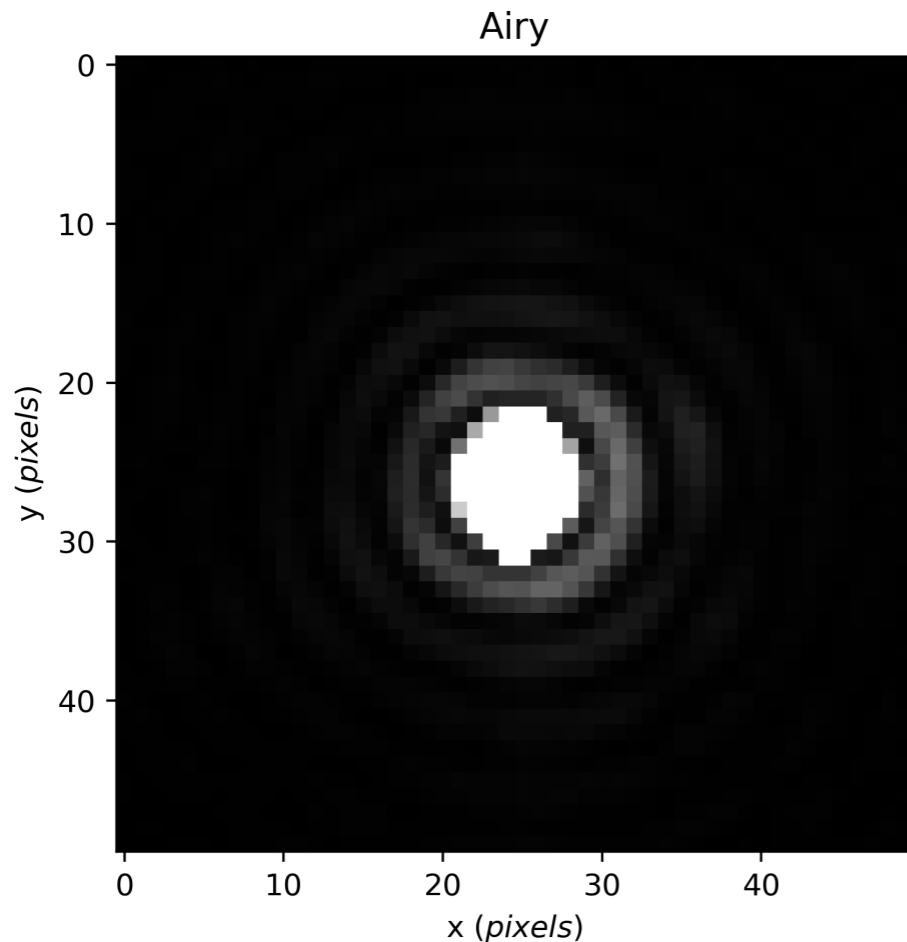


Imagen do disco de Airy obtida no laboratório

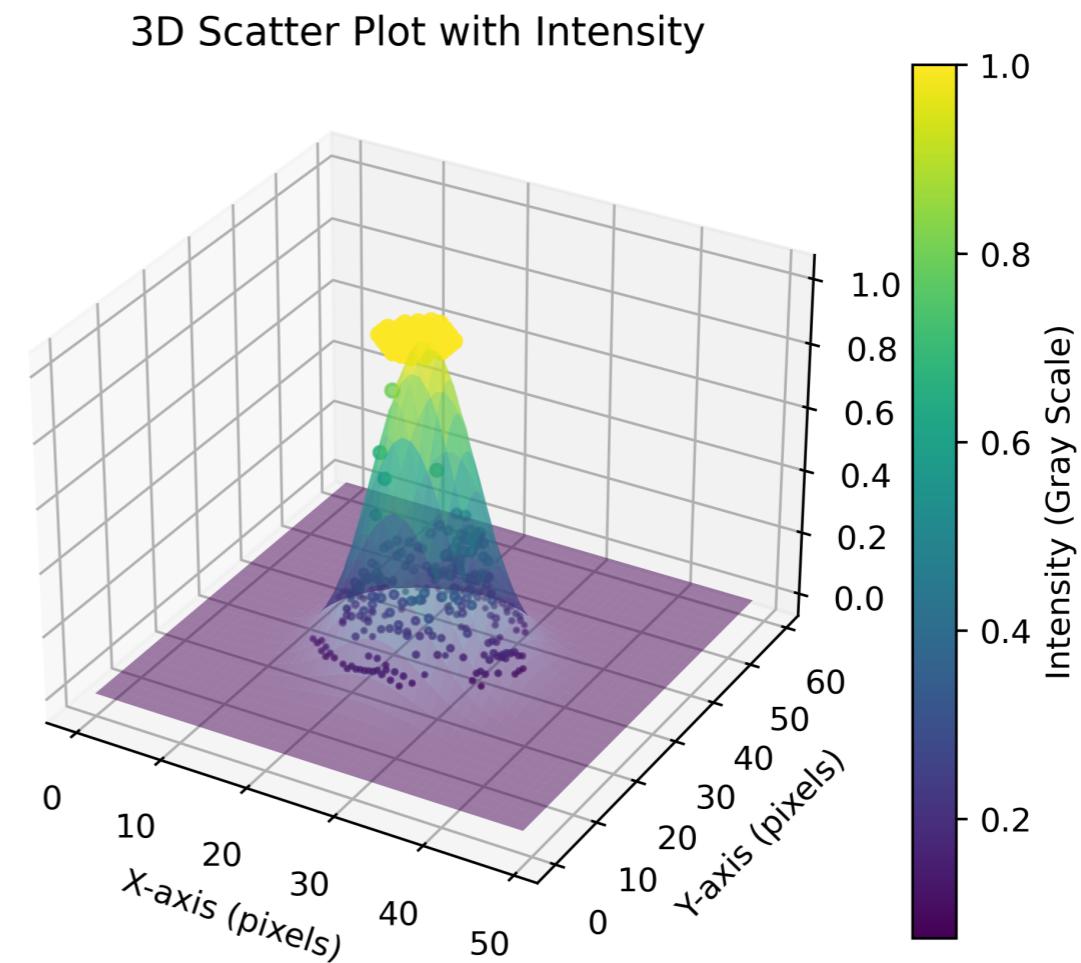


Gráfico 3D do disco de Airy

Discos de Airy

Com a íris com uma abertura 3.85 mm, obtivemos a imagem do disco de Airy e fizemos o gráfico 3D deste:

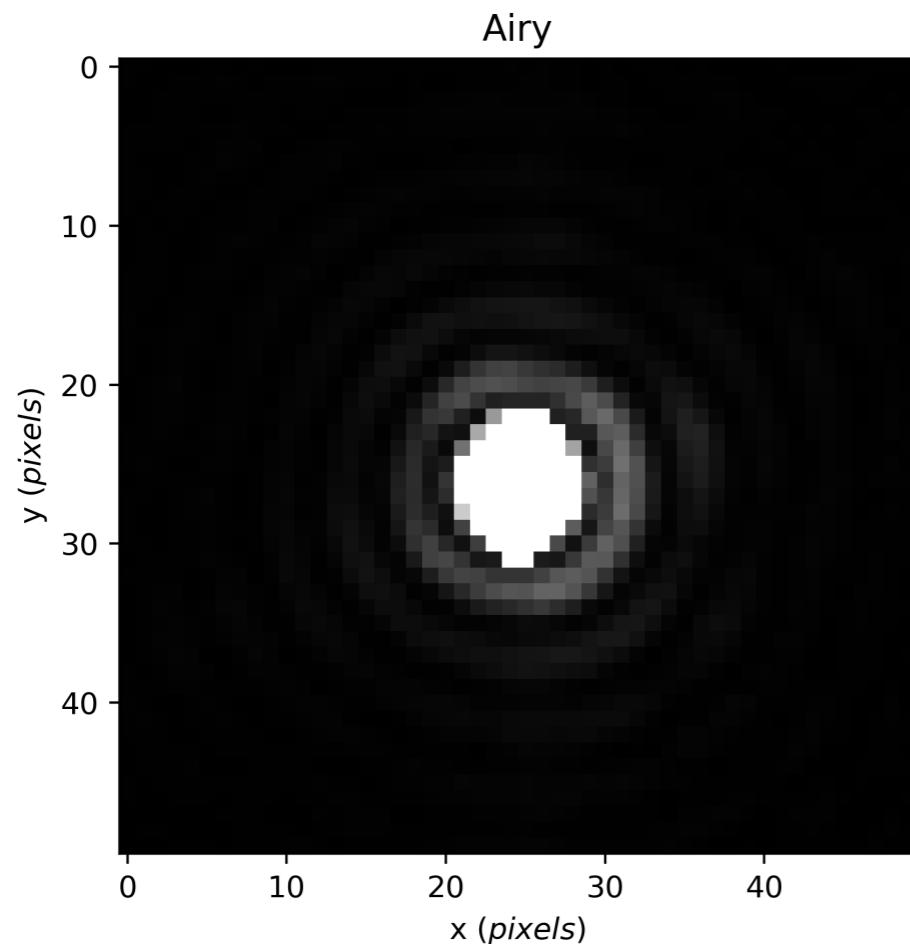


Imagen do disco de Airy obtida no laboratório

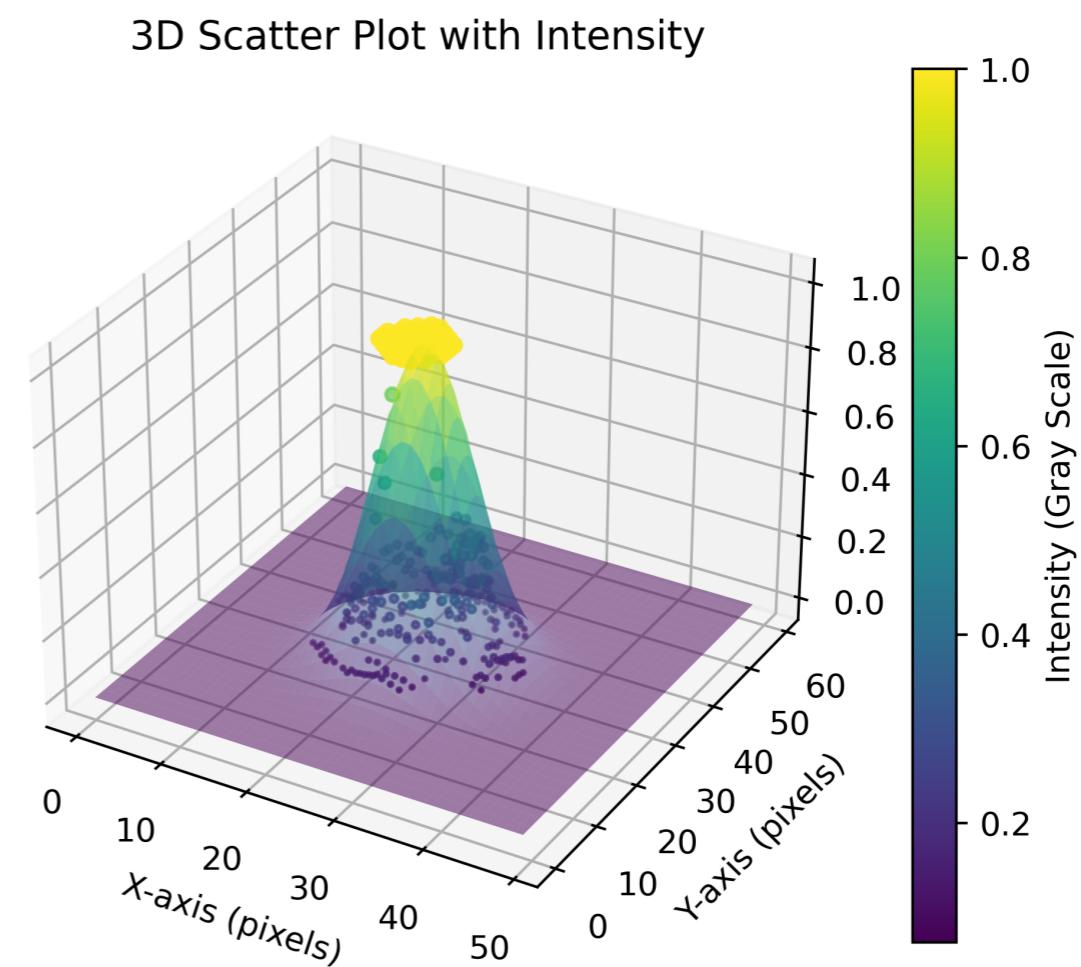


Gráfico 3D do disco de Airy

Discos de Airy

Com a íris com uma abertura 3.85 mm, obtivemos a imagem do disco de Airy e fizemos o gráfico 3D deste:

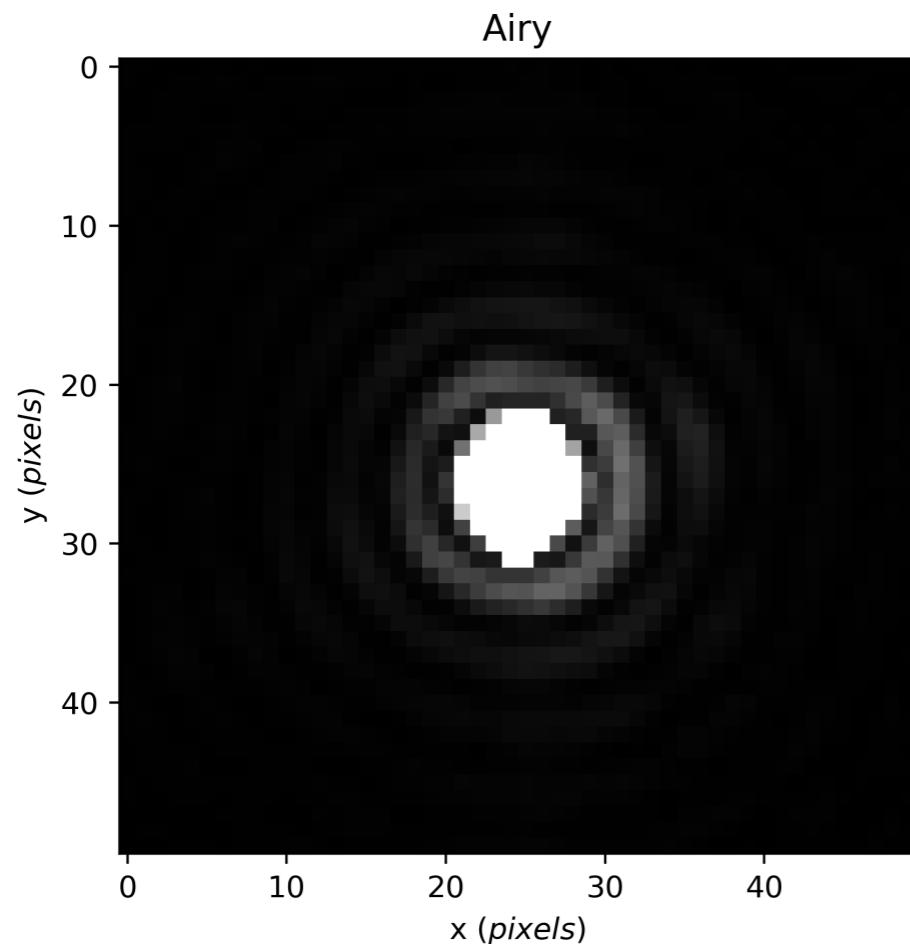


Imagen do disco de Airy obtida no laboratório

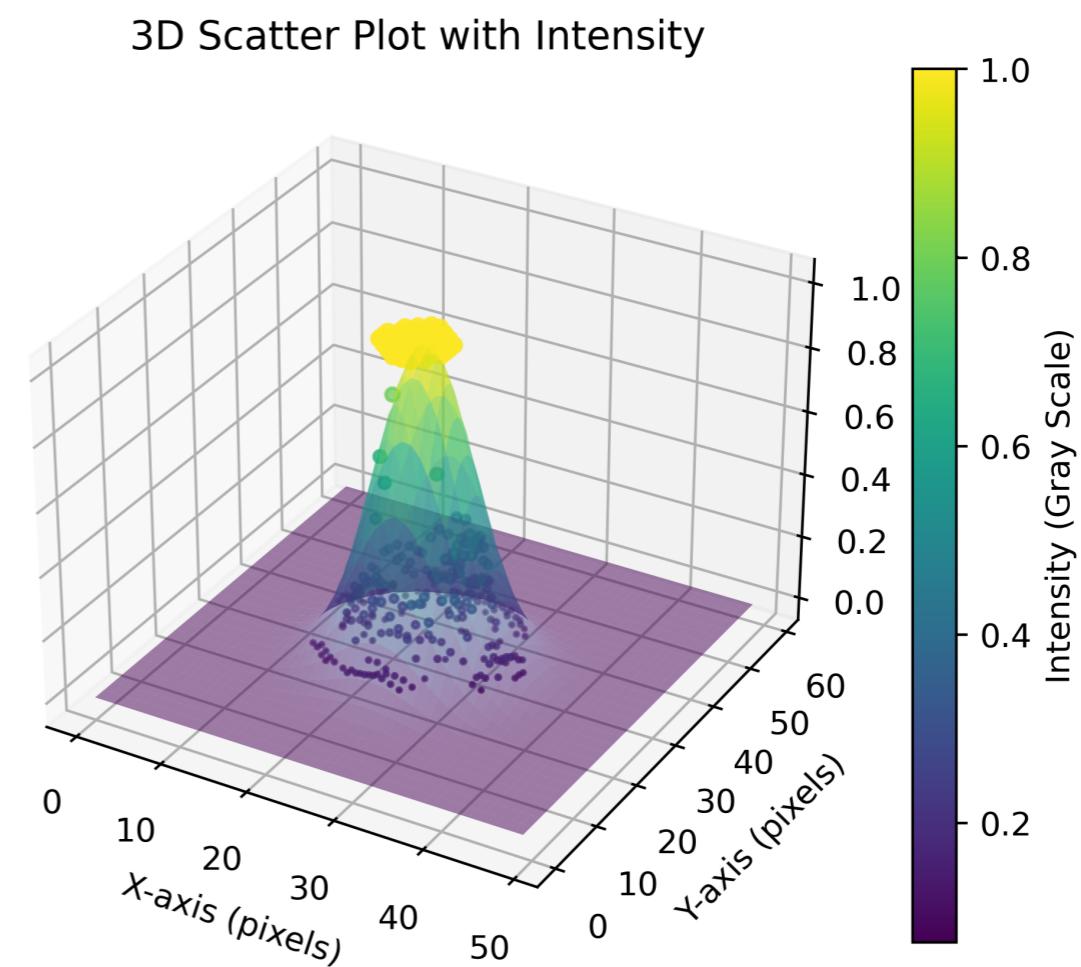
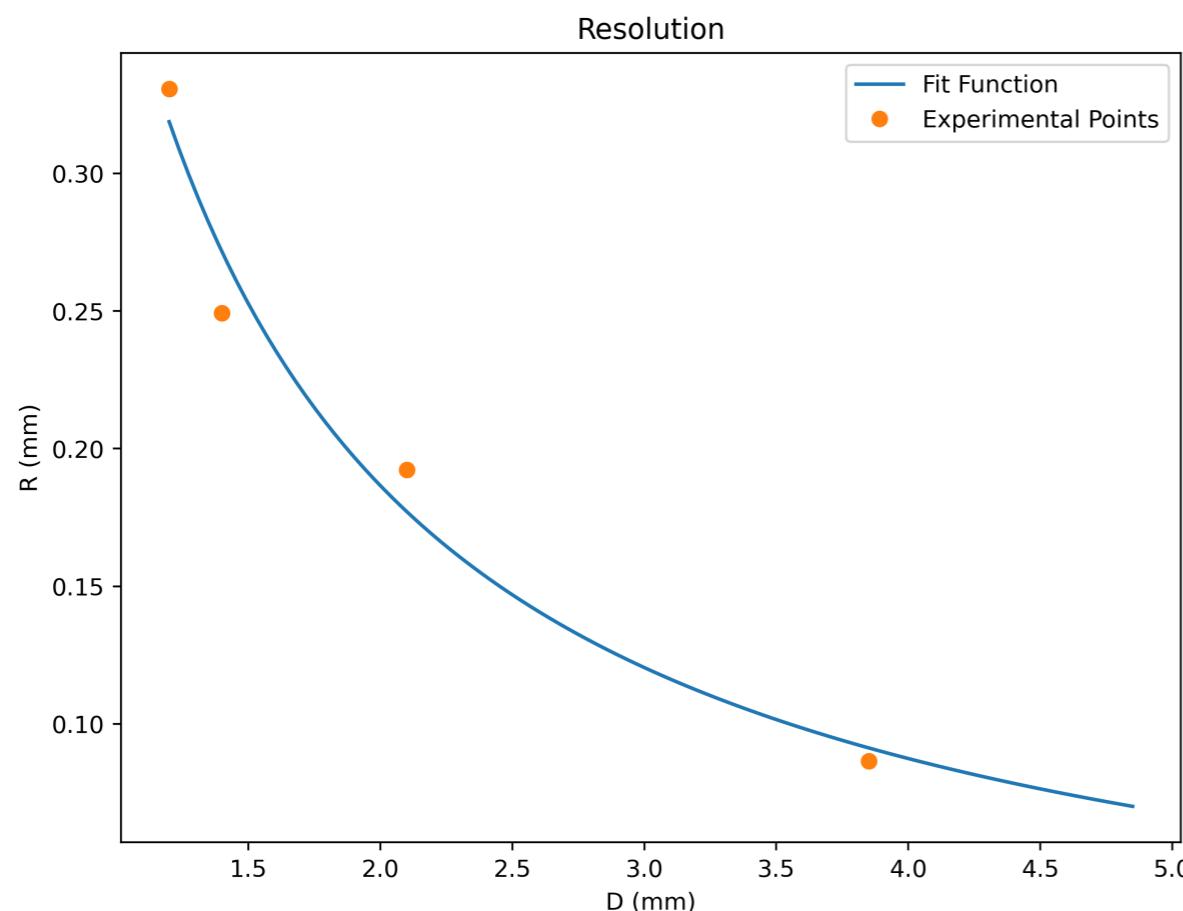


