

Física Experimental IV

<https://edisciplinas.usp.br/course/view.php?id=90535>

2º Semestre 2021

Exp. 1 - Ótica Geométrica

Atividade 1 – Estudo de uma lente simples

Semana 1 - 19/Agosto

Prof. Henrique Barbosa

hbarbosa@if.usp.br

<http://www.fap.if.usp.br/~hbarbosa>

REVISÃO

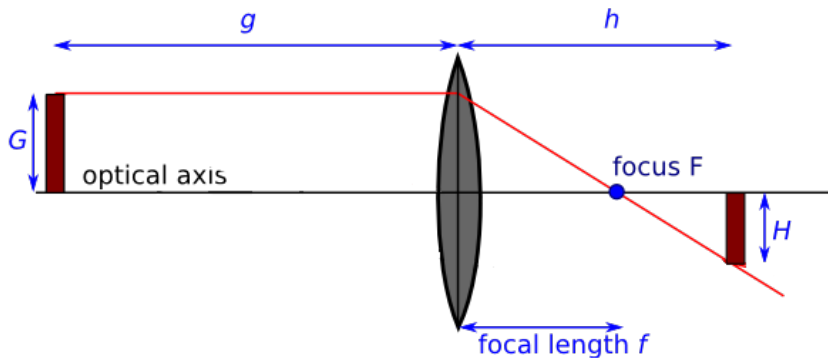
Modelo

- Os triângulos com vértice no foco F são equivalentes, portanto, com $H < 0$ para imagem invertida:

$$G/f = - H / (h - f)$$

- Portanto:

$$H = - G (h-f)/f$$

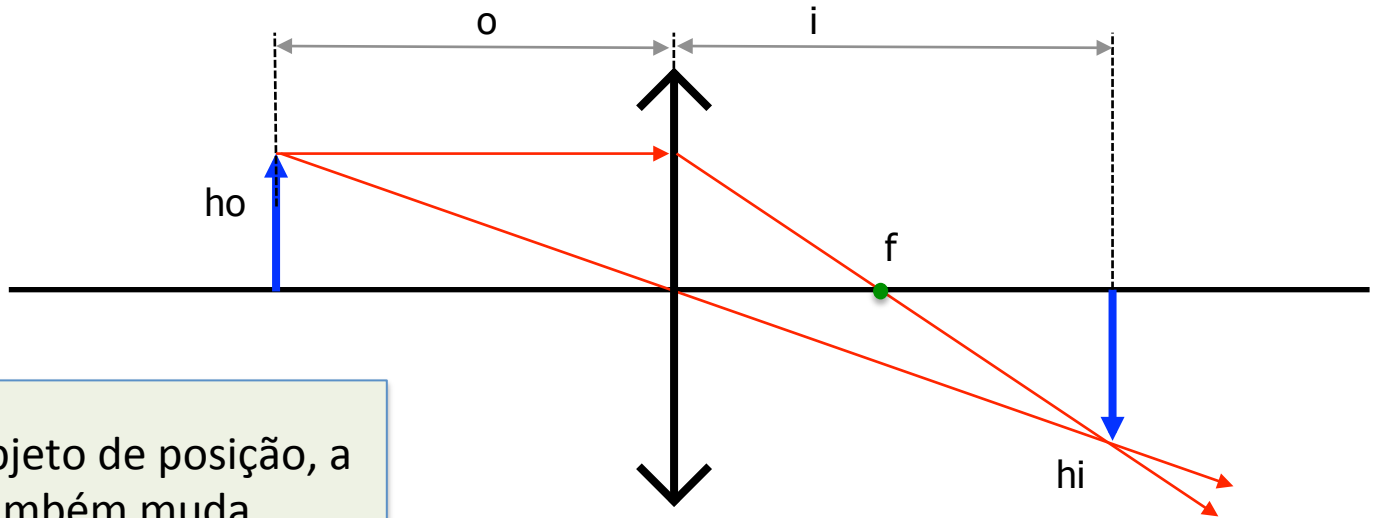


Problema #1

- Alguns grupos aplicaram a lei de Gauss, como se fosse um objeto sendo projetado pela lente.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{ho} + \frac{1}{hi}$$

