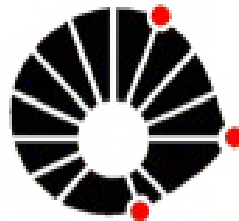


Relatório Final F 530



UNICAMP

Gravação de Holoimagens com Luz Branca.

Realizado na universidade estadual de Campinas UNICAMP.



Aluno: André Luiz Vannucci - adelannucci(arroba)gmail.com
Orientador: José J. Lunazzi - lunazzi(arroba)ifi.unicamp.br

Índice

1.0 - Introdução.....	3
1.1 - Motivação:.....	3
1.2 - Objetivo:.....	3
1.3 - Histórico:.....	3
2.0 - Teoria e Definições.....	4
2.1 - Holografia:.....	4
2.2 - Holoimagens:.....	4
2.3 - Efeito Lippmann:.....	5
2.4 - Redes de Difração.....	5
2.5 - Telas Holográficas:.....	6
2.6 - Modelos para descrever como ocorre o registro na DCG	6
3.0 - Procedimentos e Técnicas.....	7
3.1 - Produção da DCG:.....	7
3.2 - Sistema para gravação de hologramas:.....	9
3.3 - Sistema para gravação da holoimagem:.....	9
4.0 - Resultados e conclusões.....	10
4.1 – Discutindo sobre as montagens.....	11
4.2 – Discutindo sobre a conservação e reprodutibilidade da DCG.....	12
4.3 – Avaliando os resultados obtidos.....	13
4.4 – Palavras finais.....	14
5.0 - Referências	15

1.0 - Introdução

1.1 - Motivação:

A holografia se tornou possível devido ao avanço tecnológico, principalmente pela invenção do laser. E podemos até certo ponto comparar a holografia com a fotografia, as duas são capazes de registrar a informação luminosa e ambas utilizam filmes. E com o surgimento da fotografia digital a indústria de filmes fotográficos sofreu um grande enfraquecimento e com isso a produção de filmes holográficos se tornou muito reduzida. Desta forma a holografia vem desaparecendo lentamente, o que é lamentável, pois suas aplicações são muitas. Como recurso didático é uma excelente ferramenta e a sua utilização nas artes ainda não foi totalmente explorada. Buscando modificar este cenário estamos trabalhando em uma nova maneira de gravar uma imagem que pode ser apreciada em 3D, mais ainda necessitamos do filme holográfico. Para solucionar este problema fabricamos nossas placas holográficas. Que podem ainda apresentar uma alternativa para aqueles que desejam gravar hologramas e encontram dificuldades para comprar o filme holográfico.

1.2 - Objetivo:

Desenvolver um sistema para gravar uma holoimagem. Baseado no artigo publicado pelo professor Lunazzi [1], que faz uma proposta teórica e inovadora capaz de gerar uma imagem com propriedades semelhantes à de um holograma. Explicar claramente o processo para produção de placas holográficas utilizando gelatina dicromatada "DCG" (do inglês dicromated gelatin) buscando soluções para os problemas de conservação e reprodutibilidade. E desenvolver uma forma simples e acessível para construir um sistema para gravação de holoimagens.

1.3 - Histórico:

Hoje em dia os efeitos de difração e interferências já são bastante conhecidos porém muitos esforços foram dedicados para defini-los e utilizando esses conhecimentos em 1948 Dennis Gabor desenvolveu uma nova técnica, tendo descoberto que quando uma luz de coerência adequada se encontra com a luz difratada ou espalhada de um objeto é possível gravar tanto a informação da fase como a amplitude independente do material fotossensível responder somente a intensidade luminosa. Sendo assim a partir de um padrão de interferência registrado era possível obter a imagem de um objeto, e surge assim o holograma. Desconhecendo os

trabalhos de Gabor, Yuri N. Denisyuk inspirado por um livro de ficção científica desenvolve a holografia, onde a diferença na técnica esta no fato de que o holograma de Gabor para ser reconstruído necessita ser iluminado com uma fonte de luz monocromática já o de Denisyuk utiliza luz branca. Tendo em vista o aperfeiçoamento da geração de imagens em três dimensões utilizando luz branca José J. Lunazzi se dedicou a criação e desenvolvimento de técnicas de holoprojeção sobre uma tela difrativa chamada de tela holográfica [2]. Com a tela holográfica se tornou possível projetar objetos e ampliar hologramas, além de imagens vetoriais geradas por computador, imagens eletrônicas geradas por varredura e da holo-televisão [3]. Surgindo assim um novo tipo de imagem que foi denominada de holoimagens.