Gráfico 3D do disco de Airy

Resolução

Fizemos um gráfico do raio do disco de Airy em função do diâmetro da íris, isto é, da resolução:



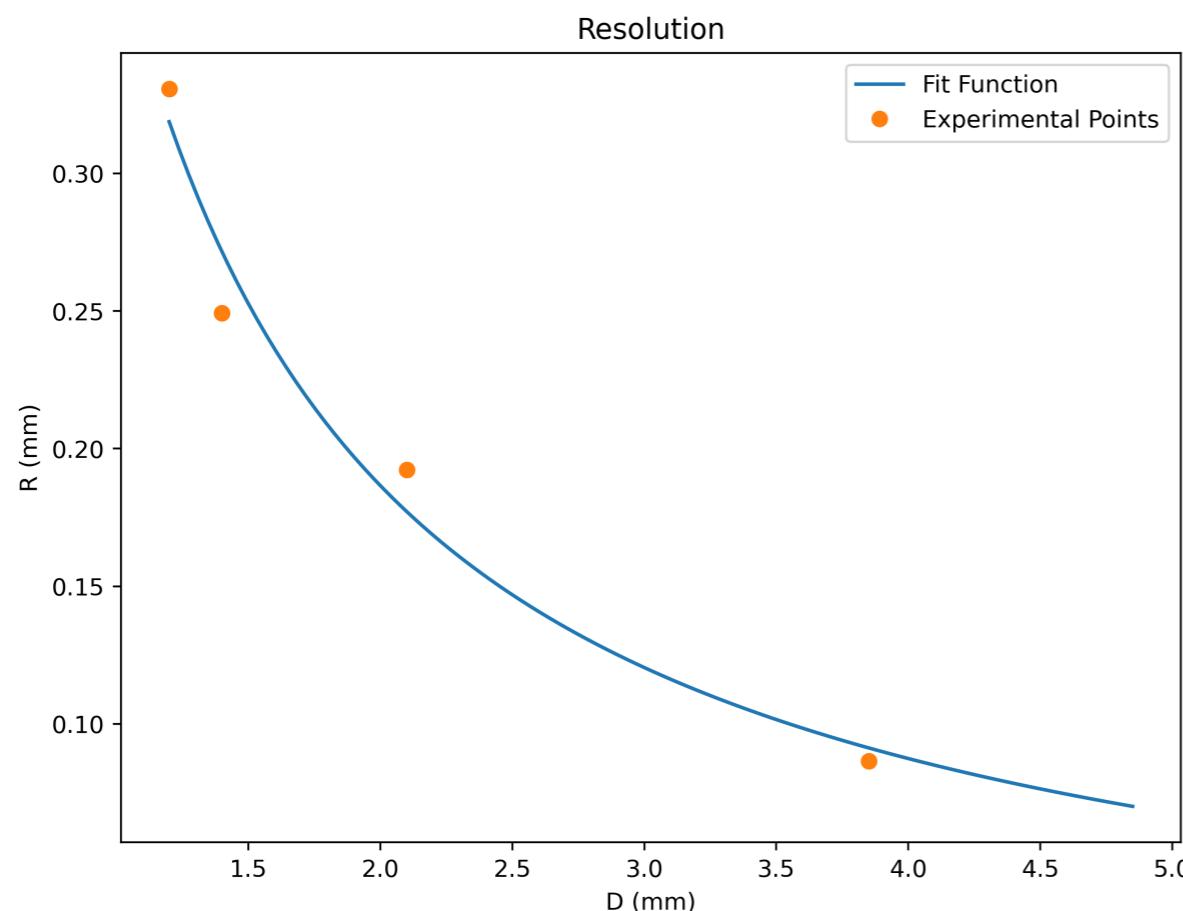
Utilizámos a reta de ajuste:

$$R = a \frac{\lambda f_l}{D} + b$$

Gráfico do raio do disco de airy em função do diâmetro da íris

Resolução

Fizemos um gráfico do raio do disco de Airy em função do diâmetro da íris, isto é, da resolução:



Utilizámos a reta de ajuste:

$$R = a \frac{\lambda f_l}{D} + b$$

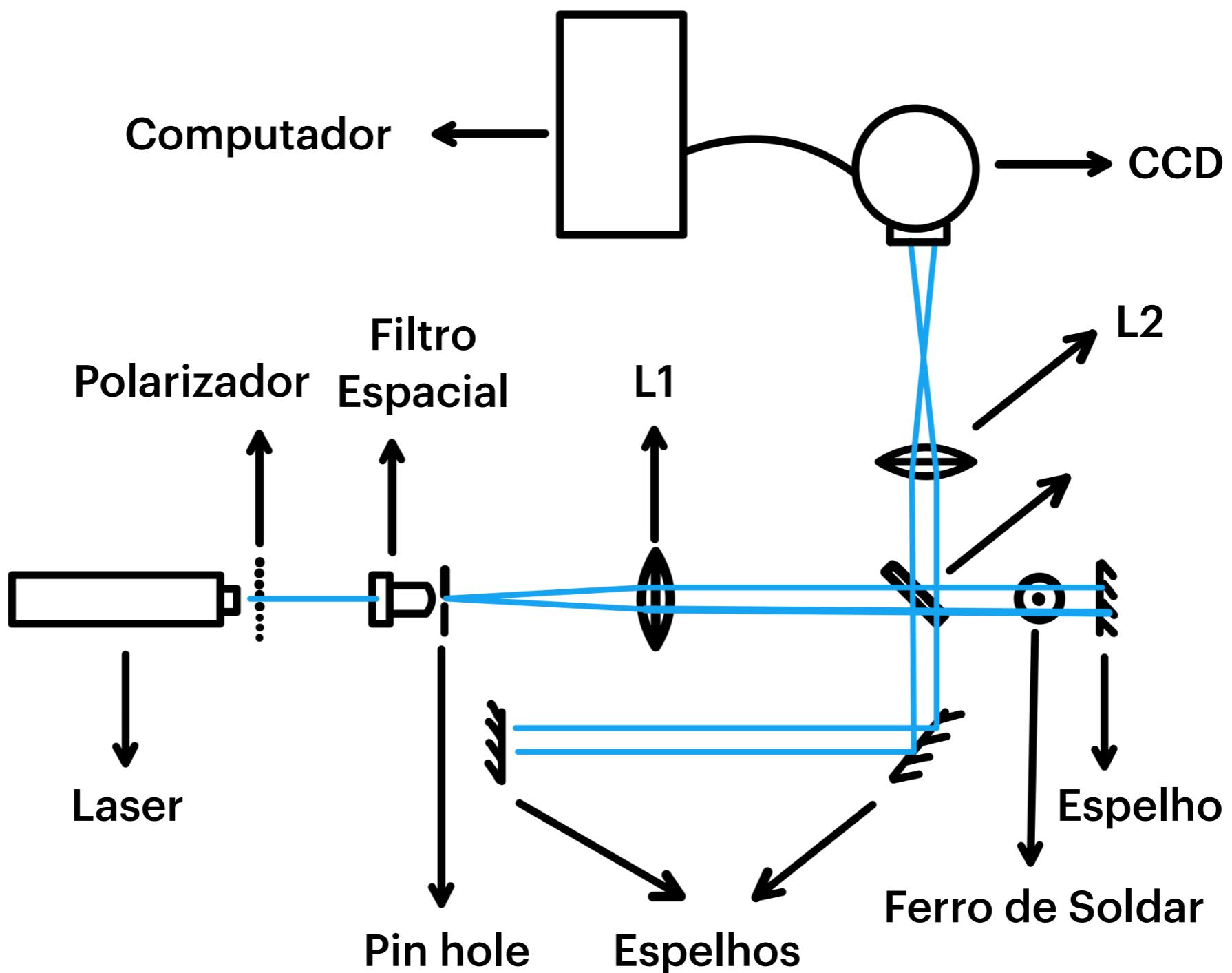
Gráfico do raio do disco de airy em função do diâmetro da íris

Interferometria

Objetivos

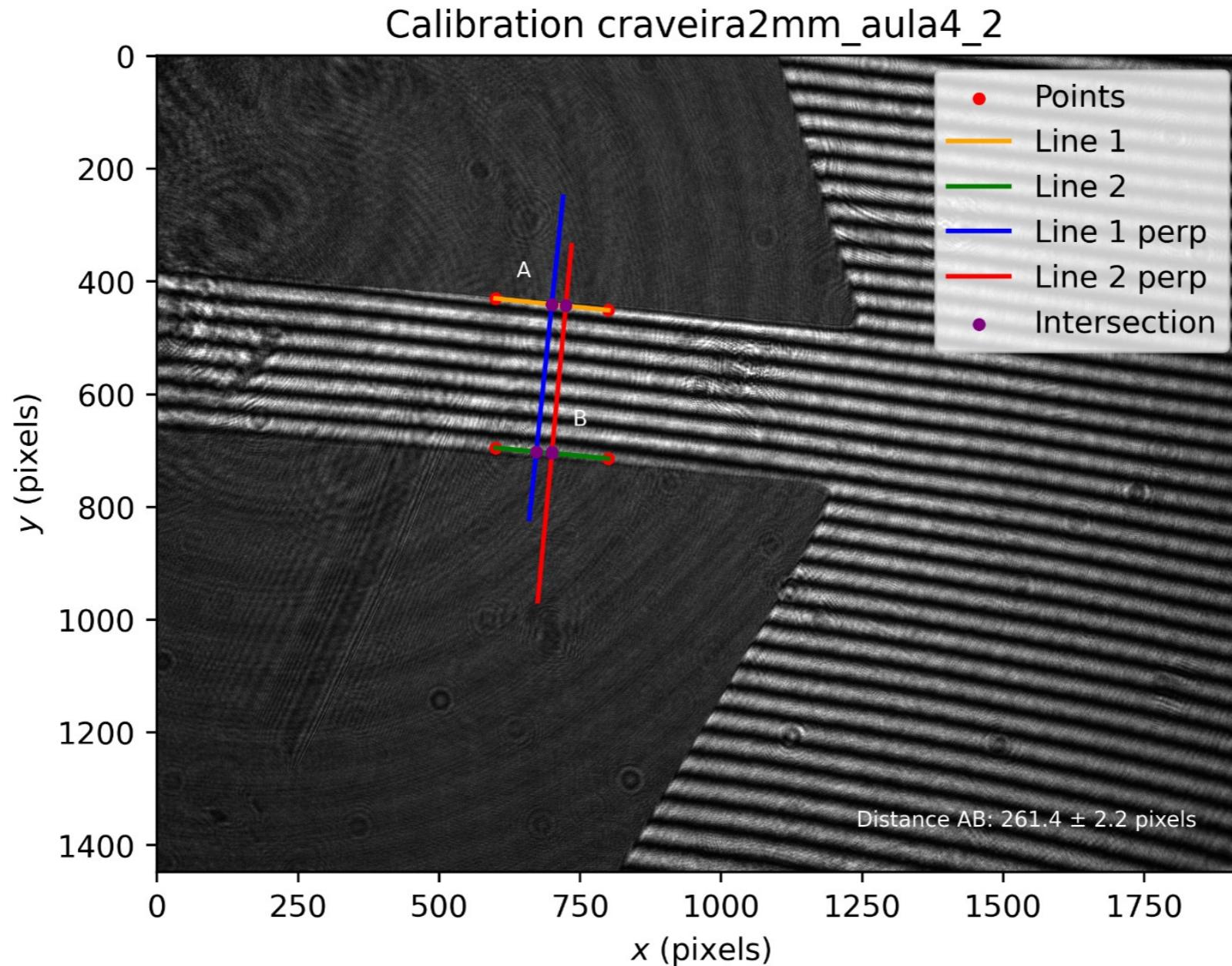
1. Estudo da variação do **padrão de interferência**:
 - com a variação do ângulo
 - com a variação das distâncias
 - com a variação da temperatura
2. Extra 3 (Estudo da influência do som nos padrões de interferência)

Montagem



Calibração

Imagen utilizada para a calibración:

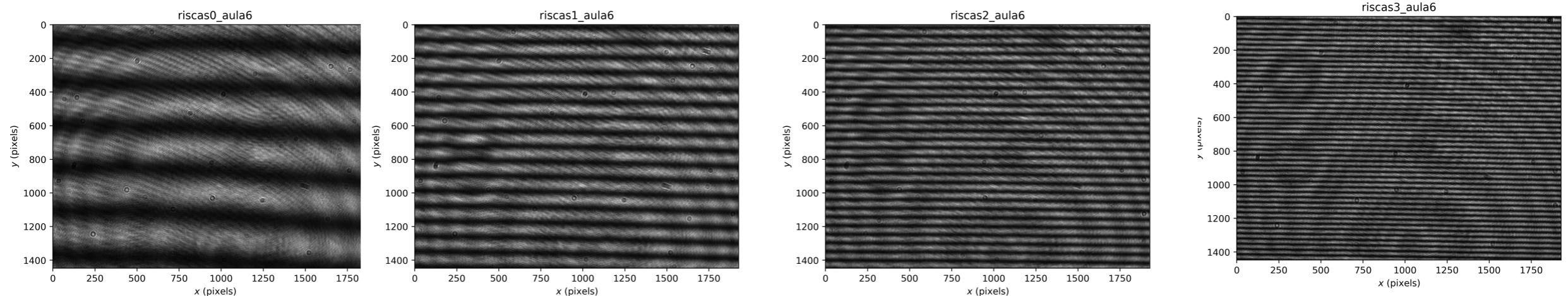


As distâncias entre pixels foram determinadas computacionalmente.

Variação com θ

Espaçamento entre Riscas

Obtivemos o padrão de interferência para diferentes distâncias entre os centros dos dois feixes, ou seja, para diferentes ângulos entre os feixes.



0.697 ± 0.002 mrad

1.411 ± 0.003 mrad

2.133 ± 0.002 mrad

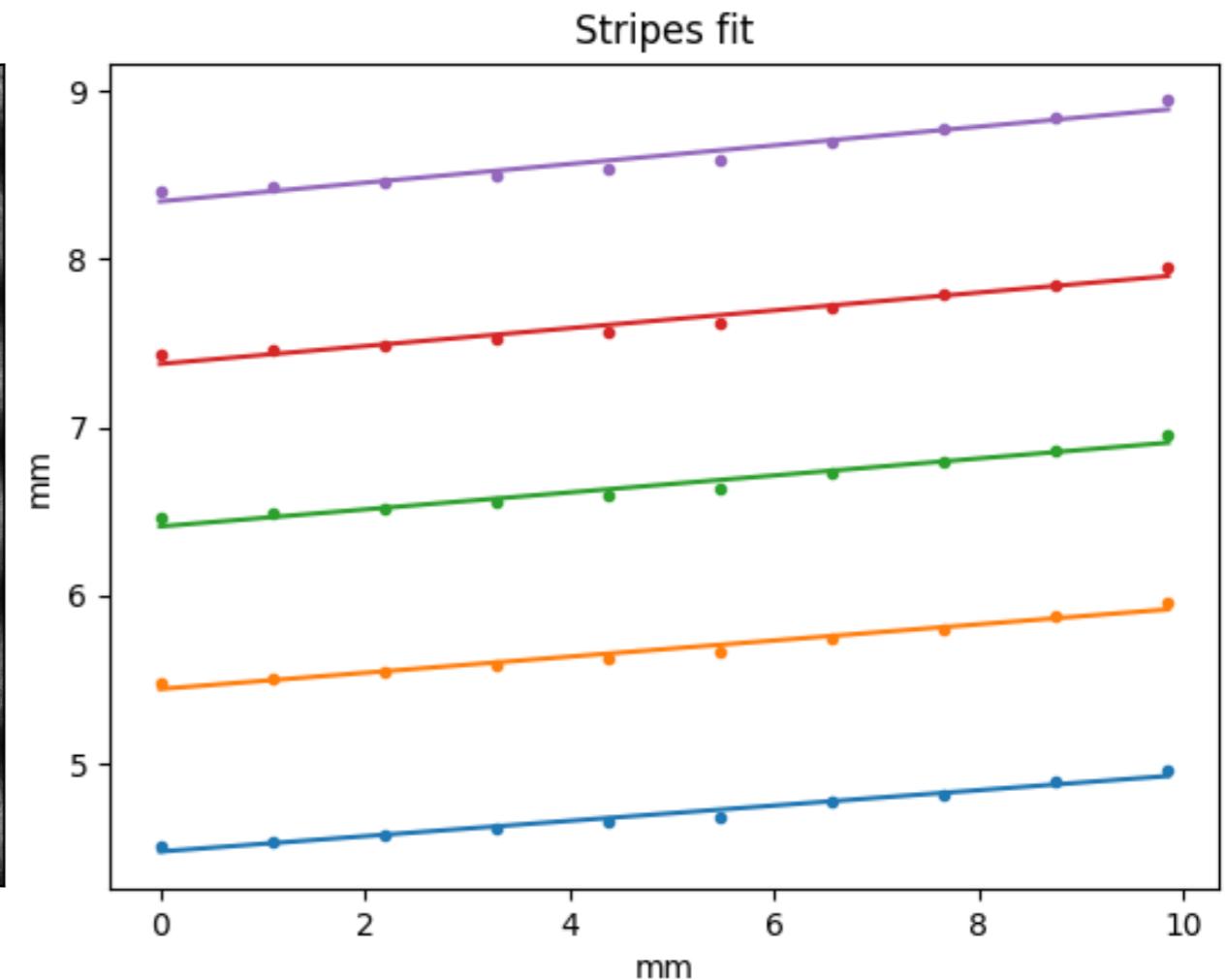
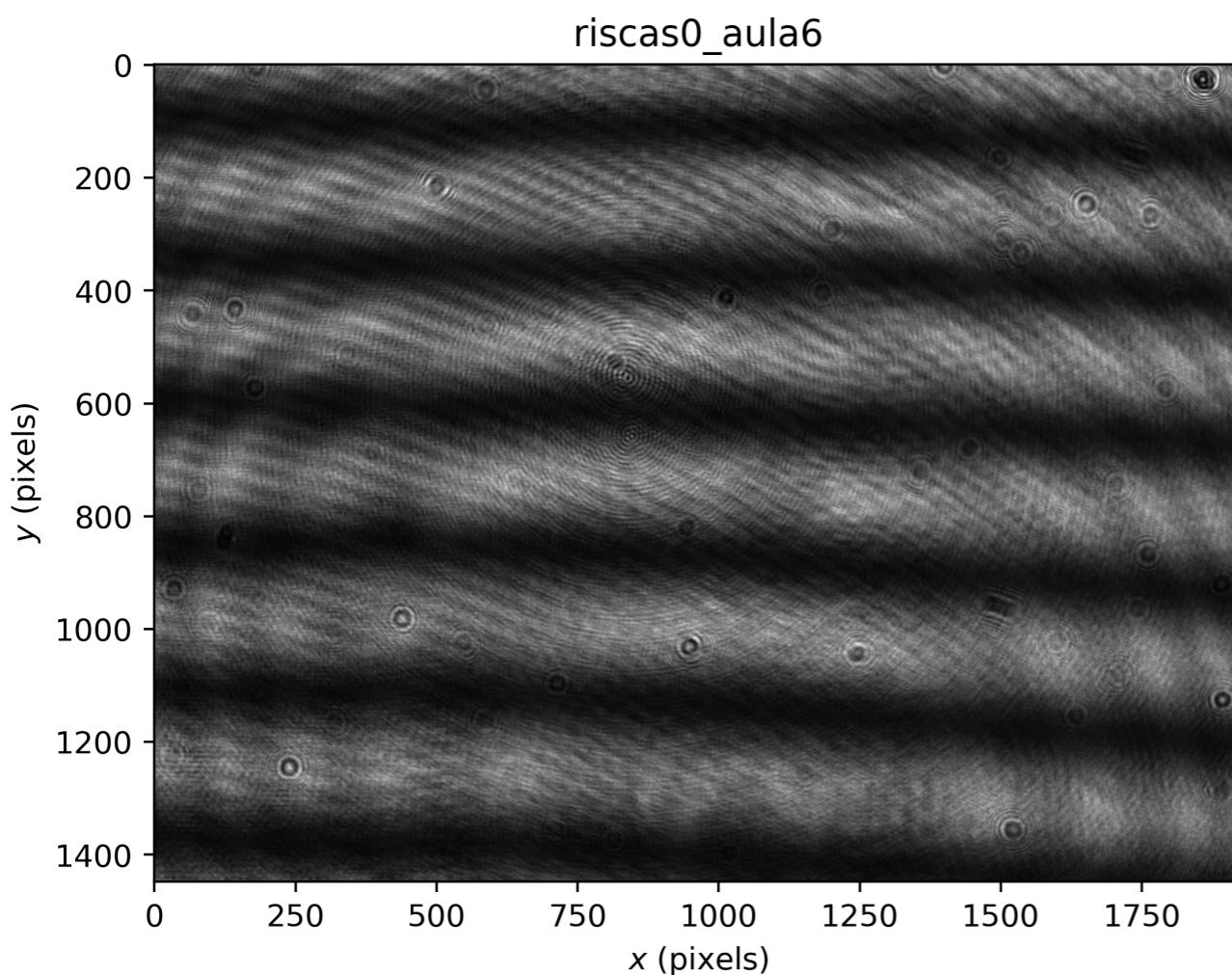
3.440 ± 0.002 mrad



