



Relatório Final F-530 Instrumentação para a pesquisa



Aluno: Bruno Agrofoglio Ferreira
RA: 008188
agrofoglio arroba gmail.com

Orientador: Prof. Dr. José Joaquín Lunazzi

<http://portal.ifi.unicamp.br/component/contact/contact/211-pessoas/212-professores/274-141>



**Instituto de Física Gleb Wataghin
Universidade Estadual de Campinas
2015**

Índice

Índice	1
Introdução	2
Orientação	3
Ponto de partida do projeto	4
Aperfeiçoamentos	5
Código para o SciLab	10
Saída do código escrito em SciLab	12
Comentário do orientador	13
Apresentação no Evento de Consulta à Comunidade	13
Referências	14

Introdução

Nesta disciplina, objetiva-se o desenvolvimento ou aperfeiçoamento de equipamentos com a realização de medições científicas com precisão máxima em laboratório.

Com foco neste objetivo, retomamos o trabalho do professor doutor José Joaquín Lunazzi com dupla difração. O mesmo trabalho iniciou-se a partir de pesquisas do professor Lunazzi ainda no ano de 2002¹ junto a discente Noemí Inés Rodríguez Rivera sobre dupla difração da luz branca.

Este tema já foi abordado em tese de doutorado² e outros trabalhos de iniciação científica anteriores, sendo a última vez trabalhado pelo discente Cassemiro Ferreira da Silva Júnior em 2014 em seu trabalho de iniciação científica II, F-690, sob orientação do professor Lunazzi.

¹ J. J. Lunazzi and N. I. Rivera, “Pseudoscopic imaging in a double diffraction process with a slit”, Opt. Express 10,1368–1373 (2002).Diffraction.

² Lunazzi J J e Rivera R N, 2007, Imagens por dupla Difração com luz branca sem elementos intermediários.

Orientação

Para a orientação nesta disciplina, F-530, escolhi o professor doutor José Joaquín Lunazzi, por ser o mesmo o descobridor do fenômeno de formação de imagem por dupla difração e um dos maiores especialistas no assunto atualmente. O mesmo já havia orientado outros alunos em trabalhos anteriores no mesmo tema, possuindo publicações, artigos e novas descobertas em formação de imagem por dupla difração.

A orientação foi aceita pelo professor e os trabalhos iniciaram-se já na primeira semana do primeiro semestre letivo de 2015.

Ponto de partida do projeto

Este trabalho iniciou a partir do trabalho finalizado no semestre anterior, no qual desenvolveu-se um protótipo para confecção de um aparato para a formação de imagem por dupla difração. Ao término do trabalho anterior, já haviam sido definidas as dimensões do aparato, suas medidas e o tipo de corte a ser desenvolvido. Abaixo podemos observar o desenho para corte do aparato desenvolvido no segundo semestre de 2014 a partir do protótipo do professor Lunazzi.