2.0 - Teoria e Definições

2.1 - Holografia:

O holograma é uma reconstrução perfeita de um objeto, isso ocorre por que o filme holográfico registra a luz refletida pelo objeto de forma a manter a fase e a amplitude da luz. Desta forma, no filme holográfico não fica registrado a imagem mais um padrão de interferência que quando iluminado fará a luz ser difratada de forma a reconstruir a imagem do objeto. Entretanto para que seja possível gravar um holograma devemos utilizar uma fonte de luz coerente, assim conseguimos gravar as informações da amplitude e da fase, mas o filme somente responde a intensidade luminosa e para transformar a informação da fase em amplitude utilizamos uma frente de onda que chamamos de frente de onda de referência. Podemos ver na Figura 1 a gravação do padrão de interferência das duas frentes de ondas a do objeto e a referencia.

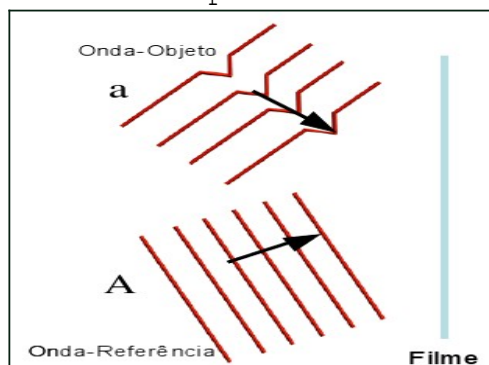


Figura 1: Gravação de um holograma num filme holográfico, fazendo a interferência da onda objeto "a" com a onda referência "A".

2.2 - Holoimagens:

Definimos uma holoimagem como uma imagem volumétrica produzida com a utilização de uma tela holográfica. Possui paralaxe contínua, mas diferente de um holograma, onde a imagem está registrada permanentemente no filme, uma holoimagem acontece sem o registro, ela é produzida através

de uma projeção sobre a tela. Porém como discutido na referência 1 Sabemos que a fotografia através de uma Rede de difração gera um borrão colorido na imagem difratada, e o professor Lunazzi já demonstrou que para cada comprimento de onda temos uma perspectiva diferente do objeto e rotacionada (processo de codificação e decodificação por difração). Assim, se conseguirmos gerar uma reconstrução luminosa que conserve a informação do comprimento de onda e percorra o caminho inverso dos raios do objeto teremos uma imagem semelhante a holográfica. Que será o registro de uma Holoimagem. A Fotografia Lippmann é de fundamental importância no processo, pois esta técnica reproduz fielmente os comprimentos de onda. Em uma fotografia convencional não se observa o mesmo efeito.

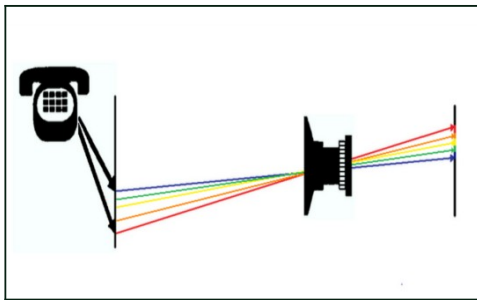


Figura 2 : Gravação de uma Holoimagem

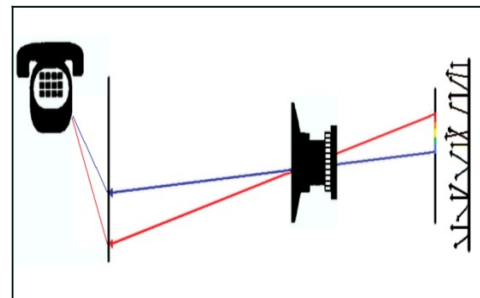


Figura 3 : Reconstrução de uma Holoimagem

2.3 - Efeito Lippmann:

Lippmann descobriu uma técnica para obter fotografias coloridas baseado na produção de ondas luminosas estacionárias [4]. Onde era utilizada uma placa fotográfica de alta resolução muito semelhante aos filmes holográficos, e sobre a emulsão era colocado uma película refletora de mercúrio, assim era exposta a luz dentro de uma câmera fotográfica de forma que a face do vidro seja iluminada e face onde se encontra a emulsão estivesse em contato com a superfície refletora.

