

Universidade Estadual de Campinas  
Instituto de Física Gleb Wataghin  
Laboratório de Óptica

**Registrar um holograma fixo em um cristal  
de niobate de lítio, usando fibras óticas.  
(auto-estabilização e gravação e  
compensação simultâneas)**

Aluno:

Jan Paul von Bassewitz

Orientador:

Prof. Jaime Frejlich Sochaczewsky

# CONTEÚDO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>2</b>
<b>2 TEORIA .....</b>	<b>3</b>
2.1 Hologramas .....	3
2.2 Materiais fotorrefrativos.....	3
2.3 Holograma no volume .....	4
2.4 Estabilização .....	5
2.5 Obtenção da eficiência de difração .....	6
2.6 Fixar um holograma.....	7
<b>3 EXPERIMENTO .....</b>	<b>8</b>
3.1 Montagem experimental .....	8
3.2 Estabilização e o movimento do PZT .....	9
3.3 Medidas .....	11
3.4 Resultados .....	12
<b>4 CONCLUSÃO &amp; FUTUROS EXPERIMENTOS .....</b>	<b>12</b>
4.1 Futuros experimentos.....	13
<b>5 BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>14</b>
<b>6 ANEXO.....</b>	<b>15</b>
6.1 Programa para analisar os dados.....	15
6.2 Planos da câmera de vácuo.....	18

# 1 Introdução

Montagens holográficas usam componentes complexos e também são muito sensíveis a perturbações ambientais, como flutuações de temperatura ou vibrações mecânicas. A gravação holográfica no  $\text{LiNbO}_3:\text{Fé}$  é muito lenta, portanto registrar um holograma só é possível com uma técnica de estabilização.

Fixar hologramas no  $\text{LiNbO}_3:\text{Fé}$  é muito eficiente quando a gravação e compensação (H+) são feitas em temperaturas moderadas ( $120^\circ\text{C}$ ). Quando registramos hologramas em temperaturas elevadas, são adicionadas dificuldades por causa de convecções de ar, que podem atrapalhar e até impedir a gravação. Portanto, é necessário gravar no vácuo para conseguir um holograma melhor. Introduzir feixes de luz numa câmara de vácuo, sem distorcer a frente de onda, não é uma tarefa muito fácil. Para resolver todos esses problemas, nós construímos um aparato compacto usando fibras óticas. As fibras matêm a polarização do feixe de luz e a introduzem numa câmara de vácuo, onde fica a amostra aquecida, sem deformação do padrão de luz. Em qualquer caso, é necessário gravar hologramas na condição de auto-estabilização, devido ao grande tempo de gravação.

Nosso trabalho foi dividido em três etapas. A primeira é gravar um holograma usando fibras óticas na temperatura ambiente. O segundo é construir a câmara de vácuo e o terceiro é registrar um holograma em altas temperaturas para obter um holograma compensado, que pode vir a ser revelado num holograma fixo de boa qualidade.

## 2 Teoria

### 2.1 Hologramas

A técnica holográfica permite registrar informações de um objeto num material, e depois lê-las. Essas informações podem ser, por exemplo, a fase ou a amplitude de uma onda. Os hologramas possuem propriedades particulares que os fazem interessantes como ferramentas para processamento de imagens e como meio de armazenamento de informações (memória ótica).

### 2.2 Materiais fotorrefrativos

Materiais fotorrefrativos são definidos como sendo fotocondutores e eletro-ópticos. Isso significa que sob a ação de iluminação não-uniforme, portadores de cargas são excitados de centros foto ativos na banda proibida até a banda de condução (Figura 1) onde se movem por difusão e/ou arraste sob campo elétrico externo. As cargas se acumulam nas regiões menos iluminadas ( Figura 2 ), gerando assim desequilíbrios elétricos locais associados à distribuição de luz. Esses desequilíbrios geram campos elétricos, que produzem mudanças no índice de refração no volume do material, via efeito eletro-ótico (Figura 2).

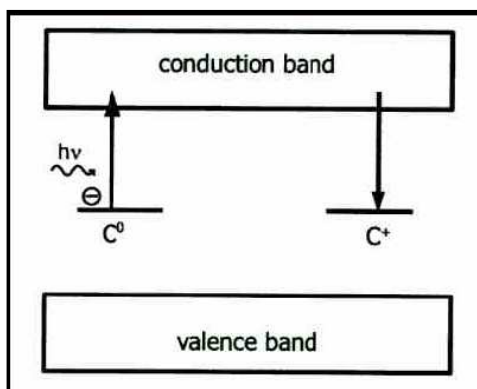


Figura 1: Modelo de um centro [1]

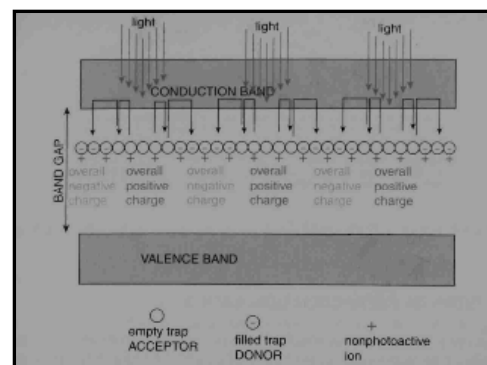
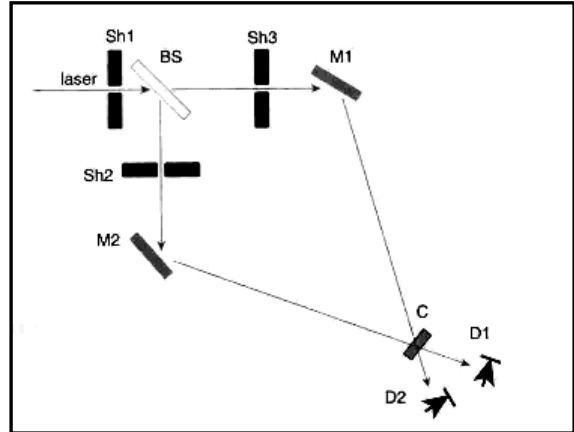


Figura 2: Movimentação dos portadores de cargas por causa da iluminação [1]

### 2.3 Holograma no volume

Considere dois feixes de luz, de energia capaz de excitar elétrons de centros fotoativos, monocromáticos e coerentes, incidindo simetricamente na amostra fotorrefrativa, conforme mostra a figura 3. Sendo a amostra fotocondutora, sob ação do padrão de interferência, elétrons são excitados do centro fotoativo para a banda de condução, onde difundem. Eles são capturados, depois são novamente excitados, até que, no equilíbrio, eles se acumulam nas regiões menos iluminadas da amostra. Isso faz com que seja formada uma distribuição de cargas no volume do material, e conseqüentemente, um campo elétrico modulado. Devido ao efeito eléto-óptico, essa modulação de campo irá produzir alteração no índice de refração da amostra, formando um holograma (Figura 5).