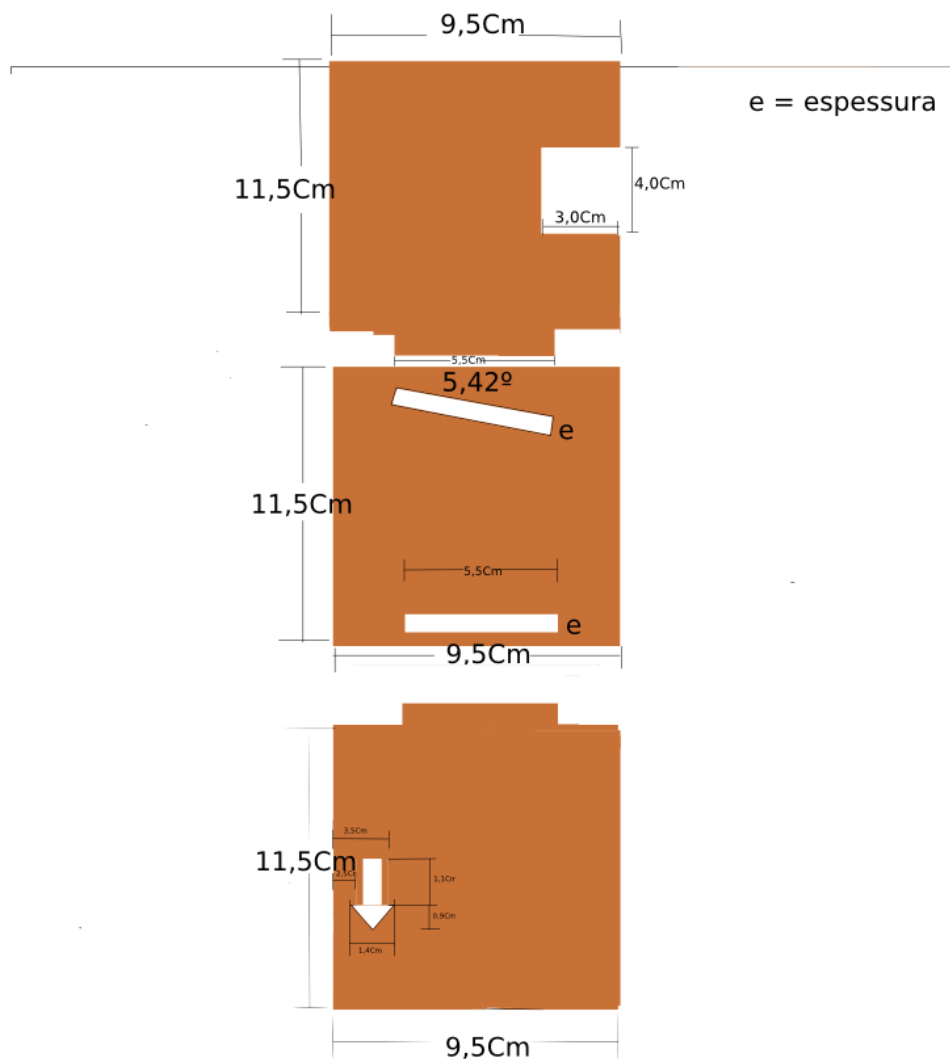


Figura 1: desenho para corte do aparato desenvolvido no segundo semestre de 2014

Aperfeiçoamentos

Desde a primeira semana, iniciamos os trabalhos sob o aparato criado pelo professor Lunazzi e desenhado digitalmente pelo aluno Casemiro em 2014. Logo, mostrou-se inviável a confecção a partir dos arquivos digitais deixados do semestre anterior, pelo excesso de linhas e curvas, as duas empresas que realizam corte à laser não puderam precisar um orçamento, o que nos levou a desenvolver um novo arquivo digital, a partir de uma nova caracterização do aparato original confeccionado pelo professor Lunazzi. Este arquivo também poderá ser alterado e aperfeiçoado ao longo do desenvolvimento do aparato para dupla difração utilizando CD.

