

INICIAÇÃO CIENTÍFICA I - F590

Prof. José J. Lunazzi

**Explorando as propriedades da gelatina sensibilizada à luz para
registro de imagens.**

Relatório Final de Atividades (Junho de 2013)



Aluna: Tatyana G. Stankevicius

Orientador: Prof. Dr. José Joaquim Lunazzi

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE FÍSICA “GLEB WATAGHIN”

STANKEVICIUS, Tatyana G. **EXPLORANDO PROPRIEDADES DA GELATINA SENSIBILIZADA À LUZ PARA REGISTRO DE IMAGENS. Relatório de Iniciação Científica (Graduação) – Instituto de Física ‘Gleb Wataghin’ . Universidade Estadual de Campinas, 2013.**

RESUMO

Descreveremos quatro tipos de aplicações de gelatina sensibilizada por dicromato de amônio, que valem como elemento didático e histórico sendo a última uma pesquisa ainda em andamento: Fotografia (meados do século XIX, os primórdios dos registros feitos com luz), Fotografia Lippmann (final do século XIX, primeiro registro de imagens coloridas), Holografia (meados do século XX, primeiro registro tridimensional sem “acessórios”) e Holofotografia (século XXI – registro de holoimagens utilizando a luz branca).

Palavras – chave: holoimagem, holografia, fotografia Lippmann, gelatina dicromatada, holofotografia.

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| RESUMO ----- | 3 |
| INTRODUÇÃO ----- | 4 |
| 1. OBJETIVOS ----- | 5 |
| 2. TEORIA E DEFINIÇÕES ----- | 5 |
| 2.1 HOLOGRAFIA ----- | 6 |
| 2.2 FOTOGRAFIA E EFEITO LIPPMANN ----- | 6 |
| 2.3 HOLOIMAGENS ----- | 7 |
| 2.4 IMPRESSÃO DE CARBONO ----- | 9 |
| 2.5 MODELOS PARA DESCREVER COMO OCORRE O REGISTRO NA DCG ----- | 10 |
| 4. RESULTADOS OBTIDOS ----- | 11 |
| 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS ----- | 18 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ----- | 19 |
| ANEXO I: PRODUÇÃO DA GELATINA DICROMATADA ----- | 21 |

Introdução

Depois da descoberta da fotografia, um processo de obtenção de imagens, realizado por John Pouncy em 1858 mas cujo processo de gravação foi descrito por Joseph Wilson Swann, ficou conhecido por “impressão de carvão”. Eram utilizadas placas cobertas com gelatina e brometo de prata, gravando imagens em preto e branco sendo, mais tarde adaptado à cor, através da utilização de pigmentos, por Hermann Wilhelm Vogel em 1873, através do tratamento das placas com anilina e corantes específicos. Esse processo podia produzir imagens de qualidade muito elevada, que são excepcionalmente resistentes à deterioração e desbotamento. Foi desenvolvido em meados do século XIX em resposta a preocupações sobre o desaparecimento de tipos iniciais de prata baseados em preto e branco, que já estava se tornando aparente dentro de alguns relativamente poucos anos de sua introdução.

Entre os prêmios Nobel de Física, dois cientistas foram homenageados por seus métodos notáveis para gravar imagens: Gabriel Lippmann, concedido em 1908 "por seu método de reproduzir imagens coloridas baseado no fenômeno de interferência", e Dennis Gabor, concedido em 1971, "por sua invenção e desenvolvimento do método holográfico". Ambos os métodos tinham o objetivo de reproduzir uma imagem de uma forma bastante diferente de outras tentativas anteriores feitas para a mesma finalidade. Para conseguir isso, Lippmann e Gabor escolheram uma abordagem revolucionária para a física fundamental em vez de seguir um progresso evolutivo em engenharia.

Em 1886, quando a tecnologia da fotografia ainda estava lutando para transferir as cores da natureza para adequar os valores de tons em preto e branco, Gabriel Lippmann concebeu um método de duas etapas para gravar e reproduzir imagens coloridas diretamente através dos comprimentos de onda no objeto e a fotografia subsequente.

Enquanto Lippmann melhorava fotografia em preto e branco para cores, a holografia Gabor, em 1948, estendeu a fotografia a partir de imagens planas em um espaço de imagem tridimensional chamando-as de holografia. Procedimentos para oferecer para cada olho do espectador a sua própria paralaxe - estereoscopia - são históricos como a própria fotografia. Mas a ideia de Gabor, de um "holograma" era de obter todas as informações em todo o espaço da imagem melhorando, assim, a nitidez nos registros da microscopia eletrônica, eliminando do processo as lentes eletromagnéticas, que produziam uma aberração difícil de reduzir.

Todas essas técnicas foram esquecidas devido ao advento da tecnologia e da fotografia digital e se perderam no tempo. Esse desaparecimento é lamentável, visto que suas aplicações poderiam ser mais e melhor exploradas: 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 reproduzir essas imagens, mais ainda necessitamos do filme holográfico. Para solucionar este problema estamos fabricando nossas placas holográficas, que podem ainda apresentar uma alternativa para aqueles que desejam gravar produzir esse tipo de imagem e encontram dificuldades para comprar o filme holográfico.

1. Objetivos

Projeto de física experimental que visa reproduzir imagens métodos fotográficos históricos como a “impressão de carvão” e a fotografia Lippmann e o método holográfico utilizando placas de gelatina sensibilizada por dicromato de amônio produzidas no laboratório. Além disso, visamos desenvolver uma maneira de gravar imagens como a de hologramas (o que chamamos de holoimagens) a partir de luz branca utilizando o princípio da fotografia Lippman. A proposta inovadora publicada pelo Prof. Lunazzi em 1993 [1], sugere que a luz proveniente de um objeto ao passar por uma rede de difração e focalizada em uma placa holográfica gera um espectro na placa. O espectro gerado, quando iluminado por uma fonte de luz branca reconstrói a trajetória dos raios de luz, que ao passarem pela rede de difração reproduz a imagem em relevo do objeto, temos assim a holoimagem. Se comprovarmos experimentalmente a veracidade da proposta teremos uma grande inovação nas pesquisas sobre holografia.

