

# Gravação de redes holográficas de difracção

## Introdução teórica

### Princípio da holografia

A holografia consiste na utilização do fenómeno interferência como mecanismo para codificar e guardar informação. Uma frente de ondas luminosas coerentes possui informação acerca do objecto de onde está a ser difundida. Esta informação está associada à amplitude e à fase da onda. Com a holografia consegue-se guardar toda a informação contida numa frente de ondas coerentes, ou seja, consegue-se guardar a amplitude e também a fase da onda. Para tal, utiliza-se uma fonte coerente de fundo como referência que vai interferir com a frente de ondas objecto.

Conforme mostra a Fig. 1, o suporte holográfico recebe dois feixes de luz coerente: um feixe proveniente do objecto a ser holografado,  $f_o$ , e um feixe de referência proveniente directamente do laser,  $f_r$ .

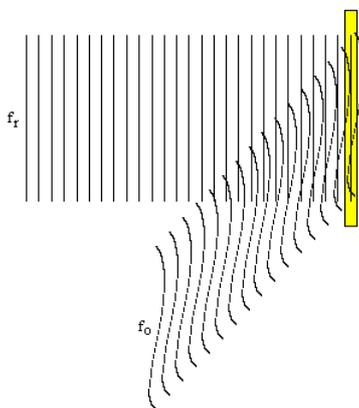


Fig. 1: Formação do padrão de interferência no suporte holográfico.

O que fica sensibilizado no suporte holográfico são franjas de interferência. As franjas são o resultado de uma diferença de espessura na emulsão causada pela exposição ou não à luz, devido à interferência. A configuração das franjas e a proximidade delas (frequência espacial) deve-se à forma e posição do objecto em relação ao suporte holográfico, e consequentemente, ao ângulo entre o feixe referência e o feixe objecto.

Como não há perda de informação, na reconstrução da imagem vai-se obter novamente toda a onda objecto (amplitude e fase) tal como ela era. Assim o objecto aparece como se ali estivesse, ou seja, aparece a 3D e na perspectiva em que se encontrava.

Verifica-se pois que cada ponto do holograma possui toda a informação do objecto e que todo o holograma possui informação de um só ponto do objecto. Tal facto pode facilmente demonstrar-se, tapando parte de um holograma que ao ser observado revela na mesma toda a imagem do objecto.

Na visualização do holograma, as franjas gravadas vão funcionar como uma rede de difracção. Ocorre uma difracção de ordem zero e duas de primeira ordem, formando-se assim duas imagens: uma imagem real e outra imagem virtual. As imagens são tridimensionais porque são formadas pela intercepção de ondas vindas de diferentes direcções (Fig. 2).

