

F-530 – instrumentação I

Gravação de Matrizes de Hologramas para Reconstrução com Luz Branca



Aluno: Fabrício Oliveira de Carvalho R.A.:016022

Orientadora: Prof^a Dr^a Lucila Helena Deliesposte Cescato

Professor Responsável pela Disciplina: Prof. Dr. José Joaquim Lunazzi

Índice

Resumo.....	3
Introdução.....	3
1) 1ª Etapa: Gravações de Hologramas com LASER de He-Ne.....	5
1-A) Preparação da montagem óptica.....	5
1-B) As Gravações e variações nas Montagens.....	8
1-C) Revelações.....	12
1-D) Resultado das Gravações.....	13
1-E) Conclusões.....	13
2) 2ª Etapa: Montagem para gravação de Hologramas emLASER de Ar sobre Fotorresinas.....	14
2-A) Resultados das Gravações.....	16
3) 3ª Etapa: Montagem do interferômetro para LASER de UV e Gravação e testes de Estabilização.....	17
3-A)Gravações de Hologramas com LASER de UV.....	19
4) Conclusões e Perspectivas.....	19
5) Referências Bibliográficas.....	20

Resumo:

O objetivo deste projeto é montar um interferômetro para estudar e gravar hologramas em relevo que possam ser reconstruídos em luz branca, para posterior replicação.

Introdução

A propriedade mais interessante (ou popular) da holografia é sua habilidade de gravar e reconstruir imagens tridimensionais. O holograma mais usual é o do tipo “Leith & Upatnieks” [1], também conhecido como holograma de transmissão. Neste tipo de holograma, a reconstrução é feita com a mesma onda utilizada como referência na gravação. Desta forma, ele só pode ser observado utilizando-se uma fonte laser de mesmo comprimento de onda (ou muito próximo) ao utilizado na sua gravação. Isto limita o uso e a disponibilidade destes tipos de hologramas, tendo em vista que as fontes de luz mais comuns são fontes de luz branca não coerente.

Para que um holograma possa ser reconstruído com este tipo de luz é necessário limitar o espectro da luz a uma estreita faixa, para que não haja uma superposição de hologramas angularmente separados para cada uma das cores que compõe a luz branca, que ilumina o holograma.

Para realizar esta limitação espectral existem basicamente três alternativas distintas:

1) Holograma tipo “Lipmann”, ou “Denysiuk” [2] - que utiliza a seletividade de Bragg devido ao fato do holograma ser gravado no volume do material fotossensível.

2) Holograma tipo “Rainbow” ou “Benton” [3] - que consiste em se gravar juntamente com o holograma uma fenda que faz a seleção cores para cada ângulo de observação.

3) Holograma a partir da gravação da imagem do objeto sobre o filme, utilizando uma lente para a formação da imagem.

O primeiro método produz hologramas mais luminosos e com maior profundidade, entretanto, como o holograma é gravado no volume do material fotossensível, sua fabricação é feita um a um, expondo-se o material fotossensível ao padrão de interferência, produzido por um laser potente.

O segundo e o terceiro método, apesar de gerarem hologramas menos eficientes, podem ser utilizado para gravação de hologramas em relevo. Desta forma, a informação microscópica, gravada em relevo pode ser replicada, utilizando-se processos de moldagem. Assim, a partir de uma matriz, pode se fabricar centenas ou até milhares de cópias.

Este trabalho consistiu em duas etapas: a primeira tinha o objetivo apenas de entender e se familiarizar com o processo de construção de hologramas, enquanto que a segunda foi a construção do holograma em relevo propriamente dito.

A primeira etapa foi realizada no LF-22 (Laboratório de Ensino de Óptica) e foram utilizadas montagens semiprontas (com os componentes e suportes ópticos já disponíveis faltando apenas o alinhamento destes). Nesta etapa foi utilizado um LASER de He-Ne (30-40mW e $\lambda=633\text{nm}$) e os hologramas foram gravados em emulsões fotográficas sobre substratos de vidro.

A segunda etapa foi realizada no Laboratório de Óptica do DFMC e foi feita utilizando LASERS de Argônio ($\lambda=457,9\text{nm}$ e outro operando em $\lambda=364\text{nm}$). Como material fotossensível para as gravações foram utilizadas fotorressinas positivas.

1) 1ª Etapa: Gravações de Hologramas com LASER de He-Ne

As primeiras gravações de hologramas foram realizadas no laboratório LF-22 do departamento de Física da UNICAMP, utilizando-se o LASER de He-Ne, cuja potência é de 30-40mW, e placa com emulsão fotográfica (AGFA- Holotest film 10 E 75 AH).

Os arranjos experimentais montados foram sempre do tipo dos hologramas de transmissão (“Leith & Upatnieks”), cujo esquema está mostrado na figura 1.1.