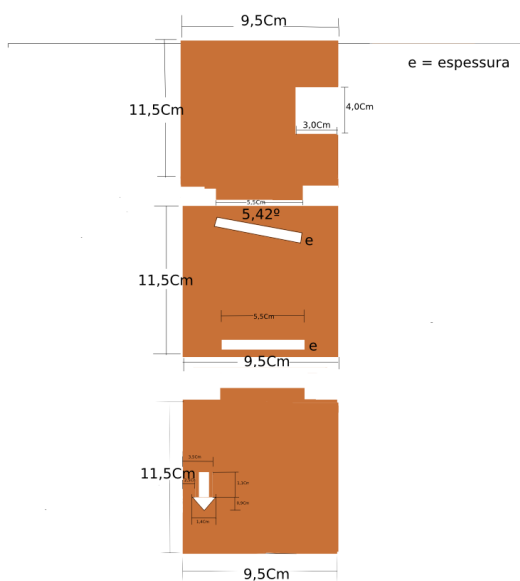


Figura 2: aparato desenhado em 2014

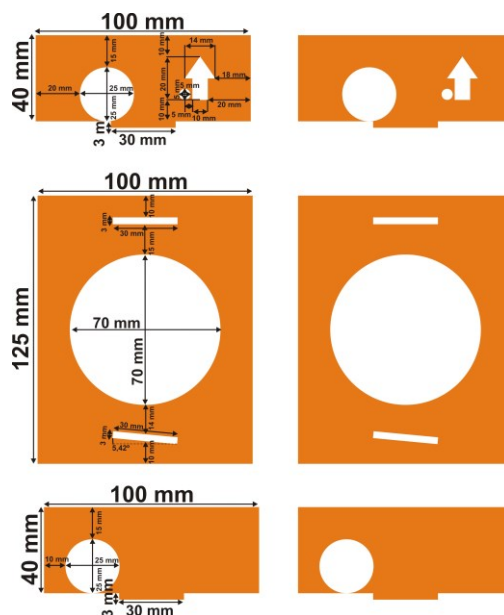


Figura 3: aparato desenhado em 2015



Figura 4: caracterização utilizando o protótipo do professor Lunazzi para confeccionar um novo aparato 1º semestre de 2015

Este novo aparato mostrou-se mais eficiente pois consumiu menos material que o primeiro protótipo e também mais leve o que otimizaria o custo para envio. A partir dele, também realizamos novas observações do fenômeno da dupla difração.

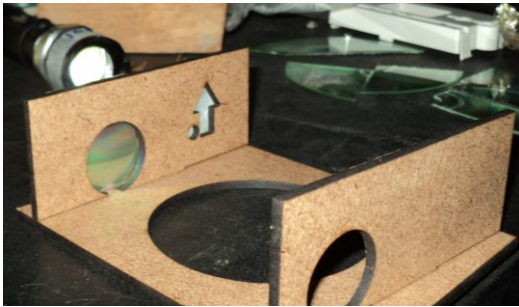


Figura 5: Novo aparato confeccionado através de corte à laser

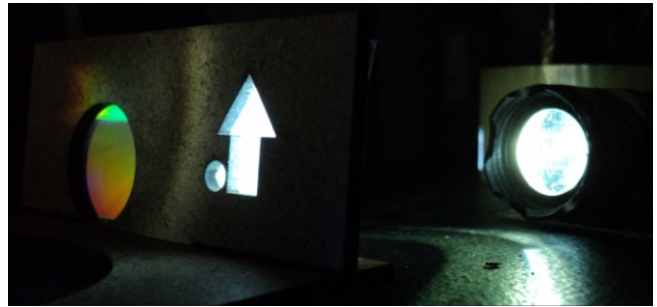


Figura 6: Aparato sendo iluminado por uma lanterna com LED branca



Figura 7: Seta vista invertida a partir da segunda difração na superfície do CD

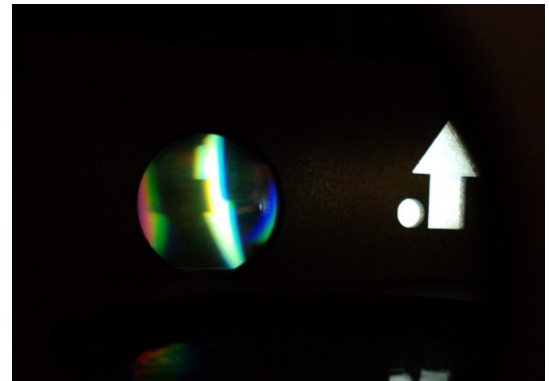


Figura 8: Imagem apresentando baixa aberração cromática e pequeno desvio vertical

Ao estudarmos o novo aparato desenvolvido, observamos um fenômeno não esperado, uma possível reflexão formando a imagem da seta apontando para cima, porém sabemos que pela geometria do aparato não seria possível ocorrer reflexão. Esse novo fenômeno necessitará de estudo adicional para detecção da origem e processo de formação.