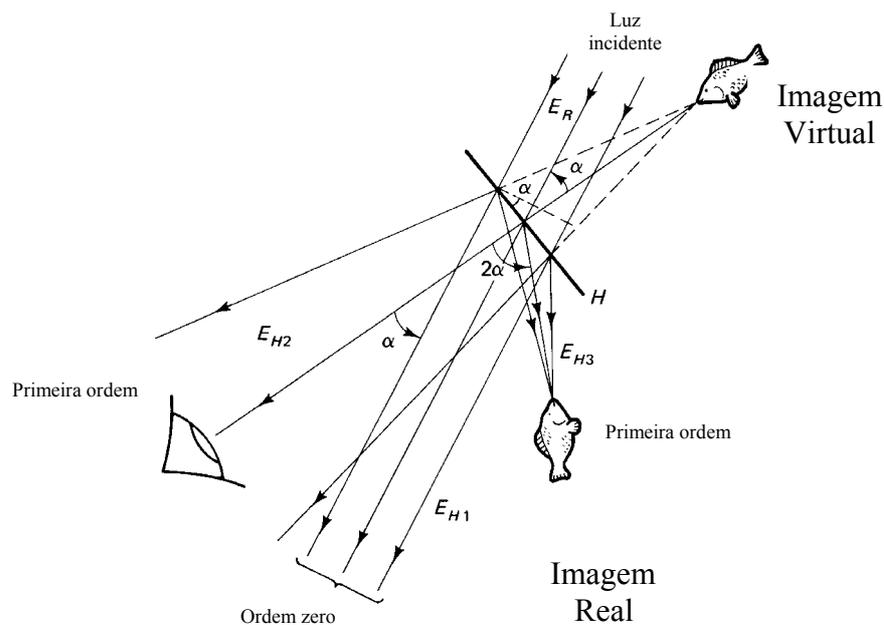


Fig. 2: Comportamento do suporte holográfico como rede de difracção.

De referir que a qualidade da imagem é função do tamanho da placa e da frequência espacial das franjas. O tipo de soluções utilizado durante a revelação assim como o tipo de processamento químico também têm influência no resultado do holograma.

### Suporte holográfico

O problema essencial em holografia é a necessidade de preservar a informação da fase. É necessário um material com sensibilidade para a luz utilizada – *emulsão*.

Esta emulsão, normalmente constituída por gel dicromatado (DCG) ou halogenetos de prata (AgX), encontra-se sobre uma base sólida – *substrato*. Este material onde se faz o registo do holograma chama-se *suporte holográfico* (Fig. 3).

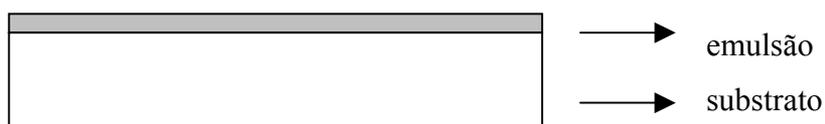


Fig. 3: Esquema da vista lateral ampliada de um filme/placa holográfico/a.

### Material fotossensível

Existem vários compostos químicos e vários materiais sensíveis à luz. Todos eles se dividem nas duas seguintes categorias : materiais não de prata e materiais de halogenetos de prata (AgX). Dos materiais não de prata temos, entre outros: gel dicromatado (DCG), fotopolímeros, fotorresistentes, termoplásticos, cristais ferroelétricos. Os mais usados são os materiais de halogenetos de prata e o gel dicromatado.

### Processamento químico

Após o registo do holograma é necessário proceder ao seu processamento químico, ou seja revelação e branqueamento. A seguir apresenta-se o esquema de processamento químico, a composição química do revelador e a composição química do branqueador para emulsões Slavich PFG-01.

1 Revelador (SM-6)	2 –3 min.
2 – Banho de paragem (água desionizada)	2 –3 min.
3 – Branqueador (PBU - Amidol)	até clarear
4 – Lavar (água corrente)	15 min.

Revelador: SM - 6

Ácido ascórbico	18.0 g
Hidróxido de sódio	12.0 g

Phenidona	6.0 g
Fosfato de sódio dibásico	28.4 g
Água destilada	1000 ml

Tabela 1: Composição química do revelador SM-6.

Branqueador: PBU- Amidol

Persulfato de potássio	10.0 g
Ácido cítrico	50.0 g
Brometo de cobre	1.0 g
Brometo de potássio	20.0 g
Amidol	1.0 g
Água destilada	1000 ml

Tabela 2: Composição química do branqueador PBU-Amidol.

## Como fazer um holograma

### Material óptico

O material necessário para holografia é o comum utilizado em óptica: íris, lente/objectiva de microscópio (filtro espacial), espelho, divisor de feixe, cartão preto (obturador electrónico), os respectivos suportes e um suporte para a placa holográfica.

- A lente/objectiva é normalmente utilizada para expandir o feixe laser ou, em alternativa, sempre que possível deve-se utilizar um filtro espacial, este além de expandir o feixe, também o limpa.

- A íris permite seleccionar uma determinada zona do feixe expandido e controlar a área que se quer expor.