Distância entre os centros dos feixes (θ aumenta)

Espaçamento entre Riscas

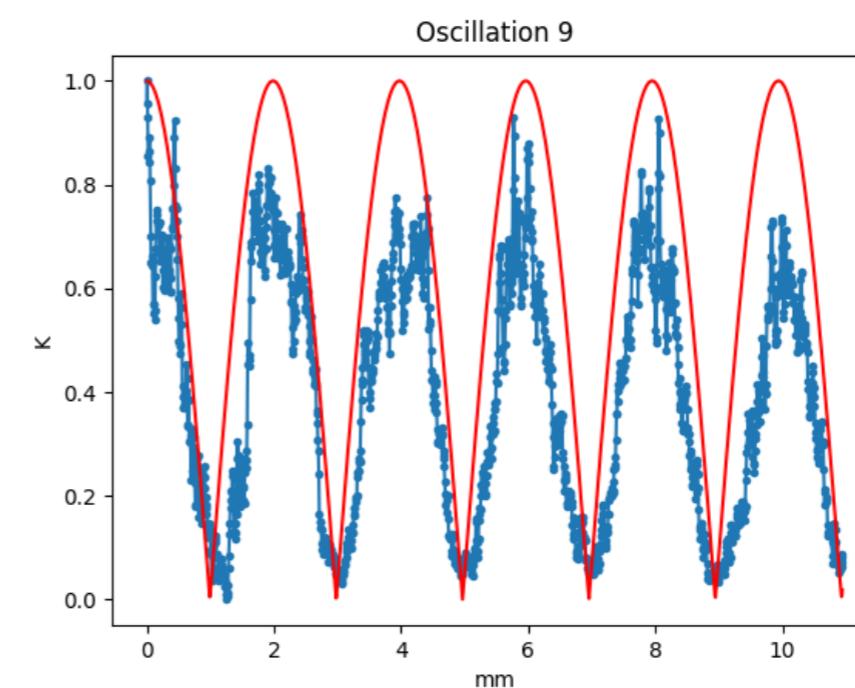
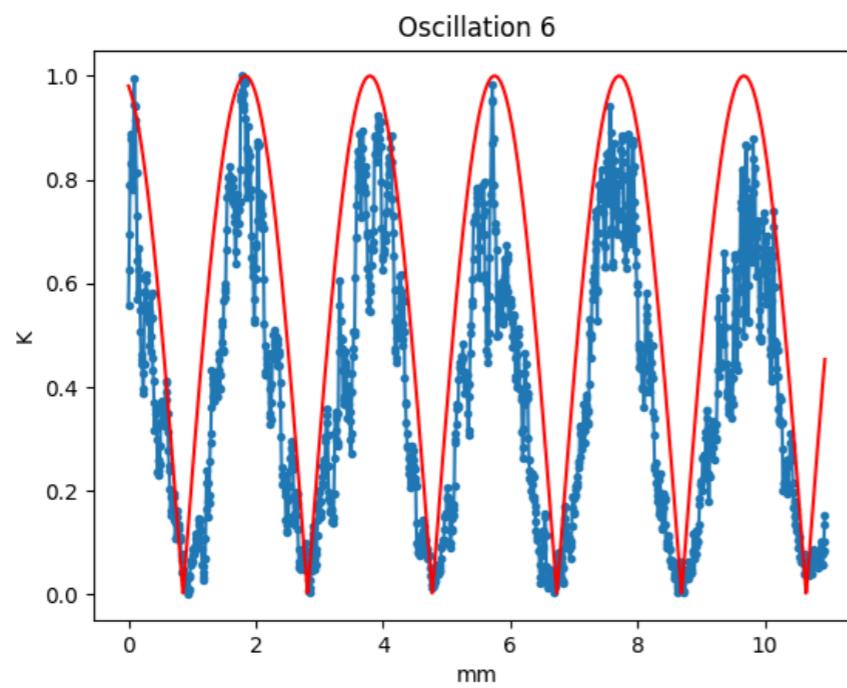
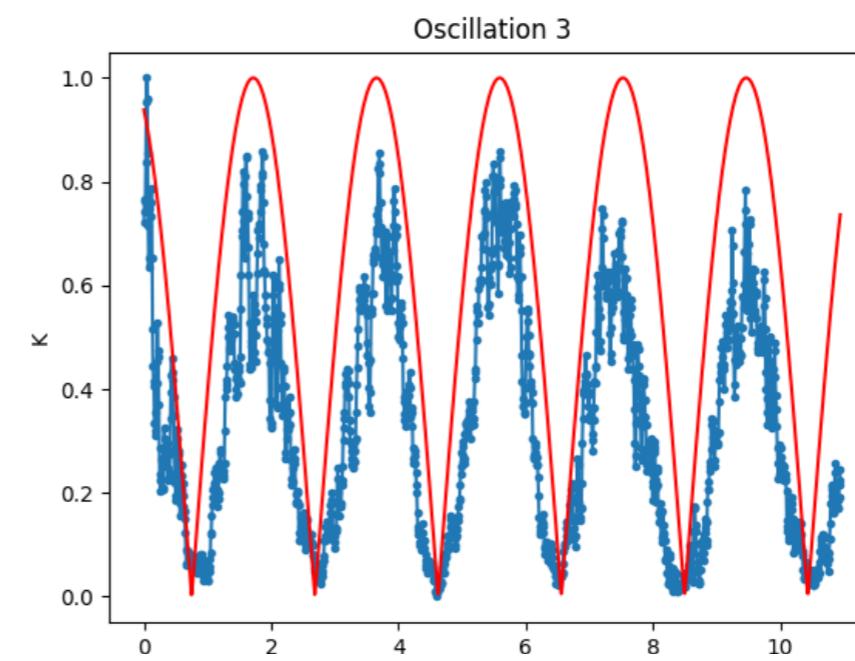
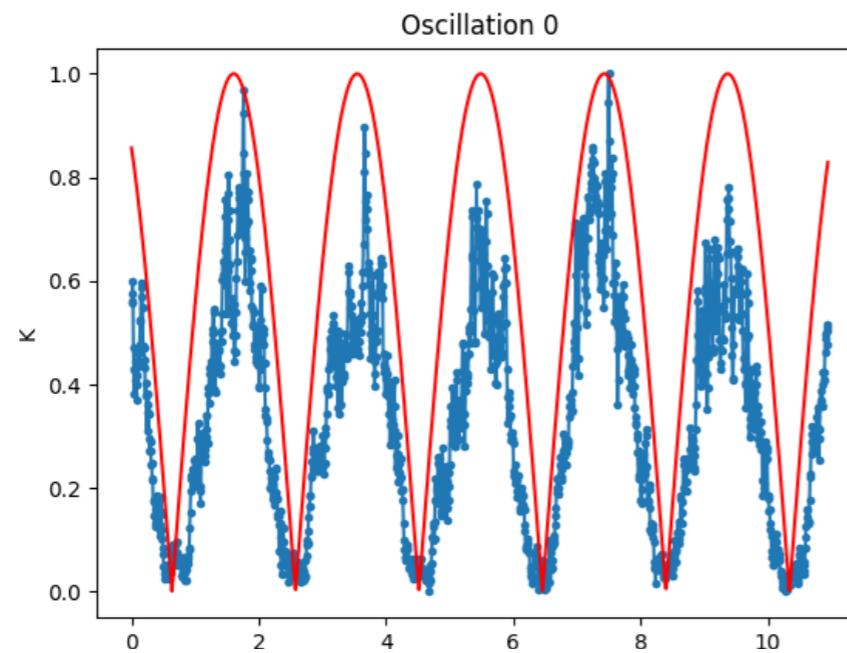
Obtivemos o espaçamento entre as riscas para os padrões de interferência de cada ângulo.



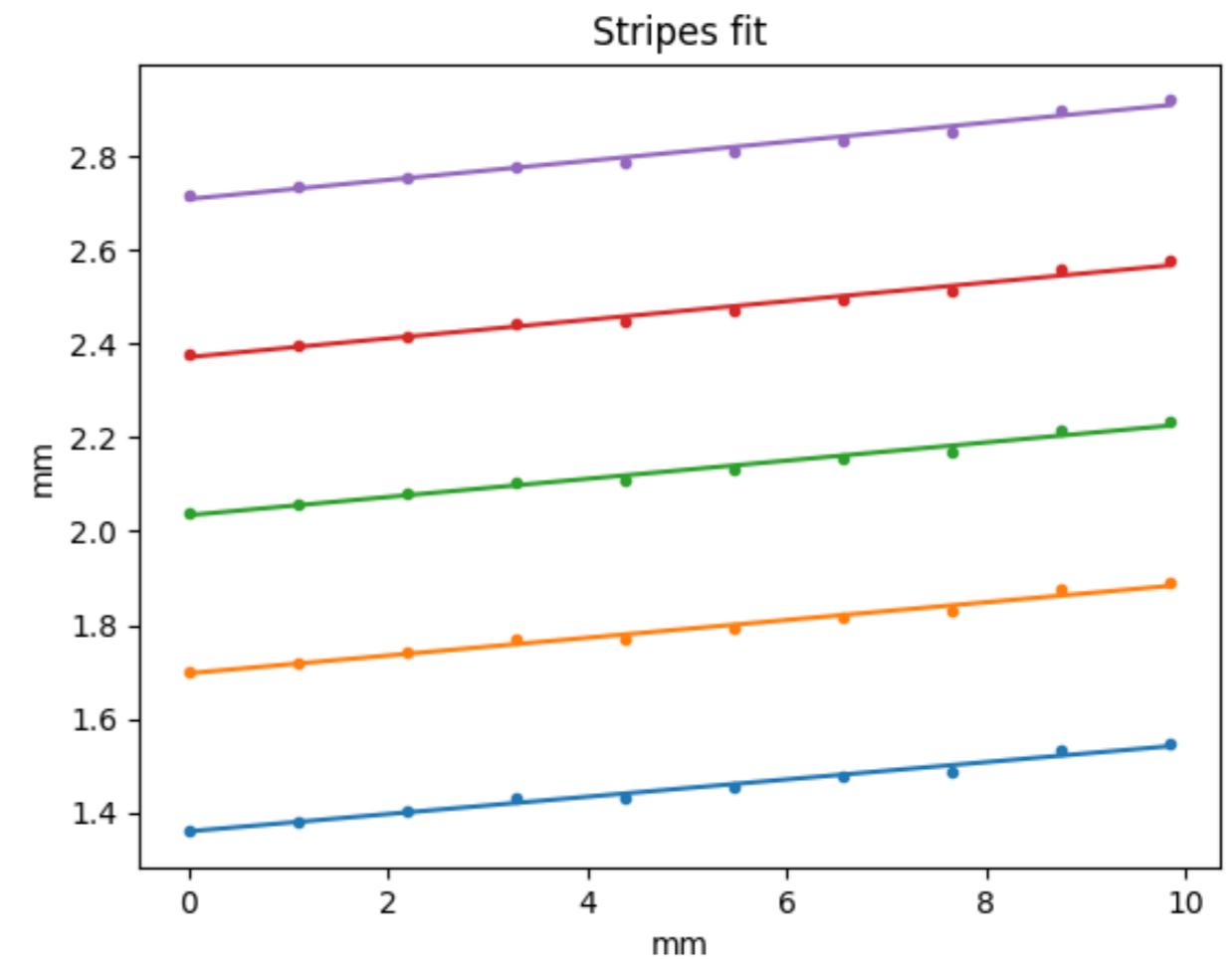
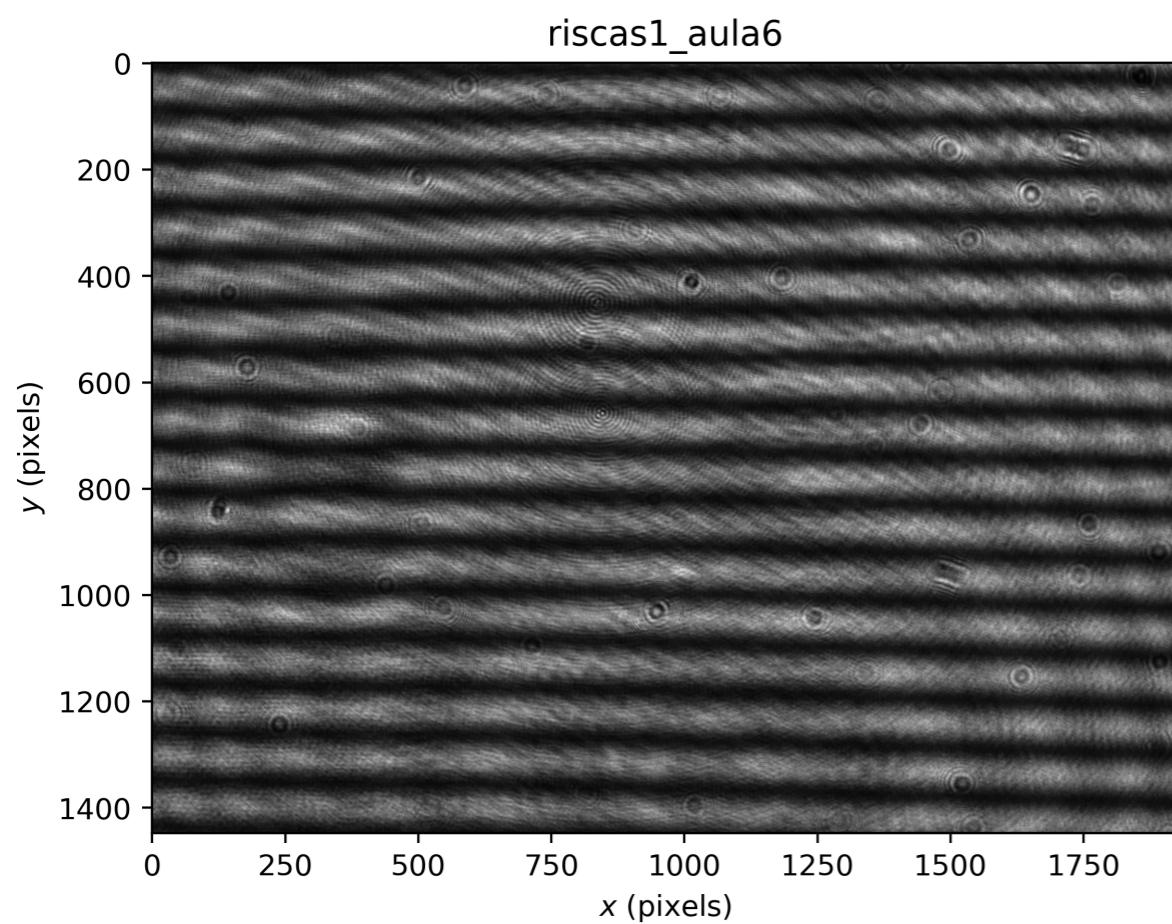
Representação gráfica das riscas centrais

Espaçamento entre Riscas

Para a obtenção do gráfico anterior, dividimos o padrão de interferência em 10 "fatias" e obtivemos os gráficos.

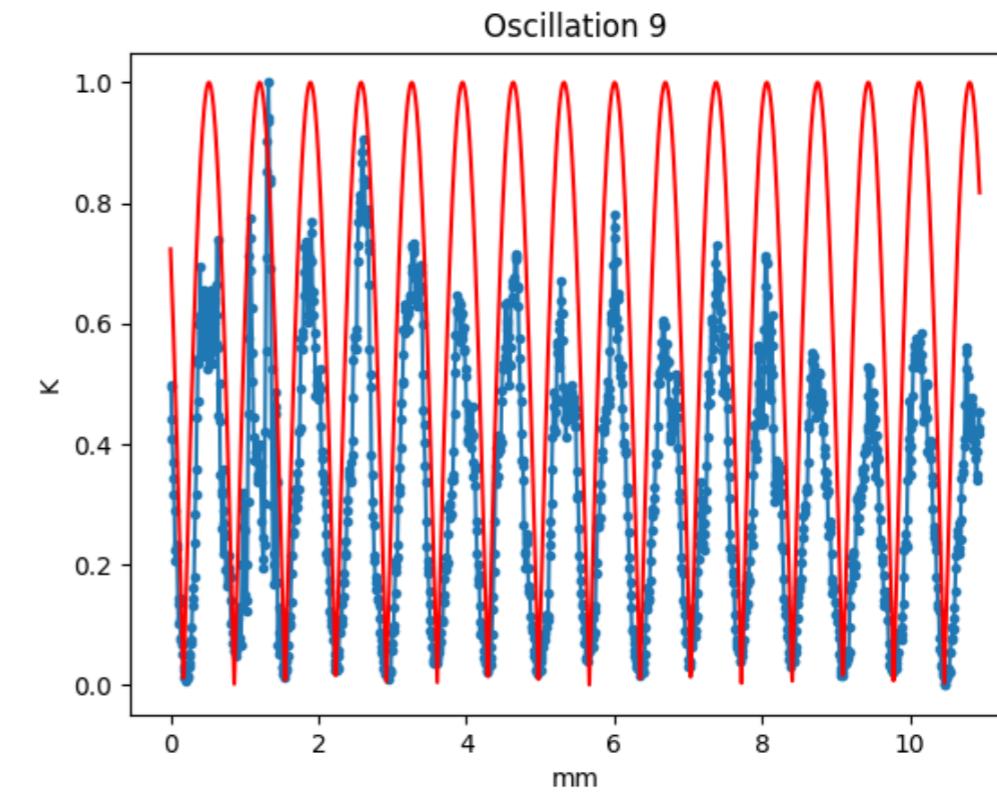
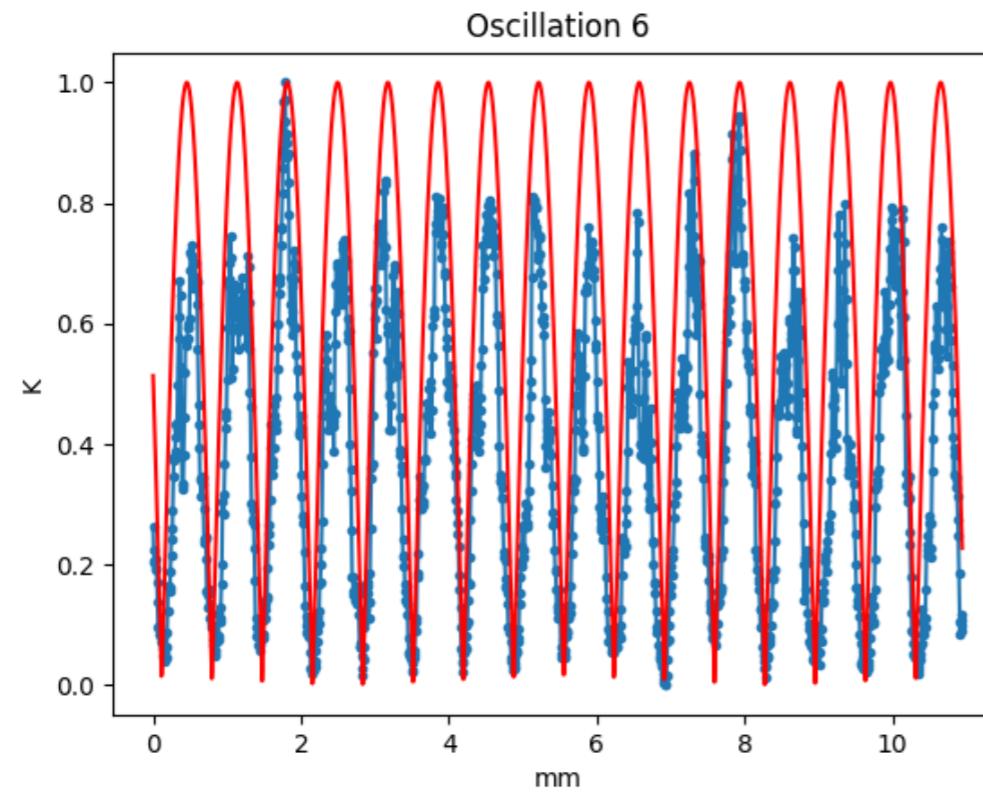
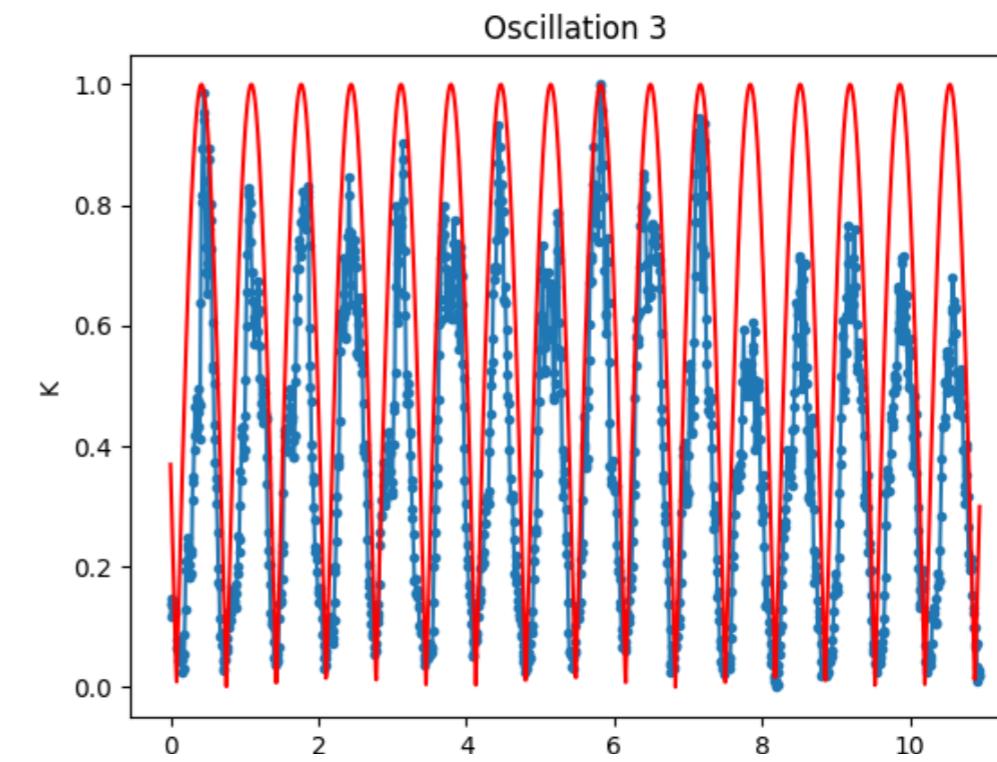
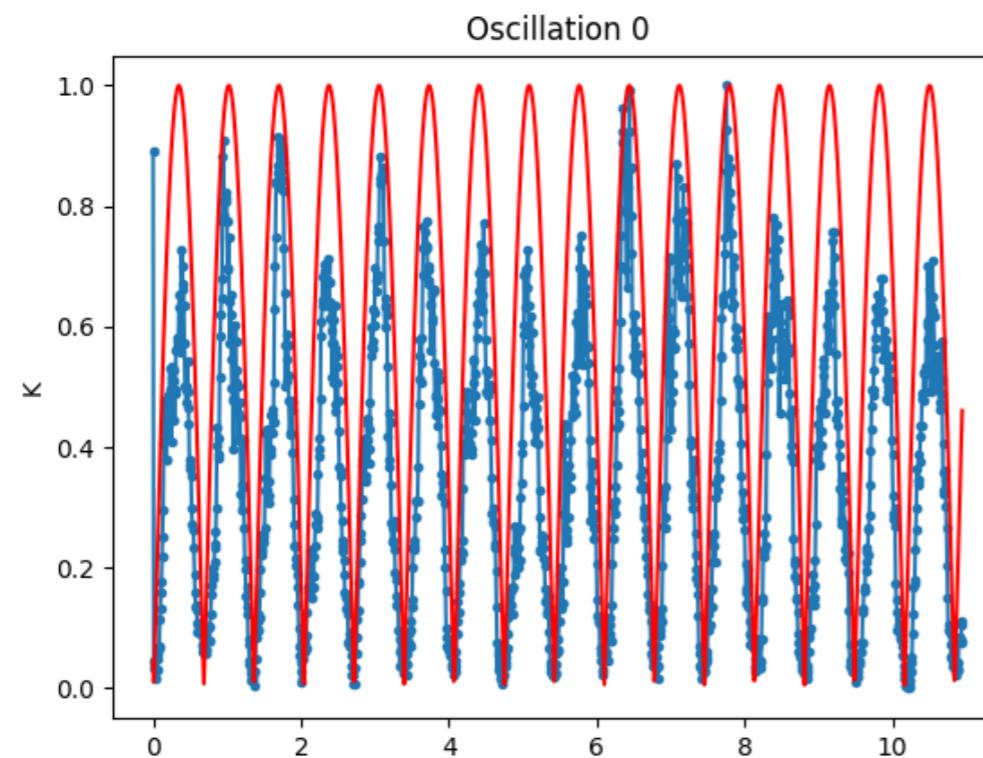


