



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ – UECE

ANA GARDENNYA LINARD SÍRIO OLIVEIRA

A CÂMERA PINHOLE UTILIZADA COMO
INSTRUMENTO DE ENSINO EM FÍSICA

FORTALEZA – CEARÁ

2010

ANA GARDENNYA LINARD SÍRIO OLIVEIRA

A CÂMERA PINHOLE UTILIZADA COMO INSTRUMENTO DE ENSINO EM FÍSICA

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Física do Centro de Ciências e Tecnologia, da Universidade Estadual do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de graduada em Licenciada de Física.

Orientador: Prof. Mes. Apiano Ferreira de Moraes Neto.

FORTALEZA – CEARÁ

2010

ANA GARDENNYA LINARD SÍRIO OLIVEIRA

A CÂMERA PINHOLE UTILIZADA COMO INSTRUMENTO DE ENSINO EM FÍSICA

Monografia apresentada ao Curso de Física do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de graduada em Licenciada de Física.

Aprovada em: 23/03/2010

BANCA EXAMINADORA

Prof. Mes. Apiano Ferreira de Moraes Neto – UECE
(Orientador)

Prof. Mes. José Junior Alves da Silva - UFC

Prof. Mes. Ana Tereza de Abreu Lima – UFC

AGRADECIMENTOS

- Aos meus pais, João Valdeberto de Oliveira e Ana Iramita Sírío Oliveira, e minha irmã, Valdeana Linard, pela credibilidade e investimento em minha educação e progresso.
- Ao meu companheiro de vida Marcos Mendes, que antes de tudo é meu melhor amigo, e vem sempre me incentivando e apoiando nos momentos de dificuldade. Obrigada pela ajuda, confiança, companheirismo e incentivo para alcançar os meus objetivos;
- Ao meu orientador Prof. Mes. Apiano Ferreira de Moraes Neto, que mesmo com sua atribulada rotina, me estendeu a mão e aceitou me orientar nesta monografia, e vem atenciosamente me guiando e incentivando meu trabalho;
- Ao meu professor do Curso de Extensão em Fotografia pela Universidade Federal do Ceará, Fernando Jorge Silva, por tamanha atenção de, mesmo em Portugal nesta época do ano, ter me enviado livros de demasiada importância para minha pesquisa e complementação de capítulos;
- Aos meus colegas do curso de Física, pelos momentos de companheirismo. Só eles compreendem que a dificuldade de permanecer e concluir este curso é muito superior a de ingressar. No entanto, a ajuda mútua entre muitos colegas me fez seguir adiante apesar das inúmeras dificuldades e contratemplos a cada semestre;
- E à Nina, pela confiança, companhia e cumplicidade imensurável.

“A dúvida é o principio da sabedoria.”

(Aristóteles)

RESUMO

O presente trabalho teve como principal finalidade correlacionar e aproximar dois assuntos de áreas diferentes (Física e Fotografia), mas com algumas definições comuns, a fim de tornar mais agradável o estudo de alguns processos que envolvem Óptica geométrica e ondulatória no ensino de Física. Esta intenção de tornar mais agradável o estudo da Óptica vem da necessidade de fixar conceitos da óptica ondulatória e geométrica, que em certas ocasiões, se tornam confusos para os estudantes por envolver conceitos do eletromagnetismo clássico. Esta necessidade também é sugerida por diversos estudos recentes na área de ensino de Física. Este estudo abrange tópicos específicos como: luz, lentes, formação de imagens, reflexão, refração, difração e instrumentos ópticos. Foi feita uma revisão bibliográfica dos artigos científicos mais referenciados sobre a utilização da óptica de *pinhole*. É apresentada também uma revisão histórica das origens da Fotografia, incluindo desde os primórdios da câmara escura na antiguidade até a câmara *pinhole* que é a especialidade fotográfica que foi utilizada na parte experimental desta monografia. A parte prática da pesquisa se deu na fabricação de um experimento de baixo custo para alunos de segundo ano do ensino médio, qual será construída uma fosfoto (câmera *pinhole* construída utilizando uma caixa de fósforo) após as aulas teóricas de óptica geométrica, e utilizada em uma aula externa para uma pós aula com explicações acerca dos processos ópticos envolvidos nos resultados fotográficos de cada um. Após uma explicação científica de cada processo, uma avaliação foi feita para que se possa comparar a aula com e sem a instrumentação óptica. Foi mostrado que a utilização da fosfoto como instrumento de ensino de Física foi efetiva no tocante a fixação dos conceitos tais como foco, profundidade, intensidade da onda luminosa e efeitos indesejados como a difração por uma abertura circular.

Palavras-chave: Fotografia; Ensino de Física – instrumentação; Óptica; Fotografia Pinhole.