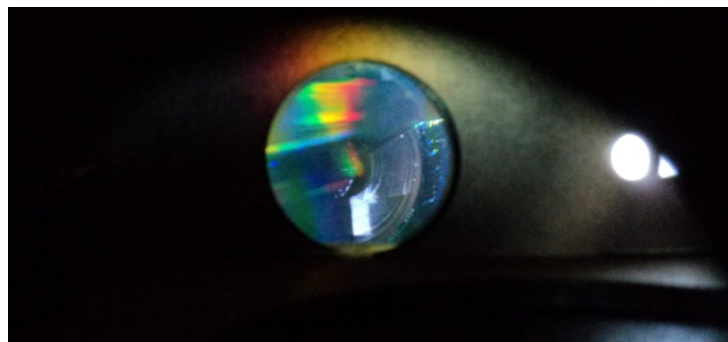


Figura 9: Fenômeno inesperado fotografado em laboratório

Durante as semanas de orientação, desenvolvemos um novo aparato, desta vez fechado, por sugestão do professor Lunazzi. Acreditamos que isso possibilitará a confirmação ou não da ocorrência do fenômeno inesperado. Este novo aparato também possibilita que realizemos o corte do CD à laser, assim teremos uma precisão melhor e também uma facilidade na montagem do aparato. Também foram pensadas otimização, maximizando o número de peças produzidas a partir de um CD, formando desta forma 8 peças. Cada aparato utiliza um par de peças, ou seja, com apenas um único CD podemos fornecer material para a confecção de 4 aparatos. Este aparato foi confeccionado e testado, demonstrando-se mais eficiente, pois diminui a entrada de luz cujo a origem não seja a forma de seta, evitando-se assim a contaminação por luz, o que gerava aberração cromática na imagem formada.