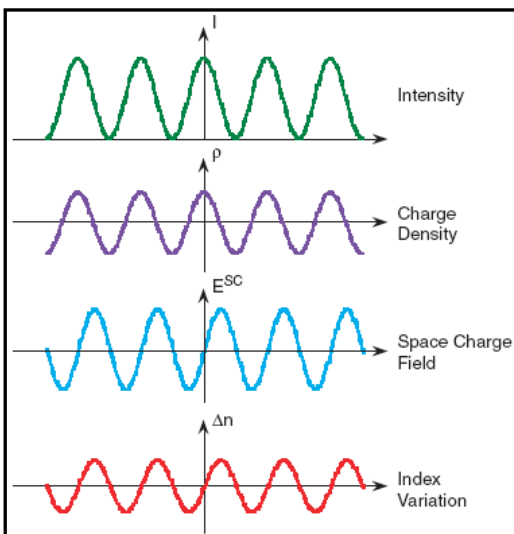


**Figura3:** Montagem holográfica. C: Cristal D: detectores M: espelhos BS: divisor de feixe [1]

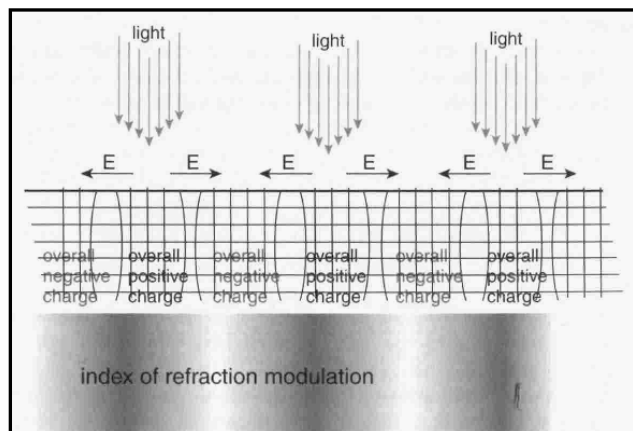
Na figura 4, é mostrado o padrão senoidal de luz. A fase do campo elétrico, e conseqüentemente a modulação do índice de refração, está deslocado por 90° em relação com a fase do padrão de luz.

A potência do holograma é medida através da eficiência de difração  $\eta$ . Quando a luz chega ao cristal com o ângulo de Bragg, uma parte da luz será difratada e outra será transmitida (Figura 7). A eficiência de difração é definida como se segue:

$$\eta = \frac{I^d}{I^0} \text{ with } I^0 \equiv I^t + I^d \quad (1)$$



**Figura 4:** diferença de fase entre a distribuição de cargas e a modulação do índice de refração.



**Figura 5:** Distribuição de cargas e o campo elétrico, que modula o índice de refração.

## 2.4 Estabilização

A montagem holográfica é muito sensível a perturbações. O jeito mais fácil de superar essas instabilidades é realizar uma gravação estabilizada. É ainda melhor fazer uma auto-estabilização, onde é usado o próprio holograma como referência da posição relativa das franjas, do que usar uma referencia externa.

Gravação holográfica em materiais fotorrefrativos é um processo dinâmico, onde a interação entre os feixes de gravação (figura 7) resulta num processo chamado auto-difração. Neste caso, a luz total na direção  $I_S$ , atrás da amostra, pode ser escrita como:

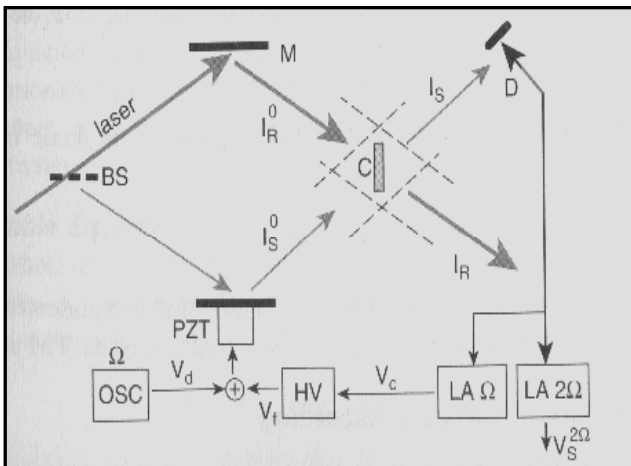
$$I_S = I_S^0(1-\eta) + I_R^0\eta + 2\sqrt{\eta(1-\eta)}\sqrt{I_S^0I_R^0}\cos(\varphi + \Psi_d\sin(\Omega t)) \quad (2)$$

$$\Psi_d\sin(\Omega t) \equiv \varphi_N \quad (3)$$

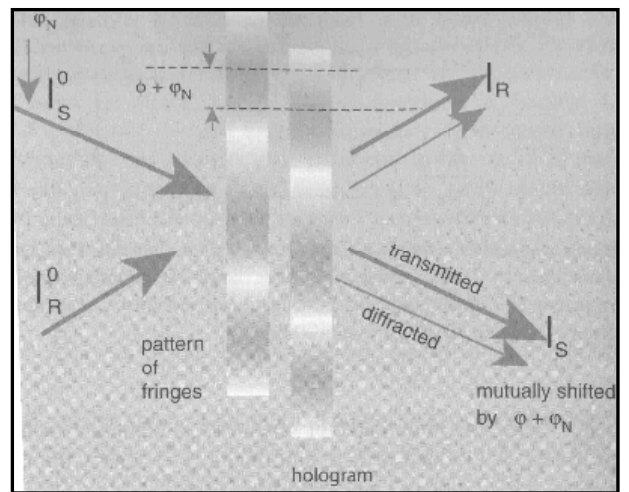
onde  $I_R^0$  e  $I_S^0$  são as intensidades incidentes dos feixes na amostra,  $\varphi$  é diferença de fase entre a luz difratada e transmitida. O feixe  $I_S^0$  é modulado com frequência angular  $\Omega$ , muito maior do que o tempo de resposta do material e uma amplitude pequena ( $\Psi_d \ll 1$ ). Dessa forma,  $I_S$  pode-ser expandido em termos de  $\Omega$ , cujos primeiros dois harmônicos podem ser escritos como:

$$I_S^\Omega = -4J_1(\Psi_d)\sqrt{\eta(1-\eta)}\sqrt{I_S^0I_R^0}\sin(\varphi + \varphi_N) \quad (4) \quad I_S^{2\Omega} = -4J_2(\Psi_d)\sqrt{\eta(1-\eta)}\sqrt{I_S^0I_R^0}\cos(\varphi + \varphi_N) \quad (5)$$

onde  $J_1$  e  $J_2$  são as funções de Bessel de primeira e segunda ordem.  $I_S^{2\Omega}$  é usado como sinal de erro, porque a fase natural  $\varphi$  é  $90^\circ$  para  $\text{LiNbO}_3$ .



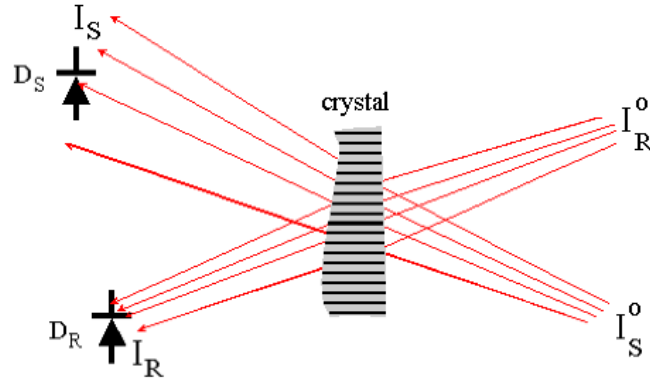
**Figura 6 :** montagem holográfica auto estabilizada. HV: fonte de alta tensão, PZT: pizo elétrico vibrando a frequência  $\Omega$ , OSC: oscilador com frequência  $\Omega$ , LA2 $\Omega$ : amplificador lock in setado em  $2\Omega$ , BS: divisor de feixe [1]



**Figura 7:** A intensidade de luz depois da amostra, ao longo das direções de luz incidente, é a adição coerente dos feixes transmitido e difratado. Dois detectores, com diferentes tempos de resposta são centrados na mesma janela do cristal.  $\varphi_N$  é a disposição da fase operada.  $\varphi$  é fase natural do holograma. [1]

## 2.5 Obtenção da eficiência de difração

Suponha que temos um holograma num cristal e estamos lendo este holograma com o mesmo feixe que foi usado para gravá-lo (figura 8). Suponha também que temos apenas uma ordem de reflexão de Bragg.