Como o LF-22 é um laboratório de ensino de óptica, os componentes para a gravação de hologramas já estavam preparados, porém ainda faltava definir os braços do interferômetro, expandir e colimar os feixes para que a montagem ficasse pronta para gravar.

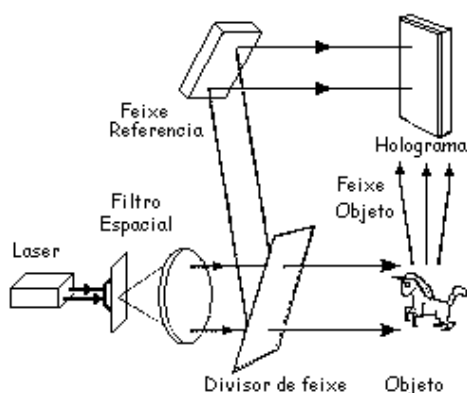


Fig. 1.1: Representação para o Holograma de Transmissão

1-A) Preparação da montagem Óptica

A montagem óptica para construção do holograma consiste na montagem de um interferômetro por divisão de amplitude, isto é, através de um semi-espelho gerar dois feixes a partir de um único que serão superpostos sobre o material fotossensível, sendo que, um deles é anteriormente espalhado pelo o objeto.

- Alinhamento:



Fig.1.2: Íris utilizada

Para realizar o alinhamento dos feixes de LASER - tanto o de referência, quanto o feixe objeto – foram utilizadas duas íris (Fig.1.2), de forma que estas mantivessem suas alturas no início e no fim do braço para a gravação.

Sendo assim, temos a garantia de que o feixe de LASER está paralelo à mesa de apoio.

As íris também servem para verificar se o feixe está ou não desviando para a direita ou esquerda, pois o feixe de LASER deve passar pelos orifícios das duas íris.

Fazendo isso para os dois feixes do LASER,

garantimos que ambos irão se sobrepor completamente na placa de gravação, garantindo a interferência sobre ela.

- Balanceamento dos Braços:

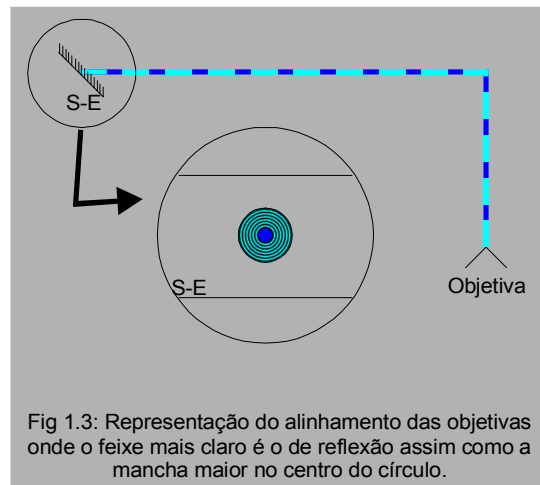
Para que haja interferência é necessário se balancear os braços do interferômetro após a divisão do feixe. Para isso deve-se medir os comprimentos de cada braço (caminho do semi-espelho até a placa de gravação) e deixá-los com o mesmo comprimento, para garantir a formação de franjas.

Caso haja diferença no caminho óptico após a divisão dos feixes, esta não poderá ser maior que o comprimento de coerência do LASER porque neste caso não haverá interferência de ondas e não teremos holograma.

- Expansão

Utilizando-se de uma objetiva na frente dos feixes, conseguimos fazer com que estes sejam expandidos. Para alinhar as objetivas devemos observar a reflexão do feixe que incidiu nesta e alinha-la sobre o feixe que passa no semi-espelho.

Isso garante que o feixe expandido está na mesma altura e na mesma linha que o não expandido (fig 1.3).



- Filtragem espacial:

A etapa de filtragem do feixe de LASER é feita para criar uma mancha mais homogênea após a expansão do feixe. Ela é feita utilizando um

pequeno orifício (da ordem de 10^{-6}m), de forma que este esteja localizado no foco da objetiva.

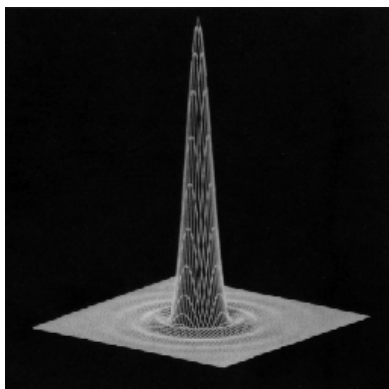


Fig. 1.4: Figura de Airy

Analisando-se a difração da luz, sabemos que a luz do LASER após passar pela objetiva, converge no foco desta, formando uma distribuição de luz dada pela função de Airy (Fig. 1.4)

A área do pico central é definida pelo diâmetro dado pela equação (1).

$$D = \frac{2.44 \cdot \lambda \cdot f}{a} \quad (1)$$

Posicionando o pequeno orifício já citado, o qual chamamos de pinhole, sobre o foco (fig. 1.5), faremos com que a maior quantidade de luz possível passe pelo pinhole. Para que a montagem seja otimizada, o diâmetro deste deve ser igual ou ligeiramente maior que o diâmetro encontrado na equação (1).