ABSTRACT

This work primarily aims to correlate and approximate two different subject areas (Physics and Photography) but with some common definitions in order to turn nicer the study of some processes involving geometric and wave optics in the Physics Teaching. This intention to sweeten the study of Optics comes from the need to establish concepts of wave and geometrical optics, which on occasion become confusing for students because it involves concepts of Classical Electromagnetism. This need is also suggested by several recent studies in the field of Physics teaching. This study covers specific topics such as: light, lenses, image formation, reflection, refraction, diffraction and optical instruments. A literature review was made of the most referenced papers on the use of the pinhole Optics. It also presented a historical review of the origins of Photography, ranging from the early days of the darkroom in antiquity to the pinhole camera, which is a specialty camera that was used in the experimental part of this monograph. The practical part of the research takes place in the manufacture of an inexpensive experiment for students of second year of high school, which will be built *fossfoto* boxes (pinhole camera built using a matchbox) after the lectures of geometrical optics, and used in an external class with an explanation about the optical processes involved in the photographic results of each student. After a scientific explanation of the process, an assessment was made so that one can compare the class with and without optical instrumentation. It was shown that the use of *fossfoto* boxes as a teaching tool for Physics was effective as regards the fixing of concepts such as focus, depth, intensity of light wave and undesirable effects such as diffraction by a circular aperture.

Keywords: Photography; Teaching of Physics - Instrumentation; Optics, Pinhole Photography.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.2-1	Cronofotografia de um homem saltando um obstáculo. Note que o centro de massa do atleta descreve uma parábola como uma exemplificação clara do conceito em Física através da cronofotografia.....	14
Figura 1.3-1	Ilustração da formação da imagem do eclipse solar de 24 de janeiro de 1544 visto na Europa através do uso da câmara escura pelo astrônomo Gemma Frisus. In <i>De Radio Astronomica ET Geometrica</i>	17
Figura 1.3-2	Molusco Nautilus, cujo receptáculo óptico é uma pinhole.....	19
Figura 1.3-3	- Ilustração adaptada da imagem que contém a formação da imagem em uma câmara escura com um observador interno acompanhando o processo óptico.....	21
Figura 2.3-1	- Ondas num tanque. Ao passar por um orifício ela se comporta como uma fonte de onda circular.....	33
Figura 2.3-2	- Descrição pictórica da difração de Fraunhofer ao passar por uma fenda de largura a , onde a aproximação paraxial dos feixes é aceita.....	35
Figura 2.3-3	- Padrão de difração por uma fenda retangular à esquerda, e por uma fenda circular à direita.....	36
Figura 2.3-4	- Função matemática do padrão de difração por uma fenda de largura a a uma distância L do anteparo.....	37
Figura 2.3-5	- Ilustração adaptada do site www.northlightimages.co.uk , que representa a geometria de uma câmara Pinhole criada por Keith Cooper.....	38
Figura 3.1-	Fotografias retiradas pelo Núcleo de Fotografia da Univali (Universidade do Vale do Itajaí) para o passo a passo da criação de uma Fosfoto pelos alunos Caroline Agnoletto e Eugênio Andreola.....	43
Anexo II -	Fotografias retiradas do Livro de Éric Renner que retratam os principais experimentos e resultados desta técnica	63
Anexo III –	Resultados e Exemplos de Fotografias obtidas em uma câmara pinhole	73

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 4 –	Porcentagem de acertos após cada avaliação aplicada na turma qual foi realizado o experimento.....	57
-------------	--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.3 – Resumo cronológico das primeiras fotografias pinhole	20
Tabela 4 – Resultados obtidos antes e depois do experimento de instrumentação	57
Tabela: Anexo I - Os melhores diâmetros de uma pinhole .	61

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1. Contexto	12
1.2. Origens da Fotografia	13
1.3. A fotografia pinhole	16
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	22
2.1.A Natureza da Luz.....	22
2.2.Óptica Geométrica	29
2.3.Óptica Ondulatória	32
2.4. Captura da Luz	40
3. EXPERIMENTO: PINHOLE DE CAIXA DE FÓSFORO → FOSFOTO	42
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
5. CONCLUSÕES	58
REFERÊNCIAS	59
Anexos.....	61

1. INTRODUÇÃO

Esta monografia aprimora o processo de estudo de alguns dos princípios da óptica geométrica, realizando a correlação entre os tópicos de câmara escura e princípios básicos da fotografia, além de uma contextualização histórica do estudo fotográfico desde seus princípios mais gerais até atuais versões de lentes utilizadas neste ramo do conhecimento humano. A utilização de instrumentos de aprendizagem é um fato que contém extrema importância no ensino em geral; na Física não seria diferente. Diversos autores na área do Ensino de Física atestam que uma abordagem contextualizada das disciplinas, auxilia no processo de enculturação do estudante na enculturação científica no intento de aprender pela prática (Almeida 1980). O letramento científico é uma das principais metas do ensino de Ciências. Com base nesta importância, esta monografia está baseada na proposta da construção de câmeras artesanais do tipo *Pinhole*¹, feitas de caixas de fósforos, chamadas de *fosfoto*. Após o trabalho das imagens neste experimento, foi analisado o porquê de algumas imagens com fotometria e resultados perfeitos.