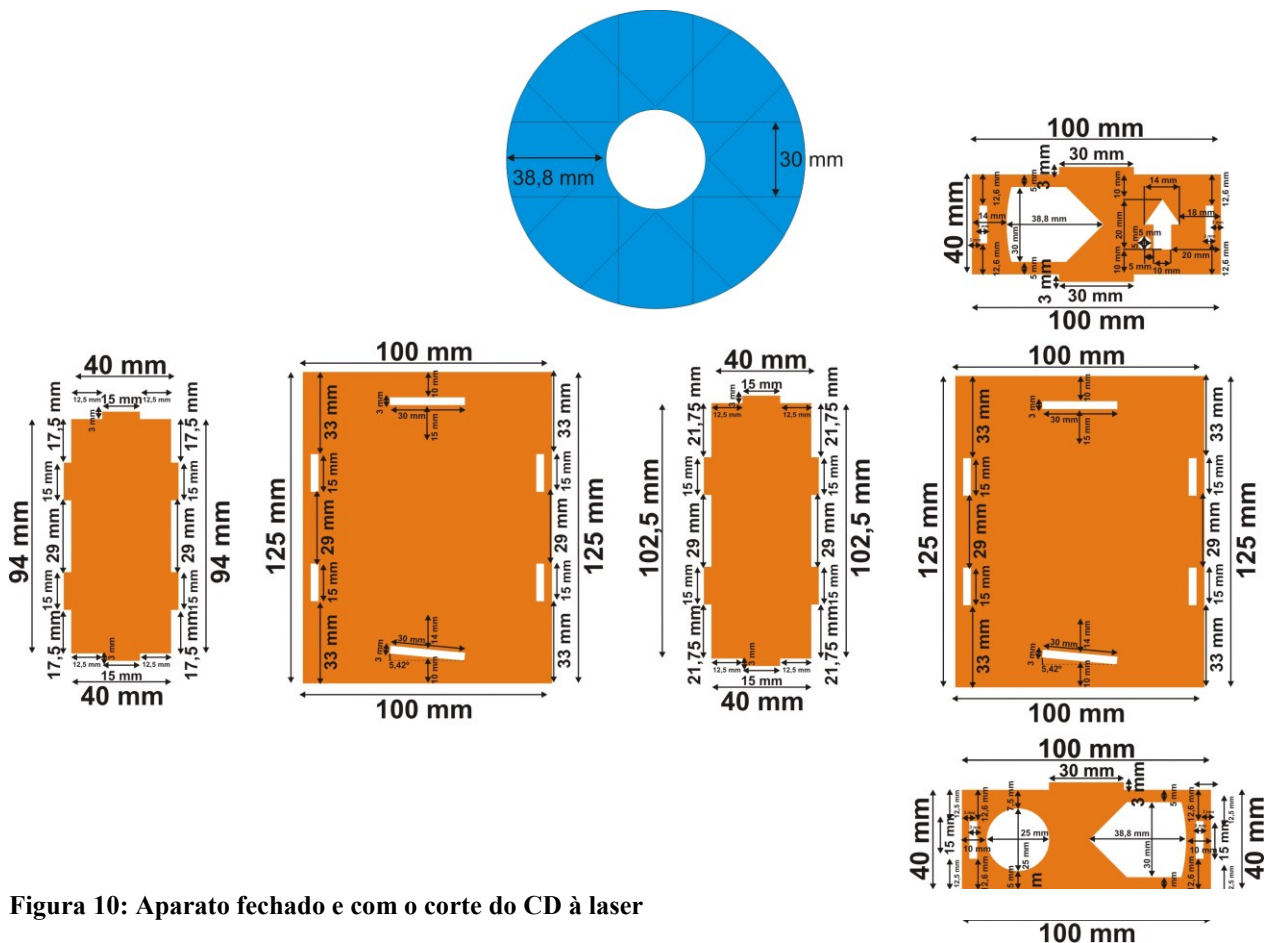


Figura 10: Aparato fechado e com o corte do CD à laser



Figura 11: Vista traseira do protótipo



Figura 12: Vista frontal do protótipo



Figura 13: Protótipo do aparato visto sem a proteção contra entrada de luz



Figura 14: Protótipo do aparato com a primeira superfície difrativa e abertura em forma de seta



Figura 15: Primeiro aparato cortado a laser com otimização dos encaixes

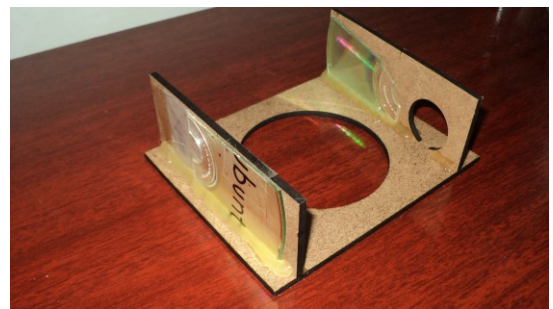


Figura 16: Aparato otimizado para transporte, porém vulnerável a entrada de luz contaminante



Figura 17: Segundo aparato cortado a laser junto ao objeto difrativo cortado a laser

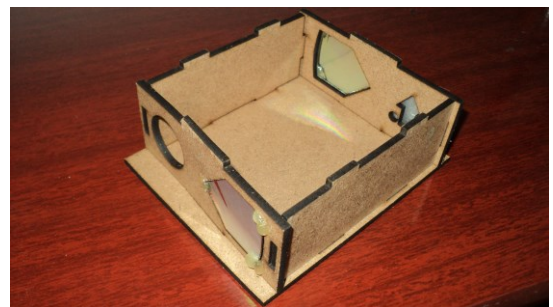


Figura 18: Vista interna do aparato fechado, proteção contra a luz não proveniente da seta

Este trabalho foi desenvolvido até certo tempo com outro aluno responsável pelo cálculo dos ângulos de entrada e de saída dos raios no objeto difrativo. Em seguida, eu continuei o trabalho computacional desenvolvendo o código para o programa livre SciLab. O cálculo dos ângulos de entrada e saída dos raios na difração foi retirado da tese de doutorado da aluna Noemí³.