2. Teoria e Definições

Quando uma imagem é criada, apresentada ou registrada em duas dimensões elaboradas de tal forma a proporcionarem a ilusão de terem três dimensões são denominadas holografias, porém, não é apenas mais uma simples forma de visualização em 3 dimensões, mas sim um processo de se codificar uma informação e depois (através do laser) se recriar “integralmente” esta mesma informação. Criada em 1948 pelo húngaro Dennis Gabor (mais tarde ganhador do Prêmio Nobel de Física), que descobriu que quando uma luz de coerência (capacidade de interferência) 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 à intensidade luminosa. Sendo assim a partir de um padrão de interferência registrado era possível obter a imagem de um objeto, surgindo assim o holograma. A holografia, como imagem tridimensional, somente foi realizada pela primeira vez nos anos 60 com a utilização do laser e hoje em dia é utilizada pela física como uma sofisticada técnica fotográfica, de análise de materiais ou de armazenamento de dados, isto é, usada dentro da pesquisa científica no estudo de materiais, desenvolvimento de instrumentos ópticos, criação de redes de difração, etc. Na área da indústria tem aplicações no controle de qualidade de materiais e na segurança na forma de selos de autenticidade. Na tecnologia da informação testa-se o uso de hologramas como uma forma óptica de armazenamento de dados.

A holografia também é utilizada na área da comunicação como um mostrador de alto impacto visual o que resultou no seu uso comercial como elemento promocional. Já nas artes visuais diversos artistas a usam como uma forma de expressão. Os pioneiros da holografia no Brasil foram o Prof. José Lunazzi, da UNICAMP, que fez os primeiros hologramas a partir de 1974 e a primeira exibição brasileira em 1981, Fernando Catta-Preta, que exibiu hologramas de Lunazzi e outros em 1984 motivando a Moysés Baumstein a realizar hologramas, o que fez com muita qualidade apresentando inclusive na Bienal de 1985. A primeira exposição de hologramas no Brasil foi organizada por Ivan Isola em novembro 1980 no pavilhão da Bienal em São Paulo com hologramas trazidos da Europa. Lunazzi fez a

primeira exposição com hologramas feitos no Brasil em 1981, em Campinas, montando um conjunto completo de hologramas e experimentos de óptica ondulatória na Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência-SBPC, em julho de 1982. Moysés Baumstein montou um laboratório em São Paulo dirigido à produção artística e comercial, ele desenvolveu técnicas próprias que resultaram em hologramas de grande impacto e qualidade, chegando a produzir hologramas estampados que apareciam aderidos até em cadernos escolares. Seu laboratório esteve em atividade de 1983 à 2007. 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 [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]. No ano 1984, olhando fotografias no catálogo de uma exposição de hologramas alemã, Lunazzi descobre que um holograma comum gera pela luz branca um espectro correspondente a cada ponto do objeto que é tão mais largo quanto maior a profundidade da posição desse ponto objeto. Resulta assim a codificação da profundidade pela difração, porque acontece não apenas no holograma como em qualquer imagem difratada [13].

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. Na informação de imagem, destaca Lunazzi, o que interessa da fase é o que está relacionado com a inclinação dos raios. 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.

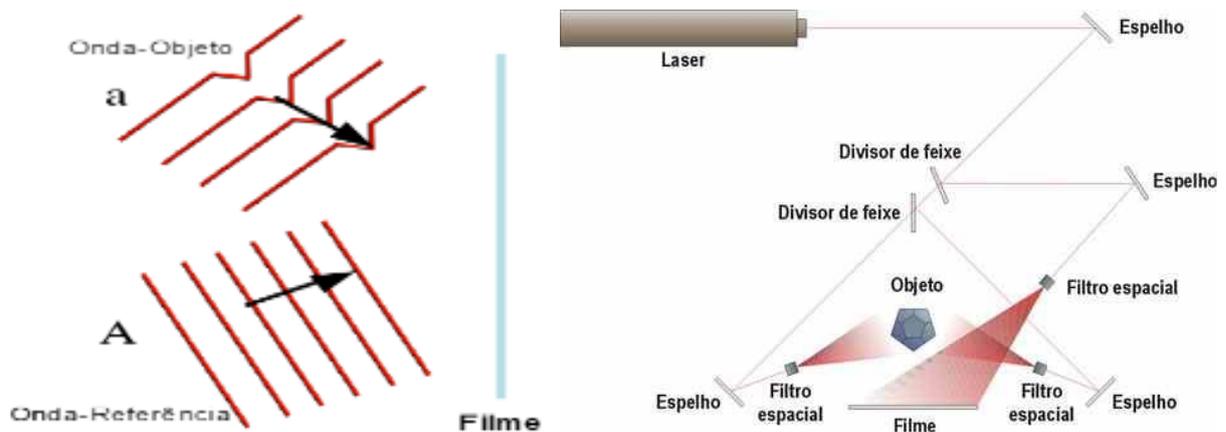


Figura 1: (a) Gravação de um holograma num filme holográfico, fazendo a interferência da onda objeto “a” com a onda referência “A” (b) Esquema de chegada das ondas e montagem experimental.

2.2 Fotografia e Efeito Lippmann [9]

O Físico francês Gabriel Lippmann (1845 - 1921) é o inventor de um processo inicial de que resultou a primeira fotografia colorida permanente que em 1908 lhe rendeu um Prêmio Nobel de Física. Lippmann, baseado na produção de ondas luminosas estacionárias [Sears, F. W. “Física – Óptica” Rio de Janeiro, Livro Técnico LTDA., 1956. Páginas: 205-206.], um ano depois publicou um novo método para fotografia a cores. Usando uma placa transparente com uma camada de nitrato de prata (AgNO_3), gelatina e brometo de potássio (KBr) em uma emulsão muito semelhante a um filme holográfico. Sobre a emulsão, colocava-se uma película refletora de mercúrio, assim a luz era exposta 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. O resultado pode ser visto abaixo, em fotos tiradas há mais de cem anos:



Figura 2: fotos de (a) paisagem (b) periquito de 1891 e (c) cesta de frutas tiradas com o método.