**Figura 8:** A intensidade de luz depois da amostra ao longo das direções de luz incidente é a adição coerente dos feixes transmitido e difratado. Dois detectores, com diferentes tempos de respostas são centrados na mesma ianeta do cristal. [2]

Os dois detectores  $D_S$  e  $D_R$  têm sensibilidades e tempos de resposta diferentes:

$$V_S = K_S I_S \quad (6) \quad V_R = K_R I_R \quad (7)$$

Nós consideramos que a intensidade da luz transmitida e difratada pode ser escrita como

$$I_S = I_S^{i0} (1 - \eta) + I_R^{i0} \eta - 2\sqrt{\eta(1-\eta)} \sqrt{I_S^0 I_R^0} \cos(\varphi) \quad (8)$$

$$I_R = I_R^{i0} (1 - \eta) + I_S^{i0} \eta - 2\sqrt{\eta(1-\eta)} \sqrt{I_S^0 I_R^0} \cos(\varphi) \quad (9)$$

(a) Primeiro: O feixe  $I_R^0$  está fechado e os dois detectores medem os sinais transmitido e difratado.

$$V_S^S = K_S I_S^{i0} (1 - \eta) \quad (10) \quad V_S^R = K_R I_S^{i0} \eta \quad (11)$$

(b) Depois, abre-se  $I_R^0$  e fecha-se  $I_S^0$ , e a medida é repediada.

$$V_R^R = K_R I_R^{i0} (1 - \eta) \quad (12) \quad V_R^S = K_S I_R^{i0} \eta \quad (13)$$

Com as equações (8)-(13) nós calculamos:

$$\frac{V_S^S}{V_R^S} * \frac{V_R^R}{V_S^R} = \left[ \frac{1-\eta}{\eta} \right]^2 \quad (14)$$

Isso significa que a eficiência de difração pode ser medida em tempo real sem qualquer calibração [2].

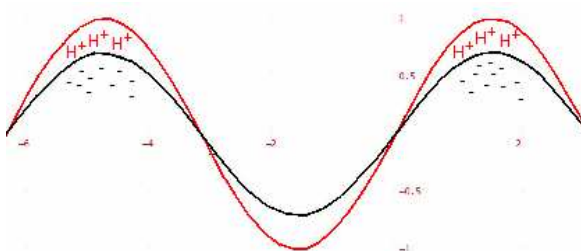
## 2.6 Fixar um holograma

Materiais fotorrefrativos são essencialmente matérias reversíveis, conseqüentemente não são úteis para guardar informações, se não forem mantidos no escuro. É possível fixar um holograma em alguns materiais usando técnicas especiais, onde a distribuição de elétrons é substituída por cargas não fotossensíveis. Para o cristal de  $\text{LiNbO}_3$ , a técnica clássica possui três passos.

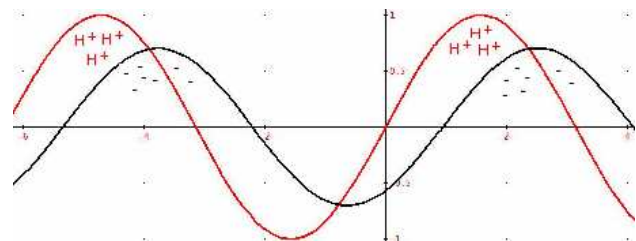
O primeiro, é registrar um campo de cargas espaciais no cristal através da excitação fotônica dos elétrons na temperatura ambiente. O passo seguinte é esquentar a amostra para aumentar a movimentação dos íons de  $\text{H}^+$  no cristal. Os íons neutralizam o campo de carga espacial que foi gravado holograficamente. Na figura 9, a distribuição de cargas é mostrada. O ultimo passo é fixar a distribuição das cargas. Isto é conseguido resfriando a amostra para a temperatura ambiente. Depois, é aplicada uma luz uniforme à amostra, para apagar o holograma, e conseqüentemente mudar a fase da distribuição das cargas (figura 10). O resultado é uma distribuição de cargas positivas estável, por que os íons de  $\text{H}^+$  não são fotossensíveis.

A técnica da auto-estabilização permite gravar uma distribuição de cargas com uma eficiência de difração de até  $\eta=100\%$ . Mais do que 100% não é possível, pois os dois feixes não interferem mais. Depois da compensação com íons de  $\text{H}^+$  e da iluminação uniforme, a eficiência de difração só chega a  $\eta=3\%$ .

Para conseguir um resultado melhor, é possível usar a técnica de auto-estabilização para gravar e compensar simultaneamente em temperaturas moderadas. Isso significa que uma distribuição de cargas é gravada e compensada imediatamente. Dessa forma, é possível gravar uma distribuição de cargas equivalente com uma eficiência maior do que  $\eta=100\%$  (expressão comum na literatura científica).



**Figura 9:** Distribuição de cargas no cristal antes da iluminação



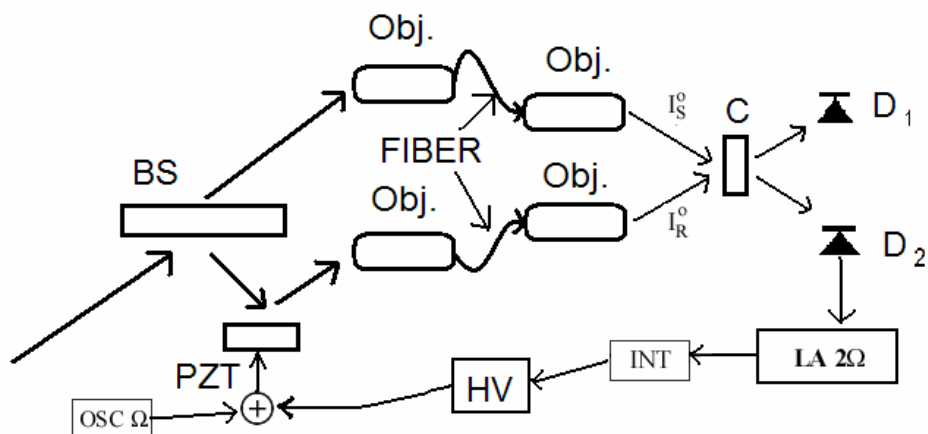
**Figura 10:** Destituição das cargas no cristal antes da iluminação



## 3 Experimento

### 3.1 Montagem experimental

Este experimento tem como objetivo gravar um holograma, com a maior eficiência de difração possível, usando fibras óticas. Na figura 11 a montagem experimental é mostrada esquematicamente. O feixe do laser é dividido em dois. Um feixe entra na fibra diretamente e o outro é refletido por um espelho pizo-elétrico antes de entrar em outra fibra. As fibras mantêm a polarização da luz. Para conseguir isso, um dos eixos óticos tem que estar alinhado exatamente com a polarização do feixe de entrada. Entretanto, não é possível gravar com o feixe que sai da fibra diretamente, porque a frente de onda é esférica. Para resolver este problema, nós usamos objetivas de microscópio, que produzem frentes de onda plana, que são necessárias para conseguir gerar um padrão de interferência bem definido.



**Figure 11:** Descrição esquemática da montagem experimental . C: Cristal de  $\text{LiNbO}_3$ , D: fotodetector, HV: fonte de alta tensão, PZT: espelho pizo elétrico vibrando a frequência  $\Omega$ , OSC: oscilador com frequência  $\Omega$ , LA2 $\Omega$ : amplificador lock in setado em  $2\Omega$ , BS: divisor de feixe.