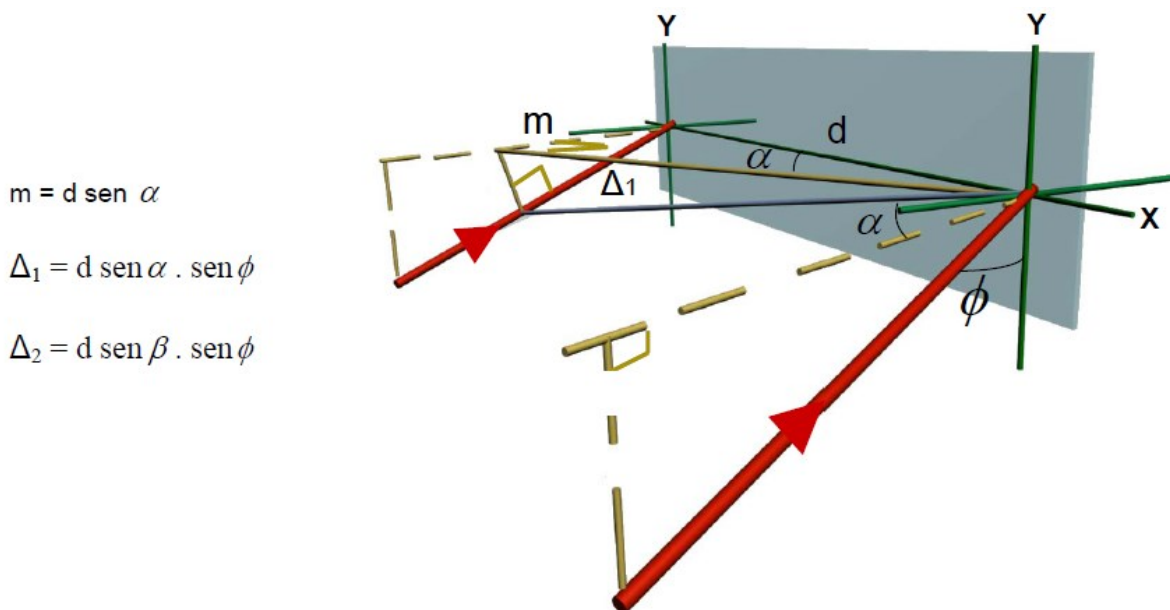


Figura 19: desenho tridimensional esquematizando os ângulos de entrada na rede de difração

$$\text{sen } \alpha + \text{sen } \beta = \frac{\lambda \cdot n}{d \text{ sen } \phi}$$

Figura 20: equação geral da rede de difração

A partir de algumas medições realizadas em laboratório no encontro semanal do dia 23 de abril de 2015, pude caracterizar a rede de difração que utilizamos para entender o fenômeno da dupla difração e também servir de alimentação para o nosso programa Scilab para calcular as respectivas saídas e também checar o número de linhas da rede de difração.

Laser verde (532 nm)	Laser vermelho (650 nm)
$\phi_{i \text{ mínimo}} = 16,6^\circ$	$\phi_{i \text{ mínimo}} = 20,1^\circ$
$\phi_{i \text{ máximo}} = 17,3^\circ$	$\phi_{i \text{ máximo}} = 21,8^\circ$
$\beta_{i \text{ mínimo}} = 15,3^\circ$	$\beta_{i \text{ mínimo}} = 19,2^\circ$
$\beta_{i \text{ máximo}} = 16,4^\circ$	$\beta_{i \text{ máximo}} = 20,7^\circ$

³ Lunazzi J J e Rivera R N, 2007, Imagens por dupla Difração com luz branca sem elementos intermediários.