- A utilização de espelhos permite projectar sistemas compactos e com uma maior versatilidade. Apresentando contudo, desvantagens do ponto de vista económico e de alinhamento.

- O divisor de feixes serve, quando necessário, para dividir o feixe de modo a se obter um feixe referência e um feixe objecto.

- Um obturador eléctrico ou manual permite controlar os tempos de exposição.

### Equipamento

O equipamento necessário para holografia é bastante simples. Basta uma mesa anti-vibrações (caixa de areia ou uma mesa óptica) e um laser (He-Ne com potência superior a 1 mW).

### **Câmara escura**

Todo o sistema holográfico deve ser montado numa câmara escura. Como a emulsão é sensível à radiação da luz laser utilizada, a gravação e revelação do holograma podem ser feitas na presença de luz de outro comprimento de onda (ex. verde) ou no escuro.

### **Vibrações**

Como um holograma não é mais do que a gravação do padrão de interferência entre dois feixes, é necessário que o sistema, durante a exposição, esteja completamente imóvel e isento de vibrações. Se tal condição não existir, desaparece imediatamente o padrão e nada se consegue gravar, ficando o filme sem registo de informação. Se, por algum motivo, ocorrer algum movimento num dos feixes, o outro tem que sofrer um movimento igual e simultâneo de modo que a velocidade relativa dos feixes seja zero.

Como a distância entre franjas é de ordem nanométrica, deve-se utilizar um equipamento anti-vibrações. O sistema pode parecer imóvel e isento de vibrações, mas na realidade, podem existir pequenas oscilações (da ordem referida), que não são de fácil percepção e que impossibilitam o registo. Logo, deve-se testar o sistema holográfico montando um interferómetro para medir o seu estado vibracional.

### **Registo**

Consoante se vai fazer um holograma de reflexão ou de transmissão, assim a respectiva montagem experimental (ver tipos de hologramas). A montagem que utilizar deve permitir que a placa holográfica receba os dois feixes de luz, ou seja, receba a luz proveniente do laser (feixe referência) e a luz proveniente do objecto (feixe objecto). Quando queremos registar um holograma de reflexão os dois feixes deverão chegar à placa holográfica de lados opostos e quando queremos fazer um holograma de transmissão os dois feixes deverão chegar à placa holográfica do mesmo lado. Para além de se analisar o nível de estabilidade do sistema e medir o comprimento óptico dos

feixes, é necessário também medir o “ratio” entre os feixes assim como a potência que chega à placa.

Conhecendo a energia mínima para a emulsão ser fotossensibilizada, faz-se a estimativa do tempo de exposição necessário, através da expressão:

$$P = \frac{E}{\Delta t}$$

Procede-se depois a alguns ensaios, de modo a otimizar o tempo de exposição. Finalmente, faz-se o registo do holograma, com todo o sistema pronto, expondo o filme/placa holográfico(a) durante o tempo que foi estimado. Durante a exposição tem que existir o máximo de silêncio e de estabilidade.

### **Revelação**

Após a exposição da placa holográfica, esta é retirada do suporte cuidadosamente, de modo a não ser tocada na emulsão, e é tratada numa sequência de banhos químicos (ver processamento químico) e posteriormente colocada a secar.

### **Tipos de hologramas**

Existem várias técnicas de registo holográfico, baseadas em dois tipos de holografia:

- . Holografia de transmissão
- . Holografia de reflexão

Holograma de transmissão:

No registo de um holograma de transmissão (Fig. 4), o feixe objecto e o feixe referência juntam-se do mesmo lado do filme holográfico.