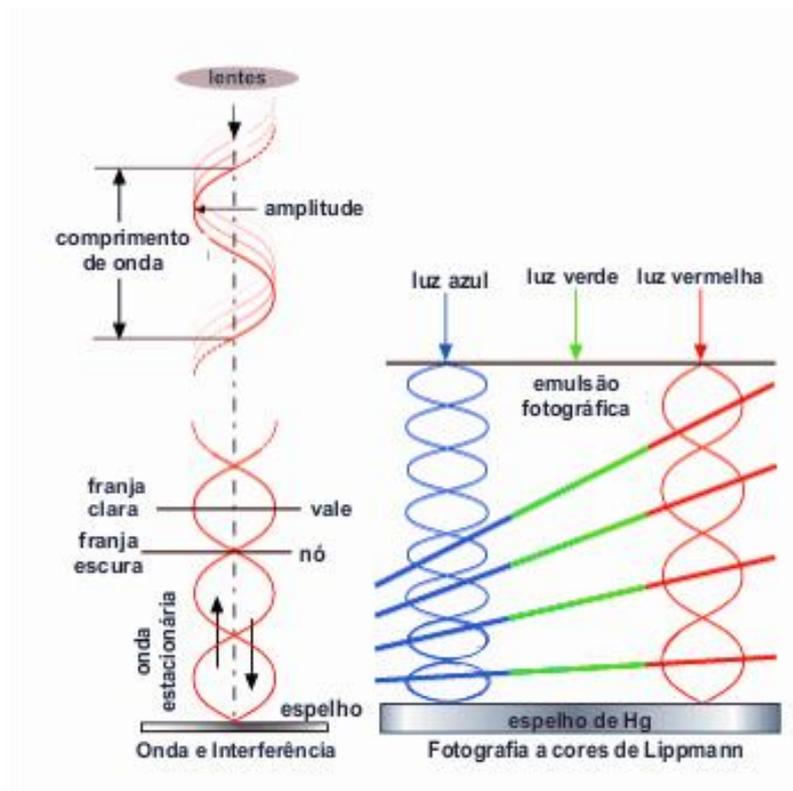


Figura 3: Gravação de uma imagem pelo método de Lippmann.

2.3 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 referencia [1], sabemos que a fotografia através de uma rede de difração gera um borrão colorido na imagem difratada e, diz Lunazzi que pode ser demonstrado que o processo de codificação pela difração faz com que para cada comprimento de onda temos uma perspectiva diferente do objeto, que é o que é oferecido ao observador na decodificação. Projetando uma imagem difratada sobre uma tela holográfica cada espectro que representa um ponto vai posicionar a luz no espaço na posição exata onde o ponto objeto está ou estava na cena original. O experimento crucial foi feito usando como objeto o filamento de uma lâmpada de tungstênio que, por trás de uma rede de difração de plástico, lançava sua luz para ser difratada e projetada por uma lente sobre uma tela difrativa, recriando, ampliada, a cena original [14]. A perfeição do resultado deu a visão clara da perfeição do fenômeno, como é exemplificado nas imagens abaixo:



Figura 4a: fotografia de uma imagem de difração.

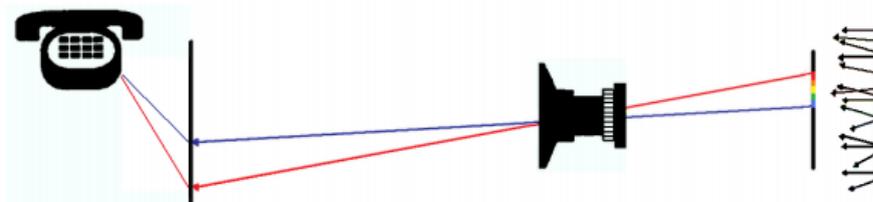


Figura 4b: Uma fonte de luz branca de difusa foi adicionada a partir do lado da película fotográfica.

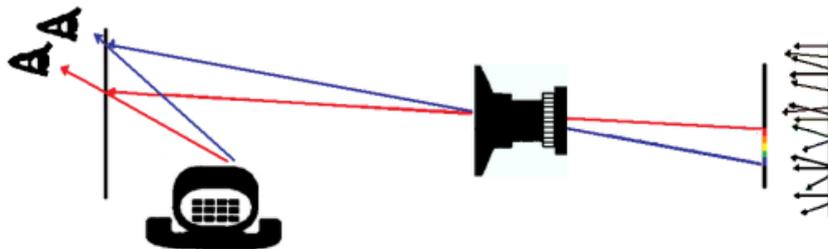


Figura 4c: Reprodução do caminho inverso de produção.

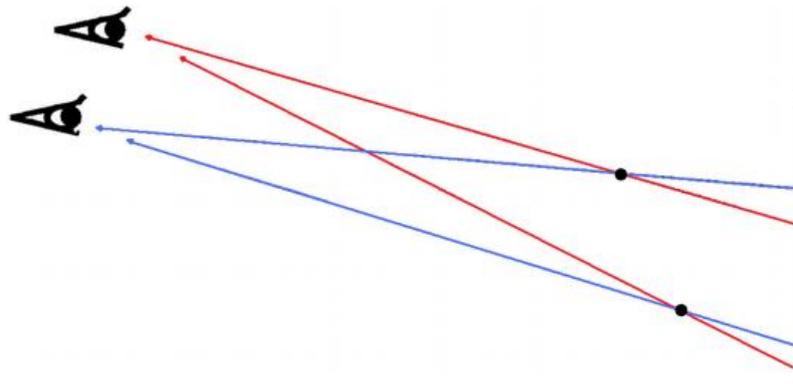


Figura 5a: Representação dos dois pontos da imagem em 3D, por meio de uma tela de difração.