1.1.Contexto

Desde a descoberta da fotografia em 1839² há uma divergência de opiniões e reflexões acerca da importância tecnológica e poética discursiva dessa arte e a eterna relação entre o homem e a máquina. A partir daí, houve uma ruptura com os modelos clássicos de visualidade daquela época, além da inserção do poder ilusionista e crítico no olhar do observador. Bem como no crescimento da capacidade de abstração dos homens.

Trazer poder de percepção e minúcias no olhar para dentro do estudo da Física é algo versátil e de extrema utilidade. Afinal, muitos estudantes conseguem enxergar e fixar alguns tópicos de disciplinas pré-conceituais, apenas quando são levados à situações cotidianas as teorias e fórmulas expostas nas aulas expositivas.

¹ O termo *pinhole* tem origem na junção das palavras de origem inglesa *pin*, que significa alfinete, e

² O francês Louis-Jacques-Mandé Daguerre (1787 - 1851) é o pai dessa invenção, que modificou a compreensão da História, Ciência e os costumes de toda a humanidade.

1.2.Origens da Fotografia

A fotografia, que teve estudos iniciados nos experimentos da câmara escura³, hoje leva consigo uma importância que engloba diversas áreas além da Ciência. A ideia nasceu, em síntese, de duas experiências muito antigas: uma é a descoberta de que algumas substâncias são sensíveis à luz e a outra é a descoberta da câmara escura. Aristóteles afirmava que se utilizasse um pequeno orifício sobre a parede de uma habitação escura, um feixe luminoso desenharia sobre a parede oposta a imagem invertida do exterior. A primeira descrição completa e ilustrada sobre o funcionamento da câmara escura aparece nos manuscritos de Leonardo da Vinci.

A diferença básica entre uma câmara escura e as câmaras fotográficas contemporâneas, é a presença de um filme sensível à luz no alvo. Aristóteles fez referências à utilização da câmara escura em observações astronômicas, mas sua influência teve princípio nos eruditos árabes no século XI (época do obscurantismo europeu), também para observações astronômicas de eclipses solares, e foi utilizada nos apontamentos de estudos de Leonardo Da Vinci e Johannes Kepler.

Como cita Fatorelli (2003):

“A câmara escura desenha o lugar de um observador isolado e sem interioridade, produzindo-se com isto um modelo de representação essencialmente transparente que segrega observador e mundo externo, a câmara escura prefigura uma posição do observador, contemporânea e correlata aos postulados científicos e filosóficos e a certas práticas sociais.”

E acrescenta:

“...condicionado em grande parte pelas pesquisas desenvolvidas no campo da fisiologia, o aparelho fotográfico foi utilizado na última metade do século XIX sobretudo como instrumento de prótese da visão – um modo de utilização do equipamento como extensão imediata dos órgãos da visão, que supõe uma relação de exterioridade entre olho e máquina.”

O curioso do surgimento da fotografia é que seu mérito não se limita a um único inventor. É uma síntese de várias observações e inventos em momentos distintos, que vão desde a câmara escura de Johann Henrich Schulze em 1725, até a descoberta do processo das câmaras *reflex*, que são utilizadas atualmente por fotógrafos profissionais, por S. D. McKellen em 1888. Porém, a primeira fotografia obtida de uma articulação de duas caixas, uma lente

³ O termo câmara escura é um tipo de aparelho óptico baseado no princípio de mesmo nome. O seu desenvolvimento no século XIX conduziu à fotografia; ainda hoje os dispositivos de fotografia são conhecidos como "câmaras".

biconvexa e uma placa que continha uma liga metálica à base de estanho de chumbo, foi realizada da janela da casa do francês Joseph-Nicéphore Niépce em 1826. Tempos se passaram e foi George Eastman quem deu o passo primordial na fabricação da câmera fotográfica, a fim de tornar tal equipamento mais acessível. Junto com Willian H. Walker, construíram o chassi ideal que serviria como placa de contato e, em 1886, efetuou a construção de seu primeiro modelo, uma Kodak. Esta, vem sendo aperfeiçoada desde 1889, afim de se obter cada vez mais praticidade e portabilidade, mesmo com qualidade fotográfica superior aos primórdios e que avançam quase que diariamente. Um fato importante que relaciona a Fotografia com a Ciência é o da primeira fotografia colorida permanente ter sido tirada, em 1861, pelo físico James Clerk Maxwell.