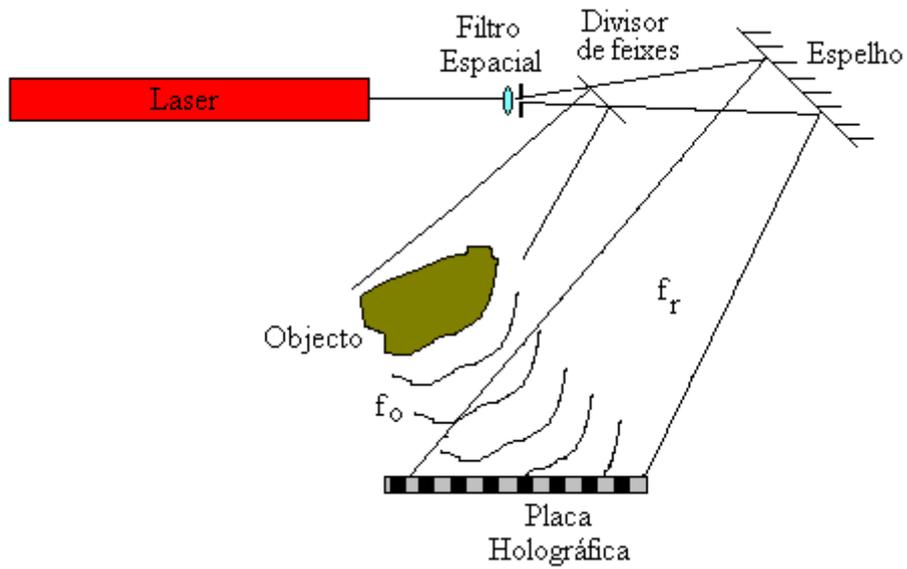


Fig.4: Diagrama da montagem experimental para holograma de transmissão.

Holograma de reflexão:

No registo de um holograma de reflexão ou holograma Denisyuk (Fig. 5), o feixe objecto e o feixe referência juntam-se, vindo de lados opostos do filme holográfico.

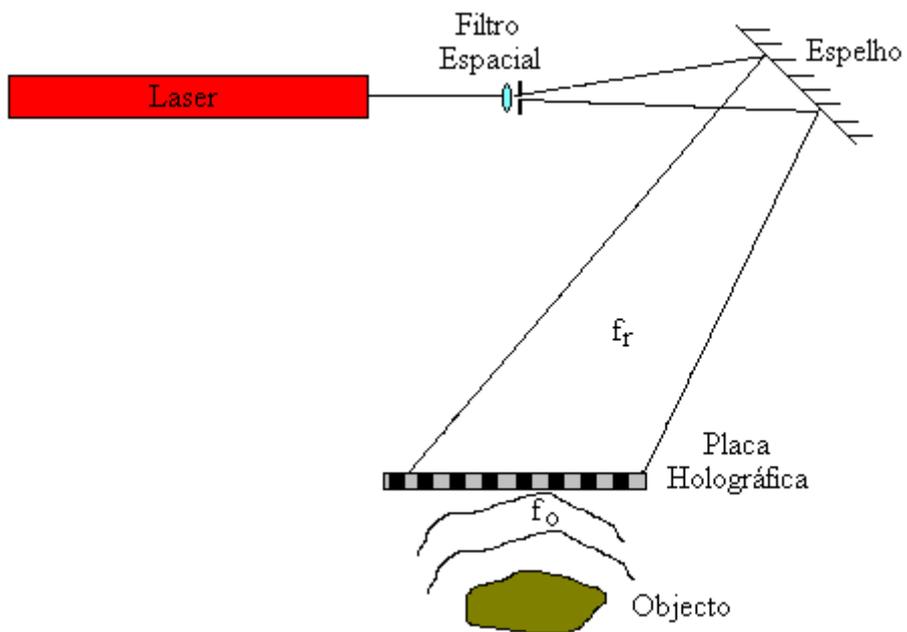


Fig. 5: Diagrama da montagem experimental para holograma de reflexão.