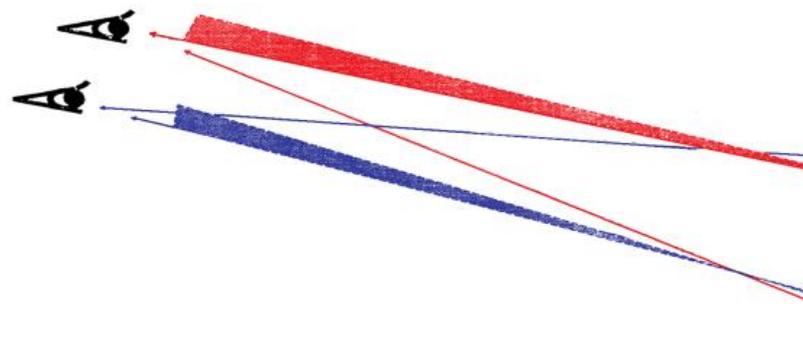


Figura 5b: Mistura de raios, devido à insuficiente selectividade cromática.

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.

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. O processo de registro de holofotografia foi realizado com um experimento básico, como descrito nos trabalhos de Vannucci [7] e Ferreira [15].

No entanto, não houve registro disso e o Prof. Lunazzi o está repetindo para poder demonstrá-lo e publicá-lo.

2.4 Impressão de Carbono

Uma impressão de carbono é uma impressão fotográfica de uma imagem em uma placa de gelatina pigmentada. A impressão em carbono é baseada no fato de que a gelatina, quando sensibilizada à luz por um dicromato, fica endurecida e insolúvel em água, quando exposta à luz ultravioleta. Devido à insensibilidade comparativa do material de luz solar, ou outra fonte forte de luz UV é normalmente utilizado a fim de minimizar o tempo de exposição requerido. Para fazer uma impressão full-color, três negativos fotografados através vermelho, verde e filtros azuis são impressos em dicromato sensibilizados folhas de gelatina pigmentada

(tradicionalmente chamado de "tecido de carbono", independentemente do pigmento incorporado), contendo, respectivamente, pigmentos ciano e magenta e amarelo. Eles são revelados em água quente, que se dissolve a gelatina não endurecida, deixando uma imagem de relevo colorido que é mais espessa onde recebeu o maior exposição. As três imagens são então transferidos, um de cada vez, sobre um suporte final, tal como uma folha pesada de gelatina-lisa tamanho de papel. Geralmente, a imagem amarela é transferida primeiro, então a imagem magenta é aplicado em cima dela, sendo tomado muito cuidado para sobrepô-la em registo exato, e então a imagem ciano é similarmente aplicada. Uma quarta camada de pigmento preto "chave" é adicionado às vezes, como em processos de impressão mecânica, para melhorar a definição de borda e mascarar qualquer matiz de cores falsas nas áreas escuras da imagem, mas não é um componente tradicional. A impressão final resultante, se composto de várias camadas e em cores ou ter apenas uma camada preto e branco, apresenta uma muito ligeira baixo-relevo e efeito uma variação de textura em sua superfície, as duas características distintivas de uma cópia carbono. O processo é demorado e trabalhoso. Cada cópia de carbono de cor requer três, ou quatro, ida e volta na câmara escura para criar a impressão final. No entanto, este investimento de tempo e esforço pode criar impressões de qualidade visual excelente e permanência de arquivo comprovada.

2.5 Modelos para descrever como ocorre o registro na DCG [7]

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-se entre si formando uma rede cristalina capaz de gelificar uma quantidade muito grande de água com poucas moléculas.

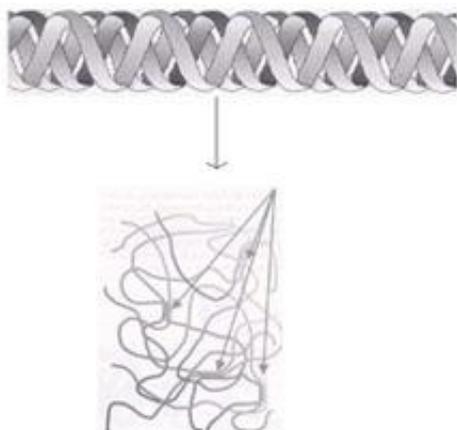


Figura 6: O colágeno formado por três cadeias em hélice. Após dissolvido, não volta mais a se enrolar e acaba estabelecendo novas ligações entre si.

Assim podemos dizer que o gel formado é principalmente composto por água uma vez que 10g de gelatina consegue gelificar cinco decilitros de água. Agora acrescentando o dicromato de amônio ($\text{NH}_4\text{Cr}_2\text{O}_7$) nessa estrutura cristalina podemos supor que a sua distribuição seja homogênea e quando o dicromato de potássio é 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.

2.6.1. Aplicações da gelatina dicromatada na pesquisa de imagens.

Temos aplicações na pesquisa de imagens tridimensionais e outras com interesse didático:

- 1) *Fotografia simples pela adição de carvão.*
Soubemos que, nos primórdios da fotografia, cópias de negativos eram feitas adicionando-se pó de carvão. Produzimos, então, uma placa de gelatina dicromatada com carvão e expusemos à luz intensa de uma lâmpada halógena, coberta por um disco de metal. A região exposta da placa ficou mais escura, mesmo antes da revelação, que consistia simplesmente em lavar com água. O fato nos surpreende, e ainda o fato de obter, com a placa sem secar, um ângulo onde a luz passa pela parte escura e essa aparece brilhante.

2) *Fotografia Lippmann*

Poderia ser feita, mesmo que nunca tivesse sido realizada, com gelatina dicromatada, e usando uma técnica que Lunazzi aplica. Essa técnica consiste em substituir o mercúrio por uma lâmina plástica espelhada na primeira superfície, que é encostada na gelatina. Houveram algumas tentativas de reprodução, no entanto não foram bem sucedidas.