Após esta expansão, vai ser formada uma “mancha” do LASER (área da seção transversal) a qual deve ser o mais homogênea possível para não haver um desperdício muito grande da quantidade de luz. Esta homogeneidade depende muito da experiência de quem está mexendo com o material e da qualidade dos microposicionadores utilizados (figura 1.6).

Porém é importante ressaltar que estamos lidando com uma situação real, logo a “mancha” de LASER deve algo que segue um padrão Gaussiano.

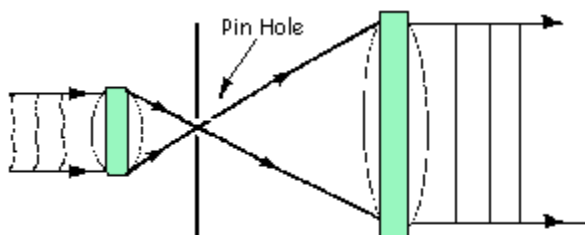


Fig. 1.5: Representação do pinhole



Fig.1.6: Suportes para filtros espaciais vistos de frente e de trás.

- A Colimação do feixe:

A colimação do feixe foi feita utilizando-se de duas lentes convergentes posicionadas de forma confocal com as respectivas objetivas (figura 1.5). Sendo arranjados desta forma, os raios de luz que passam pela lente saem paralelos.

- Medida do foco:

Para achar o foco de lente convergente, utiliza-se uma técnica muito simples, que envolve uma placa de vidro grossa e com faces paralelas, chamada de interferômetro de “Shearing”. Colocando-se esta placa na frente do feixe expandido, será criada uma interferência de onda refletida em cada uma das duas faces da placa. Sendo assim, através da interferência destas reflexões, podemos determinar quando que os raios estão paralelos, pois isso ocorrerá no instante em que as franjas ficam o mais espaçadas o possível.

1-B) As Gravações e variações nas Montagens

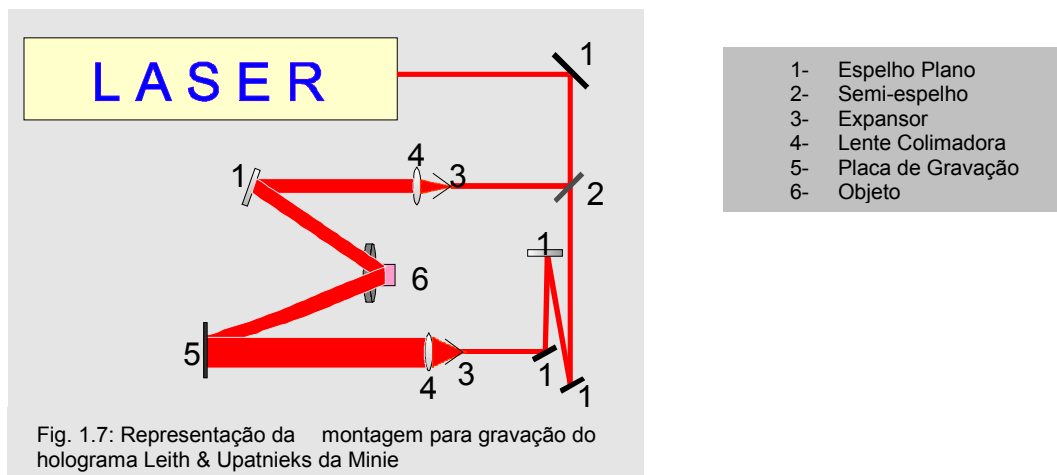
Com o término de todos os processos discutidos na seção anterior, deu-se início às gravações.

Foram gravados sete hologramas ligeiramente diferentes do tipo de transmissão (Leith & Upatnieks), seguindo o padrão que já foi mostrado na figura 1.1.

Para cada gravação foram realizados pequenos ajustes na montagem (quanto ao balanceamento dos braços, posicionamento de lentes, assim como troca destas), de modo a termos melhores condições para a gravação.

➤ 1º Holograma: MINIE MOUSE Leith & Upatnieks

A figura 1.7 mostra a montagem utilizada na primeira gravação realizada.