### Frequência espacial

Durante o registo de um holograma, se o comprimento de onda do laser utilizado for  $\lambda$ , então a separação  $d$  entre as franjas do padrão de interferência é obtida a partir da equação de Bragg:

$$d = \frac{\lambda}{\sin \theta_r + \sin \theta_o}$$

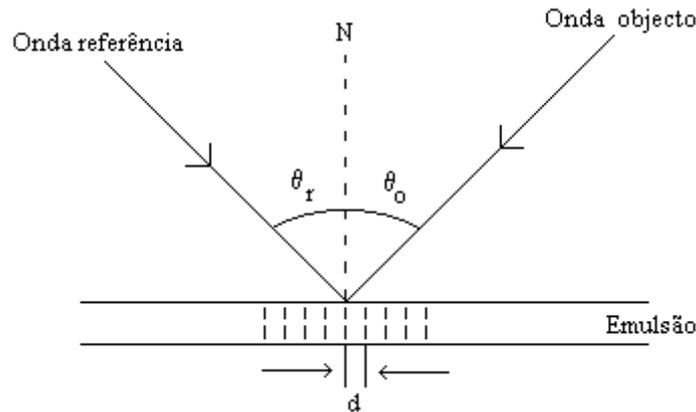


Fig. 6: Representação dos ângulos dos feixes incidentes com a normal ao filme/placa holográfico(a).

Como a frequência espacial,  $f_s$ , é o inverso da distância entre as franjas:

$$f_s = \frac{1}{d}$$

$$\Rightarrow f_s = \frac{\sin \theta_r + \sin \theta_o}{\lambda}$$

## Rede holográfica de difracção

Se registarmos o padrão de interferência entre duas frentes de ondas planas, obtemos um *holograma elementar*, constituído por riscas planas equidistantes, distanciadas da ordem de meio comprimento de onda (Fig. 7). Isto significa que para gravarmos uma rede holográfica de difracção necessitamos que o feixe objecto seja igual ao feixe referência. Tal situação pode-se facilmente obter utilizando um espelho como objecto.

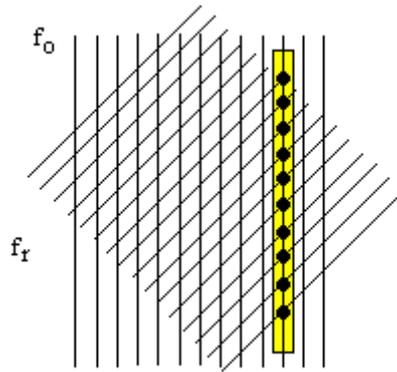


Fig. 7: Formação do padrão de interferência entre duas frentes de ondas planas – *holograma elementar*.

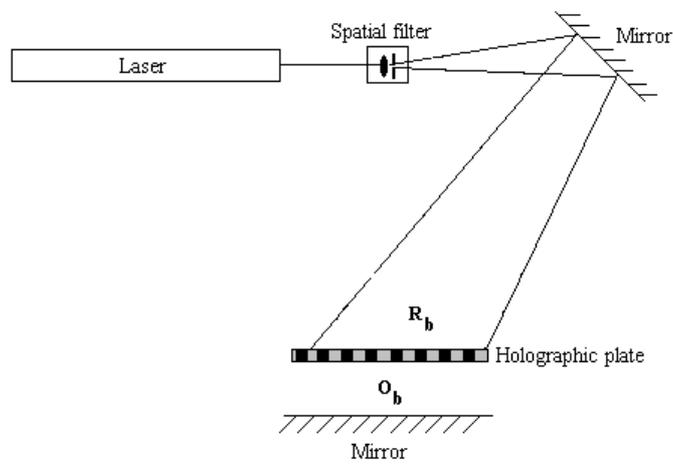


Fig. 8: Diagrama experimental para gravação de redes holográficas de difracção por reflexão.

## ANEXOS

### Sistema elementar (caixa de areia)



Fig. 9: Fotografia da montagem do interferômetro de Michelson no sistema caixa de areia.