Código para o SciLab

```
printf("\n\nCálculo da distância entre as fendas ( d ) de uma rede de difração:\n\n")
n=1;
lambdavermelho=650*10^-9;
lambdaverde=532*10^-9;
alphavermelhomingraus=0;
alphavermelhomaxgraus=0;
alphaverdemingraus=0;
alphaverdemaxgraus=0;
betavermelhomingraus=19.2;
betavermelhomaxgraus=20.7;
betaverdemingraus=15.3;
betaverdemaxgraus=16.4;
phivermelhomingraus=20.1;
phivermelhomaxgraus=21.8;
phiverdemingraus=16.6;
phiverdemaxgraus=17.3;
alphavermelhomin=(alphavermelhomingraus*%pi)/180;
alphavermelhomax=(alphavermelhomaxgraus*%pi)/180;
alphaverdemin=(alphaverdemingraus*%pi)/180;
alphaverdemax=(alphaverdemaxgraus*%pi)/180;
betavermelhomin=(betavermelhomingraus*%pi)/180;
betavermelhomax=(betavermelhomaxgraus*%pi)/180;
betaverdemin=(betaverdemingraus*%pi)/180;
betaverdemax=(betaverdemaxgraus*%pi)/180;
phivermelhomin=(phivermelhomingraus*%pi)/180;
phivermelhomax=(phivermelhomaxgraus*%pi)/180;
phiverdemin=(phiverdemingraus*%pi)/180;
phiverdemax=(phiverdemaxgraus*%pi)/180;
senoalphavermelhomin=sin(alphavermelhomin);
```

```
senoalphavermelhomax=sin(alphavermelhomax);
senoalphaverdemin=sin(alphaverdemin);
senoalphaverdemax=sin(alphaverdemax);
senobetavermelhomin=sin(betavermelhomin);
senobetavermelhomax=sin(betavermelhomax);
senobetaverdemin=sin(betaverdemin);
senobetaverdemax=sin(betaverdemax);
senophivermelhomin=sin(phivermelhomin);
senophivermelhomax=sin(phivermelhomax);
senophiverdemin=sin(phiverdemin);
senophiverdemax=sin(phiverdemax);
dvermelhomin=(lambdavermelho*n)/(senophivermelhomax*(senoalphavermelhomax+senobetavermelhomax));
dvermelhomax=(lambdavermelho*n)/(senophivermelhomin*(senoalphavermelhomin+senobetavermelhomin));
dverdemin=(lambdaverde*n)/(senophiverdemax*(senoalphaverdemax+senobetaverdemax));
dverdemax=(lambdaverde*n)/(senophiverdemin*(senoalphaverdemin+senobetaverdemin));

printf("d vermelho min (m) = %.9f\n", dvermelhomin);
printf("d vermelho max (m) = %.9f\n", dvermelhomax);
printf("d verde min (m) = %.9f\n", dverdemin);
printf("d verde max (m) = %.9f\n", dverdemax);

rdvermelhomin=dvermelhomin*10^9;
rdvermelhomax=dvermelhomax*10^9;
rdverdemin=dverdemin*10^9;
rdverdemax=dverdemax*10^9;

printf("d vermelho min (nm) = %f\n", rdvermelhomin);
printf("d vermelho max (nm) = %f\n", rdvermelhomax);
printf("d verde min (nm) = %f\n", rdverdemin);
printf("d verde max (nm) = %f\n", rdverdemax);
```

Saída do código escrito em SciLab

```
-->exec('C:\Bruno\Bruno\Unicamp\F530\Códigos\SciLab\equacaonesimaordemdifracao.sce', -1)
```