$$i = -\frac{hi}{ho}o$$



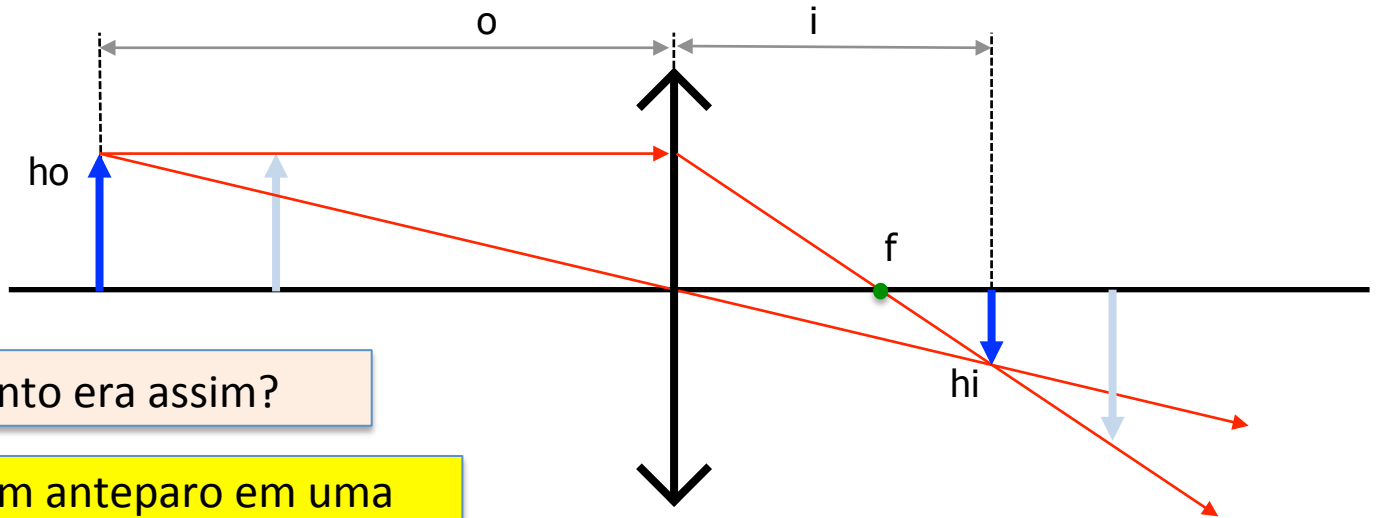
Se mudar o objeto de posição, a imagem também muda...

Problema #1

- Alguns grupos aplicaram a lei de Gauss, como se fosse um objeto sendo projetado pela lente.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{ho} + \frac{1}{hi}$$

$$i = -\frac{hi}{ho}o$$

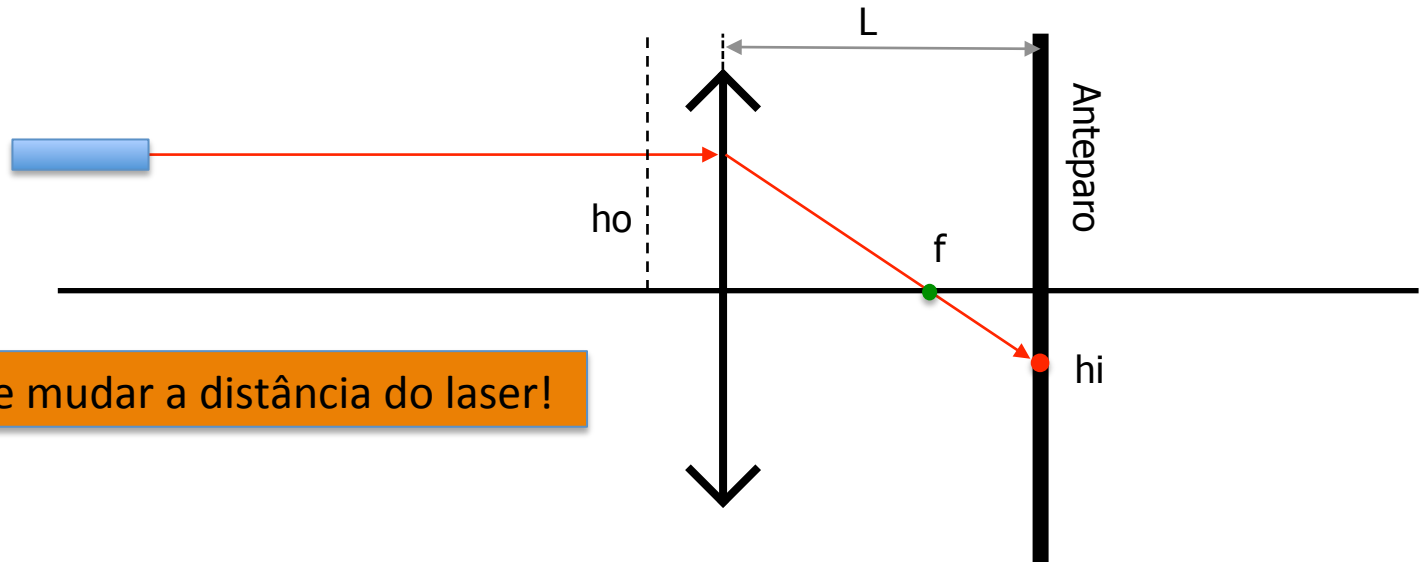


O experimento era assim?

Não! Havia um anteparo em uma posição fixa. E era 1 raio de luz (laser).