A partir de então, pessoas se aproximam da arte fotográfica seja por *hobby*, seja pelo profissionalismo. Em ambas as razões, os valores de percepção são sempre os primeiros analisados e qualificados quando se fala de fotografia, afinal é a junção da sensibilidade do olhar com uma manipulação da luz que se obtêm as melhores imagens.

Uma técnica fotográfica de suma importância para as artes e a Ciência é a fotografia



Figura 1.2-1. Cronofotografia de um homem saltando um obstáculo. Note que o centro de massa do atleta descreve uma parábola como uma exemplificação clara do conceito em Física através da cronofotografia.

do tempo, mais conhecida como cronofotografia. Esta é bem conhecida dos adeptos dos livros de Física dos mais básicos aos mais complexos (Halliday 2004, Tipler 2009, Marion e Thornton, 1995, Hecht 2002, Moysés 2002, e outros). É aquela fotografia sequencial - a fixação fotográfica de várias fases de um corpo em movimento -, geralmente utilizada para exemplificar situações de movimento, oscilação, velocidade, etc. Nela, o fotógrafo controla o clique fazendo com que a imagem final apresente a gradação almejada.

O processo fotográfico atual, pouco varia do processo do início do século passado. O filme é comprado em rolos emulsionados com base de celulose, as fotos são batidas, reveladas e positivadas. Por isso se atribui ao século XIX a invenção e aperfeiçoamento da fotografia como usamos hoje; ao século XX é atribuído a evolução das aplicações e controles da fotografia no aparecimento da fotografia em cores, cinema, televisão, holografia e todos os usos científicos hoje utilizados.

Atualmente temos a fotografia digital, que vem surgindo em conjunto com a produção de digitalização dos sistemas fotográficos, que se deu a partir do final do século XX, e que trabalha basicamente com o EV⁴, que é o controle de entrada de luz. A introdução da tecnologia digital tem modificado drasticamente os paradigmas que norteiam o mundo da fotografia.

Os equipamentos, ao mesmo tempo em que são oferecidos a preços cada vez menores, disponibilizam ao usuário médio recursos cada vez mais sofisticados, assim como maior qualidade de imagem e facilidade de uso. Na fotografia digital, a luz sensibiliza um sensor, chamado de CCD⁵ ou CMOS⁶, que por sua vez converte a luz em um código eletrônico digital, uma matriz de números digitais (quadro com o valor das cores de todos os pixels da imagem), que será armazenado em um cartão de memória. Tal cartão poderá ser formatado e reutilizado por várias de vezes.

⁴ A sigla EV significa valor de exposição, que vem do inglês, Exposure Value.

⁵ A sigla CCD - charge-coupled device significa Dispositivo de Carga Acoplada.

⁶ A sigla CMOS - complementary metal-oxide-semiconductor, significa semicondutor metal-óxido complementar.

1.3.A fotografia *pinhole*

A fotografia *pinhole* é um processo alternativo de se fazer fotografia sem a necessidade do uso dos equipamentos convencionais. Uma câmera artesanal pode ser construída facilmente utilizando-se materiais simples e com poucos elementos.

O nome inglês *Pinhole* ou *Pin-Hole* pode ser traduzido como “buraco de agulha” por ser uma câmera fotográfica que não possui lentes, tendo apenas um pequeno furo (de agulha ou *laser*) que funciona como lente e diafragma fixo no lugar de uma objetiva. É basicamente um compartimento fechado onde não existem fontes de luz, exceto aquela devido a pequeno orifício.

A diferença básica entre a fotografia *pinhole* e a convencional está em sua ótica. A imagem produzida em uma *pinhole* apresenta uma profundidade de campo quase infinita, ou seja, tem um foco suave em todos os planos da cena, como podemos ver nas imagens contidas no Anexo 3.

A câmera *pinhole* possui vantagens únicas e intransferíveis, como uma velocidade baixa que nos dá a vantagem de uma grande profundidade de campo na área do objeto fotográfico. Consiste especificamente em máquina fotográfica que funciona perfeitamente sem a presença de lentes, possibilitando a entrada de luz por um pequeno orifício em uma das faces da câmara escura. Esta, que pode ser construída por uma vasta variedade de materiais: caixa de fósforos, lata de leite, caixa de sapato, etc.