Fig. 10: Fotografia da montagem experimental para holografia de reflexão no sistema caixa de areia.

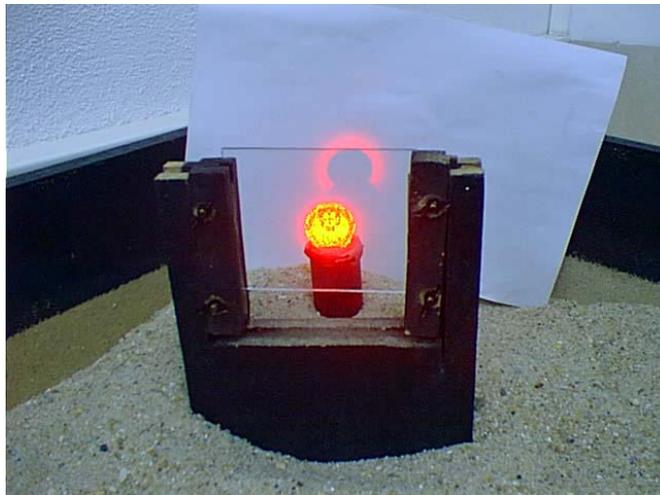


Fig. 11: Fotografia da iluminação do objecto.

### Sistema avançado (mesa óptica)



Fig. 12: Fotografia da montagem para holografia de reflexão no sistema holográfico da Escola.

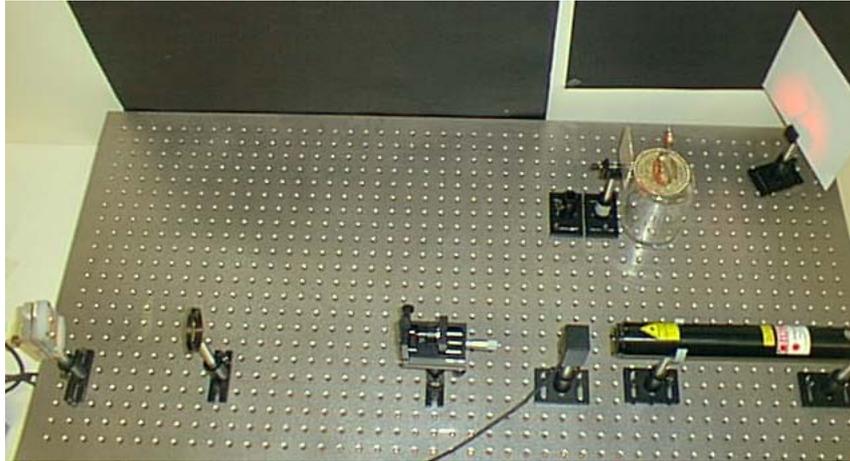


Fig. 13: Fotografia da montagem experimental para holografia de reflexão no sistema avançado.

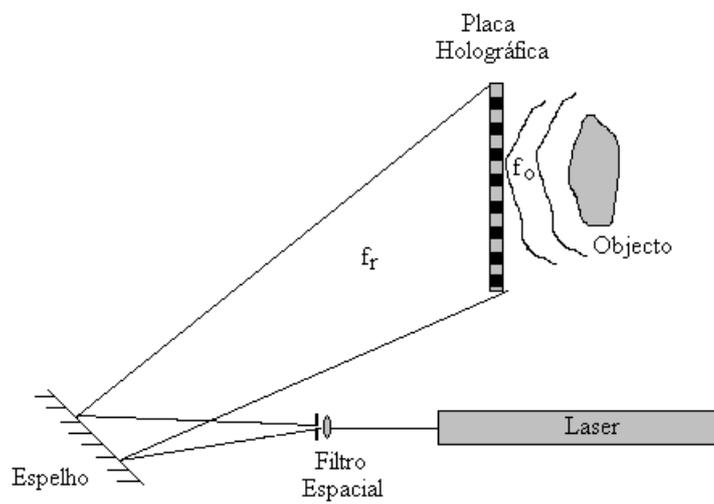


Fig. 14: Diagrama esquemático da montagem de reflexão no sistema holográfico.