Problema #1

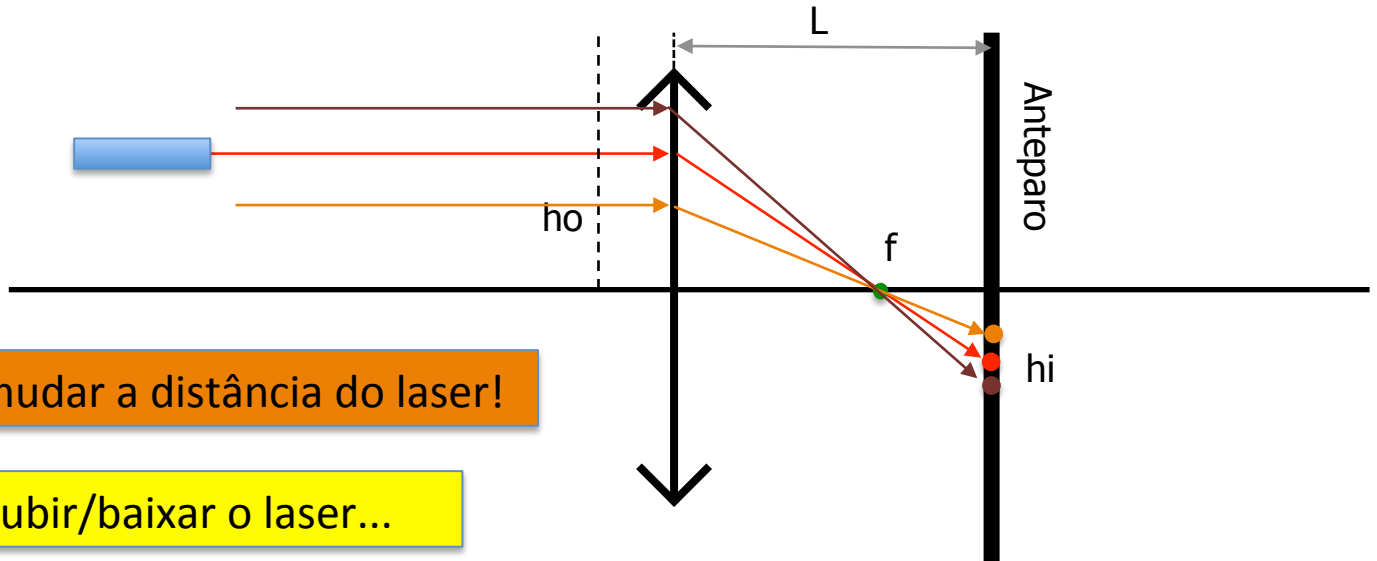
- Alguns grupos aplicaram a lei de Gauss, como se fosse um objeto sendo projetado pela lente.



Não muda se mudar a distância do laser!

Problema #1

- Alguns grupos aplicaram a lei de Gauss, como se fosse um objeto sendo projetado pela lente.



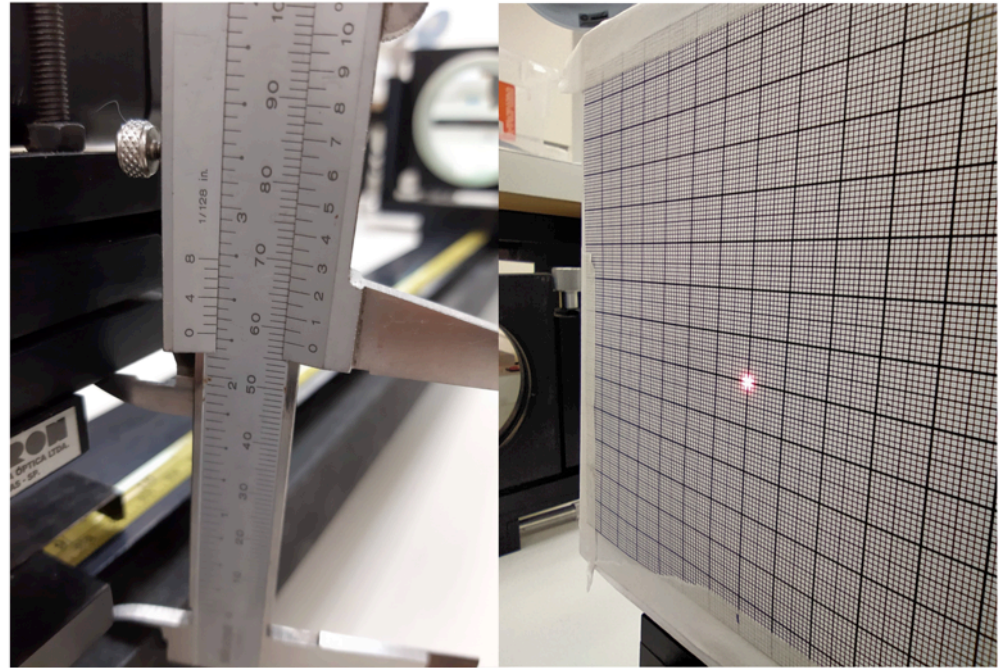
Não muda se mudar a distância do laser!