3) *Hogramas didáticos.*

Foram feitos usando laser de diodo emitindo na cor verde, algo que não foi reportado antes no caso da gelatina dicromatada. O laser emite verde porque converte a emissão infravermelha por meio de uma lâmina de cristal que dobra a frequência por efeito não-linear. Alguns hologramas resultaram permanentes enquanto outros perdiam o registro rapidamente, sem conseguirmos estabelecer o motivo.

3. Resultados Obtidos

Logo no primeiro mês de atividade, após utilizarmos o luxímetro CTLutron LX 101 (“Baumstein”) constatamos que, para fazer a fotografia Lippmann e a holoimagem, o tempo de exposição seria muito longo. Necessitaríamos, então, de uma fonte luminosa mais potente do que aquela que temos no laboratório e até o presente momento, estamos em busca de uma lâmpada de xenônio com direcionalidade.

Para o espectro, não houve sucesso por conta da fonte luminosa. No entanto, já houve registros anteriores desse sucesso pelo próprio professor Lunazzi e estamos buscando repeti-lo. Para a fotografia Lippmann, afim de facilitar o registro, utilizamos na confecção de algumas placas itens como guache, em outras utilizamos corantes a base de água, mas não obtivemos sucesso. Nosso último passo foi utilizar um objeto com as cores azul, vermelha e verde para gravar seu espectro.

Começamos a gravar hologramas, com o auxílio de um sistema com um laser verde de 100 mW. Expandimos seu feixe de luz com um fragmento de bola de natal de vidro usando o interior como espelho de primeira superfície bem limpo, conseguindo que o feixe expandido alcance as placas de gelatina, onde seria feito o registro como uma intensidade de 1880 ± 1 (x100) lux/metre. A luz do feixe incidia a um de ângulo de $45 \pm 1^\circ$ da placa de DCG.

Produzimos seis placas de vidro (quadradas, com 6mm de lado e 2mm de espessura) por vez, com $1 \pm 0,5$ mL de gelatina para cada placa, anotando data e dados da produção. Mais pra frente, passamos a consideração também a umidade relativa do ar, pois constatamos que o tempo de secagem e condições da placa diferiam se essas condições se alterassem.

Utilizamos, num primeiro dia, seis placas de mesma produção para o registro do logotipo da Unicamp. Os dados encontram-se na tabela abaixo:

| Número da placa | Tempo de exposição (min) | Observações e Conclusões |
|-----------------|--------------------------|---|
| 1 | 20 ± 1 | Houve um registro bem fraco, logo, imaginamos que poderia ser pouco tempo de exposição. |
| 2 | 40 ± 1 | Houve o registro de holograma fraco, então, imaginamos que poderia ter sido muito tempo de exposição, também, por ter um registro acentuado do brilho na faixa do vermelho. |
| 3 | 10 ± 1 | Nesta, o registro foi apenas na parte com maior concentração de gelatina. Supomos, então, que o problema estivesse na quantidade de gelatina depositada na placa. |

Tabela 1: Registro de placas gravadas

Refazendo as medidas, verificamos que o feixe expandido pelo fragmento da bola de natal não estava focalizado na placa de gelatina, de maneira que a intensidade luminosa que alcançava a placa era de apenas 25 (x100) lux/metre. Arrumamos o foco do feixe de luz, alcançando uma intensidade de 900 (x100) lux/metre e, com isso, deixamos uma placa exposta por 10 ± 1 minutos. O registro foi muito leve e grande parte do registro ficou nas bordas onde a concentração de gelatina era maior.

Após estes experimentos com as placas de gelatina, criamos uma questão central que passou a nortear nossas pesquisas: sobre a concentração de gelatina nas bordas, se quando o

depósito era feito verificávamos se o local onde estavam as placas era plano, se não deslizavam e se acumulavam nas bordas. Chegamos a algumas hipóteses a respeito desses fatos. As hipóteses que criamos para esta questão foram: a concentração nas bordas poderia ser efeito da diferença de temperatura entre a gelatina e as placas, outra resposta poderia ser relacionada à maneira como a gelatina era depositada nas placas. Logo, observamos que o controle ao máximo da produção nos garantir uma uniformidade nas produções além de saber melhor onde estariam as falhas da produção.

A primeira medida que tomamos com relação a produção além do aumento de gelatina depositada para $1,50 \pm 0,05$ ml (até então, era de , foi de $1,00 \pm 0,05$ ml) , controlar as temperaturas tanto das placas, quanto da solução de gelatina, mantendo-a a 70°C . Com as novas placas, realizamos alguns registros mas não obtivemos grande êxito. Devido à falta de uniformidade na gelatina, nossos hologramas ficaram concentrados nas bordas e com pouco brilho, como pode ser visto na figura 8.

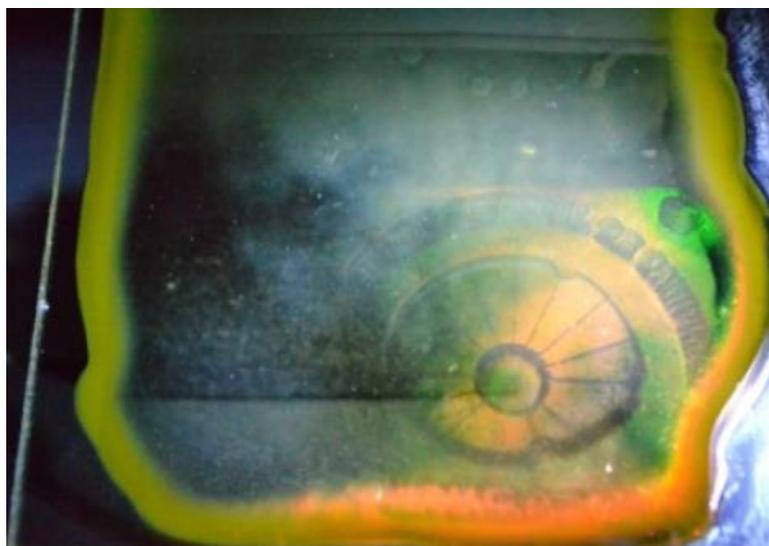


Figura 7: Placa com gelatina dicromatada com concentração de gelatina nas bordas e com registro de parte de um holograma do logotipo da Unicamp.