Temos que a luz proveniente da cena fotografada é composta de inúmeros comprimentos de onda. Em cada ponto são formadas ondas estacionárias e os anti-nodos são separados por meio comprimento de onda da cor incidente neste ponto.

2.4 - Redes de Difração

Em termos gerais uma rede de difração é um elemento óptico capaz de produzir alterações periódicas em uma onda eletromagnética na fase, na amplitude ou em ambas. Basicamente podemos generalizá-las como sendo um objeto dotado de inúmeras fendas ou sulcos, onde cada comprimento de onda se difrata em um determinado ângulo. Uma rede pode

ser obtida através do registro de um holograma elementar. Fazendo com que a onda objeto seja igual à onda referencia que produz um padrão de linhas planas equidistantes. As redes podem ser separadas em dois grupos, as de transmissão, onde a difração ocorre no lado oposto à incidência da luz, e as de reflexão onde a difração ocorre no mesmo lado onde da luz incide.

2.5 - Telas Holográficas:

Uma tela holográfica é um elemento óptico difrativo capaz de redistribuir a luz incidente para o observador de modo que a imagem resultante seja gerada em um plano diferente da tela. Uma tela holográfica simples pode ser obtida pelo registro do padrão de interferência de dois feixes monocromáticos divergentes, uma estrutura periódica como uma rede de difração também pode ser utilizado como uma tela porem possui uma limitação no campo de observação. Para aplicações como a holoTV telas outras telas devem ser utilizadas, para maiores detalhes consultar a referência [5].

2.6 - Modelos para descrever como ocorre o registro na DCG

Inicialmente temos que a gelatina é um polímero complexo essencialmente formado por proteínas (colágeno). Digamos que as moléculas da gelatina se apresentam na forma de fios capazes de serem dobrados sobre si mesmo ou de desenrolar, dependendo do meio em que se encontram. Quando dissolvemos a gelatina e aquecemos, temos que as suas proteínas se desenrolam e ligam-

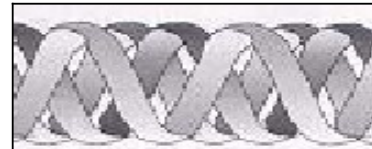


Figura 4 : O colágeno formado por três cadeias em hélice.



Figura 5 : O colágeno dissolvido. Não volta mais a se enrolar e acabam estabelecendo novas ligações entre si.

se entre si formando uma rede cristalina capaz de gelificar uma quantidade muito grande de água com poucas moléculas. Assim podemos dizer que o gel formado é principalmente composto por água uma vez que 10g de gelatina consegue gelificar 5 decilitros de água. Agora acrescentando o dicromato nessa estrutura cristalina podemos supor que a sua distribuição seja homogeneia e quando o dicromato e exposto a luz ele se sensibiliza e se desprende da rede cristalina. Quando

submetemos à emulsão a revelação a base de 50 % de álcool isopropílico a gelatina se expande muito e rompe na região onde se encontra o dicromato, já no segundo banho com 100% de álcool isopropílico a gelatina sofre uma compressão muito rápida e acaba reordenando a rede cristalina, neste ponto o dicromato já foi removido, deixando apenas uma pequena esfera com vácuo em seu interior.

3.0 - Procedimentos e Técnicas

Neste tópico descrevo os procedimentos experimentais realizados para produzir a placa holográfica, e montagem dos sistemas para gravar hologramas e holoimagens. Mesmo não sendo o nosso objetivo gravar hologramas, a sua realização se faz necessária, pois através desta prática podemos realizar os testes com as placas de DCG, uma vez que é muito mais rápido gravar um holograma do que uma holoimagem.