Espaçamento entre Riscas

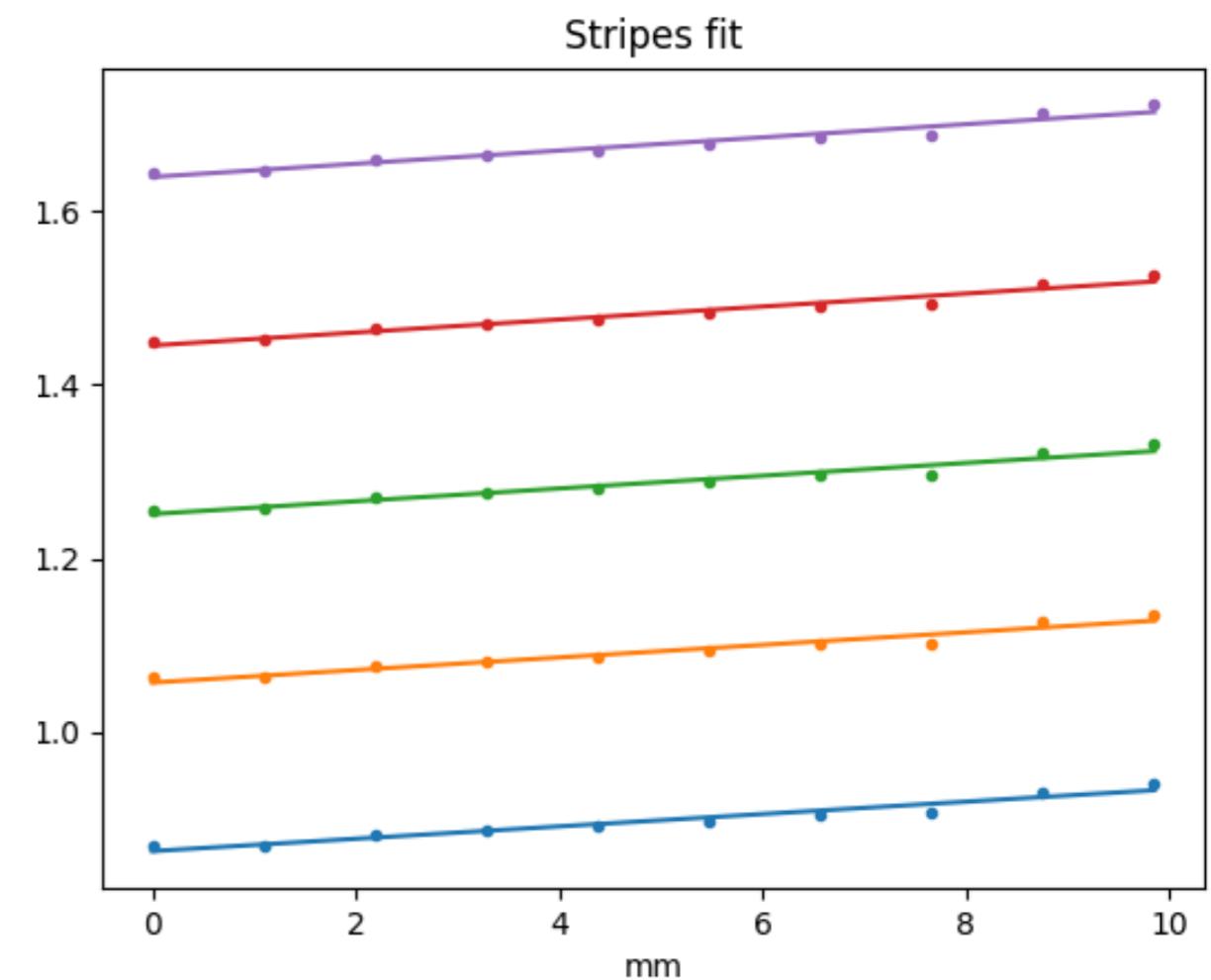
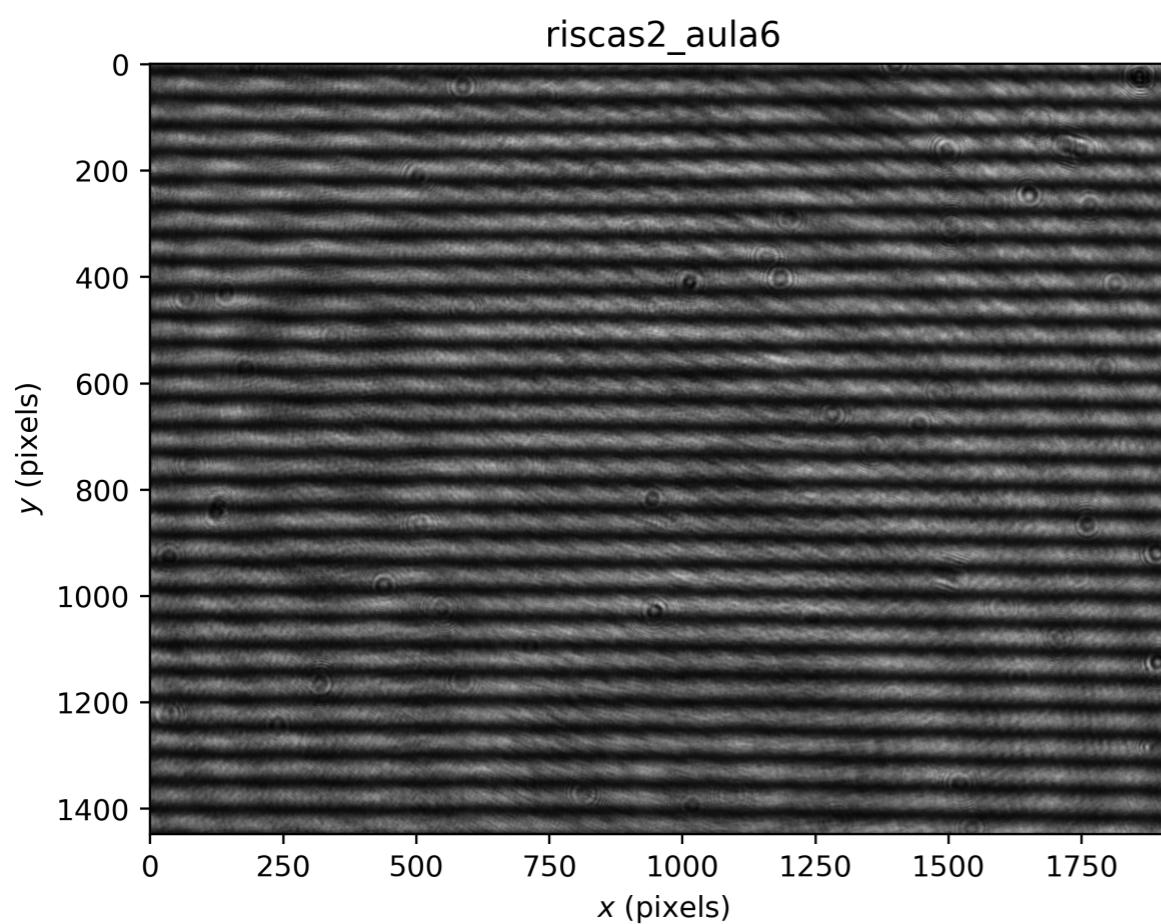


Representação gráfica das riscas centrais do padrão de interferência com os centros a 1.56611 mm

Espaçamento entre Riscas

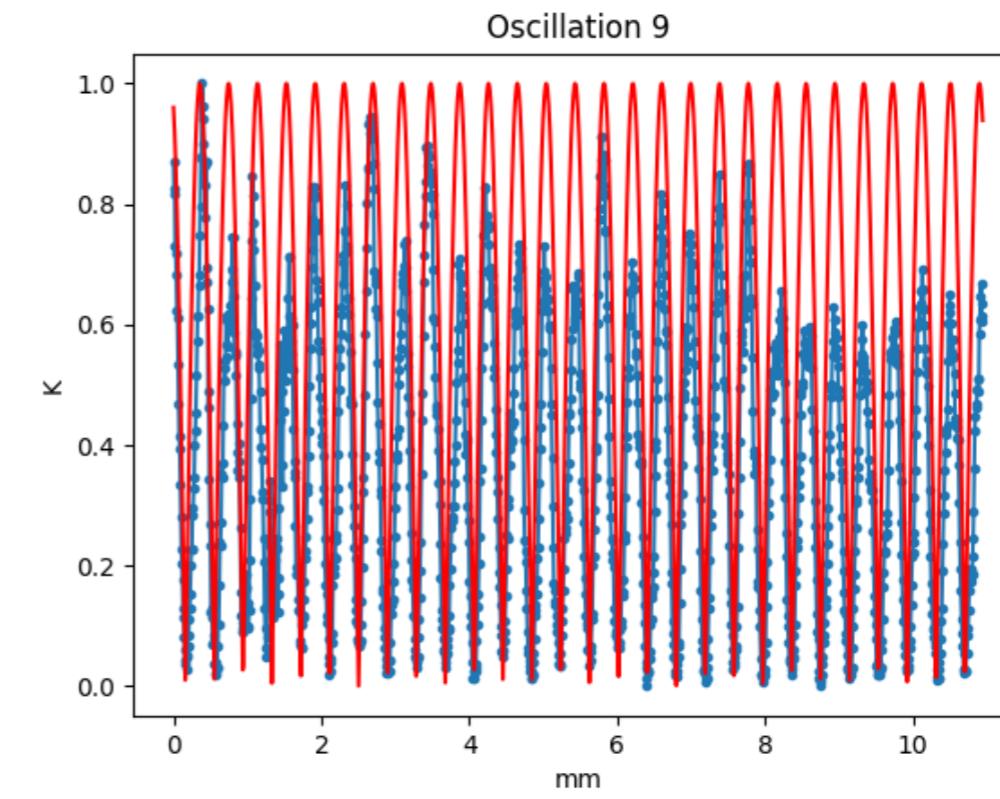
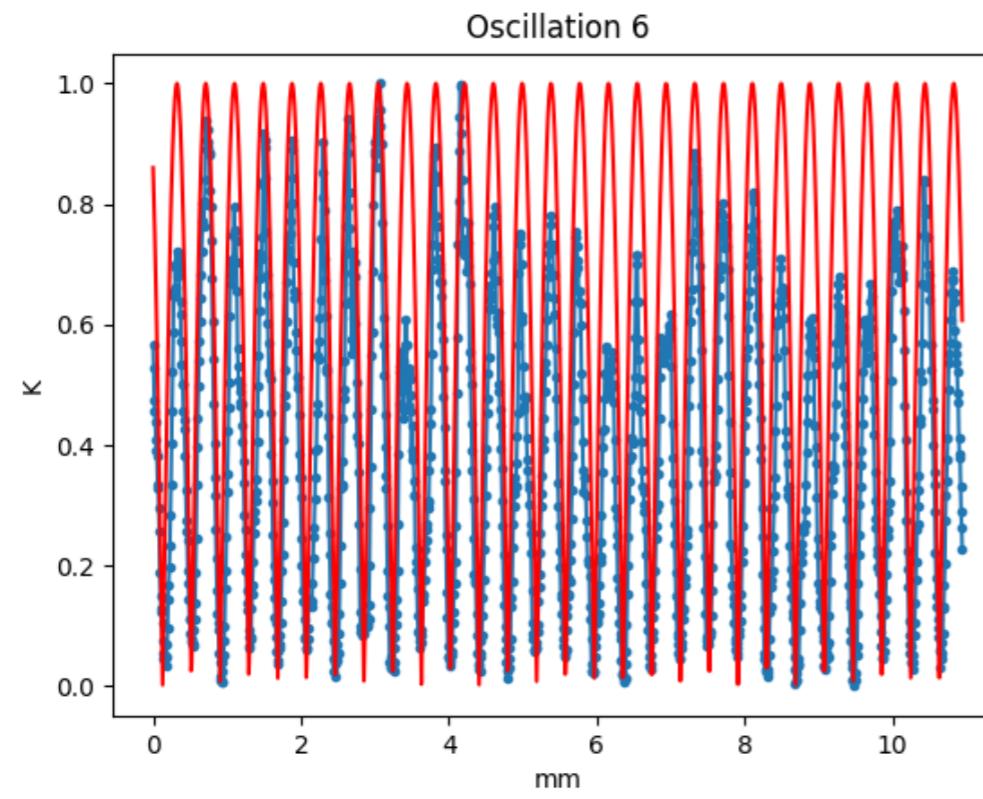
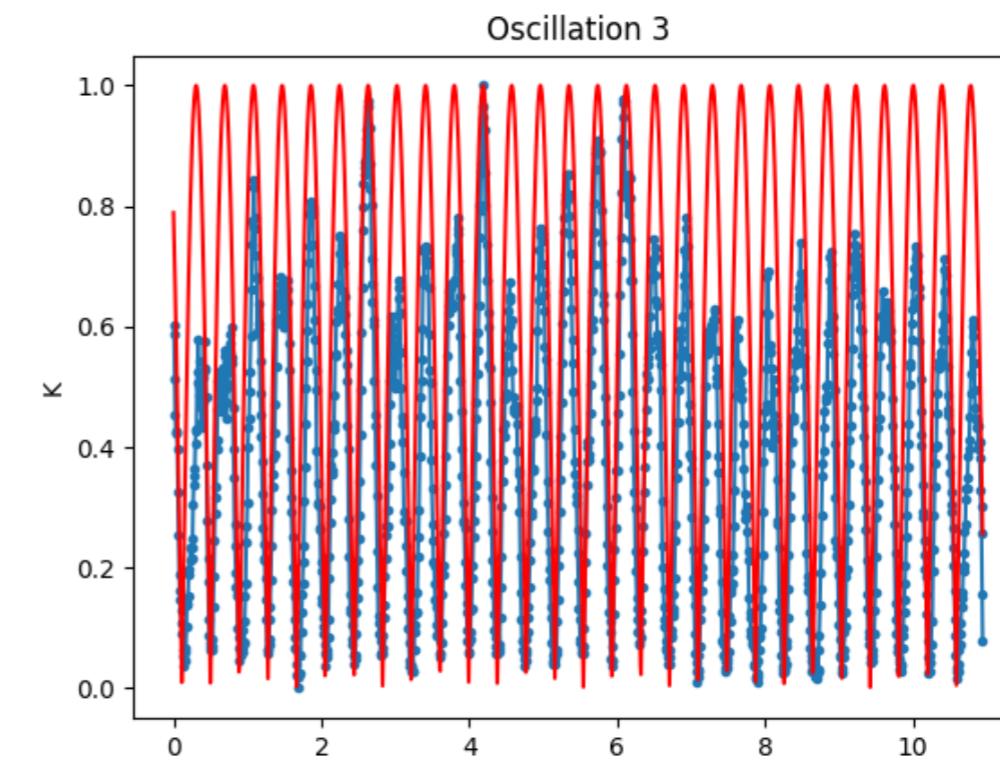
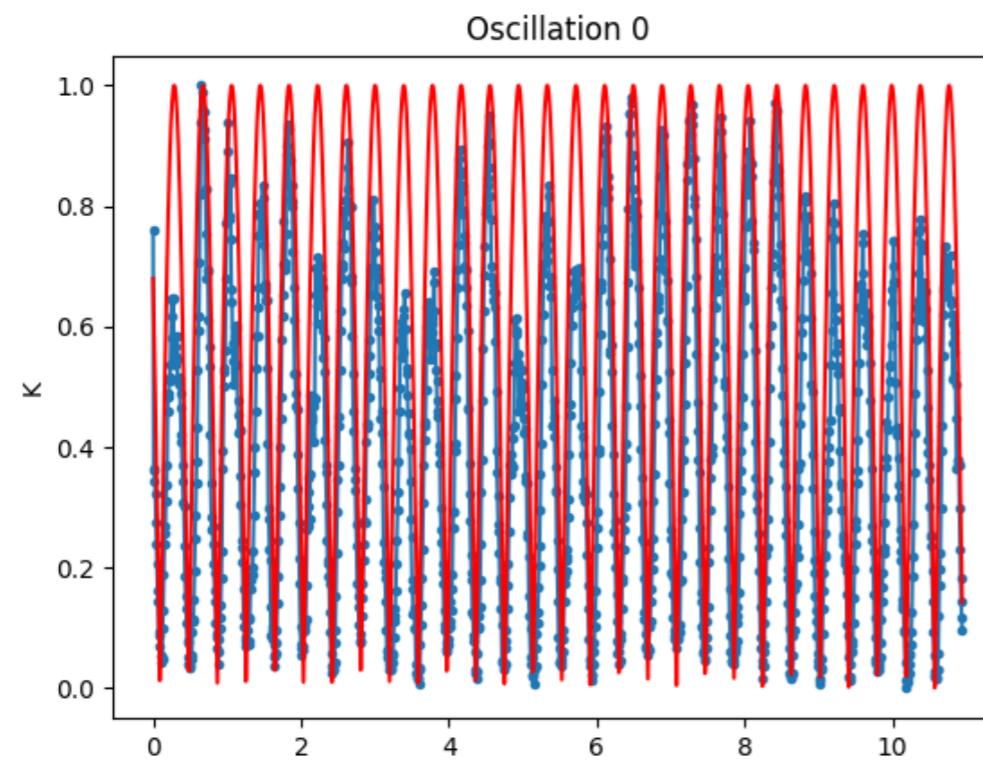