Só muda se subir/baixar o laser...

Dados

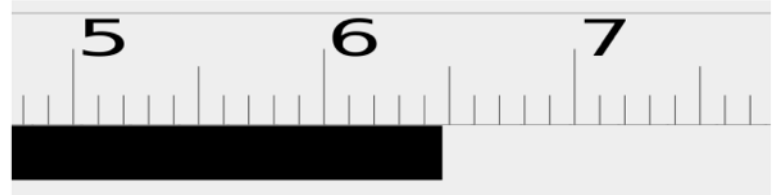
- Bastava fazer a leitura a partir das fotografias.
- **Problema #2: alguns grupos não colocaram a tabela de dados!**

Altura e Posição do laser -1

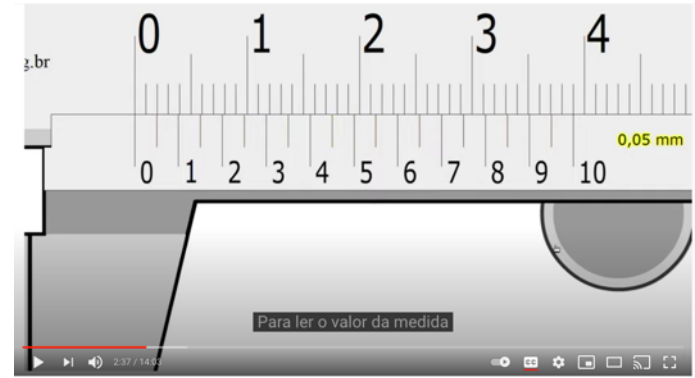


Incertezas

- Qual a incerteza da régua?
 - $\frac{1}{2}$ da menor divisão
 - 0.5mm



- Qual a incerteza do paquímetro?
 - Igual a menor divisão do *vernier*
 - $1/20\text{mm} = 0.05\text{mm}$



<https://www.youtube.com/watch?v=H7bZLRDzmho>

Exemplo

Tabela 2: Medidas e variações de altura do laser e onde o feixe de luz atingiu o anteparo.

Δ Altura do Laser (mm)	Incerteza Laser (mm)	Δ Altura no anteparo (mm)	Incerteza Anteparo (mm)
h_o	σ_{h_o}	h_i	σ_{h_i}
15,000	0,071	-60,0	0,5
13,000	0,071	-50,0	0,5
10,000	0,071	-40,0	0,5
7,450	0,071	-30,0	0,5
5,100	0,071	-20,0	0,5
2,350	0,071	-10,0	0,5
0,000	0,071	0,0	0,5
-2,800	0,071	10,0	0,5
-5,400	0,071	20,0	0,5
-8,100	0,071	30,0	0,5
-10,550	0,071	40,0	0,5
-13,100	0,071	50,0	0,5
-15,650	0,071	60,0	0,5

Propagar a incerteza ao subtrair medidas

NAO: laser no anteparo

SIM: Distância lente/anteparo

As posições da lente, x_L , e do anteparo, x_A , ao longo do trilho foram mantidas fixas e seus valores medidos, conforme abaixo:

$$x_L = (70,00 \pm 0,05) \text{ cm}$$

$$x_A = (170,00 \pm 0,05) \text{ cm}$$

Podemos então determinar o valor de d_a (Figura 1) como sendo:

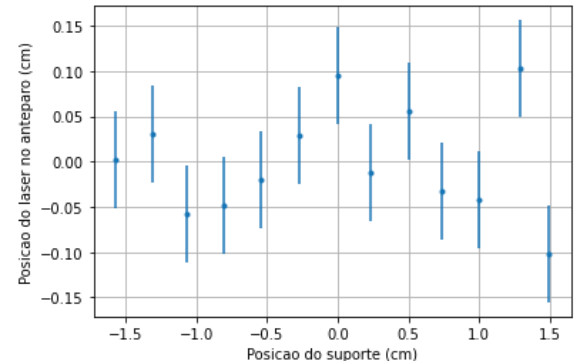
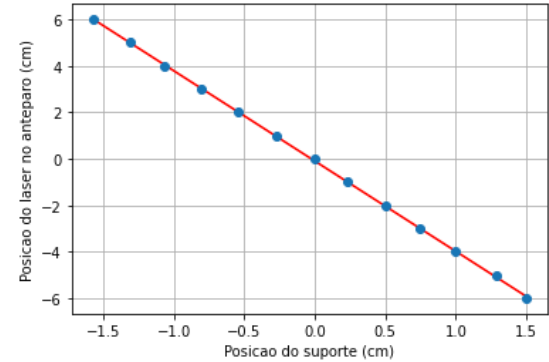
$$d_a = x_A - x_L$$