3.1 - Produção da DCG:

As emulsões de gelatina dicromatada são consideradas como um dos melhores meios para o registro de hologramas de modulação de fase. Para produzirmos, precisamos de:

Emulsão	Revelador
Água Destilada	Água Destilada
Gelatina Comercial In-color	Álcool IsoPropílico
Dicromato de Amônio	Esmalte Translúcido (para proteção da emulsão após revelado)
Glicerol	
Azul de metileno	
Substratos de vidro	

- Preparação da emulsão sensível à luz:

- Para a fabricação da emulsão o laboratório deve estar à uma temperatura média de 20°C com umidade menor que 60%. A gelatina dicromatada, deve ser preparada, num vidro, utilizando :

água destilada, gelatina comercial incolor numa proporção 100:10 em pesos.

1. Utilizando uma agitador magnético com aquecimento, aquecemos a água ate atingir uma temperatura de aproximadamente de 70°C, acrescentando gradualmente a gelatina ate que seja dissolvida por completo durante um tempo de 30 minutos.

2. Após dissolver a gelatina, acrescentamos o dicromato numa concentração equivalente a 0,9% do peso total da mistura precedente, agitando a mistura durante mais 10 minutos e retira-se finalmente o vidro com a mistura do agitador magnético.

3. Para a fabricação das placas sensíveis à luz, a gelatina dicromatada ainda líquida deve ser estendida uniformemente pelos substratos de vidro aquecidos a uma temperatura de 60°C.

4. Os substratos foram colocados sobre uma mesa nivelada. A gelatina dicromatada deve ficar secando durante um período de 12 horas antes de ser exposto. A grossura dos filmes sobre os substratos varia desde (50±5) µm a (90±5) µm.

- Revelação:

- Após expor os substratos submetemos imediatamente ao processo de revelação, sem ter necessidade utilizar um quarto escuro.

1. Este processo consiste em introduzir a emulsão num recipiente que contenha 50 ml álcool isopropílico e de 50 ml de água destilada por um tempo de 5 minutos sendo agitado continuamente.

2. Coloca se a emulsão num recipiente que contenha 100 ml de álcool Isopropílico por um tempo de 2 minutos sendo agitado continuamente.

- Secagem:

Para a secagem utilizar um secador de cabelos, situado à 15 cm do substrato durante um tempo de 5 minutos. Em atmosferas muito úmidas a gelatina absorve água do meio, por isso após a secagem deve se aplicar uma camada de esmalte translúcido.

MBDCG (Gelatina dicromatada com azul de metileno)

Buscando expandir o espectro de sensibilidade da DCG para o vermelho utiliza-se azul de metileno na mistura. Esta etapa tem grande importância para o projeto uma vez que a DCG é naturalmente sensível ao espectro do azul ao verde, se conseguirmos expandir para o vermelho teremos uma placa pancromática ideal para gravar uma holoimagem. Porém ainda se encontra em processo de teste, portanto não temos uma fórmula que utilizamos frequentemente. E ainda não obtemos resultados satisfatórios com os procedimentos descritos na literatura.

DCG-G[6](Gelatina dicromatada com glicerol)

Este procedimento tem como objetivo aumentar a resistência da gelatina contra a umidade e assim prolongar a durabilidade da DCG. Também não temos um resultado satisfatório, entretanto consiste em acrescentar uma quantidade 4% de glicerol, com relação à massa total da solução.

3.2 - Sistema para gravação de hologramas:

O sistema para gravação de um holograma requer um feixe de luz monocromática, utilizamos um laser de estado sólido verde de 100 mW de potência nominal, dois espelhos côncavos um suporte para a placa formando um ângulo de 45° com a horizontal. Posicionamos o laser de forma a atingir o espelho em um ângulo em que o feixe refletido sai expandido e ilumina o suporte, colocamos um objeto atrás do suporte. Desta forma o feixe referência ilumina diretamente a placa, e o feixe objeto e basicamente a luz que atravessa a placa e que reflete do objeto.