Espaçamento entre Riscas

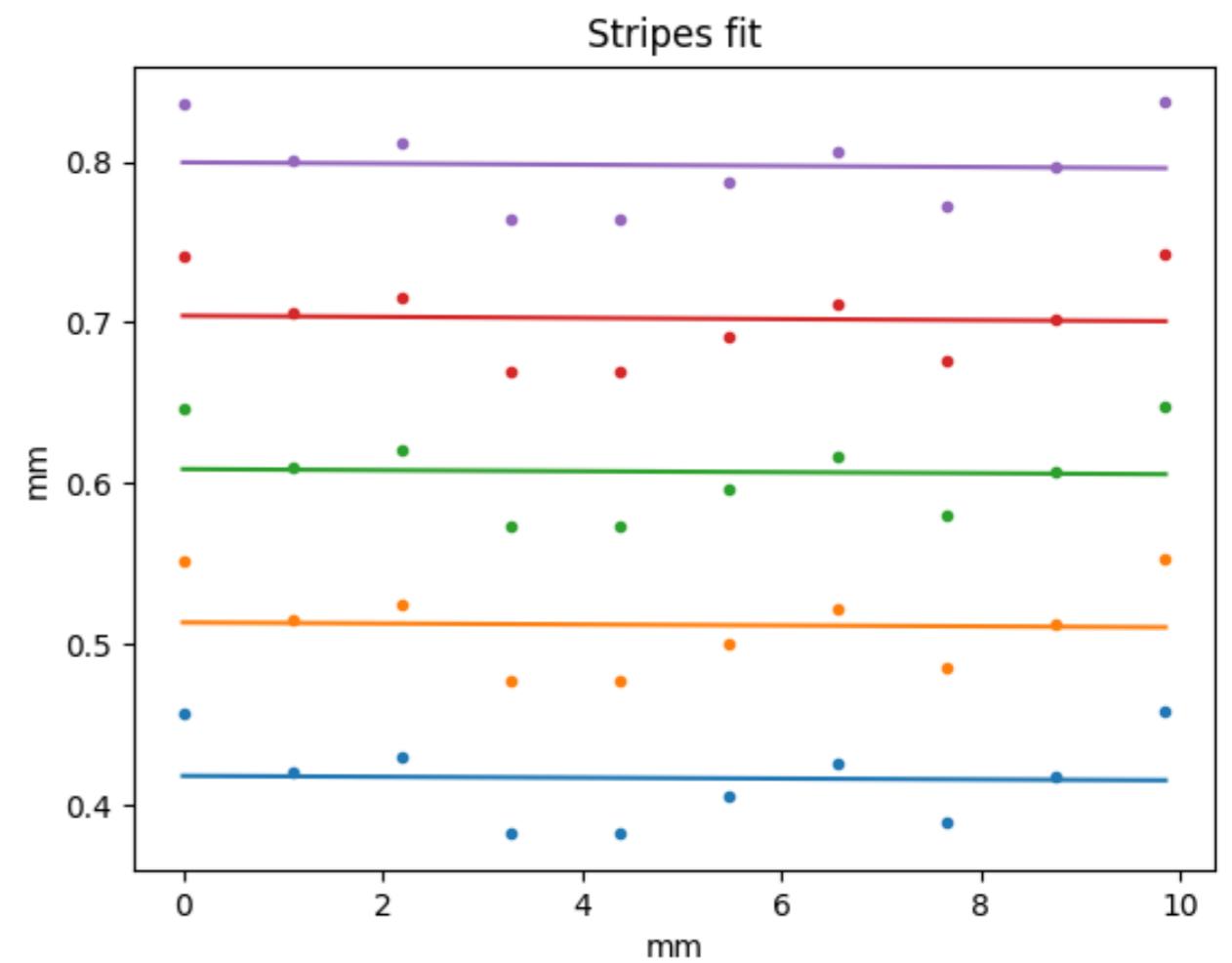
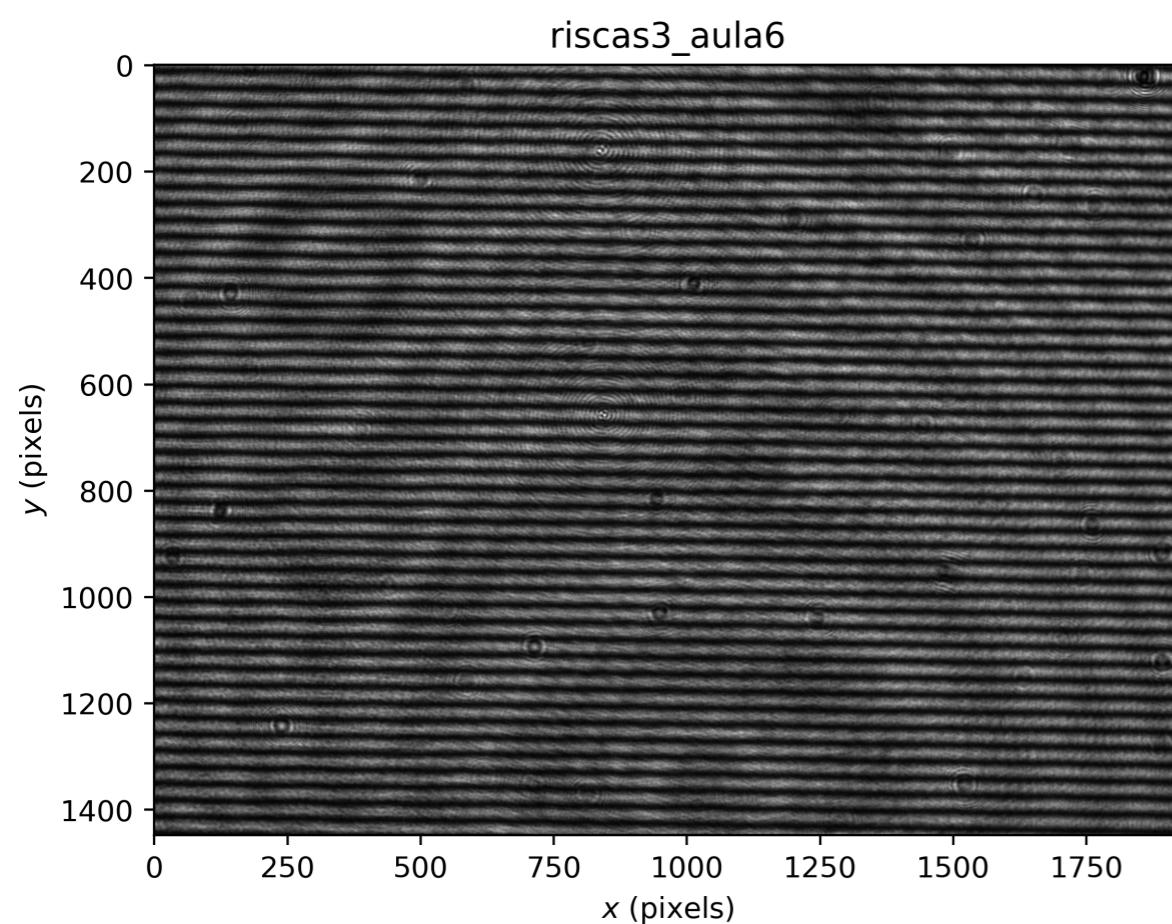


Representação gráfica das riscas centrais do padrão de interferência com os centros a
2.36732 mm

Espaçamento entre Riscas

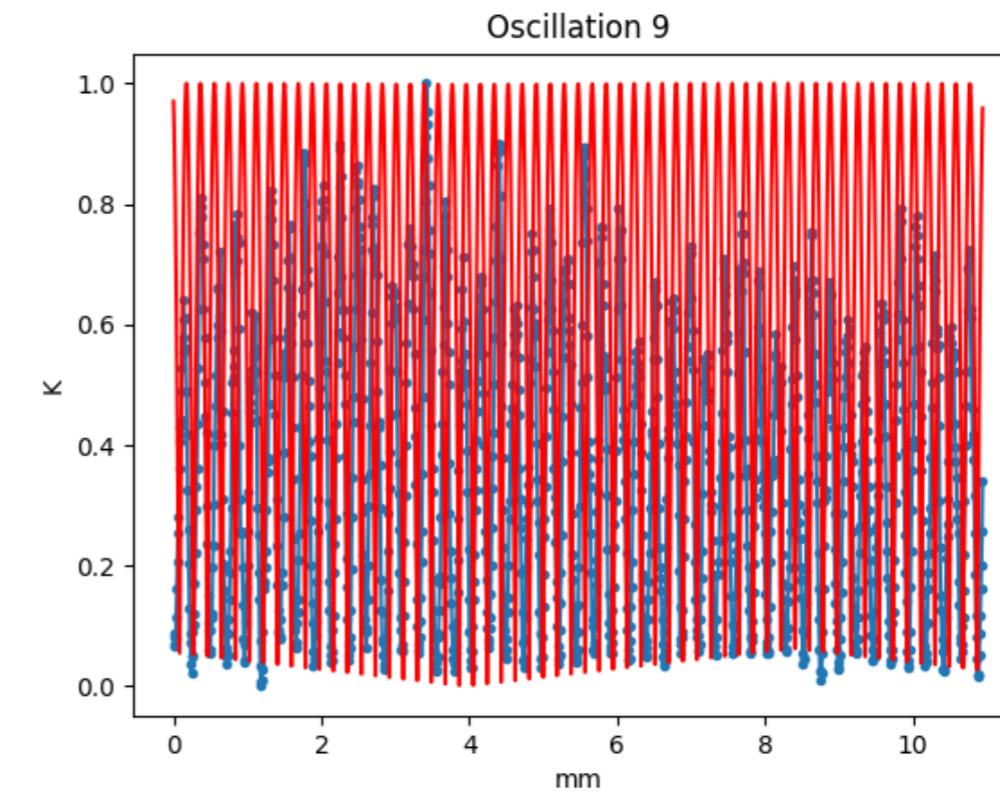
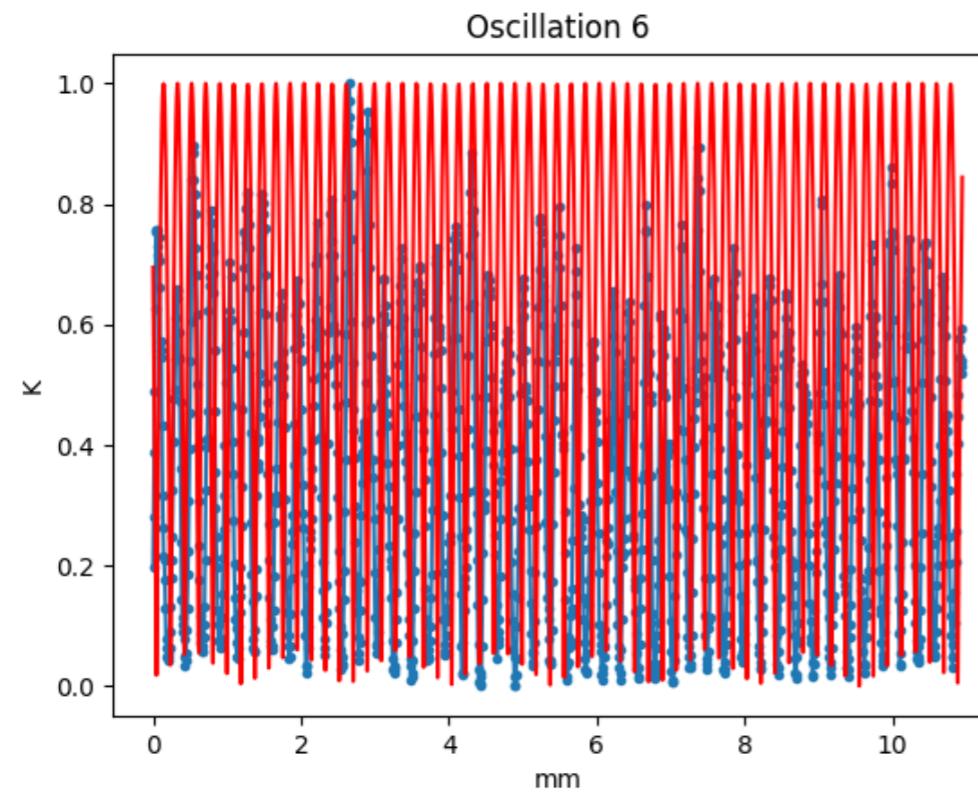
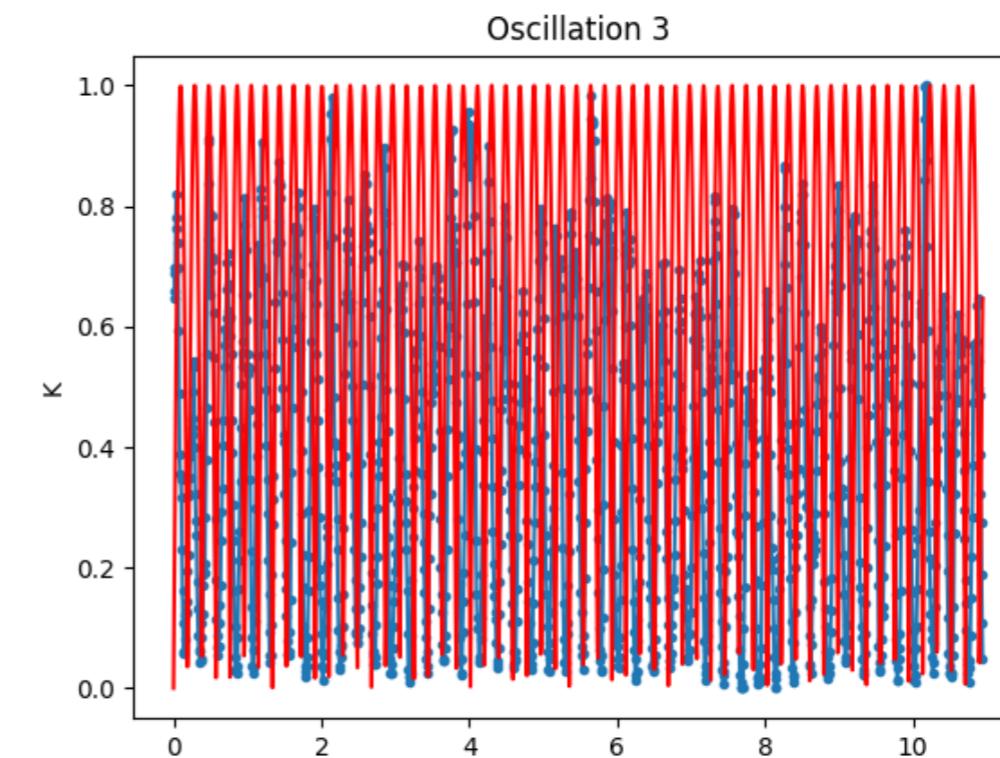
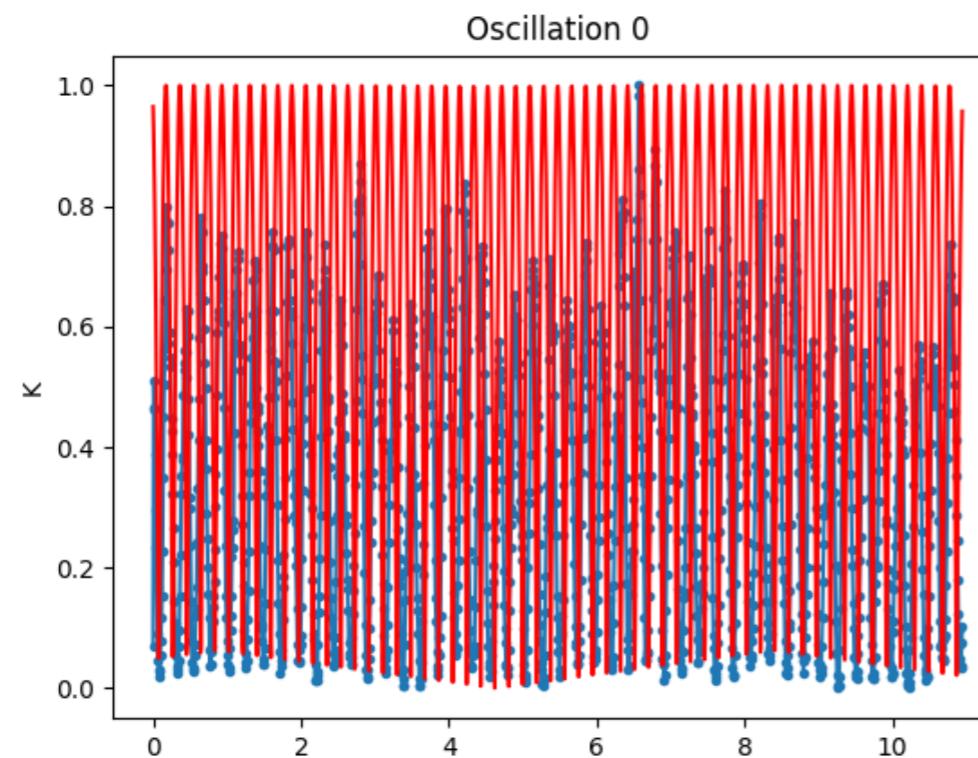


Espaçamento entre Riscas



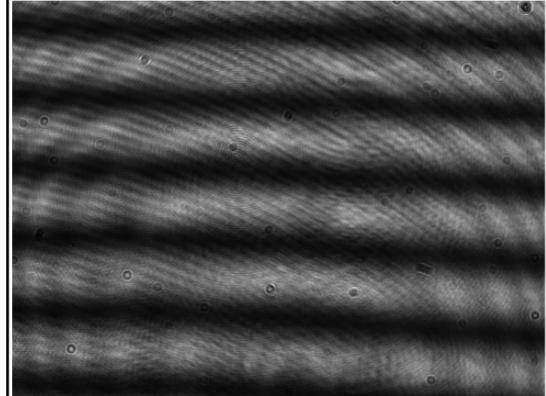
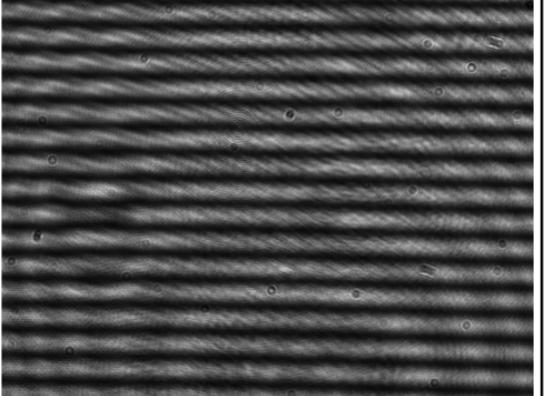
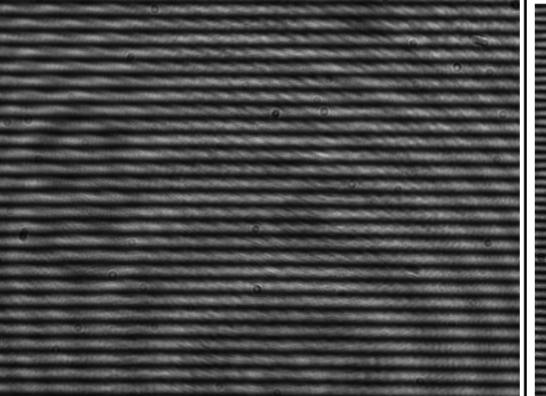
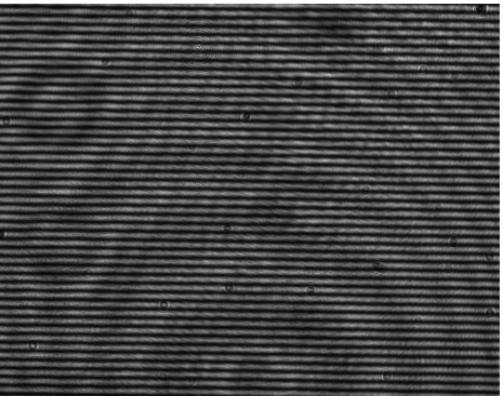
Representação gráfica das riscas centrais do padrão de interferência com os centros a 3.81865 mm

Espaçamento entre Riscas

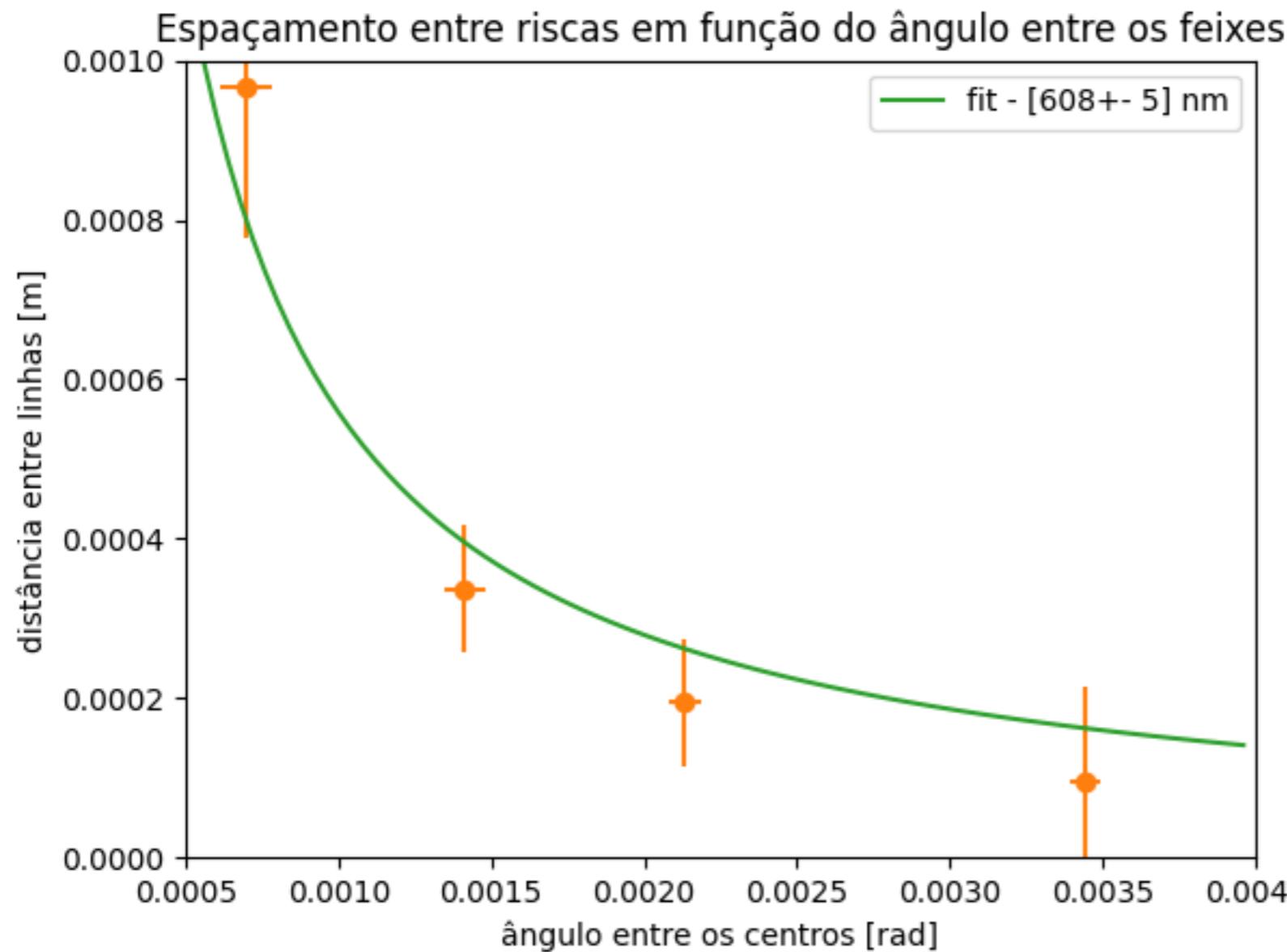


Espaçamento entre Riscas

As distâncias entre as linhas obtidas foram as seguintes:

| | Padrão 1 | Padrão 2 | Padrão 3 | Padrão 4 |
|------------------|--|---|---|---|
| Espaçamento [mm] | 0.966 ± 0.027 | 0.337 ± 0.024 | 0.194 ± 0.012 | 0.095 ± 0.031 |
| Imagen |  |  |  |  |
| Ângulo [mrad] | 0.697 ± 0.013 | 1.411 ± 0.015 | 2.133 ± 0.013 | 3.440 ± 0.010 |

Espaçamento entre Riscas



Equação de ajuste:

$$d = \frac{\lambda}{\sin(\theta)}$$

Verificamos que quanto maior o ângulo entre os centros, menor é a distância entre as riscas.