Cálculo da distância entre as fendas (d) de uma rede de difração:

d vermelho min (m) = 0.000004952

d vermelho max (m) = 0.000005751

d verde min (m) = 0.000006336

d verde max (m) = 0.000007057

d vermelho min (nm) = 4951.657061

d vermelho max (nm) = 5751.285497

d verde min (nm) = 6336.255918

d verde max (nm) = 7057.063710

```
-->exec('C:\Bruno\Bruno\Unicamp\F530\Códigos\SciLab\equacaonesimaordemdifracao.sce', -1)
```

Cálculo da distância entre as fendas (d) de uma rede de difração:

```
d vermelho min (m) = 0.000004952
d vermelho max (m) = 0.000005751
d verde min (m) = 0.000006336
d verde max (m) = 0.000007057
d vermelho min (nm) = 4951.657061
d vermelho max (nm) = 5751.285497
d verde min (nm) = 6336.255918
d verde max (nm) = 7057.063710
```

Nome	Value	Tipo	Visibilidade
rdverdemax	7.06e+03	Real	local
rdverdemax	6.34e+03	Real	local
rdvermelhomax	5.75e+03	Real	local
rdvermelhomin	4.95e+03	Real	local
dverdemax	7.06e-06	Real	local
dverdemax	6.34e-06	Real	local
dvermelhomax	5.75e-06	Real	local
dvermelhomin	4.95e-06	Real	local
senophverdemax	0.297	Real	local
senophverdemax	0.286	Real	local
senophvermelhomin	0.371	Real	local
senophvermelhomin	0.344	Real	local
senobetaverdemax	0.282	Real	local
senobetaverdemax	0.264	Real	local
senobetaverdemax	0.353	Real	local
senobetaverdemax	0.329	Real	local
senoalphaverdemax	0	Real	local

```
// -- 30/04/2015 15:07:25 -- //
// -- 14/05/2015 14:12:47 -- //
// -- 18/05/2015 20:10:06 -- //
// -- 19/05/2015 09:28:48 -- //
// -- 20/05/2015 21:37:47 -- //
// -- 21/05/2015 09:46:01 -- //
// -- 21/05/2015 12:14:50 -- //
// -- 21/05/2015 14:36:34 -- //
// -- 21/05/2015 18:54:22 -- //
// -- 28/05/2015 17:02:13 -- //
// -- 02/06/2015 17:06:14 -- //
// -- 06/06/2015 01:58:48 -- //
// -- 08/06/2015 21:34:50 -- //
// -- 08/06/2015 21:34:50 -- //
```

Comentário do orientador

Apresentação da opinião do orientador do projeto, professor Doutor José Joaquín Lunazzi:

"O Bruno está realizando um trabalho excelente, é muito interessado e eficiente".

Apresentação no Evento de Consulta à Comunidade

Este trabalho será apresentado no evento de consulta à comunidade na quarta-feira, dia 10 de junho de 2015, das 17 horas às 19 horas.

Referências

Lunazzi J J e Rivera R N, 2002, Pseudoscopic imaging in a double diffraction process with a slit, *Opt. Express* 10,1368–1373.

Lunazzi J J e Magalhães D S F, 2002, Difração por CDs e ondas X.

Lunazzi J J e Govêa T S, 2004, Obtenção de imagens através da difração da luz por CDs.

Lunazzi J J e Rivera R N, 2005, Double Diffraction White Light imaging : First Result with bidimensional Diffraction.

Lunazzi J J e Magalhães D S F, 2005, Estudo de Imagens por Dupla Difração com Seleção de Luz Branca e Elementos Definidos Bidimensionalmente.

Lunazzi J J e Rivera R N, 2007, Imagens por dupla Difração com luz branca sem elementos intermediários.

Lunazzi J J e Magalhães D S F, 2009, Fazendo imagens com um simples elemento refrativo ou difrativo: O axicon.

Catelli F e Libardi H, 2010, CDs como lentes difrativas.

Lunazzi J J e Cassemiro S F J, 2014, Estudo da imagem por Difração por meio de um CD.