Com este problema de não homogeneidade da gelatina na placa, então, começamos a pesquisar se era realmente um problema de quantidade de gelatina na placa ou se poderia estar ocorrendo outro problema. Com isso fomos medir a espessura da gelatina, nas placas que registraram hologramas e nas que não houve registro, o que observamos é que na placa sem registro estava abaixo do necessário para conseguir produzir hologramas e nas que houve estavam dentro do limite. Outro ponto foi que medimos a espessura da gelatina nas bordas e novamente o que esperávamos a espessura, nestas regiões eram superiores das demais.

Na parte da placa que não houve registro, suspeitamos que pode ter ocorrido:

1. Queima na secagem com o secador de cabelo em alta temperatura;
2. A gelatina não estar homogênea na placa;
3. A intensidade de luz do feixe refletido pelo espelho não esteja chegando homogênea na placa.

Testamos uma nova placa, deixando-a exposta por 22 ± 1 minutos afim de verificar a homogeneidade do feixe de luz expandido pela lasca da bola de natal de vidro. Mudamos o modo de secagem: ao invés de usarmos o ar quente do secador utilizamos o ar frio e fizemos o controle da umidade relativa do ar, visto que a umidade afeta muito a gelatina, já que esta é higroscópica. Então, com base no trabalho de Iniciação científica de Jurandi Leão, com orientação de Maria José Pereira de Almeida Monteiro, “Medida da Umidade relativa do ar com o uso de um psicrometro” (2005), construímos um psicrômetro para controlar a umidade no laboratório, baseado em um sistema com dois termômetros (um com bulbo seco e outro com bulbo úmido).

No primeiro dia que medimos a temperatura do laboratório era de $25 \pm 1^\circ \text{C}$ e a umidade relativa do ar de $64 \pm 1\%$. No dia seguinte, mediu-se novamente a temperatura e a umidade relativa, respectivamente, $25 \pm 1^\circ \text{C}$ e $78 \pm 1\%$ de umidade relativa do ar. Verificamos que a temperatura no laboratório fica em média a $24 \pm 1^\circ \text{C}$ e a umidade varia entre $88 \pm 1\%$ e $64 \pm 1\%$, ultrapassando os limites da umidade relativa do ar segundo os procedimentos de produção, que deve variar de 60% a 70%.

A gelatina industrial, que estávamos utilizando Grau U.S.P., marca J.T. BAKER Grau U.S.P, acabou, então, com o objetivo de facilitar a produção das placas de gelatina, para que estas possam ser produzidas em casa e dentro de escolas básicas e médias públicas, resolvemos testar a produção da gelatina com uma gelatina comestível, que podemos comprar em supermercados, até o momento testamos com a marca da gelatina incolor da marca Dia. As proporções e condições de produção foram as mesmas, apenas criamos novos métodos para o controle mais eficaz das temperaturas da gelatina e das placas de vidro que depositamos a gelatina, ou seja, enchemos uma bacia com água quente a $70 \pm 1^\circ \text{C}$, mantendo a gelatina aquecida enquanto aquecemos as placas de vidro a esta temperatura também. Outra modificação foi na quantidade de gelatina depositadas nas placas, aumentamos para $2,00 \pm 0,05$ ml.

Após dois dias que as placas ficaram sobre uma superfície plana secando, foram expostas ao sistema de laser verde, lasca da bola de natal de vidro, com a imagem do logotipo da Unicamp para ser feito o holograma, a intensidade luminosa, que foi medida pelo luxímetro do laboratório, neste dia estava de 1363 ± 1 (x100) lux/metre. Foram três placas expostas, cujos dados encontram-se na tabela 2.

| Número da placa | Tempo de exposição (min) | Observações e Conclusões |
|-----------------|--------------------------|--|
| 1 | 18 ± 1 | Houve registro acentuado na cor vermelha. (figura 9) |
| 2 | 18 ± 1 | Houve registro acentuado na cor vermelha. |
| 3 | 18 ± 1 | Houve registro, porém mais fraco que nas duas outras placas. |

Tabela 2: Hologramas registrados



Figura 8: Placa 1 com registro do holograma do logotipo da Unicamp, acentuado na cor vermelha.

Com o objetivo de saber qual o efeito do verniz na conservação da placa de gelatina, escolheu-se uma das placas com hologramas e passou-se verniz [figura 9].

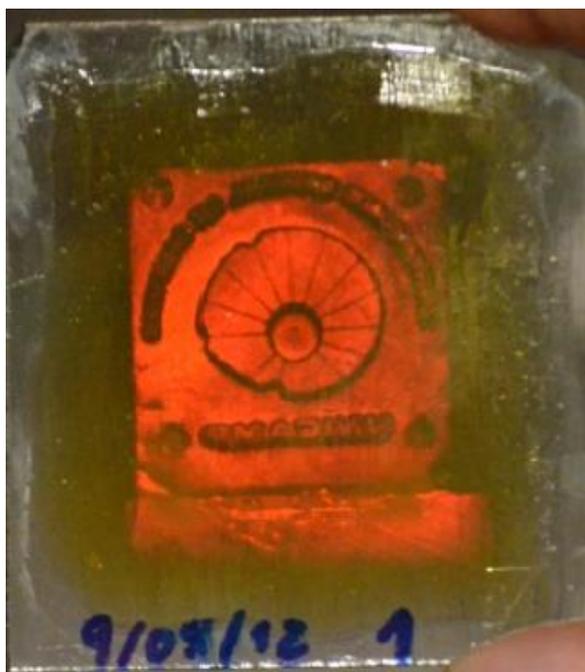


Figura 9: Placa com gelatina com holograma envernizada, com a data de gravação e número da produção marcados.