### **3.2 Estabilização e o movimento do PZT**

A auto estabilização é feita utilizando o sinal de um dos harmônicos como sinal de erro. Isso faz com que, necessariamente, seja imposto o valor zero para o harmônico escolhido. A única forma do harmônico obter esse valor é fazendo  $\varphi + \varphi_N = 0$  no caso do primeiro harmônico, ou  $\varphi + \varphi_N = 90^\circ$  para outro caso. Quando a fase do holograma for diferente da fase imposta, o holograma vai tentar voltar para a fase natural, isso faz com que ele seja apagado e reconstruído continuamente, produzindo um holograma correndo. O movimento do holograma pode ser observado através da evolução da tensão aplicada no PZT, que exibirá uma pendente.

O  $\text{LiNbO}_3$  não tem uma fase natural de exatamente  $90^\circ$ , por isso quando impomos o segundo harmônico é usado como sinal de erro, será obtido um holograma corrente. Dessa forma o PZT vai se mover, e quando chega no seu limite de tensão, o integrador precisa ser resetado.

Para medidas longas, não é viável resetar o PZT manualmente. Por isso foi construído um circuito (figura 12). Uma janela eletrônica, constituída com dois amplificadores operacionais, envia um sinal quando a tensão no PZT chega a um limite. Este sinal vai para uma chave que curto-circuita o capacitor do integrador, utilizado na estabilização, para resetá-lo. Com isso, o PZT retorna para sua posição original. Foi adicionado um circuito de espera (555) para dar tempo suficiente para descarregar o capacitor.

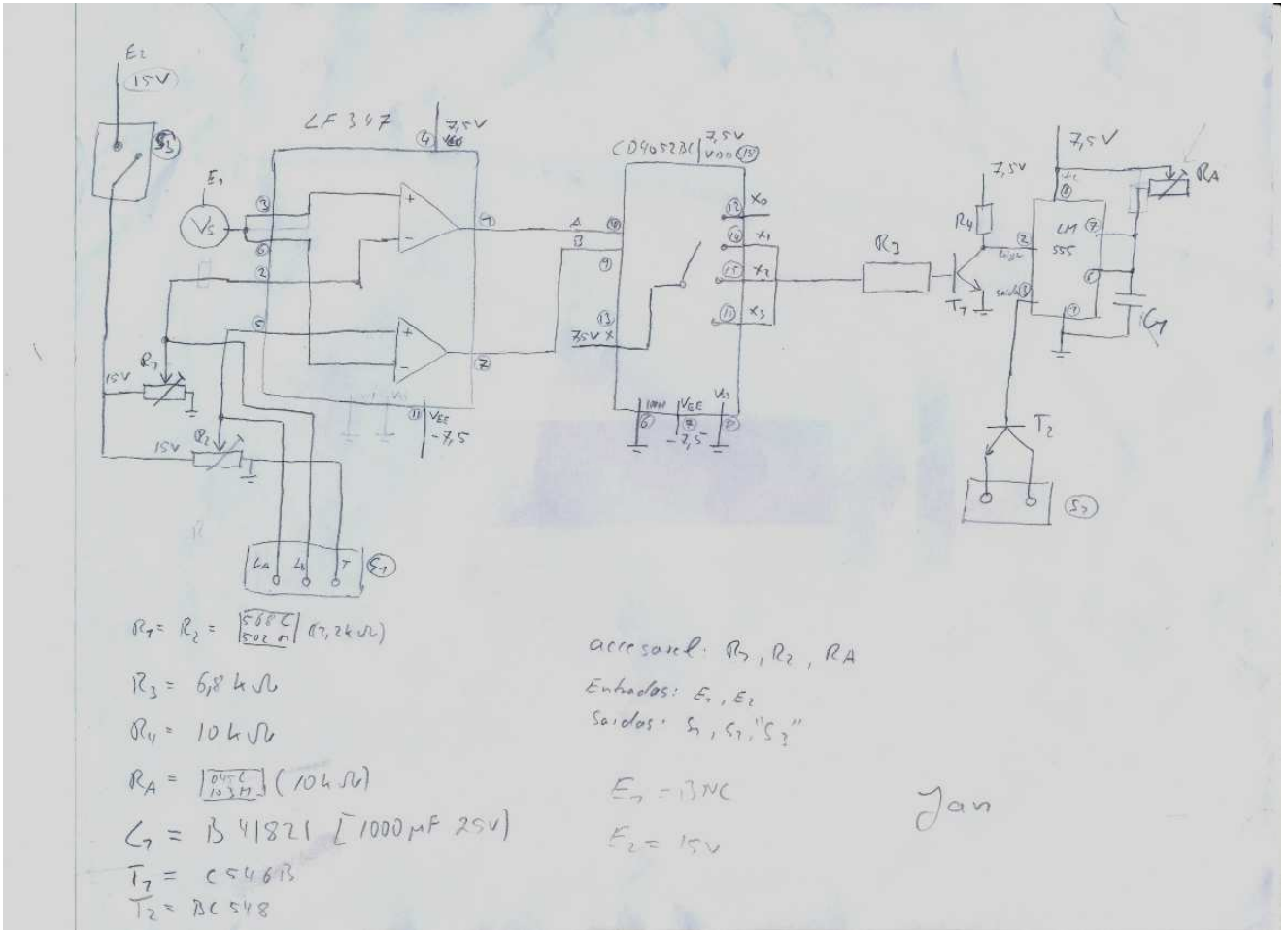


Figura 12: Circuito para resetar o integrador

### 3.3 Medidas

Para calcular a eficiência de difração nós usamos a formula (14). Na figura 13, é mostrada uma medida típica observada na tela do osciloscópio. Como foram realizadas muitas tentativas até conseguimos gravar um holograma com uma alta eficiência de difração, foi desenvolvido um programa para facilitar o tratamento de dados. Para analisar os dados, o programa identifica as partes planas do gráfico e calcula  $\eta$  automaticamente. Essas partes são as intensidades dos feixes transmitidos e difratados.

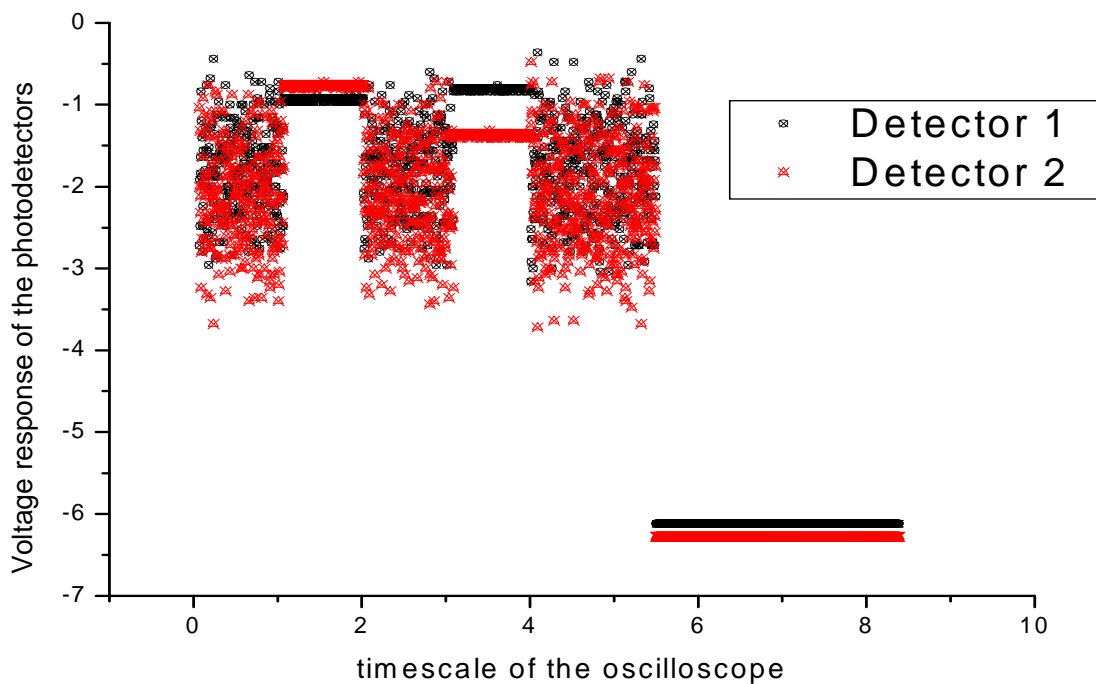


Figure 13: measurement to compute the refraction efficiency.