Portanto, temos que: $d_a = (100,00 \pm 0,07) \text{ cm}$

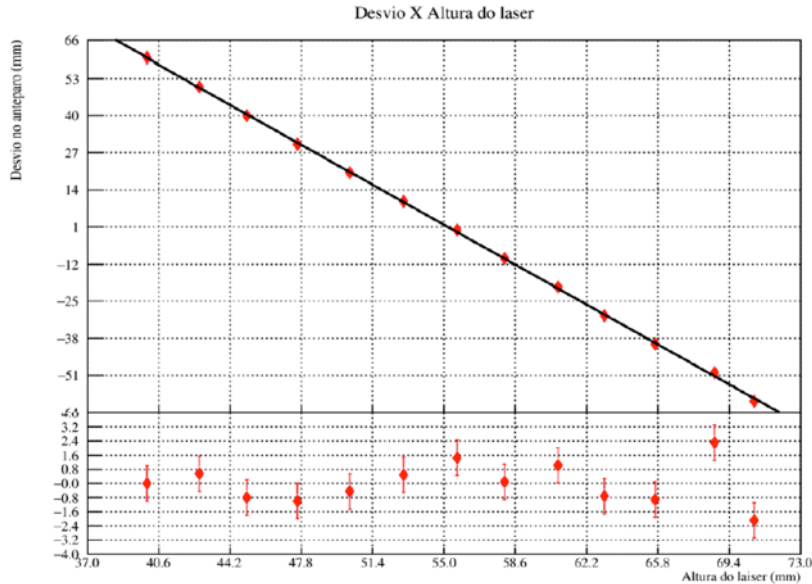
ok

Ajuste

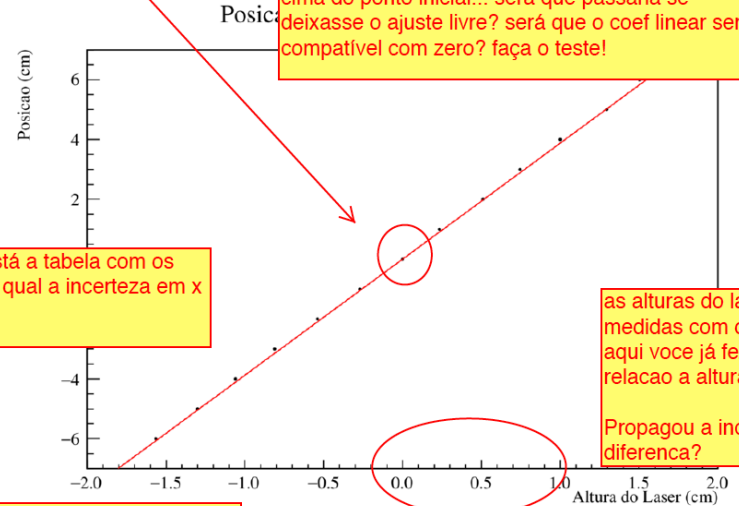
- Podemos fazer um ajuste linear ao dados:
 - $Y = A * X + B$
 - $Y = A * (X - X_0)$
- São equivalentes ($X_0 = -B/A$).
- Era importante:
 - coeficiente linear, e verificar se era compatível com zero.
 - Olhar os resíduos



Exemplos



Gráficos



voce tá forçando a reta passar exatamente em cima do ponto inicial... será que passaria se deixasse o ajuste livre? será que o coef linear seria compativel com zero? faça o teste!

onde está a tabela com os dados? qual a incerteza em x e y?

as alturas do laser foram medidas com o paquimetro... e aqui voce já fez a diferença em relacao a altura zero. Propagou a incerteza da diferença?

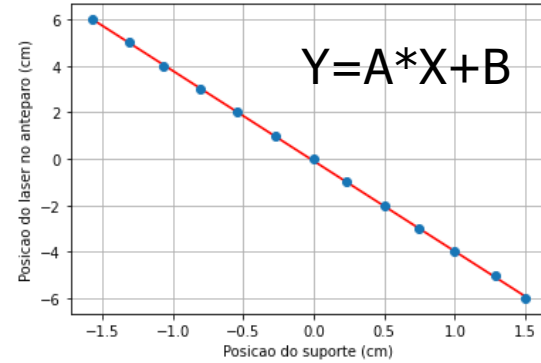
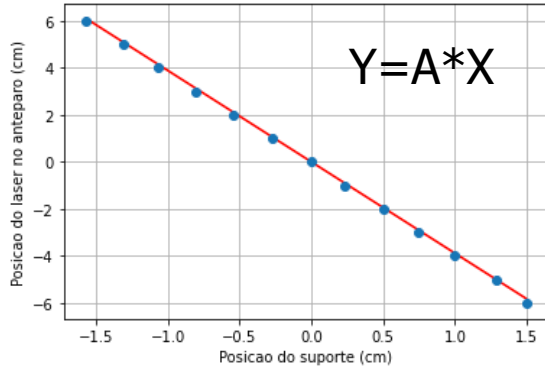
e os resíduos?