3.3 - Sistema para gravação da holoimagem:

Realizamos duas montagens para gravar a holoimagem. Descritas a seguir:

- **Primeira Montagem:**

Para tornar a montagem o mais simples possível utilizaremos com objeto o filamento de uma lâmpada halogena. Assim montamos um suporte para a lâmpada de forma a deixar o filamento na posição vertical então colocou a frente da lâmpada a rede difrativa de maneira que ela gere um espectro luminoso horizontal. Em seguida focalizamos o espectro com uma lente objetiva de xx mm acoplada em uma câmera fotográfica.

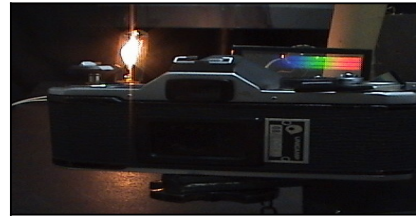


Figura 6: Sistema para gravar uma holoimagem, primeira montagem.

- **Segunda Montagem:**

Nesta montagem utilizamos uma lâmpada xênon e trocamos a rede de difração por uma com maior eficiência de difração porém ela funciona por reflexão, assim o sistema teve que ser modificado. Como se pode observar na figura 7. E também substituímos a objetiva por uma tele objetiva.

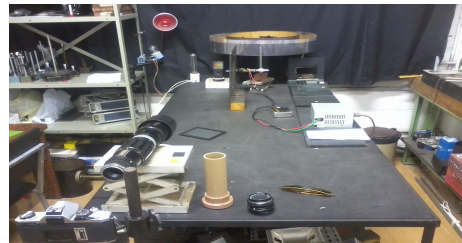


Figura 7: Sistema para gravar uma holoimagem, segunda montagem.

- **Observação sobre a disposição da DCG na maquina fotográfica:**

Nos dois casos colocamos a DCG de forma que a luz chegue incidindo sobre a face que não contem a emulsão. Em seguida colocamos uma película refletora na superfície que se encontra a emulsão.

4.0 - Resultados e conclusões

Diante do que foi apresentado descrevendo os procedimentos realizados no laboratório. Obtemos alguns resultados que serão apresentados a seguir. Descrevendo os sucessos e insucessos de forma a facilitar a continuação da pesquisa, buscando formas de obter um melhor resultado.

4.1 - Discutindo sobre as montagens

- **Primeira Montagem:**

Não a muito que falar sobre essa montagem, utilizávamos uma lâmpada que não gerava uma luminosidade suficiente para sensibilizar a DCG sem utilizar tempos longos de exposição, a rede de difração não conseguia gerar um espectro largo o suficiente e a objetiva focalizava o espectro de forma que ele ficava muito pontual na placa além do que muita luz era perdida devido a sua pequena abertura. Esses fatores acabavam por dificultar a interferência e não obtivemos o resultado desejado. Com esse sistema não conseguimos nenhum resultado positivo.

- **Segunda Montagem:**

Utilizando essa montagem obtemos resultados positivos, conseguimos sensibilizar a DCG e mais em alguns casos obtemos o efeito Lippmann. É inegável que a lâmpada xênon tem maior luminosidade o que reduz muito o tempo de exposição, estamos utilizando algo na ordem de 30 min. Sobre a rede de difração utilizada nessa montagem, temos que ela se mostra mais adequada, pois consegue gerar um espectro mais largo o que facilita na obtenção do efeito Lippmann. E com a teleobjetiva conseguimos focalizar na placa um espectro que tem dimensões de 4 cm de comprimento por 1 cm de largura. As dimensões detalhadas do sistema podem ser observadas na Figura 8.

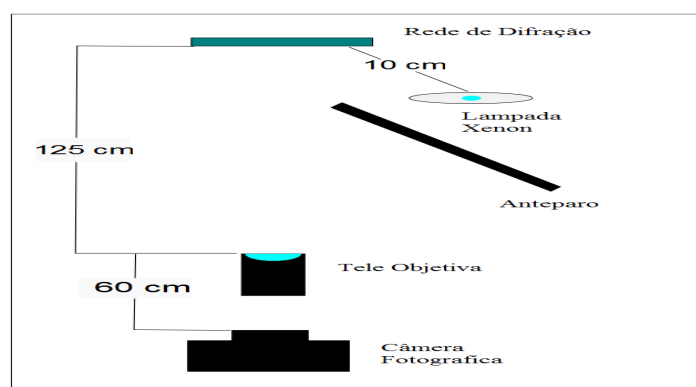


Figura 8: Figura descrevendo a montagem 2.