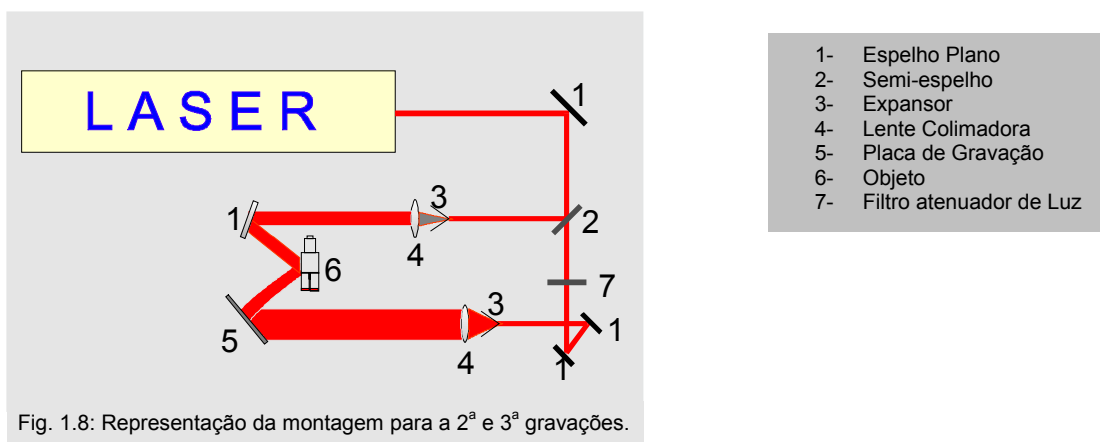
A Tabela 1.1 apresenta os dados das medidas da primeira montagem.

TABELA 1.1: Dados referentes às medidas da primeira montagem

Semi-espelho → espelho plano 1	40cm
Espelho plano 1 → espelho plano 2	34cm
Espelho plano 2 → espelho plano 3	23cm
Espelho plano 3 → colimadora	58cm
Colimadora → placa de gravação	146cm
TOTAL	301cm
Semi-espelho → expansor	187cm
Expansor → espelho plano 4	24cm
Espelho plano 4 → objeto	47cm
Objeto → placa de gravação	42cm
TOTAL	300cm

➤ 2º e 3º Holograma: LEGO Leith & Upatnieks:

A figura 1.8 mostra a montagem utilizada na segunda e terceira gravação. O que a diferencia da primeira utilizada é o ajuste dos caminhos ópticos.



A Tabela 1.2 apresenta os dados das medidas da segunda e terceira montagem

TABELA 1.2: Dados referentes às medidas da segunda e terceira montagem

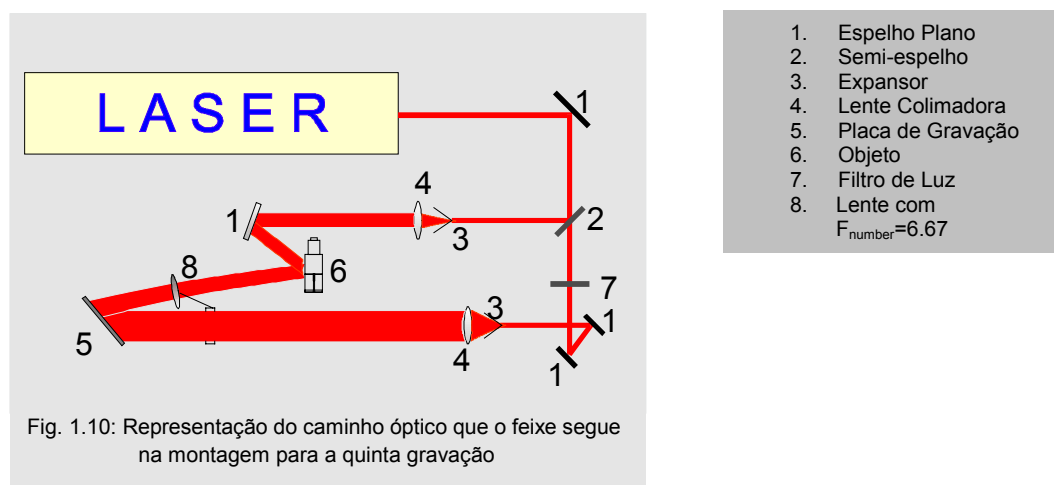
Semi-espelho → espelho 1	34cm
Espelho 1 → espelho 2	9cm
Espelho 2 → colimadora	80cm
Colimadora → placa de gravação	119cm
TOTAL	242cm
Semi-espelho → expansor	120cm
Expansor → espelho 3	60cm
Espelho 3 → objeto	22cm
Objeto → placa de gravação	42cm
TOTAL	243cm

TABELA 1.4: Dados referentes às medidas da quinta gravação

Semi-espelho → espelho 1	34cm
Espelho 1 → espelho 2	9cm
Espelho 2 → colimadora	80cm
Colimadora → espelho 3	119cm
TOTAL	242cm
Semi-espelho → expansor	120cm
Expansor → espelho 3	60cm
Espelho 3 → objeto	22cm
Objeto → lente f4,5	21cm
Lente → placa de gravação	21cm
TOTAL	243cm

➤ 6º Holograma: LEGO utilizando lente para projeção da imagem sobre a placa fotográfica

A figura 1.10 mostra a montagem utilizada na sexta gravação realizada. Esta foi muito similar à anterior, mas a lente utilizada agora possuía $F_{\text{number}}=6.67$ e foi realizado um pequeno ajuste nos braços.