Dentre os diversos tipos de técnicas fotográficas surgidas desde a descoberta da fotografia, a *pinhole* tem sido uma das mais interessantes, por se tratar de um modo artesanal de câmara escura que nos dá resultados, muitas vezes, superiores aos alcançados nas máquinas da era digital. Existem ainda, câmeras de *pinhole* que são extremamente sofisticadas.

Foi utilizada pela primeira vez como instrumento científico de visualização de eclipses e no estudo das estrelas; nas artes, as imagens *pinhole* serviam de molde para os pintores paisagistas. Como nos mostra o desenho abaixo, de autoria do astrônomo Gemma Frisus, que ilustra a projeção *pinhole* para observações de fenômenos astronômicos:

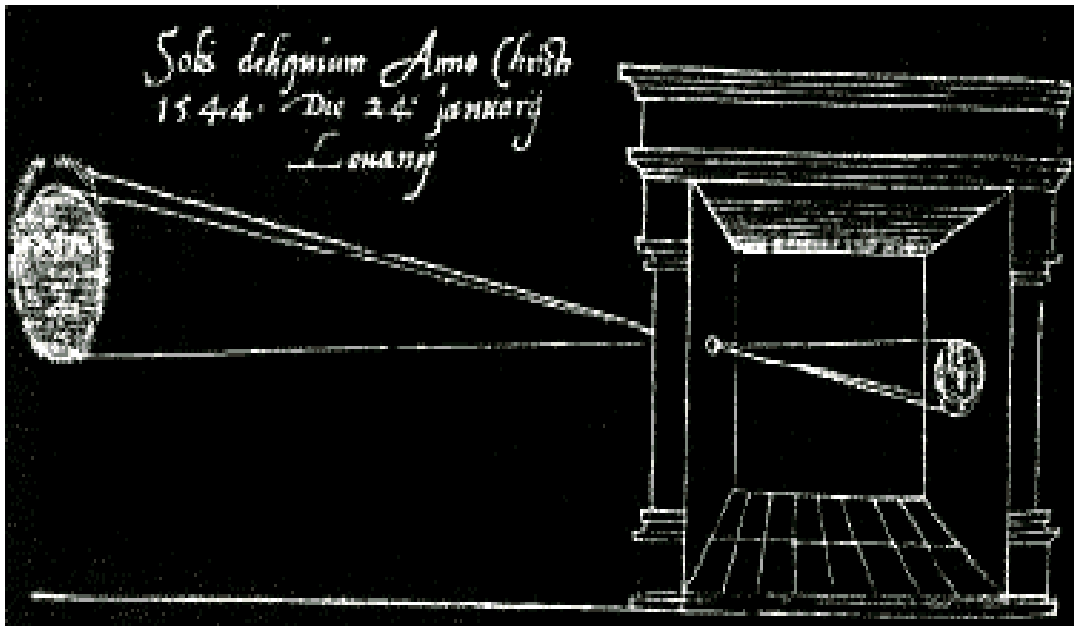


Figura 1.3-1 - Ilustração da formação da imagem do eclipse solar de 24 de janeiro de 1544 visto na Europa através do uso da câmara escura pelo astrônomo Gemma Frisus. In *De Radio Astronomica et Geometrica*.

Os princípios básicos da óptica do pinhole são comentados em textos chineses desde o século V AC. Escritores chineses tinham descoberto por experiências que a luz viaja em linha reta. O filósofo Mo Ti (mais tarde Mo Tsu) foi o primeiro - ao nosso conhecimento - a gravar a formação de uma imagem invertida, com um buraco de agulha ou na tela. De acordo com Hammond, não há mais nenhuma referência para a câmara obscura em textos chineses até o século IX DC, quando Tuan Cheng Shih refere-se a uma imagem em um pagode. No entanto, nenhuma teoria geométrica foi formulada para explicar a formação de imagem (Hammond 1981:2).

No Hemisfério Ocidental Aristóteles (século IV AC) comenta a formação da imagem pinhole em seus *problemas de trabalho*. Em seu livro XV, 6, ele pergunta: "Por que é que quando o sol passa pelo quadriláterais, como por exemplo em vime, não produz uma figura de forma retangular, mas circular? [...]" No Livro XV, 11, ele pede ainda: "Por que é que um eclipse do sol, observado através de uma peneira ou por meio de folhas, como um avião-árvore ou árvore de folhas largas demais, ou se uma junta-se pelos dedos de uma mão sobre os dedos do outro, possuem os raios são em forma de crescente, onde atingem a Terra? É a mesma razão pela qual a luz brilha através de um peep-hole retangular, parece circular sob a forma de um cone? [..]. Aristóteles não encontrou nenhuma explicação satisfatória para a sua observação, o problema permaneceu sem solução até o século 16 (Hammond 1981:5).