4.2 - Discutindo sobre a conservação e reprodutibilidade da DCG

Ao realizar a produção da DCG, encontramos inúmeras dificuldades, é fato que a pratica melhorou muito o resultado final, entretanto alguns fatores dificultam os avanços na gravação de uma holoimagem. O primeiro problema se encontra em reproduzir de forma a manter as características da espessura da emulsão constante. O segundo problema esta relacionado ao fato de que a espessura da DCG varia de acordo com a umidade ambiente, ou seja, quando se grava uma holoimagem ou holograma nos primeiros dias, a imagem se mostra brilhante e conforme o tempo passa ela desaparece.

Ainda não conseguimos eliminar esses dois problemas, porem realizamos algumas melhorias.

- **Primeiro problema:**

Utilizando uma mesa nivelada conseguimos fazer com que a gelatina não fique de certa forma homogenia no substrato, porem isso não garante que a emulsão tenha uma espessura constante. O que percebemos e que devido a não planicidade das lamínulas de vidro as bordas se apresentam mais finas. O que fizemos é juntar três lamínulas e realizar uma pressão e depois depositar a gelatina.

A deposição é feita com uma pequena régua ou lamina, onde em uma das extremidades e depositada a gelatina e com a lamina espalhamos ate a extremidade oposta e retornamos a posição original.

- **Segundo Problema:**

O que estamos fazendo para proteger a DCG da umidade e aplicar uma película de esmalte translucido e colocar outra lamínula de vidro sobre a emulsão, o que percebemos é que somente o esmalte aumenta consideravelmente a duração da DCG, entretanto o melhor e utilizar o esmalte com a lamínula de vidro.

O que se pode dizer é que conforme a espessura da emulsão aumenta o brilho também tende a aumentar ate certo limite. Porem uma emulsão mais espessa tende a sofrer a ação da

umidade mais rapidamente, e mesmo com o esmalte o seu tempo de vida é muito curto. Uma alternativa experimentada foi o uso de uma bomba de vácuo.

- **Bomba de Vácuo**

Para tentar aumentar a durabilidade e acelerar o processo de secagem das placas foi utilizada uma bomba de vácuo com a intenção de remover a umidade acelerando assim o processo de secagem entretanto o principal objetivo era o de solucionar o nosso segundo problema. O sistema consistia em submeter as placas a um ambiente com baixa umidade e rapidamente selar a placa com um plástico protetor ou uma outra placa de vidro. Entretanto a durabilidade das placas não melhorou. E seu provável motivo era que a bomba estava com falhas em seu sistema de vedação.

4.3 - Avaliando os resultados obtidos

Em termos de resultado temos algumas placas onde simplesmente aconteceu a sensibilização da região onde o espectro foi focalizado, e em alguns casos aconteceu de formar ondas estacionárias e assim o surgimento de efeito Lippmann.

O que desejávamos era obter um espectro contínuo entretanto o melhor caso que conseguimos foi dois comprimentos de ondas. No caso o azul, que depois de revelar caiu para o verde. E o verde que após revelado tendeu para o vermelho.

Temos a seguir algumas fotos dos resultados.

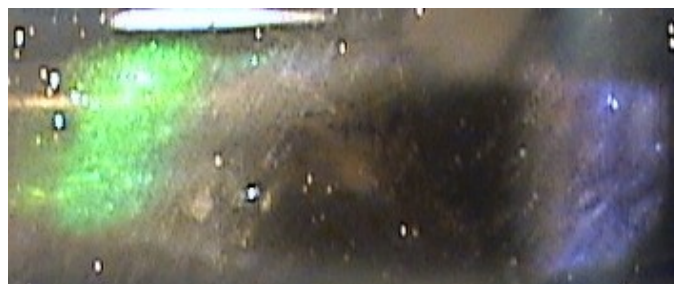


Figura 9: Espectro gravado em DCG apresentando o efeito Lippmann.