### 3.4 Resultados

Nós conseguimos gravar um holograma com uma eficiência de difração máxima de 85%, e o tempo de gravação foi de 145 minutos. Por causa do tempo muito longo a auto-estabilização foi essencial e também o circuito para resetar o PZT. Sem estabilizar nós não conseguimos gravar nenhum holograma.

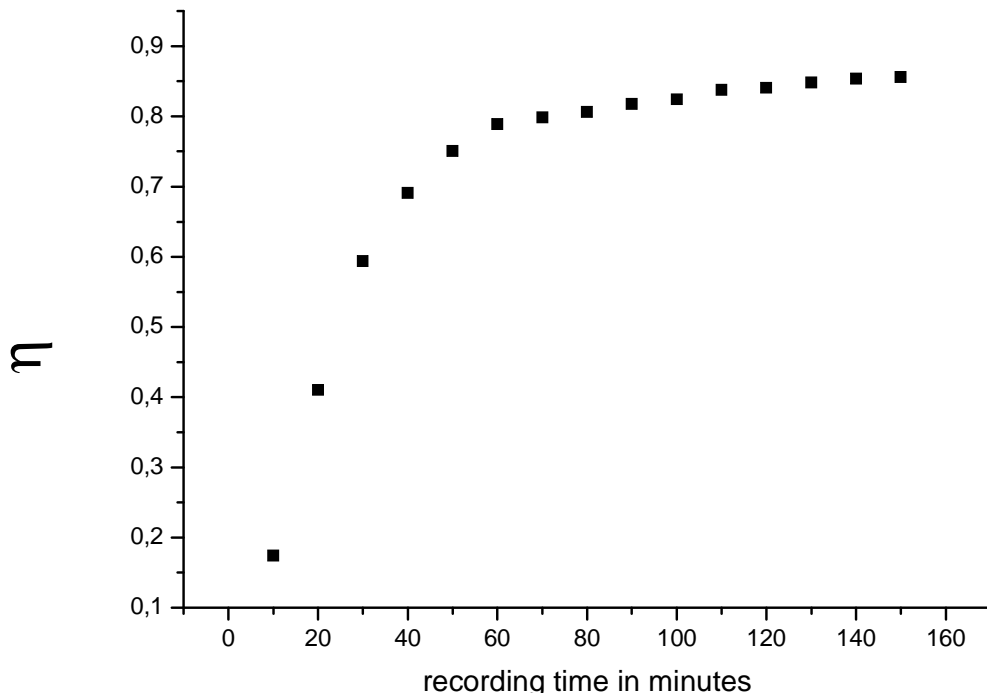


Figure 14: development of the refraction efficiency during recording.

## 4 Conclusão & futuros experimentos

Nós mostramos que é possível gravar um holograma num cristal de  $\text{LiNbO}_3$  usando fibras ópticas. A máxima eficiência de difração que nós conseguimos foi de 85 %, gravando por 145 minutos. Nós não sabemos ainda porque não foi possível atingir  $\eta = 100$  %. Talvez exista um holograma parasita na amostra.

Para gravar por um tempo longo, sem resetar o PZT manualmente, um circuito foi construído que controla a tensão que é aplicada no PZT, e reseta o integrador quando o PZT chega ao seu limite. Para analisar os dados, um programa foi desenvolvido no Mathematica, que processa os dados automaticamente.

#### 4.1 Futuros experimentos

Para registrar um holograma fixo, nós devemos gravar em temperaturas altas. Quando a amostra é esquentada, o ar em torno também esquentada e muitas perturbações aparecem. Essas perturbações deformam as frentes de onda e, portanto, atrapalham a gravação. Para superar este problema, nós construímos uma câmara de vácuo, onde vai ficar a amostra. Para inserir o feixe de luz sem deformação na câmara, objetivas de microscópio foram modificada para manter o vácuo e foram fixados na câmara. A amostra vai ser esquentada com uma resistência de um ferro de solda, e um controle automático vai manter a temperatura constante. Esperamos conseguir gravar um bom holograma fixo sem qualquer deformação.

O último passo vai ser substituir todas as peças na montagem por peças de fibra. O divisor de feixe por um divisor de fibra e o PZT por um modulador de fibra. Com isso esperamos ter uma montagem holográfica muito simples e menos sensível à perturbação.



Figura 15: A montagem da câmara de vácuo

## 5 Bibliografia

[1] FREJLICH, Jaime. Photorefractive Materials: Fundamentals Concepts, Holographic Recording and Material Characterization. John Wiley and Sons:06, New Jersey.

[2] I DE OLIVEIRA AND J FREJLICH. Diffraction efficiency measurement in photorefractive thick volume holograms. Journal of Optics A: pure and applied Optics 5 S428-S431 (2003).

[3] FRESCHI, A.A., FREJLICH, J. Adjustable phase control in stabilized interferometry. Opt Lett. 20:635-637, 1995.

[4] IVAN DE OLIVIERA AND JAIME FREJLICH. Holographic phase-shift measurement during development of a fixed grating in lithium niobate crystals. Opt. Lett. 28. No. 12 2003