1. Espelho Plano
2. Semi-espelho
3. Expansor
4. Lente Colimadora
5. Placa de Gravação
6. Objeto
7. Filtro de Luz
8. Lente com $F_{\text{number}}=6.67$

As medidas referentes à sexta gravação estão relacionadas na tabela 1.5.

Tabela 1.7: Solução A, B e Branqueadora

Solução A	10g de ácido ascórbico, 2.5g de metol, 2g de sal dissódico EDTA, 2g potassium bromidium, tudo diluído em 1L de água destilada.
Solução B	90g de carbonato de sódio anidro diluído em 1L de água destilada.
Solução Branqueadora	5cc de ácido sulfúrico com 3g de dicromato de amônia diluídos em 1L de água.

1-D) Resultados das Gravações

Os resultados, assim como os dados das exposições, estão dispostos na tabela 1.8.

TABELA 1.8: Dados referentes às gravações

	Caminho1 (cm)	Caminho2 (cm)	Tempo de exposição	Tempo na reveladora	Tempo na Branqueadora	Resultado	Visível em luz branca
1ª gravação	301	300	4s	3,0min	1,0min	Imagem nítida	Não
2ª gravação	242	243	6s	3,5min	40s	Não revelada	Não
3ª gravação	242	243	10s	3,0min	1,5min	Imagem nítida	Não
4ª gravação	242	243	10s	4,5min	30s	Não revelada	Não
5ª gravação	242	243	15s	3,0min	2,0min	Imagem muito nítida	Sim
6ª gravação	265	265	15s	4,0min	40s	Não revelou	Não
7ª gravação	260	261	15s	3,5min	2,0min	Imagem pouco nítida	Sim

1-E) Conclusões

Uma vez tendo conseguido bons resultados nesta 1ª etapa (5ª e 7ª gravação), passamos à 2ª etapa.

2) 2ª Etapa: Montagem para gravação de Hologramas em LASER de Ar sobre Fotorresinas.

Fotorresinas são materiais fotossensíveis que podem ser depositadas na forma de filmes finos sobre substratos. Elas são utilizadas para gravar estruturas em relevo pois, quando expostas a comprimentos de onda apropriados, sofrem reações químicas que alteram sua solubilidade. Desta forma, nas fotorresinas positivas, após um processo de revelação, as regiões expostas são retiradas da placa sobrando apenas as regiões escuras. Geralmente as fotorresinas são sensíveis na região do Ultravioleta, entretanto em alguns tipos, a sensibilidade se estende até o azul.

Em nossas gravações foram utilizadas fotorresinas da Hoechst, série AZ1518 (que tem sensibilidade no azul). Os filmes foram depositados por centrifugação sobre substratos de vidro, utilizando-se a fotorresina diluída 1:1 e a velocidade de 1000rpm, durante 20 segundos. Para revelação foi utilizado o revelador MIF-312 também da Hoechst.

Como as fotorresinas só podem ser sensibilizadas no azul ou ultravioleta, passamos à etapa de construção de um interferômetro para a gravação do holograma no LASER de Ar da Spectra-Physics modelo 165(operando em $\lambda=457,9\text{nm}$), seguindo o padrão dos hologramas de transmissão gravados no LF-22. Neste caso tivemos que dar início à montagem inteira, pois dispúnhamos apenas do LASER e da mesa de granito com isolamento. Todos os componentes tiveram que ser montados ou adaptados.

Tivemos um pequeno problema em nossa montagem, pois necessitávamos criar um caminho para o LASER que o levasse de uma mesa até outra, pois este estava em outra mesa sendo utilizado em um outro interferômetro. Para isso desviamos o feixe com um espelho de regulagem micrométrica e fizemos o alinhamento deste com relação à outra mesa.

Fizemos o alinhamento dos feixes de referência e objeto e trabalhamos a expansão dos feixes conforme já foi citado anteriormente. A melhor combinação encontrada para o sistema de expansão foi com uma objetiva de $F_{\text{number}}=20$ e um pinhole de diâmetro igual a $10\mu\text{m}$, para os dois feixes.



Fig. 2.1: Mesa de elevação.

Para projetar a imagem, foi utilizada uma lente de $F_{\text{number}}=1.5$.