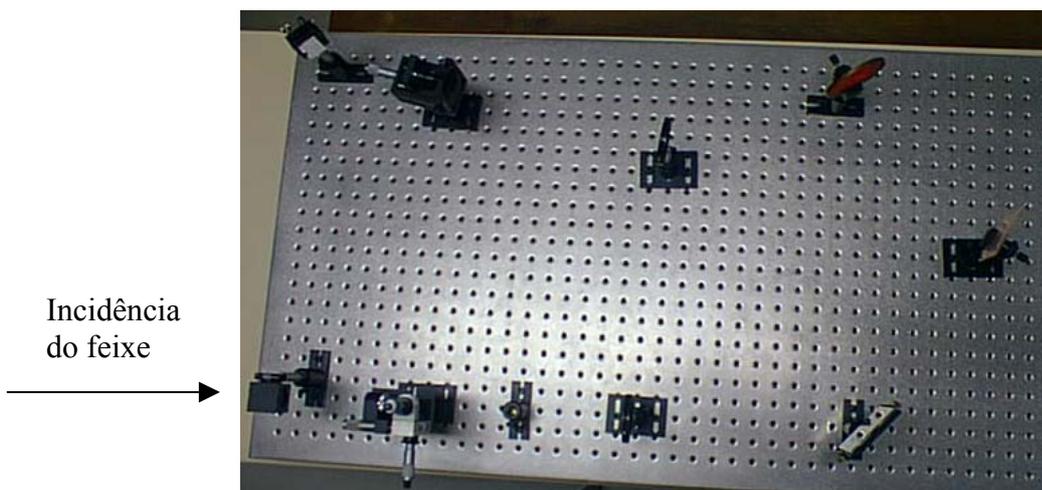


Fig. 15: Fotografia da montagem de transmissão no sistema holográfico.

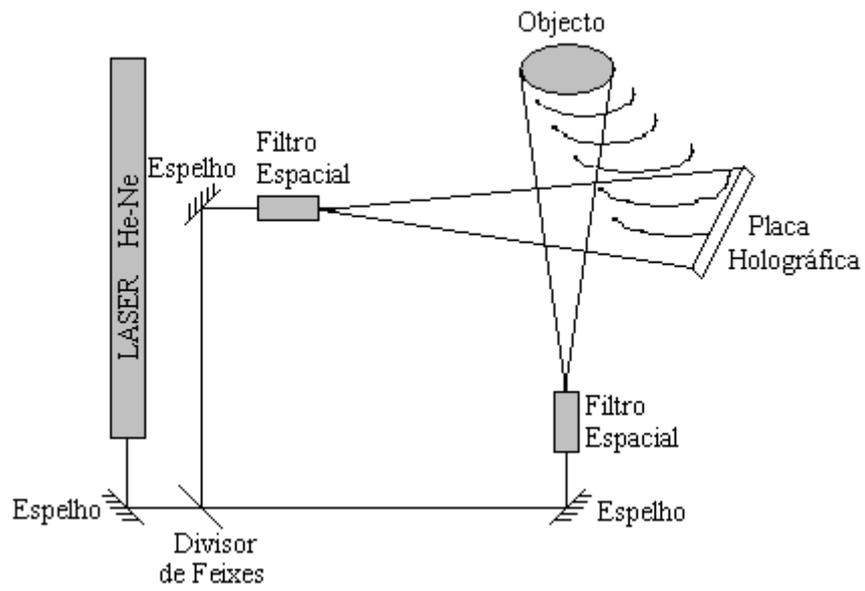


Fig. 16: Diagrama esquemático da montagem de transmissão no sistema holográfico.