## 6 Anexo

### 6.1 Programa para analisar os dados

```
In[1]:= diretorio = "D:/Uni/Unicamp/Hologramms LiNb/ohne
        kammer/mit stabilisation mit Zeiten/LiNbO30.1(2)/Daten";
NomeDir = "dados";
temp = "tempos.dat";
amostra = "LiNb:Fe";
cap = 4;

SetDirectory[diretorio];
pastas = FileNames[];
CreateDirectory[ToString[StringForm["`", NomeDir]]];
tempos = Import[temp];
tempos = Flatten[tempos];

f::Notes = "..... FUNÇÕES.....";
FuncArqu :=
  (If[StringTake[#1, -5] == "3.CSV",
    var1 = Import[#1, "Table"]; cont = "true",
    If[StringTake[#1, -5] == "4.CSV",
    var2 = Import[#1, "Table"]; cont2 = "true"]
  ) &;
FuncJoin := (Join[var1[[#1]], Drop[var2, {}, 1][[#1]]] &;
FuncChar := ({Characters[#1], Characters[#2]} &;
FuncList := ({ToExpression[StringJoin[Take[#1, {4, Length[#1] - 1}]]],
  ToExpression[StringJoin[Take[#2, {1, Length[#2] - 1}]]] &;
f::Notes = ".....";

resultado = {};
Print[StyleForm[StringForm["Amostra de `", amostra],
  FontFamily -> "Times", FontSize -> 20, FontWeight -> "Bold"]];
Print[
".....
....."]; For[1 = 1, 1 <= Length[pastas], 1++,
Clear[k, mediaV1, mediaV2, result];
If[StringTake[pastas[[1]], {-4}] == ".", i = i + 1,
SetDirectory[ToString[StringForm["`/`", diretorio, pastas[[1]]]]];
cont = "false"; cont2 = "false";
Apply[FuncArqu, Partition[FileNames[], 1], {1}];
If[cont == "true" && cont2 == "true",
Print[StyleForm[StringForm["Pasta: `", pastas[[1]]],
  FontFamily -> "Times", FontSize -> 14, FontWeight -> "Bold"]];
var1 = Apply[FuncList, Apply[FuncChar, Take[var1, {19, Length[var1]}], {1}], {1}];
var2 = Apply[FuncList, Apply[FuncChar, Take[var2, {19, Length[var2]}], {1}], {1}];
lis = Apply[FuncJoin, Table[{m}, {m, Length[var1]}], {1}];
SetDirectory[ToString[StringForm["`/`", diretorio, NomeDir]]];
Export[ToString[StringForm["`.dat", pastas[[1]]], lis];

graficos = {};
result = {};
jj = 1;
For[i = 1, i <= Length[var2] - 22, i++,
If[Abs[var2[[i, 2]]] < cap,
cont = "true";
For[k = i + 1, k <= i + 21, k++,
```



```

If[var1[[k, 2]] ≤ 1,
  If[Abs[var2[[k, 2]]] = 0, var2[[k, 2]] = 0.00001];
  If[Abs[(var2[[i, 2]] - var2[[k, 2]]) / var2[[k, 2]]] ≥ 0.15, cont = "false"],
  If [var2[[k, 2]] ≤ 1,
    If[Abs[(var1[[i, 2]] - var1[[k, 2]]) / var1[[i, 2]]] ≥ 0.15, cont = "false"],
    If[Abs[(var1[[i, 2]] - var1[[k, 2]]) / var1[[i, 2]]] ≥ 0.15 ||
      Abs[(var2[[i, 2]] - var2[[k, 2]]) / var2[[k, 2]]] ≥ 0.15, cont = "false"
    ]]];
If[cont == "true",
  k = i + 21;
  While[cont == "true",
    If[k == (Length[var1] - 1), cont = "false"];
    If[var1[[k, 2]] ≤ 1,
      If[Abs[var2[[k, 2]]] = 0, var2[[k, 2]] = 0.00001];
      If[Abs[(var2[[i, 2]] - var2[[k, 2]]) / var2[[k, 2]]] ≥ 0.15,
        cont = "false", k = k + 1],
      If [var2[[k, 2]] ≤ 1,
        If[Abs[(var1[[i, 2]] - var1[[k, 2]]) / var1[[i, 2]]] ≥ 0.15,
          cont = "false", k = k + 1],
        If[Abs[(var1[[i, 2]] - var1[[k, 2]]) / var1[[i, 2]]] ≥ 0.15 ||
          Abs[(var2[[i, 2]] - var2[[k, 2]]) / var2[[k, 2]]] ≥ 0.15,
          cont = "false", k = k + 1]]];
    mediaV1 = Mean[Take[Flatten[Drop[var1, {}, 1]], {i + 5, k - 5}]];
    mediaV2 = Mean[Take[Flatten[Drop[var2, {}, 1]], {i + 5, k - 5}]];
    AppendTo[result, mediaV2 / mediaV1];
    Print[jj, ") <V1>= ", mediaV1, ", <V2>= ", mediaV2,
      ", Tinitial= ", var1[[i + 5, 1]], ", Tfinal= ", var1[[k - 5, 1]]];
    jj = jj + 1;
    AppendTo[graficos, ListPlot[Take[var1, {i + 5, k - 5}], PlotStyle → {RGBColor[
      jj / 10, 0.5, jj / 10], PointSize[0.02]}, DisplayFunction → Identity]];
    AppendTo[graficos, ListPlot[Take[var2, {i + 5, k - 5}], PlotStyle → {RGBColor[
      jj / 10, 0.5, jj / 10], PointSize[0.02]}, DisplayFunction → Identity]];
    i = k + 20]]];
AppendTo[graficos,
  ListPlot[var1, PlotStyle → {PointSize[0.008]}, DisplayFunction → Identity]];
AppendTo[graficos, ListPlot[var2, PlotStyle → {PointSize[0.008]},
  DisplayFunction → Identity]];
Show[graficos, DisplayFunction → $DisplayFunction,
  PlotRange → All, ImageSize → 120 * 4];
If[Length[result] > 2, resp = Input[StringForm[
  "O programa não conseguiu identificar apenas 2 grupos de degraus, ele
  identificou ``. Observe o gráfico que foi impresso na tela e informe
  na forma {A,B}, contando a partir da esquerda para a direita, quais
  são os degraus a serem utilizados.", Length[result]], resp = {1, 2}];
Index = x /. Solve[result [[resp[[2]]] / result[[resp[[1]]]] = ((1 - x) / x) ^ 2, x];
If[0 < Index[[1]] < 1,
  AppendTo[resultado, {tempos[[1]], Index[[1]]}; Print["η= ", Index [[1]]],
  AppendTo[resultado, {tempos[[1]], Index[[2]]}; Print["η= ", Index [[2]]]];
Print[
  "....."
  "....."]
]]];
Export["EfDif.dat", resultado];
ListPlot[resultado, RotateLabel -> True,

```

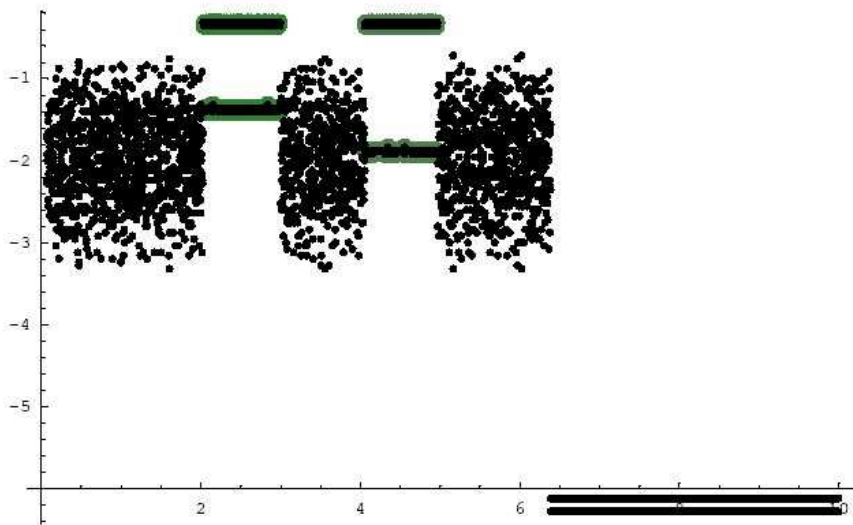
```
PlotStyle -> {RGBColor[1, 0, 0], PointSize[0.02]}, ImageSize -> 120 * 4,  
AxesLabel -> {"t (s)", "η"}, TextStyle -> {FontFamily -> "Times", FontSize -> 20};  
HTMLSave["prog.html"];  
NotebookPrint[SelectedNotebook[], "file.ps"]  
Null
```