Variação com a distância

Variação com a Distância

Utilizámos os dados do grupo 3.

Quando variamos a distância do espelho móvel, há uma variação do contraste da imagem.

$$K = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$$

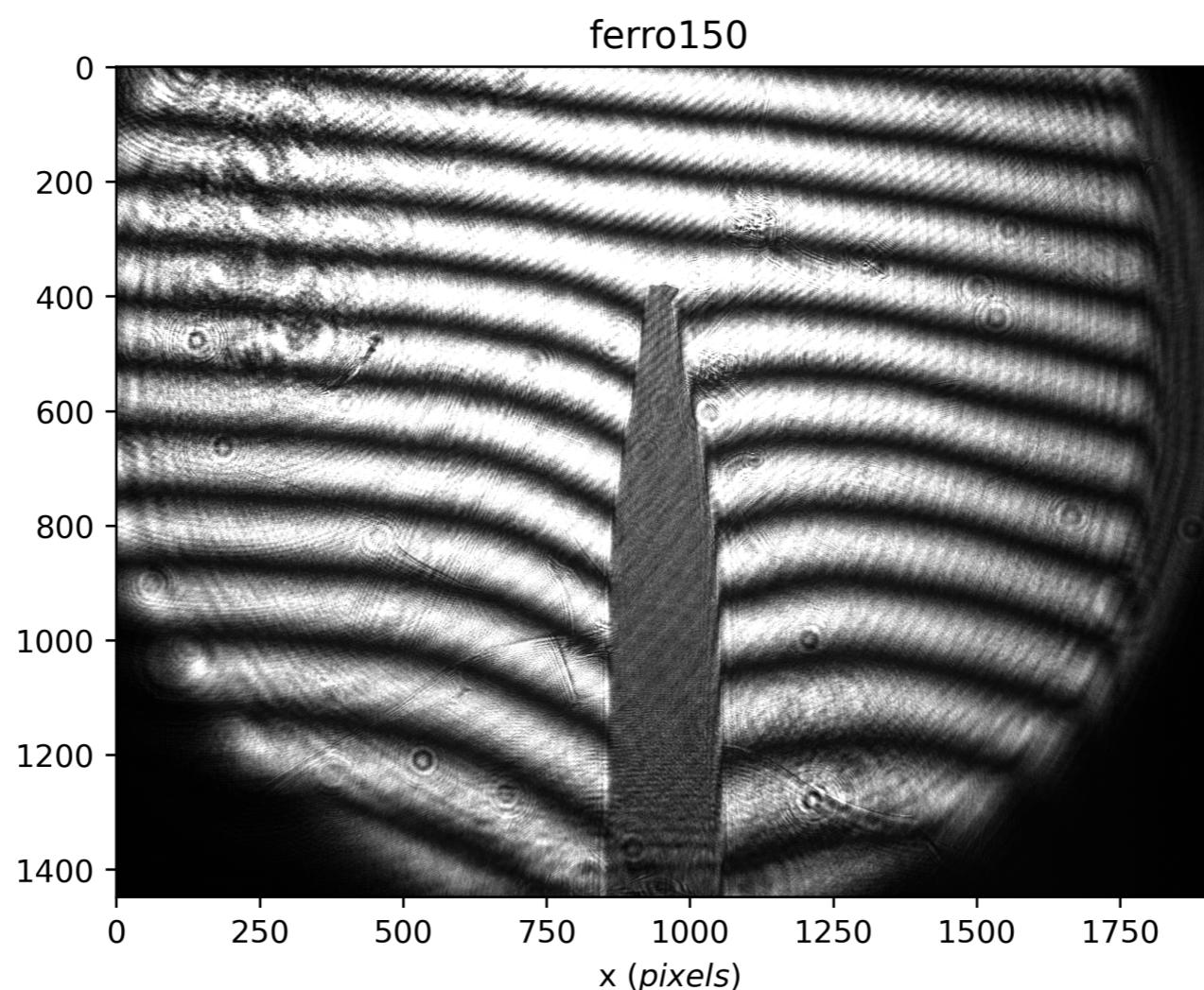


Verificamos uma descida em ~[0,0.1] e uma subida em ~[0.35,0.45]
Isto implica que a nossa fonte tem pelo menos 2 frequências distintas.
Com uma análise mais robusta, ao reparar que o contraste mínimo é
~0.5 pelo que não poderemos ter apenas 2 frequências, mas sim 3.

Variação com a temperatura

Ferro de Soldar

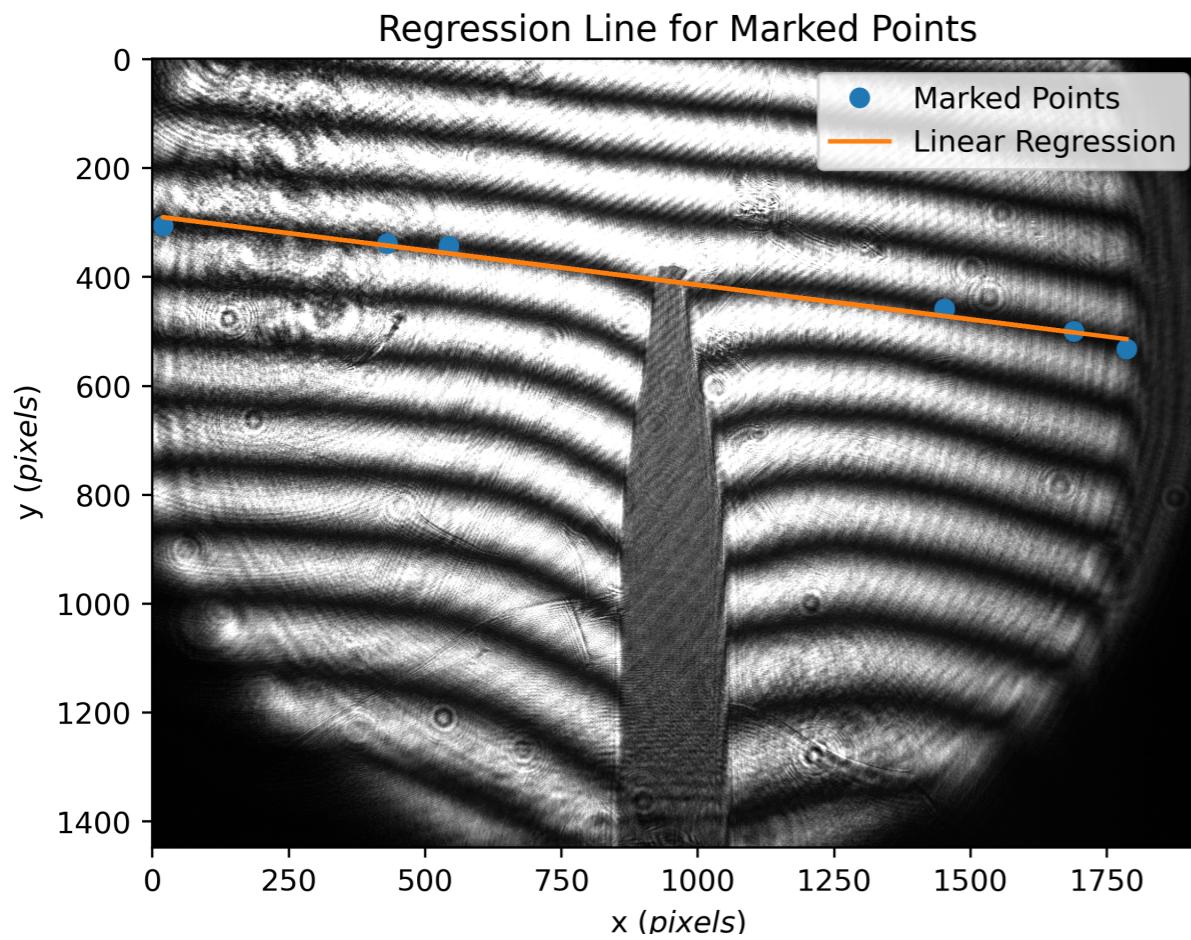
De seguida, analisámos a influência da temperatura no padrão de interferência com recurso ao ferro de soldar:



Padrão de interferência com o ferro de soldar a 150°C

Ferro de Soldar

Fizemos uma regressão linear de pontos marcados manualmente e o gráfico com todos os pontos escuros.



Regressão linear dos pontos manualmente marcados

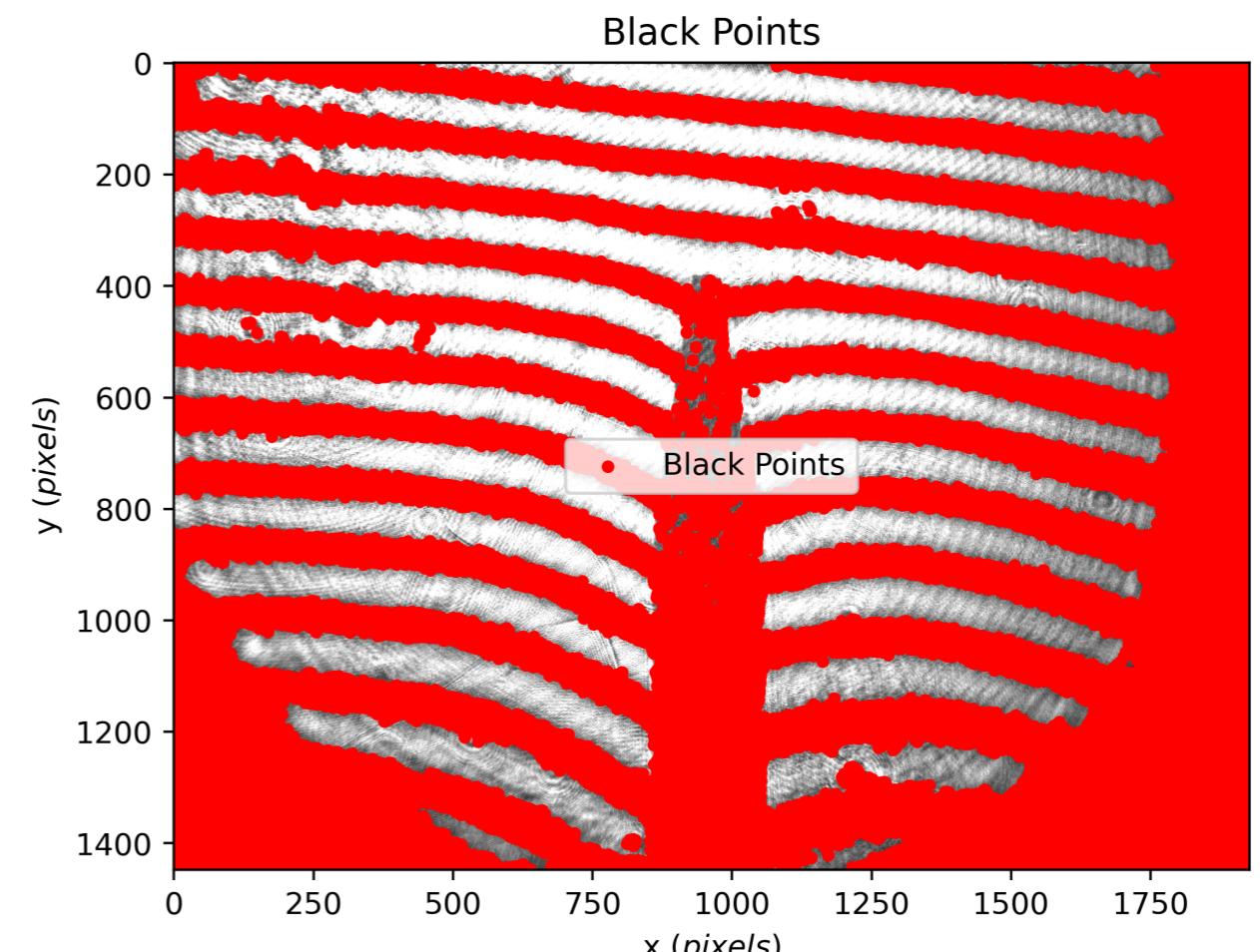
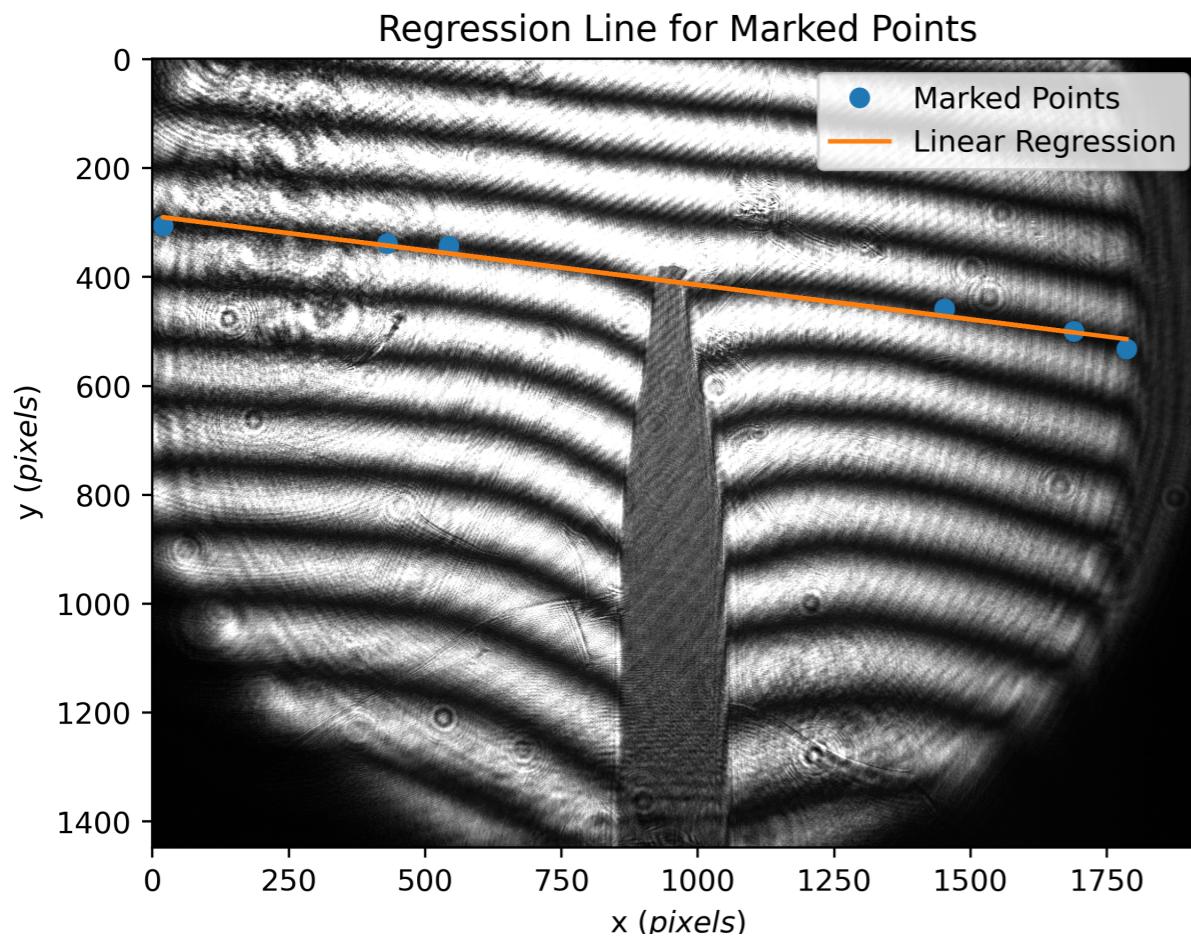


Gráfico dos pontos escuros

Ferro de Soldar

Fizemos uma regressão linear de pontos marcados manualmente e o gráfico com todos os pontos escuros.