O físico e matemático árabe Ibn al-Haytham, também conhecido como Alhazen, experimentou a formação da imagem no século X. Arranjou três velas em uma linha e colocou uma tela com um pequeno orifício entre as velas e a parede. Ele observou que as imagens foram formadas apenas por meio de pequenos furos e que a vela movida para a direita formou uma imagem para a esquerda na parede. De suas observações deduziu a linearidade da luz. No final da Idade Média o pinhole foi usado para estudar a projeção de luz através de uma pequena abertura. No século XVI e depois foi usado em astronomia para estudar os eclipses solares.

No Renascimento e séculos depois, o pinhole foi utilizada principalmente para fins científicos em astronomia e, equipada com uma lente, como auxiliar de desenho para os artistas e pintores amadores.

A imagem publicada pela primeira vez de uma câmara "pinhole" (Fig 1.3-1) é aparentemente um desenho em De Gemma Frisius 'Radio Astronomica et Geometrica (1545). Gemma Frisius, um astrônomo, tinha usado o "pinhole" em seu quarto escuro para estudar o eclipse solar de 1544. A câmara obscura trabalhada em uma longa exposição ("quarto escuro") foi cunhada por Johannes Kepler. Em 1620 Johannes Kepler inventou uma câmara escura portátil. Ele utilizou câmeras escuras como auxiliares de desenho, logo foram encontradas imagens em muitas formas e tamanhos e foram usados por ambos, artistas e pintores amadores.

Sir David Brewster, um cientista escocês, foi um dos primeiros a fazer fotografias pinhole, na década de 1850. Ele também cunhou a palavra "pinhole", ou "pin-hole" com um hífen, que ele usou em seu livro "The Stereoscope", publicado em 1856. Nos séculos seguintes, a técnica pinhole foi usada por cientistas ópticos em vários experimentos para estudar luz solar projetada a partir de uma pequena abertura.

Wiley Sanderson foi professor de fotografia na Universidade da Geórgia, ensinou fotografia pinhole durante o período de 1953-1988. Durante esse período, os alunos construíram 4.356 câmeras pinhole (Renner 2004).

Na década de 1940, câmeras pinhole foram utilizadas em física nuclear. Foi descoberto que as câmeras pinhole podem ser utilizadas para fotografia de raios-X (Ables 1968) e raios gama de altas energias como a radiação de Cerenkov (Garipov 1994). Câmeras Pinhole foram implantadas em naves espaciais no final dos anos de 1950 e início dos anos de 1960 para fotografar X e raios-gama a partir do Sol. Atualmente, as câmeras pinhole são utilizadas em veículos espaciais de múltiplo uso na Óptica de pinhole (Marks 1998).

Em meados da década de 1960 vários artistas, começaram a experimentar a técnica pinhole - Paolo Gioli, na Itália, Gottfried Jäger, na Alemanha, David Lebe, Franco Salmoiraghi, Wiley Sanderson e Eric Renner no E.U.A.. Coincidentemente, muitos desses artistas trabalharam com a técnica de vários furos, isto é, onde mais de uma abertura é colocada na caixa a fim de criar certos efeitos e aumentar a intensidade da luz que entra pela pinhole (Franke 1979).

Na mesma época dois cientistas estavam trabalhando também com a fotografia pinhole, Kenneth A. Connors no E.U.A. e Maurice Pirenne na Grã-Bretanha. Connors fez pesquisa sobre a definição de "pinhole" e suas resoluções. Seus resultados foram publicados em sua autobiografia e periódicos. Pirenne usou o pinhole para estudar perspectiva em seu livro 'Optics, Paiting and Photography (1970)'.

A óptica da Pinholes não é utilizada apenas em fotografia. Há um animal na natureza que usa uma pinhole para enxergar - o molusco Nautilus (ver figura 1.3-2).

Cada olho tem uma abertura de acolhimento - a abertura pode aumentar ou diminuir. Em estações, vagões e salas de grandes edifícios têm sido usados como câmeras pinhole de grandes dimensões para entretenimento.



Figura 1.3-2 - Molusco Nautilus, cujo receptáculo óptico é uma pinhole à esquerda e seu olho à direita, maximizado.

Os últimos 20 anos, a pinhole também tem sido utilizada amplamente pelos físicos nucleares para a fotografia de alta energia no plasma laser (Renner 1995:21; Swing 1968).