Imagem 1: Gráfico de posição e altura do laser em cm.

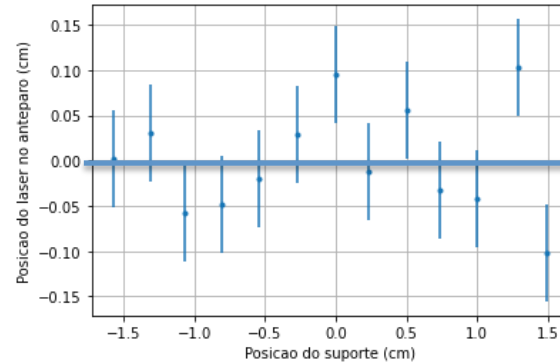
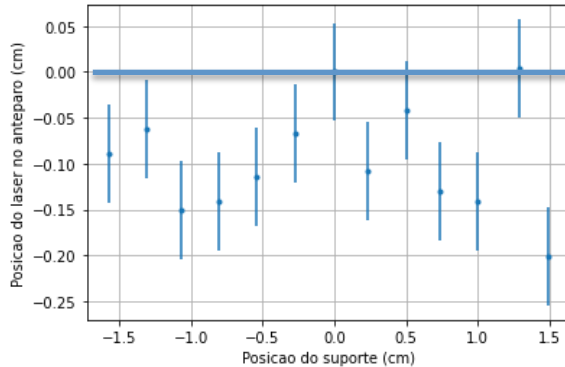
Nenhum grupo disse se considerou ErrX e ErrY ou apenas ErrY.

Vários grupos não consideraram que o movimento invertido entre laser/anteparo

Problemas #3: fit



Chi2=56



Chi2=15

Cálculo do f_c

- A fórmula dependia de 2 parâmetros com erros:

$$\begin{cases} d_f = \frac{d_a}{1 - \alpha} \\ \sigma_{df}^2 = \left(\frac{\partial df}{\partial d_a} \cdot \sigma_{da} \right)^2 + \left(\frac{\partial df}{\partial \alpha} \cdot \sigma_{\alpha} \right)^2 \end{cases}$$

$$d_f = (20,49 \pm 0,06) \text{ cm}$$

Alguns grupos não consideraram o erro na distância lente/anteparo

Resultado

Vários grupos não
Informaram todas
As incertezas

Grupo	foco mm	foco_err mm	antp_err mm	paq_err mm	ErrorXY	npar	chi2
2	205.0	1.1	2	0.025	2.002	1	14.78
5	205.00	0.52	5	0.05	5.004	1	39.1273
11	203.6	0.8	0.5	0.05	0.536	1	11.2
14	204.99	0.01				1	48.9
18	204.9	1.1				1	2.99
13	205.3	0.8	0.05	0.01	0.063	1	
1	204.75	0.8	0.5	0.05	0.536	2	13.92
3	208.00	0.44				2	
4	204.92	0.59	0.5	0.05	0.536	2	16.4998
6	205	3	0.5	0.05	0.536	2	15.33
7	204.5	3.8	0.5	0.5	1.989	2	1.746
8	204.9	1.3	1	0.05	1.018	2	2.4
10	205.1	0.6				2	14.6
12	203.5	2.6	1	0.5	2.169	2	0.84
15	203	25	0.2	0.2	0.796	2	8.64826
16	205.09	0.69	0.5	0.05	0.536	2	12.9140
17	204.9	0.6	0.5	0.03	0.513	2	25.665
9							
19							
Media	204.88	3.58					
Desvio	1.24						

$$Y=A*X$$

Regua/Paq
incertezas

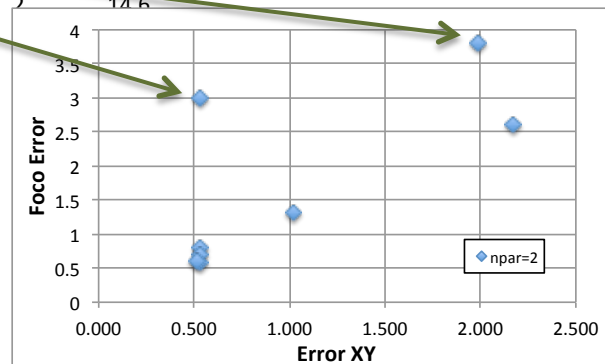
Resultado

Vários grupos não
Informaram todas
As incertezas

Grupo	foco mm	foco_err mm	antp_err mm	paq_err mm	ErrorXY	npar	chi2
2	205.0	1.1	2	0.025	2.002	1	14.78
5	205.00	0.52	5	0.05	5.004	1	39.1273
11	203.6	0.8	0.5	0.05	0.536	1	11.2
14	204.99	0.01				1	48.9
18	204.9	1.1				1	2.99
13	205.3	0.8	0.05	0.01	0.063	1	
1	204.75	0.8	0.5	0.05	0.536	2	13.92
3		0.44				2	
4	204.92	0.59	0.5	0.05	0.536	2	16.4998
6	205	3	0.5	0.05	0.536	2	15.33
7	204.5	3.8	0.5	0.5	1.989	2	1.746
8	204.9	1.3	1	0.05	1.018	2	2.4
10	205.1	0.6				2	11.6
12	203.5	2.6	1	0.5	2.169		
15	203		0.2	0.2	0.796		
16	205.09	0.69	0.5	0.05	0.536		
17	204.9	0.6	0.5	0.03	0.513		
9							
19							