## Amostra de LiNb:Fe.

Pasta: ALL0000

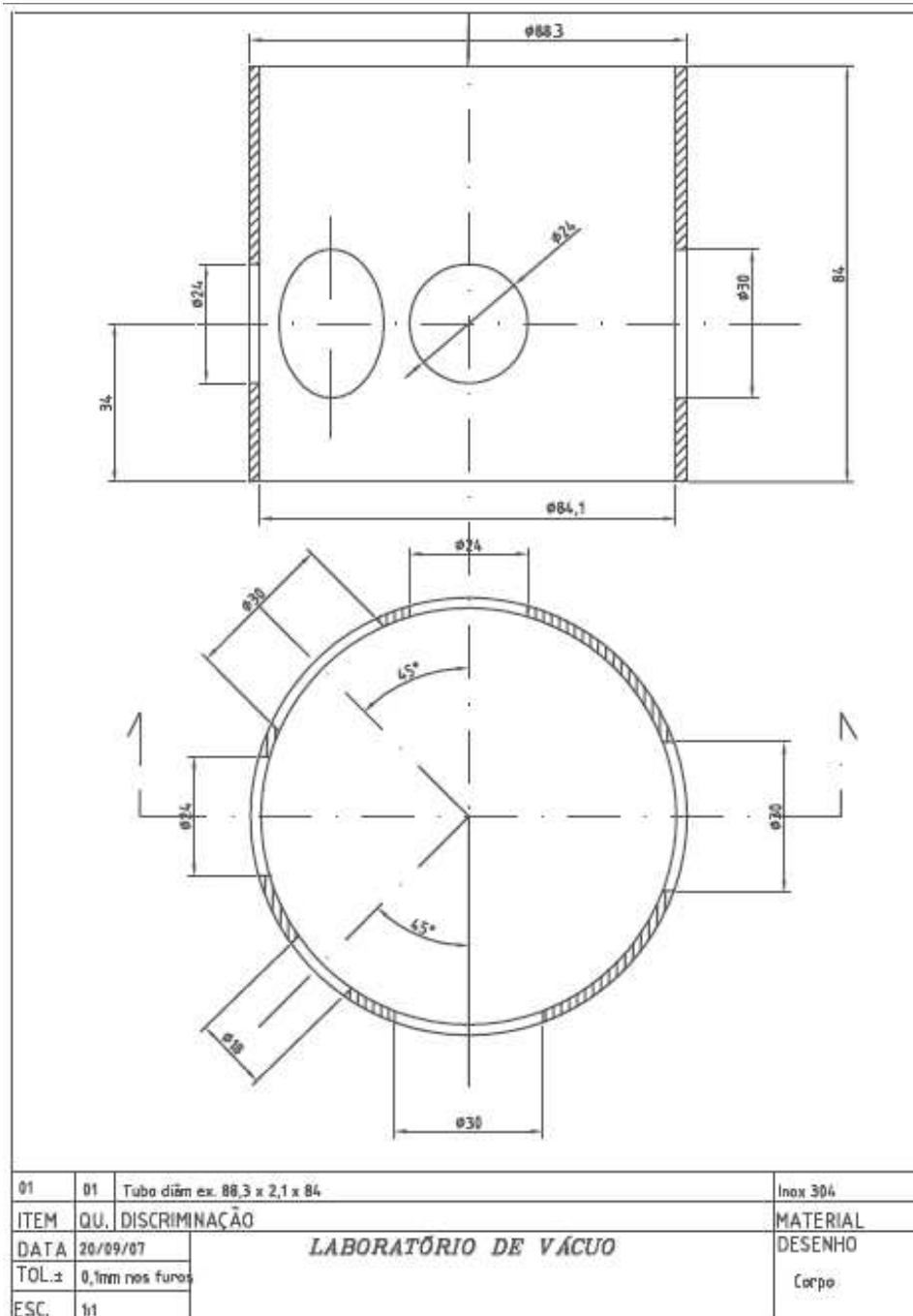
1)  $\langle V1 \rangle = -1.37009$ ,  $\langle V2 \rangle = -0.335726$ ,  $T_{inicial} = 2.048$ ,  $T_{final} = 2.98$

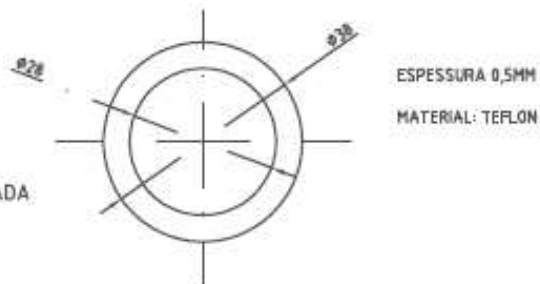
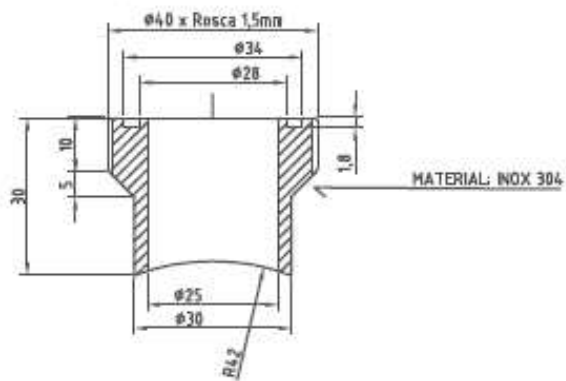
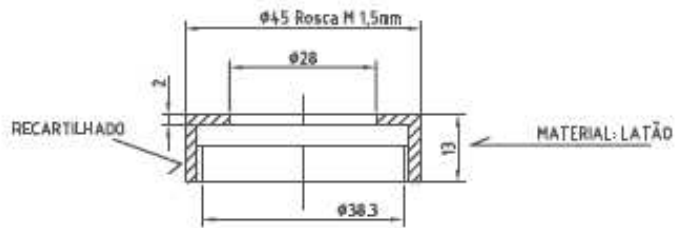
2)  $\langle V1 \rangle = -0.341538$ ,  $\langle V2 \rangle = -1.88489$ ,  $T_{inicial} = 4.072$ ,  $T_{final} = 4.952$