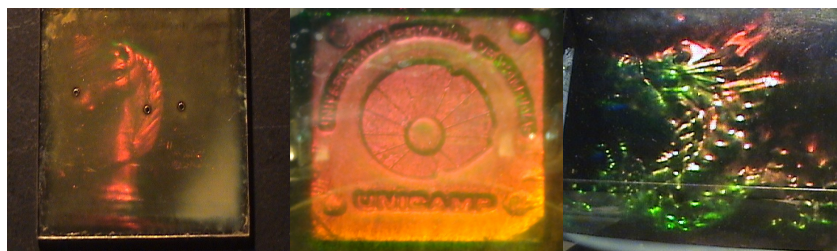


Figura 10: Hologramas gravado em DCG apresentando um ótimo brilho.

4.4 - Palavras finais

Estamos conseguindo resultados satisfatórios, entretanto acreditamos que seja possível melhorar ainda mais. Existem técnicas para aumentar a sensibilidade da DCG de forma a torna-la sensível também ao vermelho, o que tornaria possível obter um espectro contínuo.

Também existem referencias em que a secagem é feita em uma câmara de vácuo, o que poderia acelerar o processo de secagem e aumentar a durabilidade, entretanto teríamos dificuldades para nivelar a superfície onde se encontra os substratos.

E com os resultados mais recentes estamos tentando realizar o traçado inverso dos raios de forma a projetar em uma tela um ponto que apresente se em um plano a frente da tela. O que já seria uma evidencia experimental do que foi exposto teoricamente na referência 1.

Avaliando os resultados com os objetivos pode se dizer que conseguimos desenvolver um sistema capaz de gravar uma holoimagem. O processo de fabricação da DCG é simples e esta detalhado de forma clara, além do fato de que existem inúmeros artigos que o descrevem de forma muito eficiente. E os problemas de conservação e reprodutibilidade foram parcialmente solucionados.

- **Comentário do Orientador:**

O trabalho foi muito dedicado. A iniciativa de se trabalhar com gelatina foi oportuna. Iniciou a realização de hologramas com a DCG e o trabalho foi útil para sua continuidade por outro aluno.

5.0 - Referências

1. J.J Lunazzi. "WhiteLight Colour Photography for Rendering HoloImages in a Diffractive Screen"; Published in the **Fourth International Conference on Holographic Systems, Components and Applications**, Neuchatel, Switzerland, 13-15 September 1993 (Conf. Publ. No.379). IEE; London; UK. pp. 153-6; 1993.
2. Lunazzi, J. J. "Holoprojection of images by a double diffraction process", in: "Opt. e Fis. Atômica", Proc. of the **XIV Encontro Nacional de Física da Matéria Condensada**, SBF eds., Caxambu-MG-BR, V.S. Bagnto, C. H. de Brito Cruz eds., 7-11.5.91, p.OTI 5a. 12:00.
3. J. J. Lunazzi, D. S. F. Magalhães, N. I. R. Rivera, and R. L. Serra. **A Holo-television system with a single plane**. Opt. Lett., 34:533-535,2009.
4. Sears, F. W. "Física - Óptica" Rio de Janeiro, Livro Técnico LTDA., 1956. Páginas: 205-206.
5. D. S. F. Magalhães, **Construção de Telas Holográficas e Aplicações**. PhD thesis, Universidade Estadual de Campinas, 2009.
6. V. Romero-Arellano, C. Solano y G. Martínez-Ponce. **Gelatina dicromatada modificada para incrementar su resistencia a la humedad**. Revista Mexicana de Física, 52(2) 99-103, abril 2006.
7. G. Lippmann, "**La photographie des couleurs**" Comptes Rendues des Scéances de l'Académie des Sciences, Paris, **112**, pp. 274-275, 1891.
8. G. Lippmann, "**Sur la théorie de la photographie des couleurs simples et composées par la méthode interférentielle**" J. de Physique **3**, 97-107, 1894.