$$Y=A*X$$

Valores altos, fora
do padrão.



Regua/Paq
incertezas

Media 204.57 1.44
Desvio 0.72

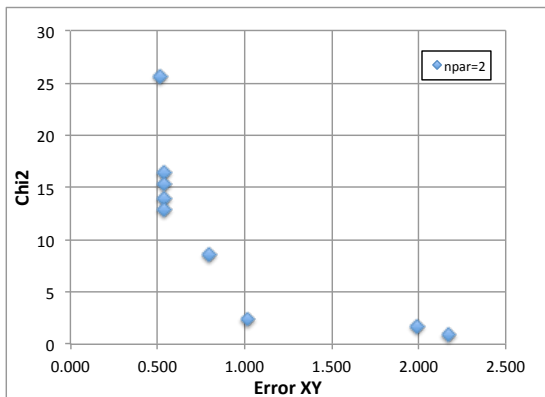
Excluindo os
valores estranhos

Resultado

Vários grupos não Informaram todas As incertezas

Grupo	foco mm	foco_err mm	antp_err mm	paq_err mm	ErrorXY	npar	chi2
2	205.0	1.1	2	0.025	2.002	1	14.78
5	205.00	0.52	5	0.05	5.004	1	39.1273
11	203.6	0.8	0.5	0.05	0.536	1	11.2
14	204.99	0.01				1	48.9
18	204.9	1.1				1	2.99
13	205.3	0.8	0.05	0.01	0.063	1	
1	204.75	0.8	0.5	0.05	0.536	2	13.92
3		0.44				2	
4	204.92	0.59	0.5	0.05	0.536	2	16.4998
6	205		0.5	0.05	0.536	2	15.33
7	204.5		0.5	0.5	1.989	2	1.746
8	204.9	1.3	1	0.05	1.018	2	2.4
10	205.1	0.6				2	14.6
12	203.5	2.6	1	0.5	2.169		
15	203		0.2	0.2	0.796		
16	205.09	0.69	0.5	0.05	0.536		
17	204.9	0.6	0.5	0.03	0.513		
9							
19							

$$Y=A*X$$



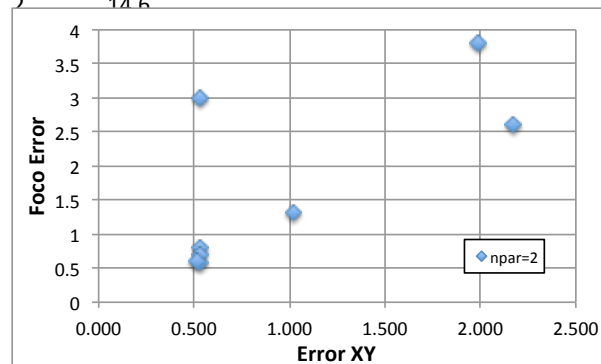
Qual a relação entre Chi2 e o erro?