$\eta = 0.174042$

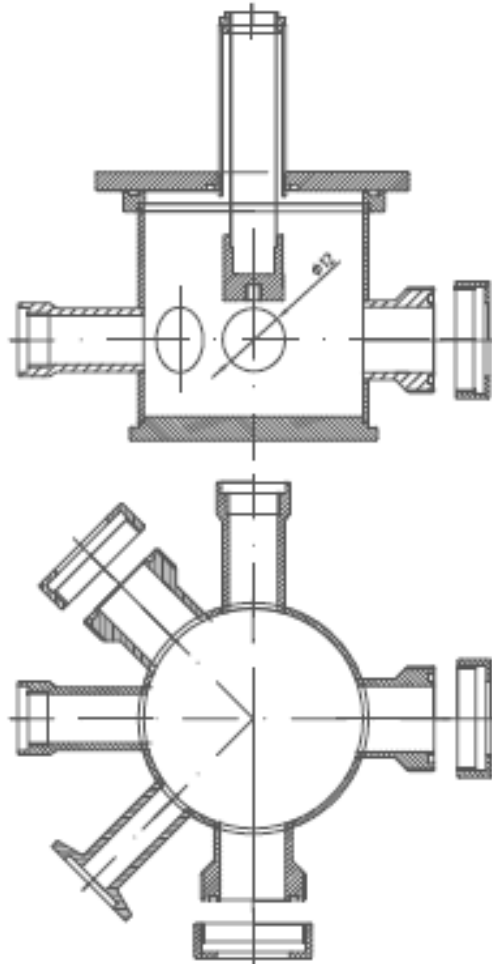
## 6.2 Planos da câmara de vácuo



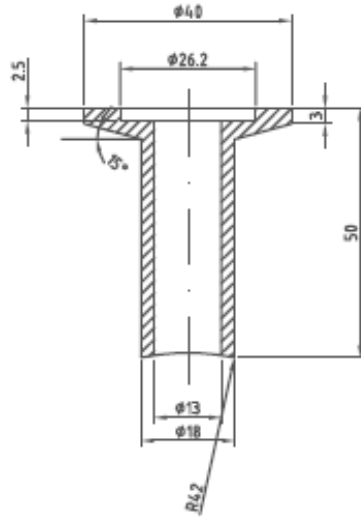


QUA.: 03 PEÇAS DE CADA

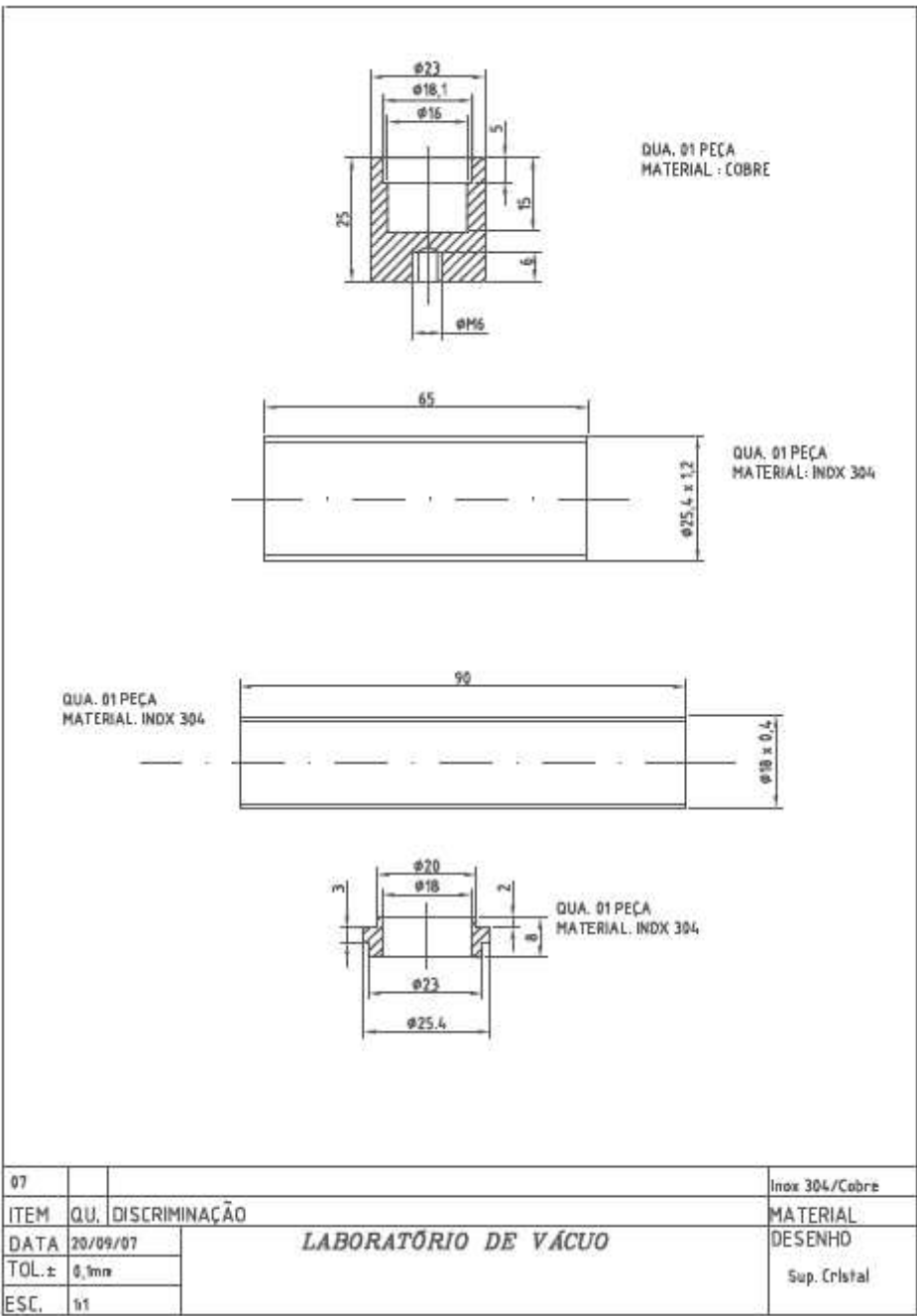
04			
ITEM	QU.	DISCRIMINAÇÃO	MATERIAL
DATA	20/09/07	<i>LABORATÓRIO DE VÁCUO</i>	DESENHO
TOL. ±	0,1mm		Janela
ESC.	1:1		

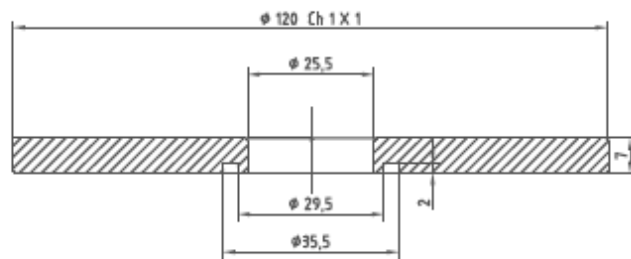


01	01		
ITEM	QU.	DISCRIMINAÇÃO	MATERIAL
DATA	20/09/07	<i>LABORATÓRIO DE VÁCUO</i>	DESENHO
TOL.±			Cisars
ESC.	2:1		



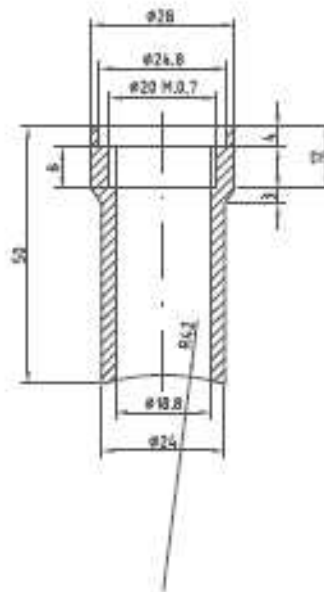
09	01	Barra diâm.1" 3/4 x 53	Inox 304
ITEM	QU.	DISCRIMINAÇÃO	MATERIAL
DATA	20/09/07	<i>LABORATÓRIO DE VÁCUO</i>	DESENHO
TOL. ±	0,1mm		NW25
ESC.	1:1		



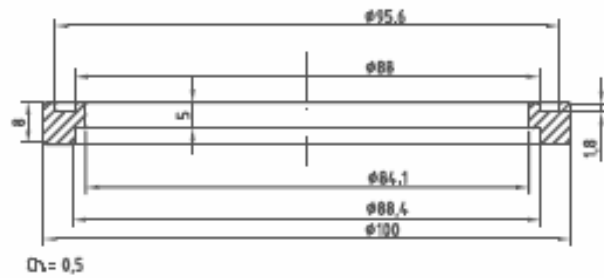


08	01	Disco 4" 3/4 x 9	Inox 304
ITEM	QU.	DISCRIMINAÇÃO	MATERIAL
DATA	20/09/07	<i>LABORATÓRIO DE VÁCUO</i>	DESENHO
TOL. ±	0,1mm		Tampa
ESC.	1:1		





05	02	Barra dia. 28,5 x 53	Imox 304
ITEM	QU.	DISCRIMINAÇÃO	MATERIAL
DATA	20/09/07	<i>LABORATÓRIO DE VÁCUO</i>	DESENHO
TOL.±	0,1mm		Adap. Obj.
ESC.	1:1		



03	01	Disco dØn. 101,6 x 10	Inox 304
ITEM	QU.	DISCRIMINAÇÃO	MATERIAL
DATA	20/09/07	<i>LABORATÓRIO DE VÁCUO</i>	DESENHO
TOL. ±	0,1mm		Arel sup.
ESC.	1:1		