E, assim, durante aproximadamente um mês analisou-se a diferença entre as placas com verniz e sem verniz. O que observou foi que o verniz tende a conservar mais que as placas sem verniz, contudo, como não foi feito um registro do processo como um todo, antes do verniz e durante o tempo que o holograma permaneceu na placa, ainda não sabemos dizer como o verniz influencia na conservação do holograma nas placas de gelatina.

Após a produção e o sucesso com a gelatina comestível, fizemos mais duas novas produções, uma com a gelatina comestível e com corante e a outra com a gelatina U.S.P. (produzida pelo laboratório Synth e comercializada pela empresa Cial, de Paulínia) e corante verde, sob as mesmas condições e proporções que foram realizadas da primeira produção com gelatina comestível.

Com estas placas não conseguimos registro, além de observarmos que a secagem no procedimento, que dizia ser de 12 h, não estava correta, pelo menos para produção com corante, pois no dia seguinte, quando já havia completado mais de 20 h de sua produção, as placas ainda estavam úmidas, prejudicando nossos registros. Outra parte importante da nossa produção era descobrir se haveria como substituir o álcool isopropílico, o qual a venda no Brasil é controlada devido à utilização destes para produção de acetona, ligada diretamente a narcóticos. Com isso, buscamos utilizar o álcool etílico na revelação, e obtivemos sucesso, todavia após alguns dias que este ficou armazenado, o registro de holograma desapareceu. Ainda estamos estudando qual a importância e a diferença entre os usos de álcool nas revelações. Assim, como o estamos estudando a possibilidade de mudar o dicromato de amônio, para uma substância menos tóxica e mais acessível ao público em geral, visto que nosso maior objetivo é possibilitar que a produção de hologramas seja popularizada e não se restrinja a academia e conhecimento da indústria midiática.

A produção seguinte de gelatina foi com pó de carvão, que tinha sido obtido pelo Prof^o Dr. José Joaquim Lunazzi, em projeto do PIC – Jr. – PRP – Unicamp, no ano de 2012, queimando materiais e recolhendo a fumaça, e a gelatina U.S.P. no dia que a umidade relativa do ar estava de 88% e a temperatura ambiente de $22^{\circ} \pm 1^{\circ} \text{C}$. Produzimos seis placas ($4,8 \pm 0,5 \text{ cm}$) com gelatina U.S.P feita com carvão ($0,15 \pm 0,01 \text{ g}$) e dicromato de amônio. Seguimos os procedimentos das produções anteriores. A temperatura da gelatina estava $73^{\circ} \pm 1^{\circ} \text{C}$ e a temperatura das placas $70^{\circ} \pm 1^{\circ} \text{C}$. Colocamos $2,00 \pm 0,05 \text{ ml}$ de gelatina com carvão. Utilizamos uma placa desta produção com pó de carvão para registrar uma fotografia da casinha em frente ao laboratório, a intensidade luminosa estava de 54 (X100) lux/metre, deixamos a placa exposta por 15 minutos. Revelamos apenas com água destilada, por cinco minutos. Todavia, não houve nenhum registro na placa, na revelação apenas saiu o dicromato, porém o carvão que era esperado que saísse da placa também não foi removido, queimado.

Com as dificuldades que estávamos encontrando para fazer o registro de fotografia com a luz solar, então decidimos testar fotografar o perfil de uma moeda com uma luz branca halogena, conforme aproximamos a placa com a moeda da luz e a intensidade luminosa aumentava, o tempo de exposição era diminuído. As primeiras tentativas foram fracassadas visto que ainda não sabíamos quanto tempo deixar. Mas, conforme acertamos isso, conseguimos o registro embora houvesse um fundo escuro que reduz o contraste. Detectamos um efeito no carvão, que ainda não sabemos como explicar, de brilho quando em certo ângulo, na região que é normalmente escura, pois conservou o carvão.



Figura 10: Registro da fotografia com moeda antes de revelarmos.

A intensidade luminosa devido a proximidade com a fonte luminosa era grande de maneira que o luxímetro não leu, tivemos que usar um filme atenuador de grau conhecido (40%) para conseguirmos medir. Foi de 2225 (x100) lux/metre, neste dia deixamos a placa exposta por uma hora e meia.



Figura 11: Registro da fotografia com moeda após revelarmos, com data da gravação.

Após a secagem, observamos que o efeito desaparece e mesmo se re-umidificarmos, o efeito não retorna. Sendo assim, guardamos a placa em água (não mergulhada, apenas em ambiente úmido, para que a gelatina não se solte) a fim de deixá-la úmida, com isto o efeito não desaparece ao menos até hoje, desde o dia 24 de maio de 2012, o efeito tem se conservado, ou seja, temos o brilho amarelado como segue na figura 12.

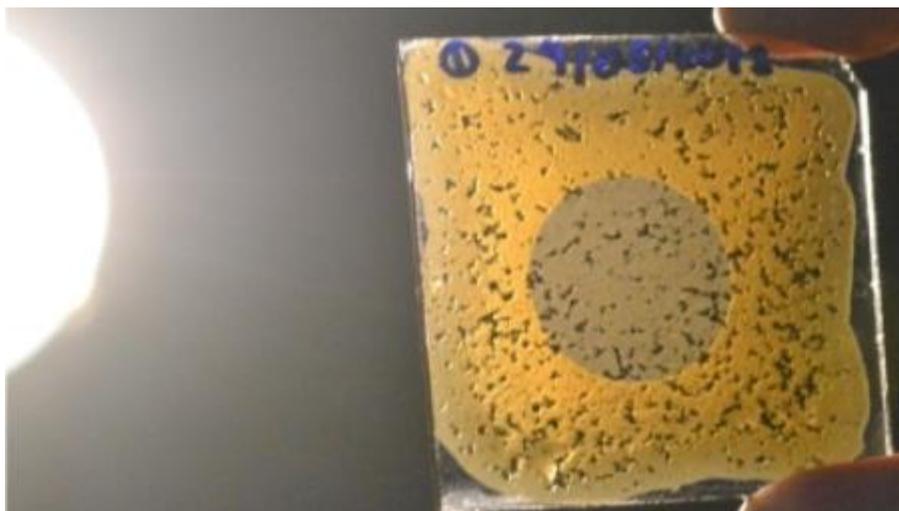


Figura 12: Placa com gelatina dicromatada com carvão com registro de um brilho amarelado, além da fotografia da moeda.