Depois de ter repetido todos os processos de alinhamento descritos na 1 etapa deste relatório, conseguimos finalizar a montagem para a gravação no LASER de Ar operando no azul, conforme mostra a figura 2.2 e a foto 2.1.

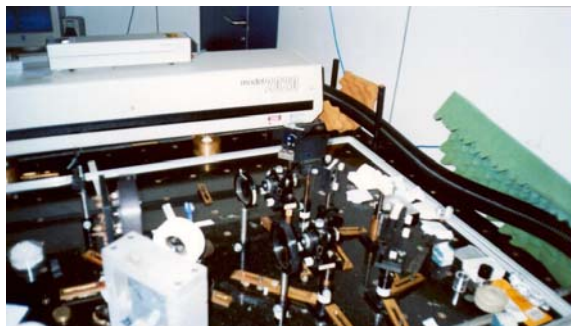


Foto 2.1: Montagem para gravação em LASER de Ar operando no azul

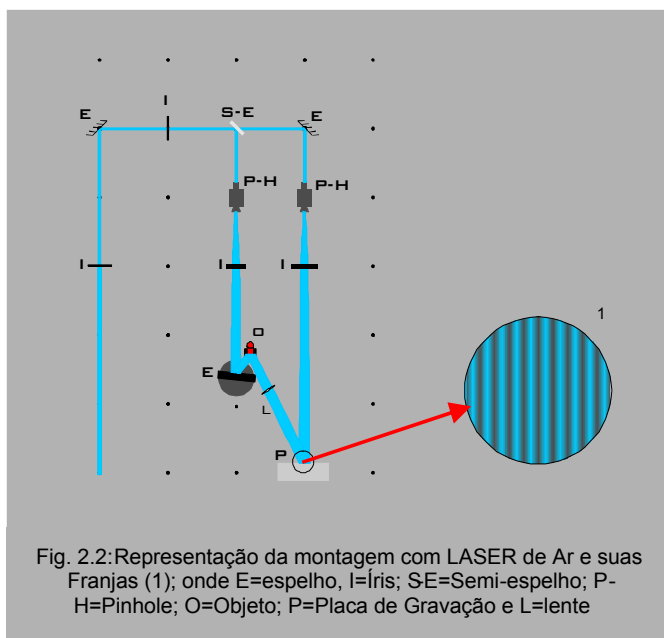


Fig. 2.2: Representação da montagem com LASER de Ar e suas Franjas (1); onde E=espelho, I=Iris; S-E=Semi-espelho; P-H=Pinhole; O=Objeto; P=Placa de Gravação e L=lente

Os caminhos ópticos percorridos pelos feixes estão apresentados na tabela 2.1.

TABELA 2.1: Caminhos ópticos percorridos pelos feixes.

Feixe Referência	
Semi-espelho→Espelho 1	21,2cm
Espelho 1→Placa de Gravação	41,5cm
TOTAL	62,7cm
Feixe Objeto	
Semi-espelho→Espelho 2	40,0cm
Espelho 2→Objeto	6,4cm
Objeto→Filme	17,7cm
Caminho Percorrido na lente*	3cm
TOTAL	65,1cm

*O caminho percorrido na lente é dado por $n \times l$, onde n é o índice de refração desta e l é a largura da lente

Essa configuração dos caminhos ópticos foi utilizada em cinco gravações, onde seus dados estão descritos a seguir.

A montagem foi mantida durante essas gravações, variando-se apenas o tempo de exposição e de revelação das placas de vidro.

2-A) Resultados das Gravações

TABELA 2.2: Dados referentes às 1^{as} Gravações no Ar

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5	Amostra 6
Tempo de Exposição	180s	600s	900s	900s	1800s	1800s
Tempo de Revelação	120s	80s	180s	80s	40s	80s
Formação de Holograma	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Ordem da Intensidade dos feixes	Ref.=1,9 μ W Obj.=0,8 μ W	Ref.=1,9 μ W Obj.=0,8 μ W	Ref.=1,9 μ W Obj.=0,8 μ W	Ref.=1,9 μ W Obj.=0,8 μ W	Ref.=45 μ W Obj.=15 μ W	Ref.=44 μ W Obj.=15 μ W

Interessante observar que na amostra 5 e na amostra 6 conseguimos obter apenas a gravação da imagem. Isso foi constatado devido ao fato de não haver difração na imagem.

Os problemas experimentais que podem ter impedido as gravações do holograma propriamente dito, foram:

- O tempo de exposição muito grande,
- A falta de potência nos feixes,

Vimos que o tempo de gravação foi insuficiente nas quatro primeiras amostras, porém com tempos de gravação muito longos (da ordem de 30 minutos) não é possível impedir as flutuações térmicas durante a exposição.

Quando estamos gravando vemos que as ondas não ficam estáticas. Sendo assim a interferência construtiva está numa posição em um certo instante e logo depois a interferência destrutiva ocupa essa posição, proporcionando o que chamamos de um “borrão” na placa de gravação.