Resumo cronológico de importantes fotografias Pinhole e observações em câmera escura:

1500	<i>Leonardo da Vinci, spiraculo</i>
1545	<i>desenho em De Gemma Frisius 'Radio Astronomica et Geometrica</i>
1850	<i>Sir David Brewster, The Stereoscope</i>
1859	<i>Joseph Petzval, natural câmera</i>
1881	<i>Dehors and Deslandres, stenopeic</i>
1889	<i>George Davison, natural câmera</i>
1890	<i>Alfred Maskell, lensless</i>
1901	<i>J. B. Thomson, rectographic</i>
1907	<i>Gray, needle-hole</i>
1978	<i>Ando Gilardi, spiracolografir</i>

Tabela 1.3 – Resumo cronológico das primeiras fotografias pinhole.

Para demais curiosidades acerca de fotografia pinhole, temos imagens retiradas do livro “Pinhole Photography” de Eric Renner que se encontram no Anexo 2.

Funcionamento

A câmera pinhole é a câmera mais simples possível. Consiste em uma caixa à prova de luz, uma espécie de filme e uma pinhole que é simplesmente um buraco extremamente pequeno. Ela funciona baseada em um princípio simples. Imagine um observador dentro de uma grande sala escura contendo uma pinhole e que fora da sala há um amigo com uma lanterna, e ele está apontando a lanterna em ângulos diferentes através do furo. Quando quem está dentro do quarto olha para a parede oposta do furo, vê um pequeno ponto criado pelo feixe da lanterna brilhando através do furo. O pequeno ponto se moverá contanto que o amigo que está fora mude a posição de sua lanterna. Quanto menor for o pinhole (dentro de certos limites), menor e mais penetrante será o ponto de luz que a lanterna cria.

Agora, imaginando que tal quarto grande, escuro equipado com uma pinhole fora e alguém dentro aponta para uma paisagem. Quando o observador interno olha para a parede oposta do furo, o que ele verá será uma imagem invertida da cena exterior. Cada ponto na cena emite luz, e, assim como a lanterna, o feixe de luz a partir desse ponto passa através do furo e cria um ponto de luz na parede traseira. Todos os pontos na cena podem fazer isso ao mesmo tempo, assim que uma imagem inteira, em foco, é criada na parede traseira da sala. A imagem é muito fraca por causa de o furo ser tão pequeno, mas o observador interno poderá vê-la se o quarto ainda for muito escuro de acordo com a Figura 1.3-3.

Uma câmera pinhole é simplesmente uma versão menor do quarto, e o filme dentro da câmera substitui a pessoa dentro dele. O filme registra a imagem que passa através do furo. A câmera registra uma imagem agradável, com um foco na cena em que o fotógrafo apontar a câmera. Normalmente, tem-se que expor o filme por um longo tempo porque o pinhole permite a passagem de muito pouca luz.