Media
Desvio

204.57 0.95
0.72

Regua/Paq
incertezas

Excluindo **mais** valores estranhos, melhor estimativa da incerteza real

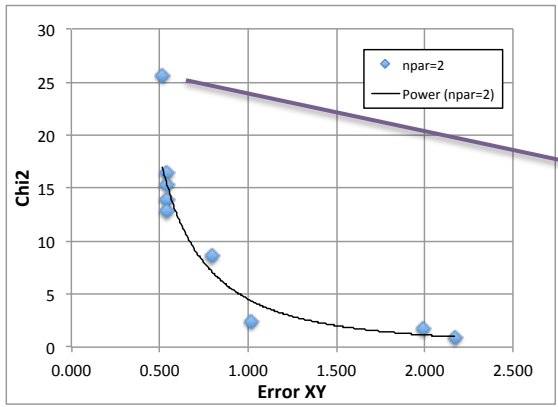


Resultado

Vários grupos não Informaram todas As incertezas

Grupo	foco mm	foco_err mm	antp_err mm	paq_err mm	ErrorXY	npar	chi2
2	205.0	1.1	2	0.025	2.002	1	14.78
5	205.00	0.52	5	0.05	5.004	1	39.1273
11	203.6	0.8	0.5	0.05	0.536	1	11.2
14	204.99	0.01				1	48.9
18	204.9	1.1				1	2.99
13	205.3	0.8	0.05	0.01	0.063	1	
1	204.75	0.8	0.5	0.05	0.536	2	13.92
3		0.44				2	
4	204.92	0.59	0.5	0.05	0.536	2	16.4998
6	205		0.5	0.05	0.536	2	15.33
7	204.5		0.5	0.5	1.989	2	1.746
8	204.9	1.3	1	0.05	1.018	2	2.4
10	205.1	0.6				2	14.6
12	203.5	2.6	1	0.5	2.169	2	0.84
15	203		0.2	0.2	0.796	2	8.64826
16	205.09	0.69	0.5	0.05	0.536	2	12.9140
17	204.9	0.6	0.5	0.03	0.513	2	25.665
9							
19							

$$Y=A*X$$



Chi2 ~ 1/Err²

Media
Desvio

204.57 0.95
0.72

Regua/Paq incertezas

Valor muito alto para o erro estimado

Excluindo **mais** valores estranhos, melhor estimativa da incerteza real

Distância focal

- O resultado da turma foi: 204.6(7)
- Porque não é compatível com 200 mm?
- Deve haver algum erro sistemático que não identificamos ainda.

Teste-t

- Uma amostra:

$$x_1, x_2, \dots, x_n \quad \bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad \sigma_x^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2$$

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\sigma_x / \sqrt{n}} = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\sigma_{\bar{x}}} \sim T_{n-1}$$

- Ajuste linear:

$$(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n) \quad Y = Ax + B$$

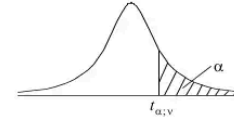
\hat{A}, \hat{B} = Estimativa do MMQ

$\sigma_{\hat{A}}, \sigma_{\hat{B}}$ = Error na estimativa de \hat{A}, \hat{B}

$$t = \frac{\hat{A} - A_0}{\sigma_{\hat{A}}} \sim T_{n-2}$$

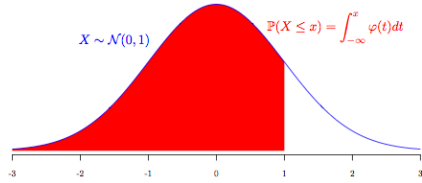
Table of the Student's t-distribution

The table gives the values of $t_{\alpha, \nu}$, where $\Pr(T_{\nu} > t_{\alpha, \nu}) = \alpha$, with ν degrees of freedom



$\alpha \backslash \nu$	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005	0.001	0.0005
1	3.078	6.314	12.076	31.821	63.657	318.310	636.620
2	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	22.326	31.598
3	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	10.213	12.924
4	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	7.173	8.610
5	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	5.893	6.869
6	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.208	5.959
7	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	4.785	5.408
8	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	4.501	5.041
9	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.297	4.781
10	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.144	4.587
11	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.025	4.437
12	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	3.930	4.318
13	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	3.852	4.221
14	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	3.787	4.140
15	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	3.733	4.073
16	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	3.686	4.015
17	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.646	3.965
18	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.610	3.922
19	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.579	3.883
20	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.552	3.850
21	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.527	3.819
22	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.505	3.792
23	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.485	3.767
24	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.467	3.745
25	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.450	3.725
26	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.435	3.707
27	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.421	3.690
28	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.408	3.674
29	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.396	3.659
30	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.385	3.646
40	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.307	3.551
60	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	3.232	3.460
120	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617	3.160	3.373
∞	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.090	3.291

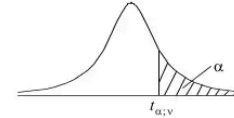
Teste-t



	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990

Table of the Student's z-distribution

The table gives the values of $t_{\alpha, \nu}$ where $\Pr(T_{\nu} > t_{\alpha, \nu}) = \alpha$, with ν degrees of freedom



ν \ α	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005	0.001	0.0005
1	3.078	6.314	12.076	31.821	63.657	318.310	636.620
2	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	22.326	31.598
3	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	10.213	12.924
4	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	7.173	8.610
5	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	5.893	6.869
6	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.208	5.959
7	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	4.785	5.408
8	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	4.501	5.041
9	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.297	4.781
10	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.144	4.587
11	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.025	4.437
12	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	3.930	4.318
13	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	3.852	4.221
14	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	3.787	4.140
15	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	3.733	4.073
16	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	3.686	4.015
17	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.646	3.965
18	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.610	3.922
19	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.579	3.883
20	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.552	3.850
21	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.527	3.819
22	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.505	3.792
23	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.485	3.767
24	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.467	3.745
25	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.450	3.725
26	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.435	3.707
27	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.421	3.690
28	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.408	3.674
29	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.396	3.659
30	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.385	3.646
40	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.307	3.551
60	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	3.232	3.460
120	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617	3.160	3.373
∞	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.090	3.291