Quanto à redução da potência nos feixes, isto ocorreu porque o LASER de Ar estava perdendo sua vida útil. Assim sua potência foi ficando muito baixa, aumentando o tempo de exposição das amostras, o que implica nos problemas já citados. A potência de saída caiu de 300mW para menos de 50mW na linha $\lambda=457,9\text{nm}$ ao longo do semestre. Por este motivo o uso do LASER passou também a ser muito maior, pelos demais estudantes do laboratório. Por este motivo optamos por utilizar o outro LASER de Ar (também da Spectra-Physics, modelo 2020) que estava na mesma mesa do interferômetro para holografia, operando em $\lambda=364\text{nm}$.

3) 3ª Etapa: Montagem do interferômetro para LASER de UV e Gravação e testes de Estabilização

Para o uso do LASER de UV, foi necessário apenas desviar o feixe para a montagem. Também foi necessário utilizar um prisma na frente do LASER, pois para este comprimento de onda existem duas linhas juntas: $\lambda=364\text{nm}$ e $\lambda=351\text{nm}$, que são separadas por causa da refração dentro do prisma.

Contudo, o LASER de UV necessita de alguns cuidados especiais, pois quando o usamos, espelhos de alumínio podem ser danificados por causa deste. Por isso tivemos que trocar os espelhos de alumínio por espelhos dielétricos.

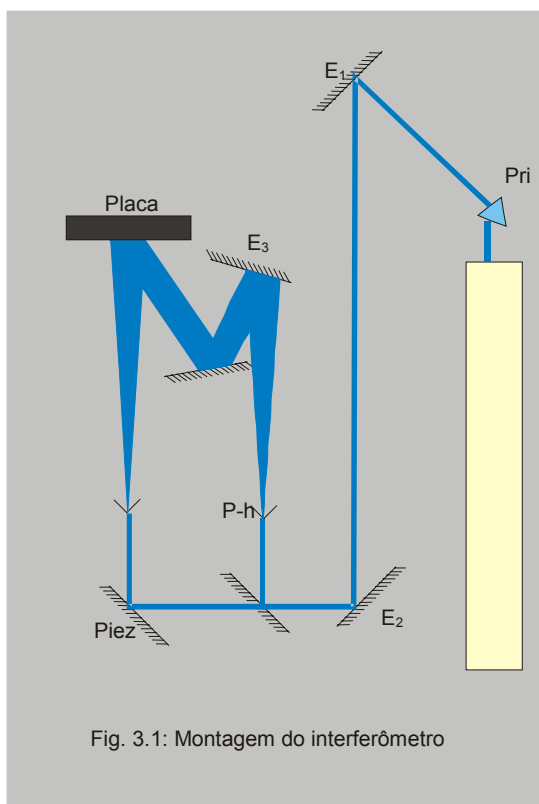
Acrescentamos à montagem também um espelho suportado por cristais – piezoelétrico - e uma campânula de acrílico para evitar correntes de ar, visando estabilizar a gravação (foto 3.1 e foto 3.2). O piezoelétrico é um cristal que varia seu comprimento com a tensão aplicada. Por este motivo pode ser utilizado para mover o espelho e compensar as perturbações no caminho óptico.

Para encontrarmos as melhores condições de gravação, retiramos a lente e testamos o interferômetro com o propósito de termos uma rede de difração. Para isso no lugar do objeto posicionamos um espelho conforme nos mostra a figura 3.1.

Depois de algumas tentativas, para encontrar os tempos de exposição apropriados, que ficou em torno de vinte minutos, conseguimos gravar uma rede de difração muito eficiente.

Esse foi um dos maiores sucessos obtidos nesse projeto, pois foi a primeira rede de difração (foto 3.6) construída em LASER de UV utilizando o sistema de estabilização, que foi feito com auxílio do estudante de doutorado Edson Carvalho [7] [8].

Constatamos então que o interferômetro estava funcionando bem e que poderíamos tentar dar início às gravações de imagens para reprodução em luz branca.



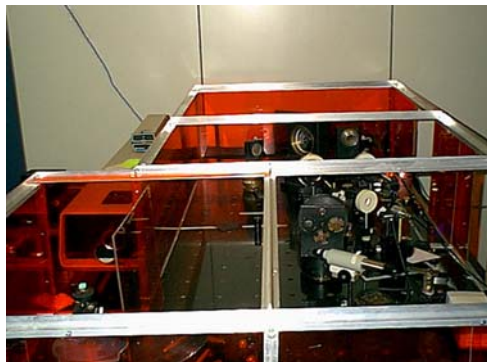


Foto 3.1: : Foto da montagem para gravação em LASER de Ar operando em UV



Foto 3.2: Fig. 3: Foto da montagem para gravação em LASER de Ar operando em UV



Foto 3.3: Posicionamento do espelho, semi-espelho, piezoelétrico, filtros espaciais, lentes convergentes e fris.