Com o objetivo de estudarmos melhor os efeitos na placa de gelatina dicromatada e carvão registrando a fotografia de uma moeda, testamos o que acontecia ao fotografarmos uma moeda com uma gelatina sem conter carvão, apenas dicromatada. Ou seja, as placas que utilizávamos para o registro de hologramas, observamos que houve o brilho amarelado, mas muito menos acentuado que na placa com carvão. Sendo assim, ainda estamos a estudar e observar qual os efeitos do carvão no registro de fotografias.

4. Considerações Finais

Realizamos hologramas de boa qualidade, inclusive utilizando gelatina e álcool domésticos, mas com pouca certeza na reprodutibilidade dos resultados. Em conversa com a professora Dra. Adriana do Instituto de Química, descobrimos que podemos utilizar alguns corantes naturais, como suco de amora, urucum e açaí, iremos investigar a possibilidade de usá-los ao invés do dicromato de amônio, que é cancerígeno e de descarte complicado.

A falta de estabilidade na produção da gelatina está dificultando a sua aplicação no sistema para registro de holoimagens. Continuamos a investigar como uniformizar e garantir a melhor qualidade na produção de placas de gelatinas, de maneira, que elas sejam mais eficazes nos registros de fotografias, holoimagens, hologramas e imagens holográficas. Estamos com a ideia de testar a produção da gelatina sem o dicromato para fazer a sensibilização ótica com o dicromato depois, poucas horas antes da exposição.

Não temos avançado na tentativa de realizar fotografia Lippmann. Por fim, ainda estamos investigando os efeitos do carvão sobre ação de radiação de luz e pretendemos fotografar em diferentes ângulos comparando os casos com e sem carvão de maneira que o tempo de exposição determinado automaticamente pela câmera (NIKON D3100) indique-nos o brilho relativo das placas. Além de estarmos pesquisando como produzir placas de gelatina de maneira caseira e possivelmente em escolas básicas e médias.

5. 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.
(link: <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/0904/0904.2598.pdf>)
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.
(link: <http://arxiv.org/ftp/physics/papers/0508/0508108.pdf>)
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.
(link: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19373365>)
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. (link: <http://webbif.ifi.unicamp.br/teses/apresentacao.php?filename=IF1411>)
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. (link: <http://www.ejournal.unam.mx/rmf/no522/RMF52202.pdf>)
7. A.L. Vannucci, J.J. Lunazzi . **Gravação de Holoimagens a partir de um sistema que utiliza redes de difração e luz branca**. IFGW, Unicamp (link <http://www.prp.unicamp.br/pibic/congressos/xviiicongresso/resumos/083245.pdf>)
8. Fundamentals of xênon arc lamps (link <http://zeiss-campus.magnet.fsu.edu/articles/lightsources/xenonarc.html>)
9. Biografia Gabriel Lippmann (link http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1908/lippmann-bio.html e http://massard.info/pdf/lippmann_massard.pdf)
10. J.J. Lunazzi. **Holophotography with a diffraction grating**, IFGW , Unicamp (link <http://arxiv.org/ftp/physics/papers/0703/0703264.pdf>)
11. T.G. Stankevicius, J.J. Lunazzi. **Gravação de Holoimagens com Luz Branca**. IFGW, Unicamp (link: http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F530_F590_F690_F895/F530_F590_F690_F895_2011_sem1/TatyanaGLunazzi_RP2_F530.pdf)
12. M. L. Halack, J.J. Lunazzi. **Gravação de holoimagens em gelatina dicromatada usando lâmpadas halógenas II**. IFGW, Unicamp. (link

http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F530_F590_F690_F895/F530_F590_F690_F895_2012_sem1/MairaL_Lunazzi-RF1_F590.pdf

13. Journal Of Optical Engineering , números 1 e 2, 1990.

14. Relatório parcial da Disciplina Iniciação Científica II, F 690, de Maira Lavalhegas Hallack, **Registros de imagens em gelatina dicromatada com carvão**, http://www.ifi.unicamp.br/vie/F530_F590_F690_F895/F530_F590_F690_F895_2012_sem2/MairaL-Lunazzi_RP_F690.pdf

15. Relatório parcial da disciplina de Instrumentação para Pesquisa , F530, de Henrique Guilherme Ferreira, Gravação de holoimagens em gelatina dicromatada usando lâmpada halógenas: http://www.ifi.unicamp.br/vie/F530_F590_F690_F895/F530_F590_F690_F895_2011_sem2/HenriqueG-Lunazzi_RF1_F530.pdf

16. J. J. Lunazzi, D. S. F. Magalhães, N. I. R. Rivera, and R. L. Serra. **Imagem Tridimensional**, Revista FAPESP 172 , Junho de 2010, p. 79 (link : <http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2012/07/078-079-172.pdf>)

Anexo I: Procedimentos e Técnicas [7]

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 Incolor em pó U.S.P | Álcool IsoPropílico |
| Dicromato de Potássio ($K_2Cr_2O_7$) ou Dicromato de Amônio ($(NH_4)_2Cr_2O_7$) | Esmalte Translúcido (para proteção da emulsão após revelado) |
| 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 até 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 de potássio 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. Foi observado que utilizando um secador profissional, de maior potência, há aumento no brilho do holograma após a revelação.