Regressão linear dos pontos manualmente marcados

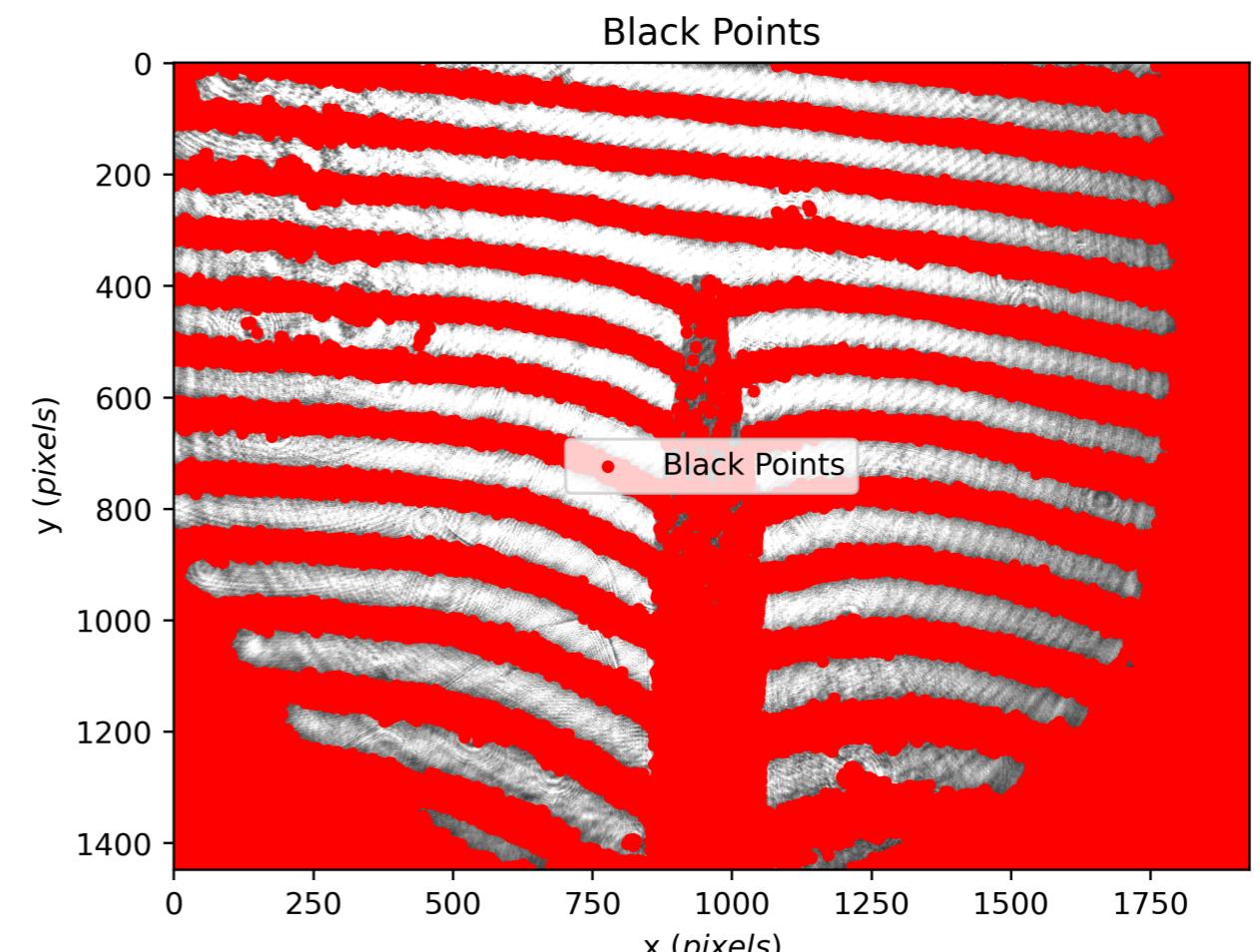


Gráfico dos pontos escuros

Ferro de Soldar

Rodámos os pontos para que ficassem horizontais e selecionámos a fronteira destes:

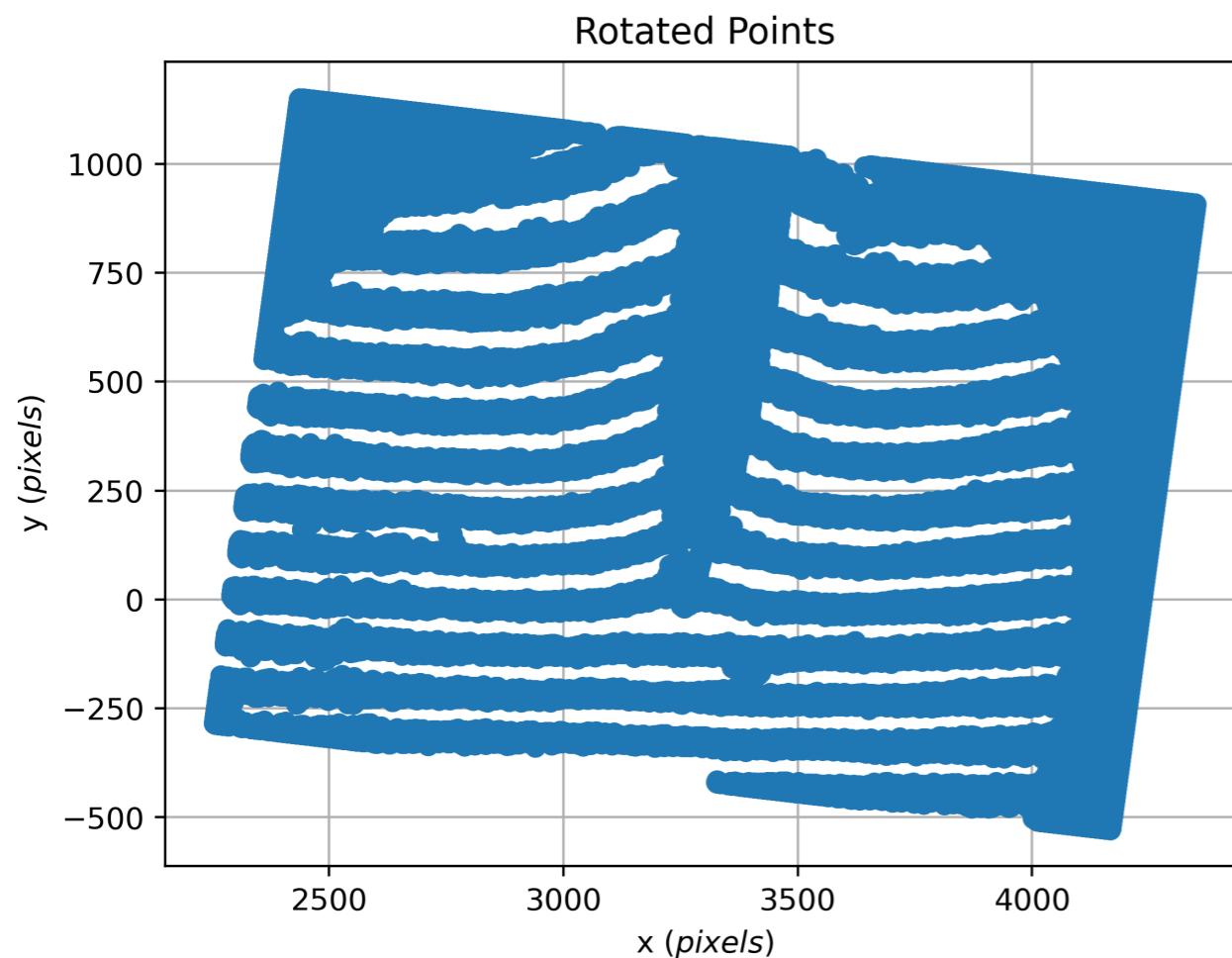
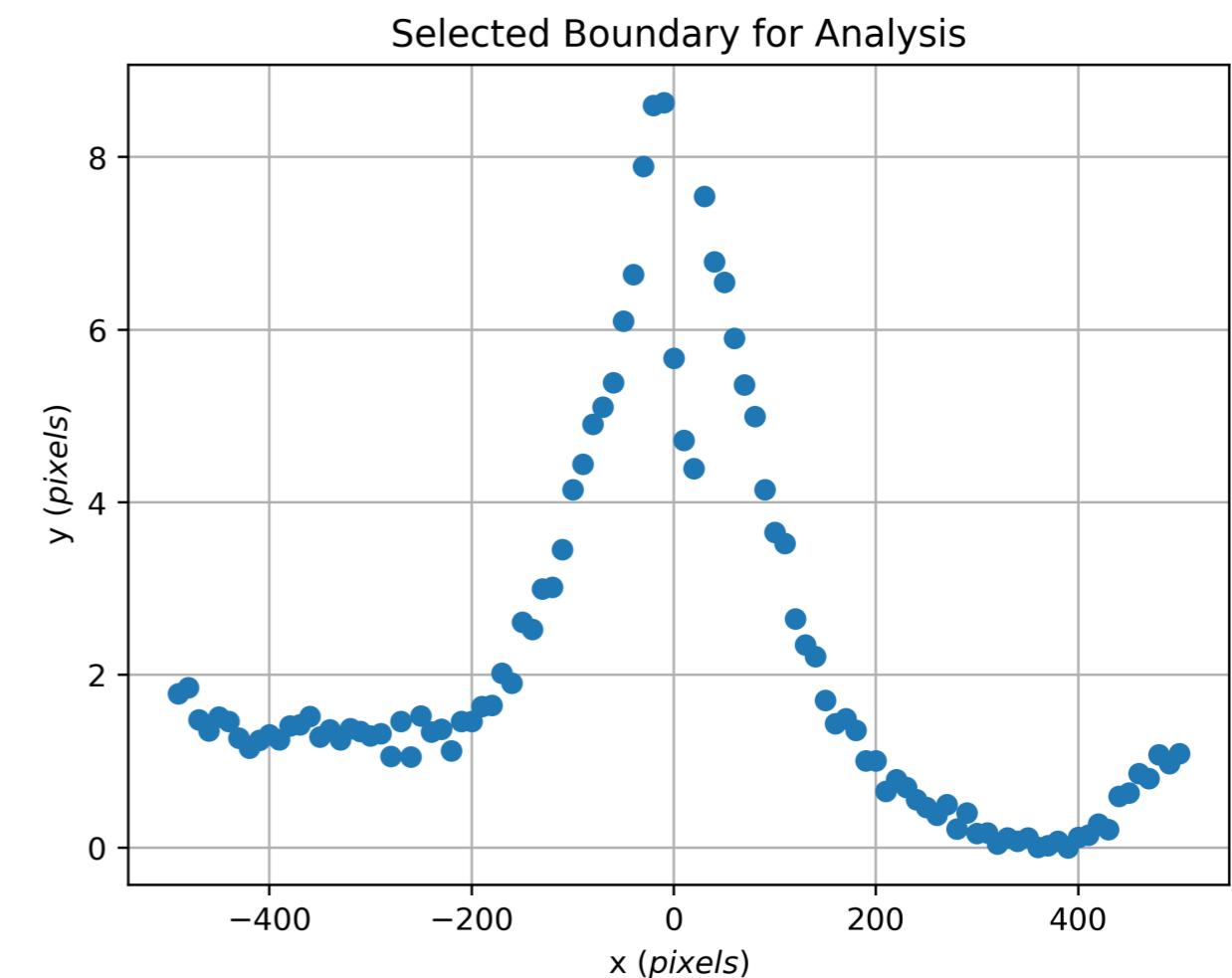


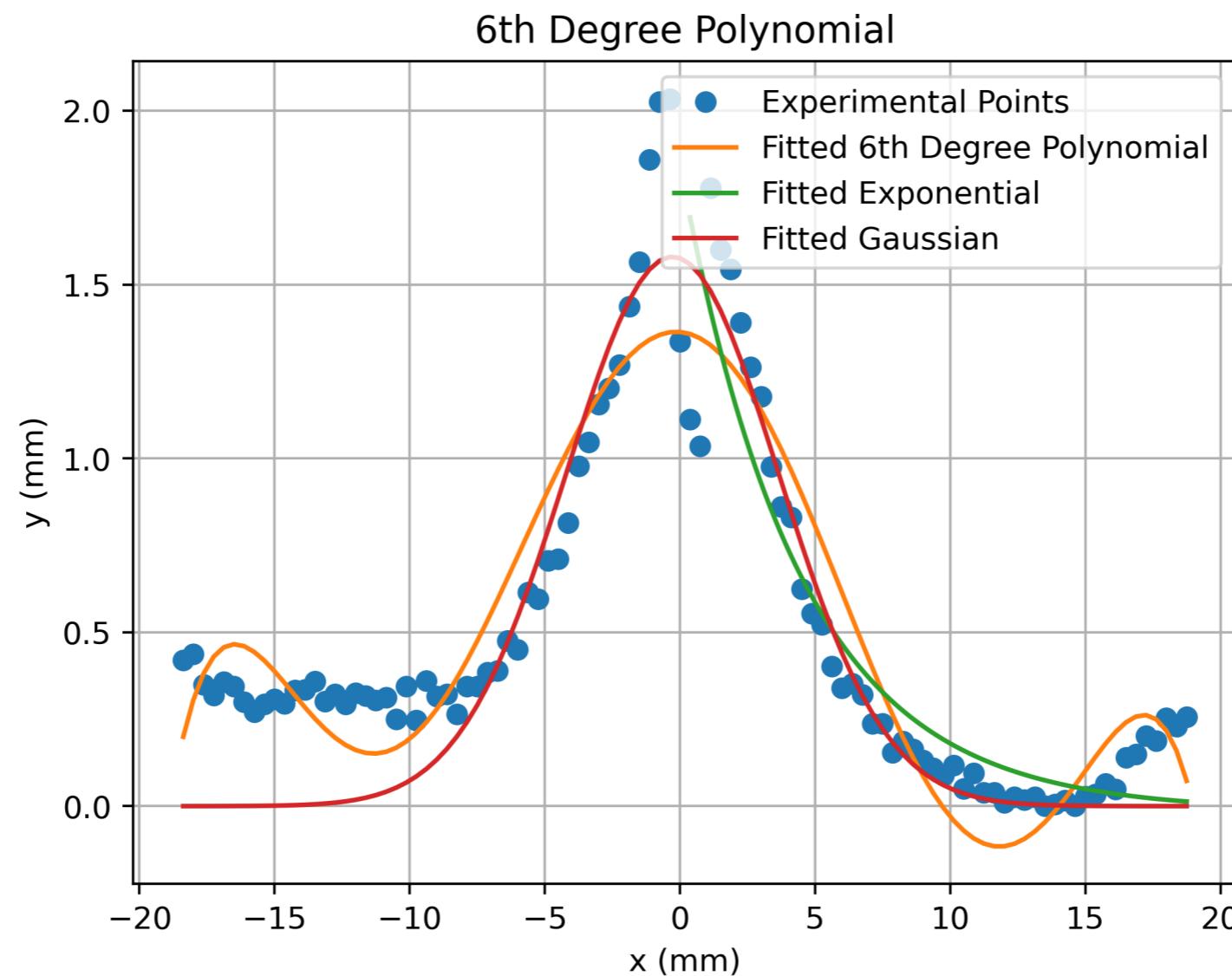
Gráfico dos pontos escuros horizontal



Fronteira dos pontos escuros

Ferro de Soldar

Fizemos um fit dos pontos da fronteira com um polinómio de 6º grau, uma exponencial e uma Gaussiana.



Ferro de Soldar

Utilizando o polinómio de 6º e a transformada inversa de Abel, conseguimos obter a seguinte expressão:

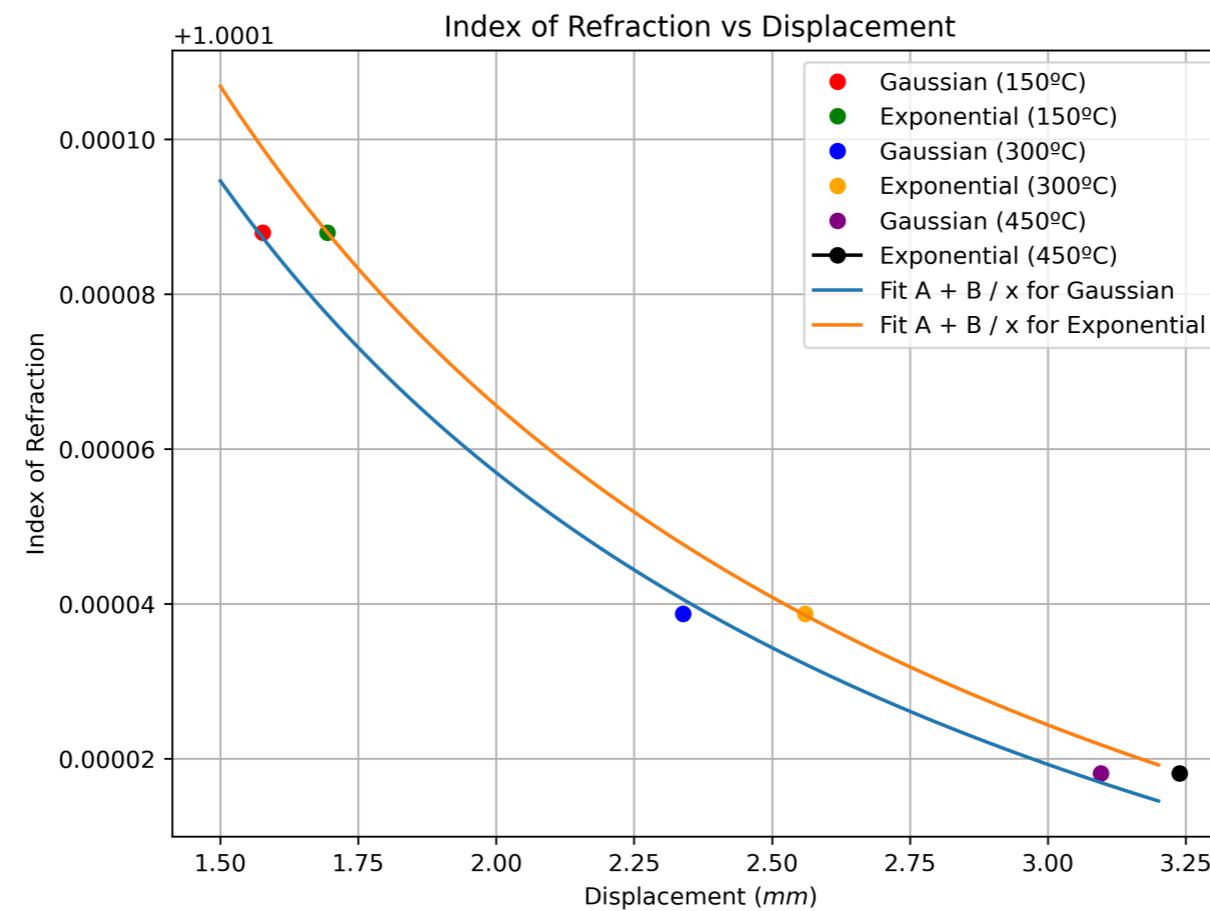
$$n_r - 1 = -\frac{1}{\pi} \left(2cu + 4e(ur^2 + \frac{u^3}{3}) + 6g(ur^4 + 2\frac{u^3}{3}r^2 + \frac{u^5}{5}) \right)$$

Contudo, os valores para os índices de refração foram insatisfatórios.

| Temperatura [°C] | 150 | 300 | 450 |
|------------------|---------|---------|---------|
| n_r | 1.07582 | 1.22773 | 1.20361 |

Ferro de Soldar

Foi realizado um fit com os índices teóricos para as diferentes temperaturas e com os valores dos pontos centrais retirados do fit da Gaussiana e da Exponencial. O objetivo principal seria tentar traçar um perfil Gaussiano ou Exponencial, mas não conseguimos obter a relação entre os mesmos.



Som - Extra

Extra: Som

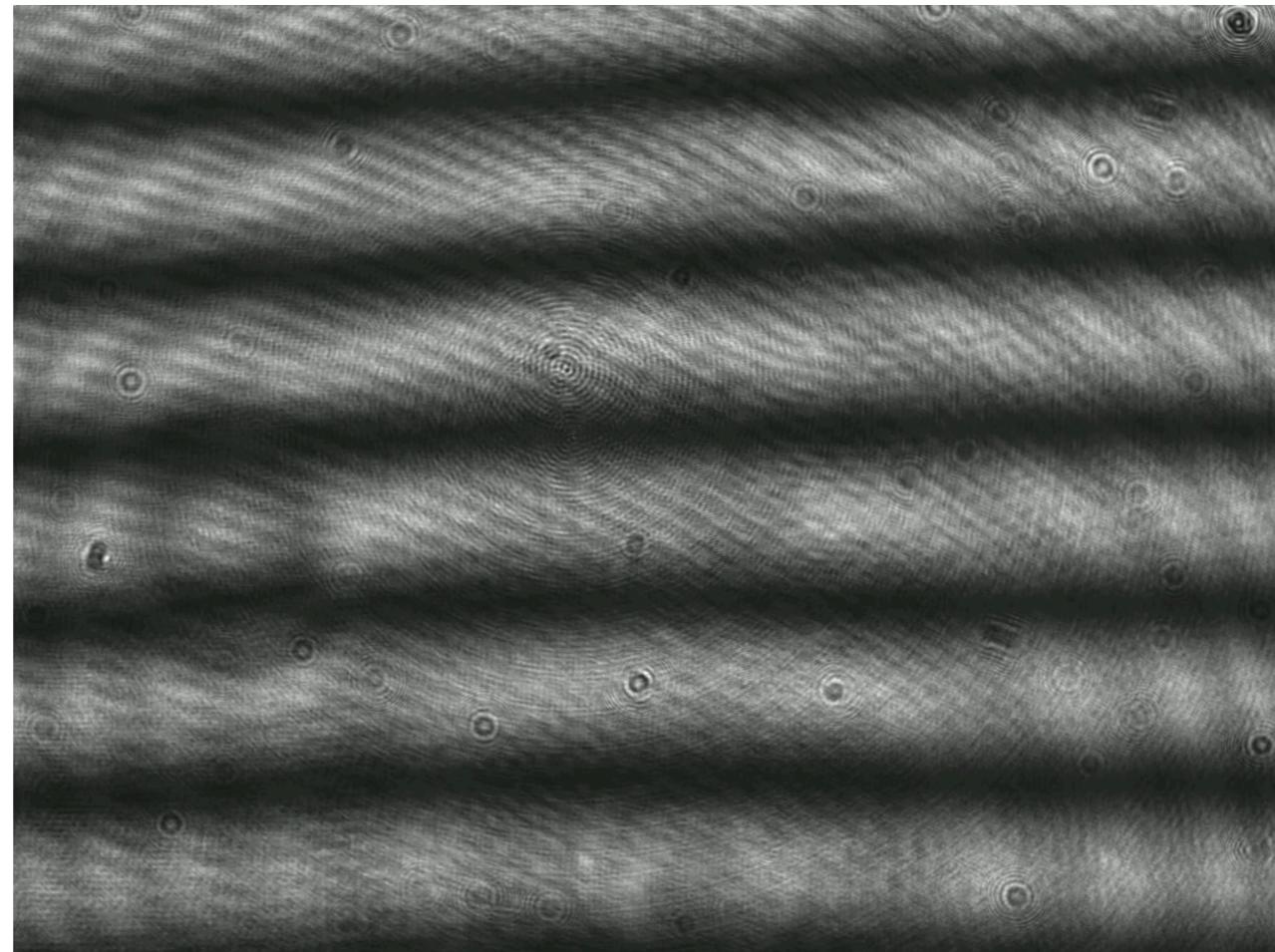
Como extra, decidimos analisar a influência do som no padrão de interferência. Verificámos que as riscas oscilavam com as diferentes frequências:



Oscilação das riscas com uma frequência do som de 364Hz

Extra: Som

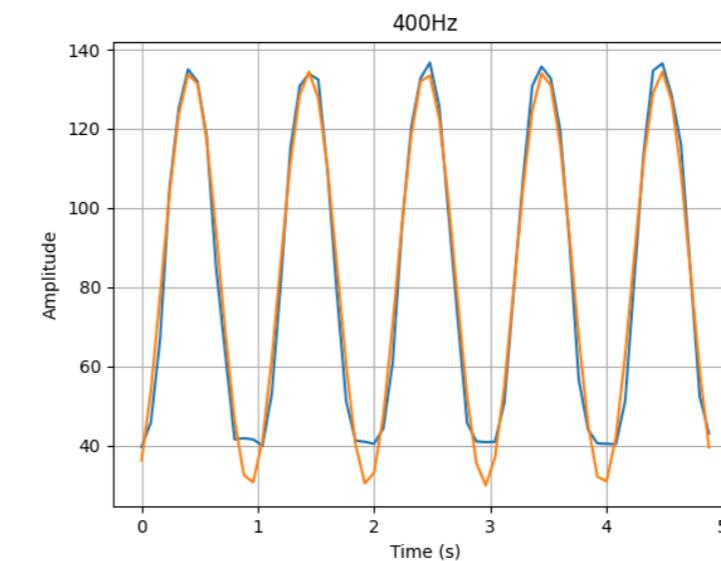
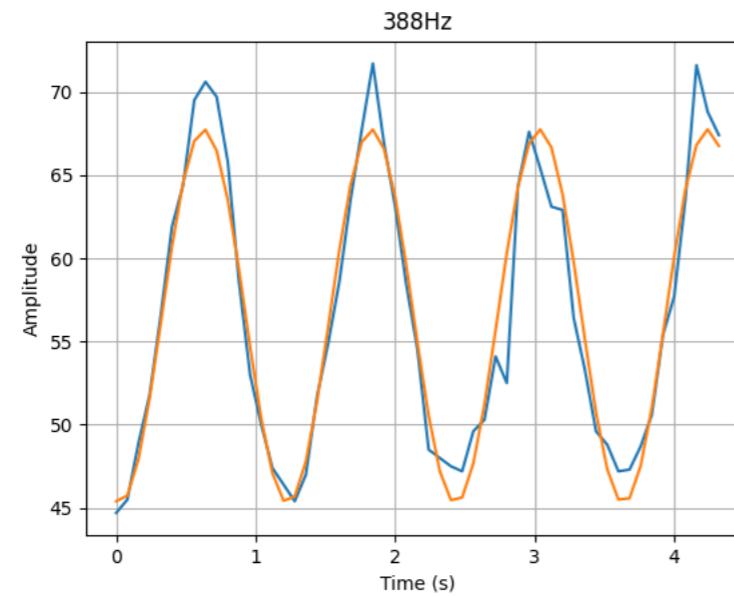
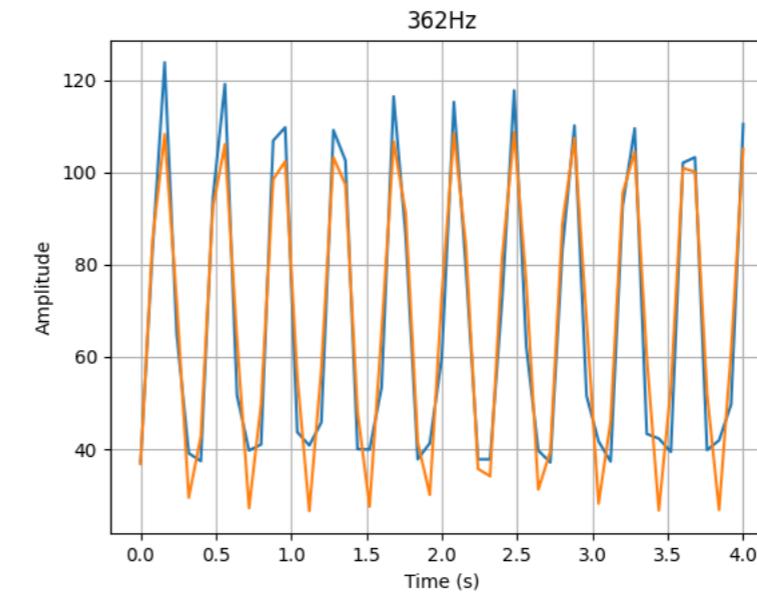
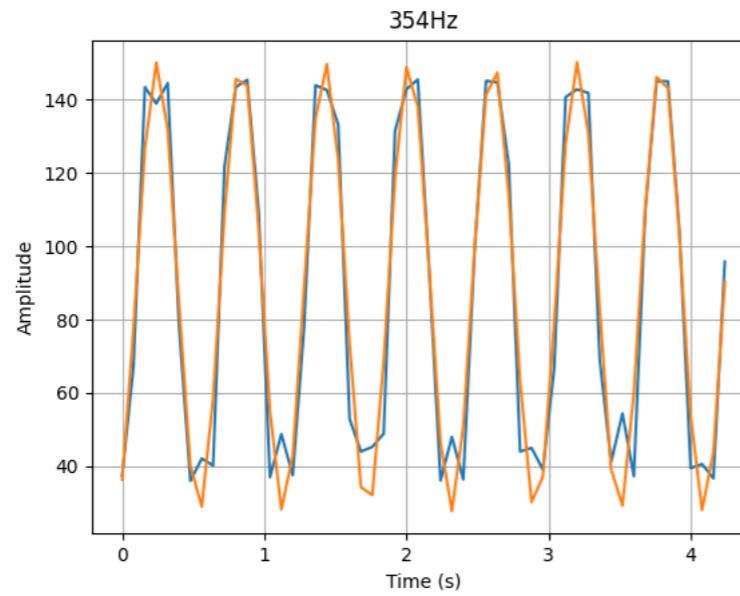
Como extra, decidimos analisar a influência do som no padrão de interferência. Verificámos que as riscas oscilavam com as diferentes frequências:



Oscilação das riscas com uma frequência do som de 364Hz

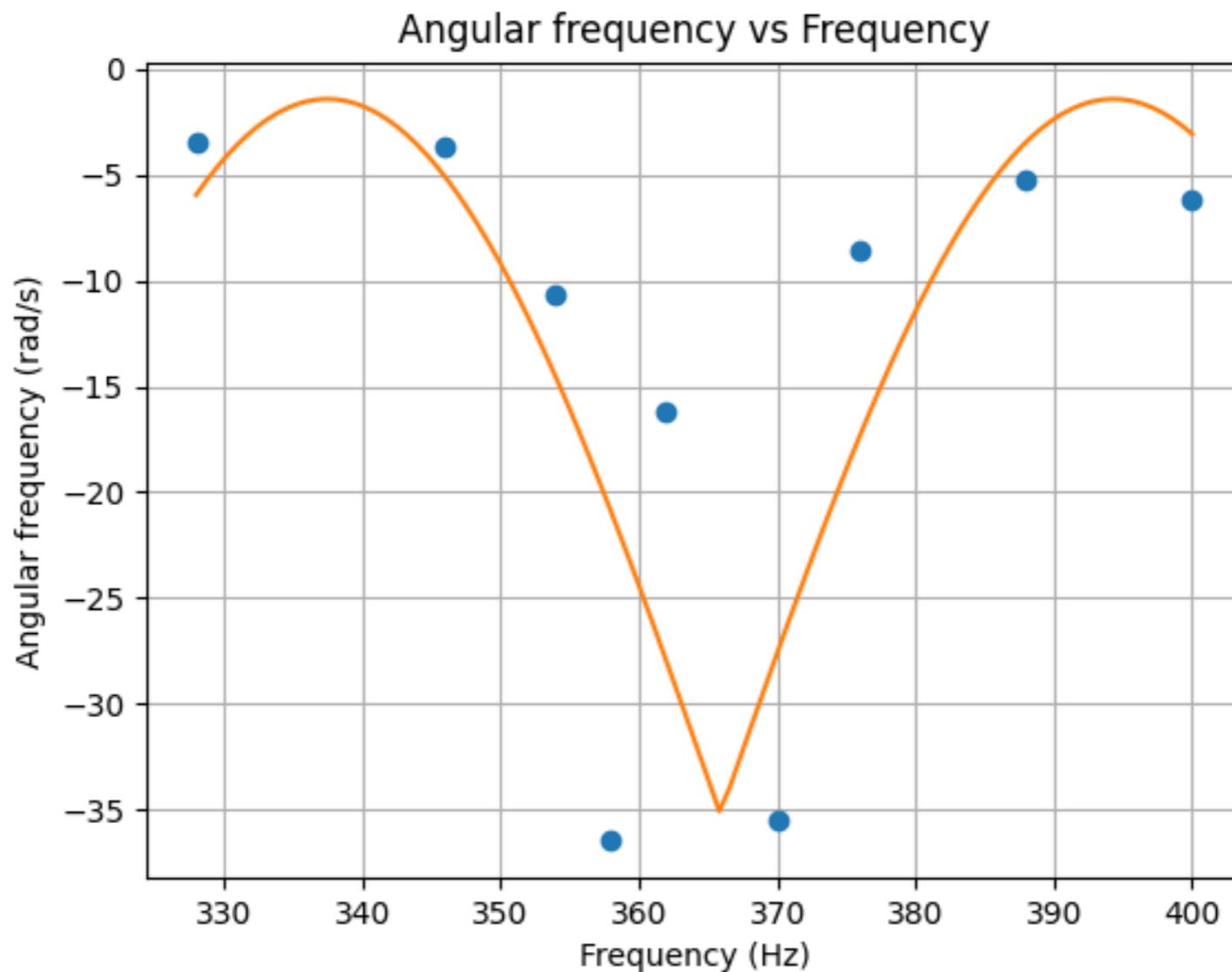
Extra: Som

Utilizando um tracker, obtivemos gráficos para o movimento das riscas para cada frequência.



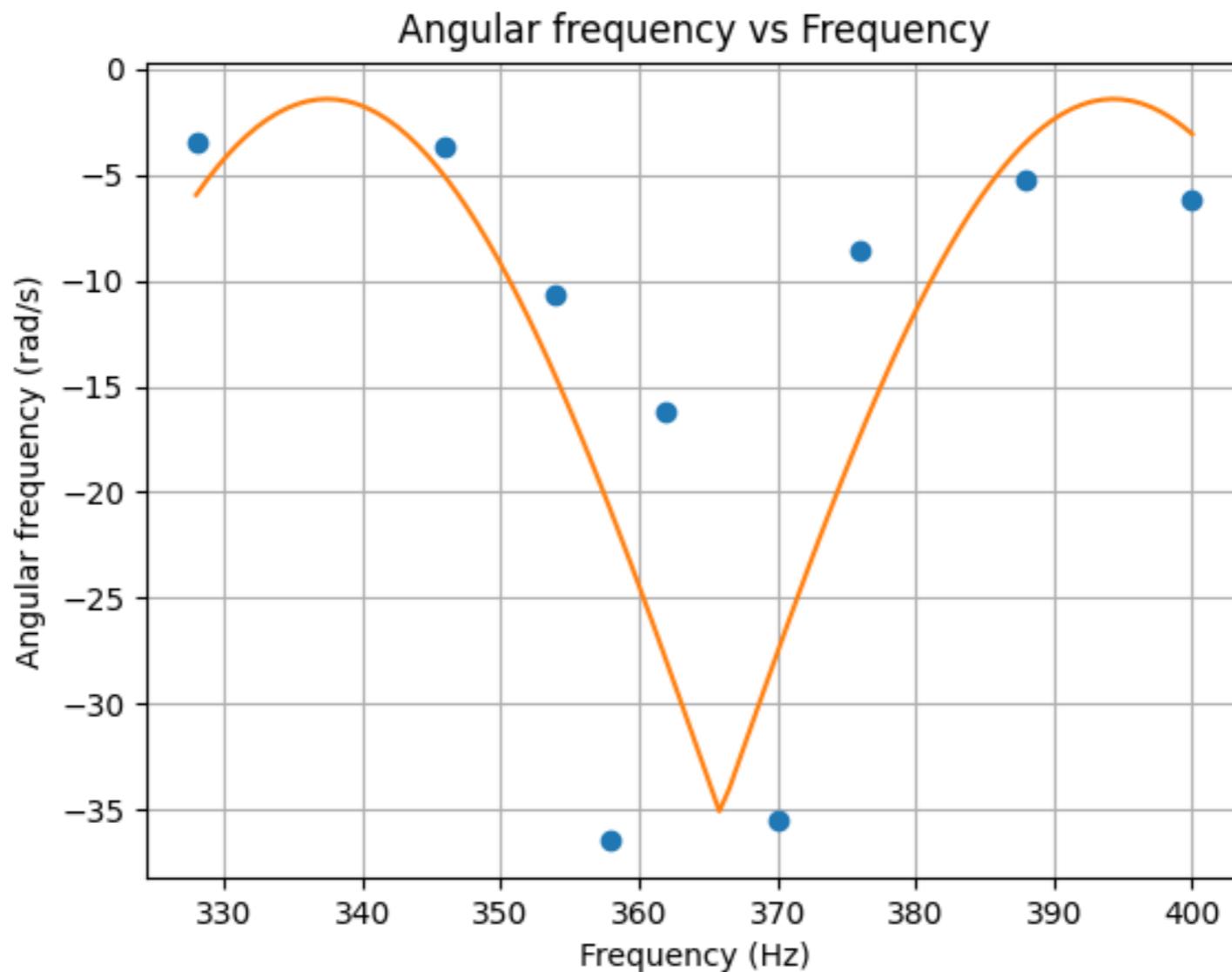
Gráficos das oscilações e respectivos fits para as frequências de 354Hz, 362Hz, 388Hz e 400Hz.

Extra: Som



Obtivemos o gráfico das frequências de oscilação das riscas em função da frequência do som.

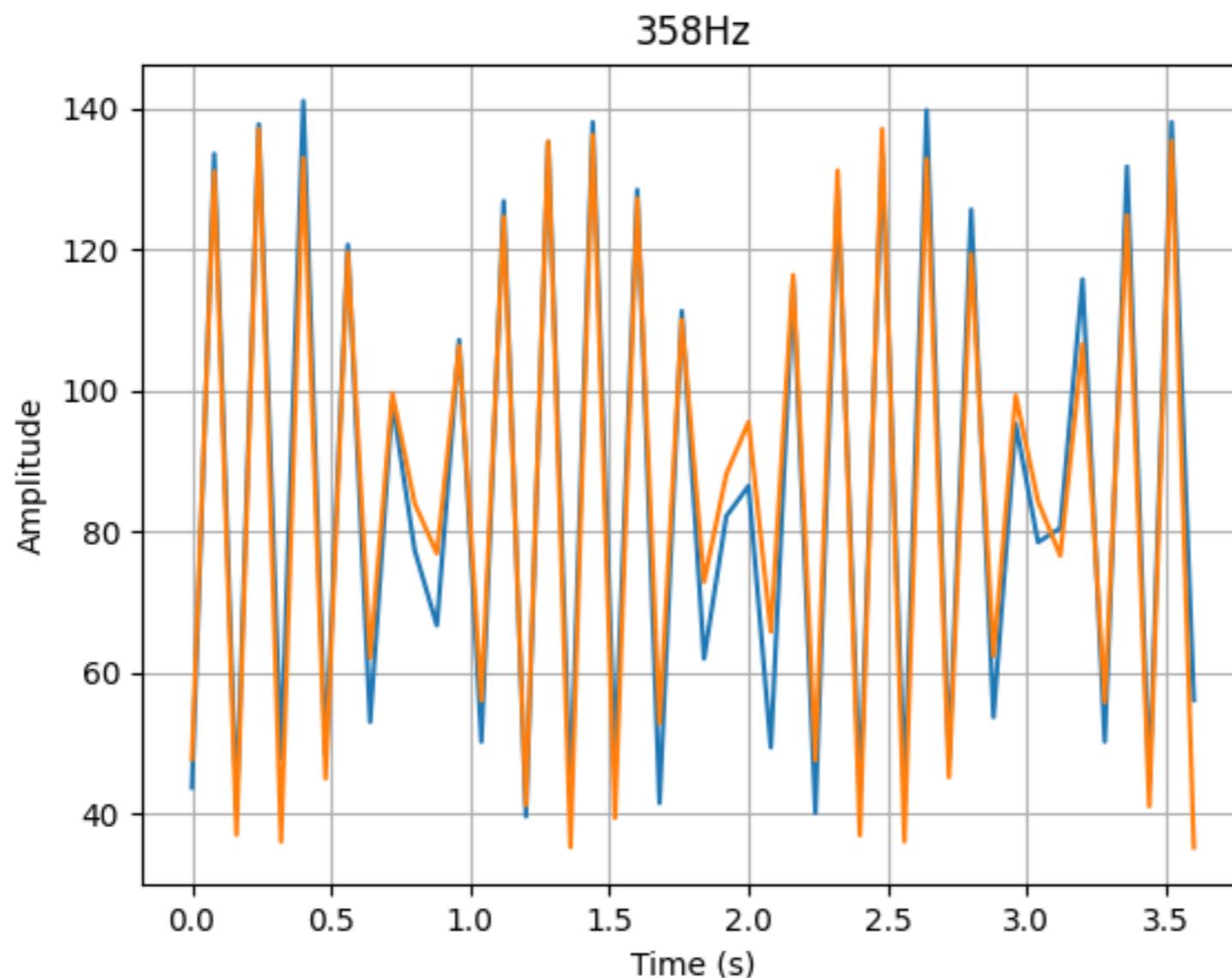
Extra: Som



Obtivemos o gráfico das frequências de oscilação das riscas em função da frequência do som.

Extra: Som

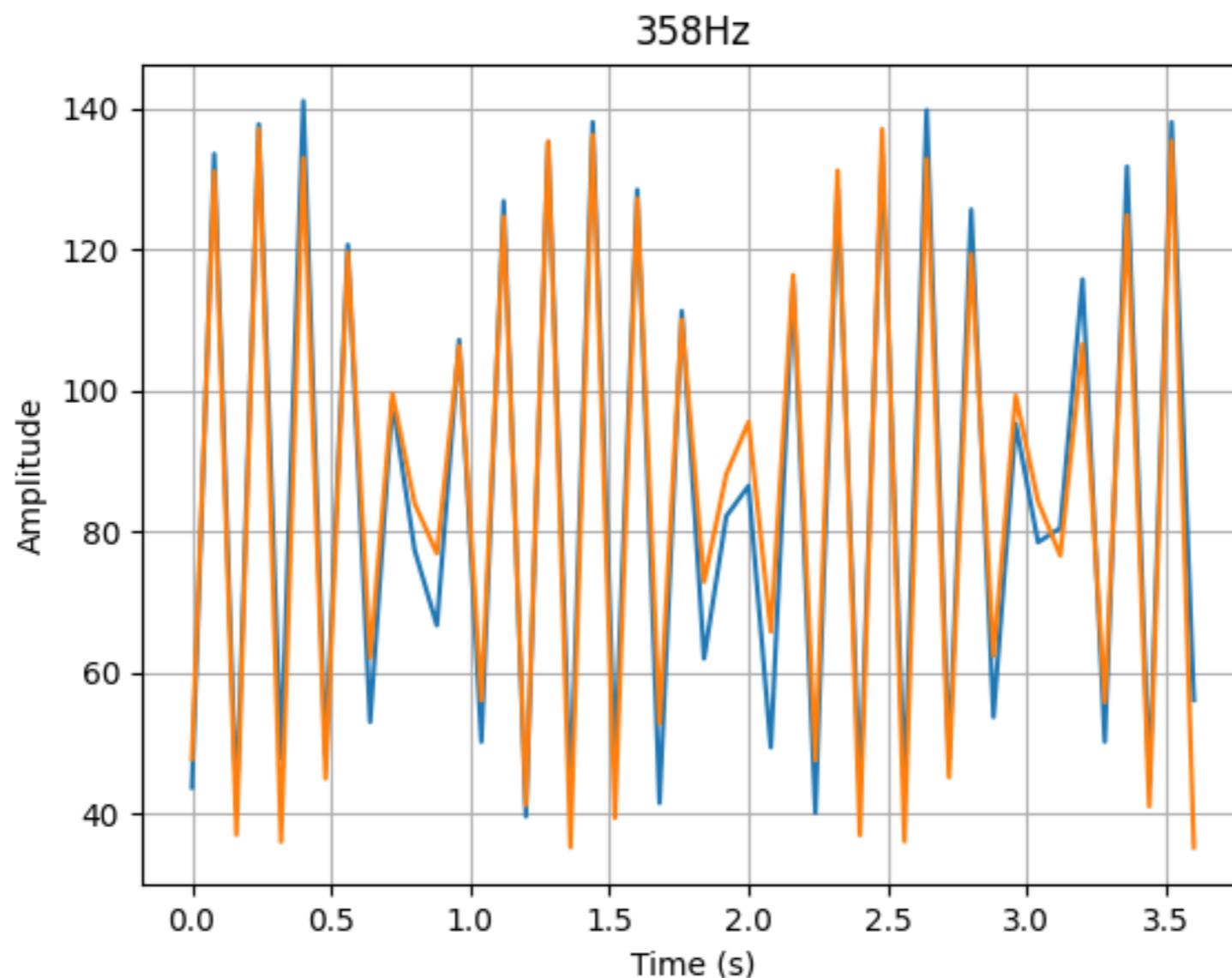
Analisando os fits obtidos verificamos que obtivemos um gráfico com batimentos perto do ponto de máxima oscilação.



Oscilação das riscas para 358Hz

Extra: Som

Analisando os fits obtidos verificamos que obtivemos um gráfico com batimentos perto do ponto de máxima oscilação.



Oscilação das riscas para 358Hz

Bibliografia

FIM

Estêvão Gomes - 102650 Sofia Nunes - 102633 Pedro Curvo - 102716. Salvador Torpes - 102474



Estêvão Gomes - 102650

Sofia Nunes - 102633

Pedro Curvo - 102716.

Salvador Torpes - 102474

FIM

Estêvão Gomes - 102650 Sofia Nunes - 102633 Pedro Curvo - 102716. Salvador Torpes - 102474