Foto 3.4: Posicionamento dos filtros espaciais e lentes convergentes

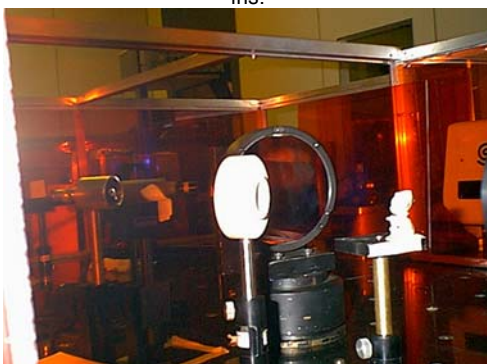


Foto 3.5: Posicionamento do objeto a ser gravado

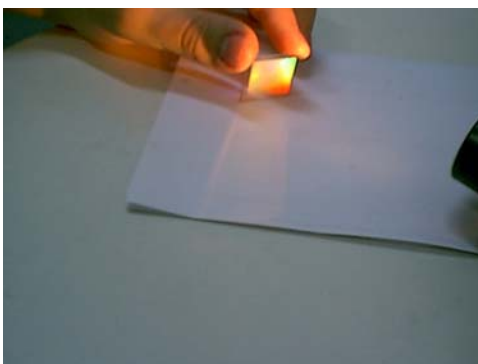


Foto 3.6: Rede de difração gravada com estabilização no LASER de UV

3-A) Gravações de Hologramas com LASER de UV

Para gravarmos o holograma que pudesse ser reproduzido com luz branca, é necessário a projeção da imagem com uma lente na placa de gravação. A melhor situação que encontramos entre as lentes que dispúnhamos, foi utilizando uma lente de $F_{\text{number}} = 2,2$.

Inserimos o objeto na montagem da figura 3.1 na frente do espelho 3 e assim concluímos a montagem, conseguindo projetar uma boa imagem do objeto na placa, assim como sobrepor o feixe de referência.

Entretanto a irradiância resultante sobre a placa ficou muito menor do que a da obtida para a gravação da rede, o que implicou em tempos de exposição da ordem de 40-50 minutos.

Com um tempo tão longo é indispensável utilizar o sistema de estabilização das franjas. Todavia, como a irradiância é muito baixa, não foi possível se obter um sinal suficientemente alto para operar o sistema de estabilização.

4) Conclusões e Perspectivas

Embora o objetivo da gravação de hologramas para visualização em luz branca não tenha sido atingido, devido aos problemas descritos anteriormente, consideramos que os objetivos da matéria de instrumentação foram amplamente satisfeitos.

Foram aprendidos diversas técnicas de alinhamento óptico, interferometria, etc. Além disso, em termos de contribuição para o laboratório, foi construído um novo interferômetro estabilizado operando na linha $\lambda = 364\text{nm}$ que permitiu a construção, pela primeira vez, de redes neste comprimento de onda, com exposição estabilizada.

Pretendemos dar uma continuidade neste projeto com uma iniciação científica, otimizando as condições para a gravação dos hologramas em relevo em fotorresina.

Para isto será necessário reduzir as perdas de luz ao longo de toda a montagem, assim como conseguir operar o sistema de estabilização na gravação de franjas, o que nunca feito antes.

5) Referências Bibliográficas:

- [1] Leith, E. N.; and J. Upatnieks: *Wavefronts and Communication Theory*, J. Opt. Soc. Am., 52:1123 (1962)
- [2] Denisyuk, Y. N.: *Soviet Phys.-Dokl.*, 7:543 (1962)
- [3] www.virtual.unal.edu.co/cursos/economicas/92211/lecciones/unidad2/holografia/holografia.htm ⇒ Esta página contém informações sobre holografia e montagens holográficas.
- [4] www.ifi.unicamp.br/~accosta ⇒ Esta página contém informações sobre holografia, fotografia, espectrofotometria, curiosidades, etc.
- [5] www.optron.com.br ⇒ Esta páginas contém materiais para holografia e trabalhos relacionados à óptica. As fotos de suportes foram retiradas desta página.
- [6] Goodman, J. W.: *Introduction to Furrier Optics*
- [7] Alonso, M.; Finn, E.J.; “Física”; Ed. Addison-Wesley; 1999
- [8] Frejlich, J.; Cescato, L. and Mendes, G.F.; “Analisis of an active stabilization system for a holographic setup”; *Applied Optics*, Vol.27, No. 10, pp.1967-1976 (1988)
- [9] Freschi, A.A. and Frejlich, J. :”Adjustable Control in Stabilized Interferometry”; *Optics Letter*, Vol. 20, No. 6; pp.635-637