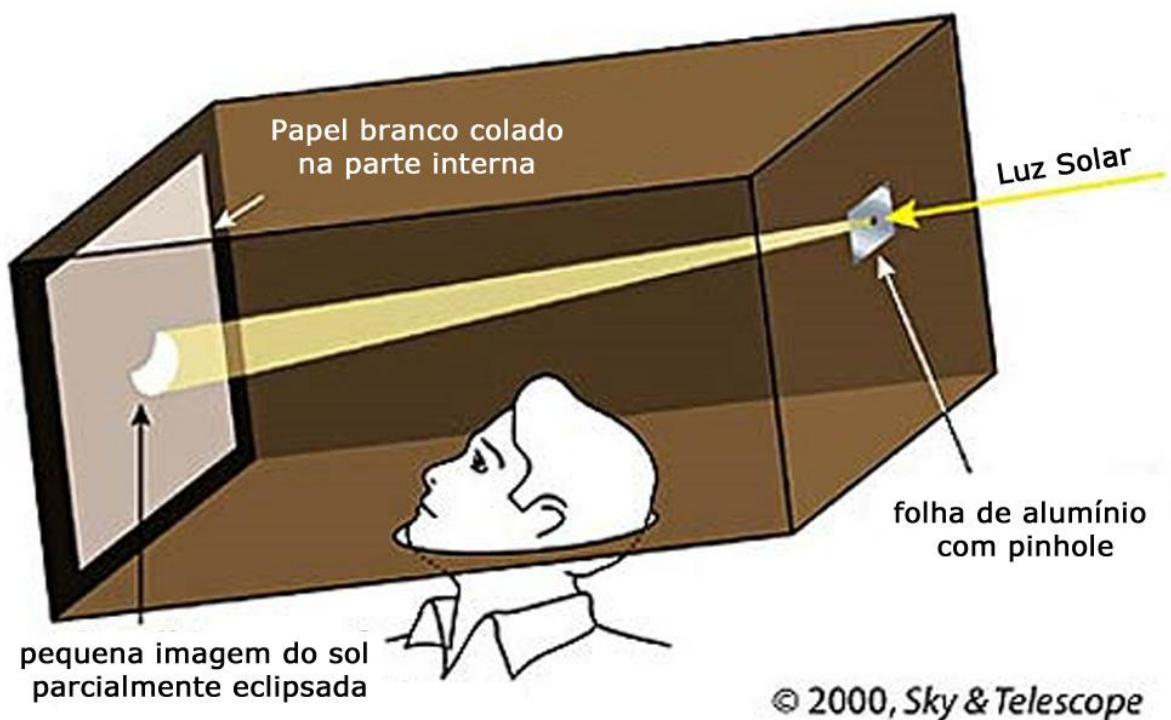


Figura 1.3-3 Ilustração adaptada da figura que contém a formação da imagem em uma câmera escura com um observador interno acompanhando o processo óptico.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Este capítulo expõe a fundamentação teórica básica para a explicação do processo fotográfico de uma câmera pinhole. Bem como, estudos que variam entre a óptica geométrica e a ondulatória para explicação da natureza e peculiaridades da luz.

2.1. A Natureza da Luz

Teoria corpuscular da luz

Apresentada pelo físico inglês Isaac Newton em 1672, sugeria que a luz era considerada como um feixe de partículas emitidas por uma fonte de luz que atingia o olho estimulando a visão. Esta teoria conseguia explicar muito bem alguns fenômenos de propagação da luz em linha reta, mas a passagem da luz contornando obstáculos não era explicada por Newton. Newton conseguia explicar a cromatografia da luz afirmando que a luz branca era composta de vários corpúsculos de sete cores.

Teoria ondulatória da luz

No século XIX, o cientista francês L. Foucault, medindo a velocidade da luz em diferentes meios (ar/água), verificou que a velocidade da luz era maior no ar do que na água, contradizendo a teoria corpuscular que considerava que a velocidade da luz na água deveria ser maior que no ar. Alguns afirmam que Newton não tinha condições, na época, de medir a velocidade da luz, embora Galileu tenha encontrado um valor finito para ela através de medidas astronômicas.

Na segunda metade do século XIX, James Clerk Maxwell, através da sua teoria de ondas eletromagnéticas, provou que a velocidade com que a onda eletromagnética se propagava no espaço era igual à velocidade da luz, cujo valor é aproximadamente $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s} = 300.000 \text{ km/s}$ no espaço livre. Maxwell estabeleceu teoricamente que a luz é

uma modalidade de energia radiante que se propaga através de ondas eletromagnéticas. Hertz, 15 anos após a descoberta de Maxwell, comprovou experimentalmente a teoria ondulatória, usando um circuito oscilante.

Uma onda possui características como o comprimento de onda, λ , que é a separação espacial entre duas cristas sucessivas e a frequência f , que é o inverso do período com que uma crista oscila. A velocidade de propagação da onda é dada pelo produto do comprimento de onda pela frequência, ou seja, este produto é constante para cada meio:

$$v = \lambda f \quad (2.1)$$

Como consequência, o comprimento de onda da luz é dependente do meio. Para cada material onde ela se propaga, ela apresenta um comprimento de onda diferente. A frequência da onda está associada a sua energia, de tal forma que ela não pode variar de um meio material inativo para outro. A frequência de uma onda linear nunca se altera ao passar de um meio para outro. O espectro eletromagnético apresenta vários tipos de ondas eletromagnéticas: ondas de rádio, micro-ondas, radiação infravermelha, luz (radiações visíveis), ultravioleta, raios X e raios gama. As ondas diferem entre si pela frequência e se propagam com a mesma velocidade da luz no vácuo, c . Quanto maior a frequência, maior a energia da onda, e, conseqüentemente menor seu comprimento de onda.

Dualidade onda/partícula

Apenas a teoria de que a natureza da luz era uma onda eletromagnética não conseguia explicar o fenômeno de emissão fotoelétrica, que é a ejeção de elétrons quando a luz incide sobre um condutor. Em 1905, Albert Einstein, usando a idéia dos *quanta* de energia de Max Planck⁷, mostrou que a energia de um feixe de luz era concentrada em pequenos pacotes de energia, denominados fótons, que explicava o fenômeno da emissão fotoelétrica.

Atualmente, é aceito o fato de que a luz tem caráter dual: os fenômenos de reflexão, refração, interferência, difração e polarização da luz podem ser explicados pela teoria ondulatória clássica e os de emissão e absorção podem ser explicados pela teoria corpuscular. De tal forma, a radiação eletromagnética é quantizada (fótons) e quando os efeitos

⁷ O físico alemão Max Planck, mostrou em 1900 que a radiação de um corpo negro acontece em pacotes de energia discretos que ele chamou de *quantum*.

ondulatórios não são importantes, isto é, as ordens de grandeza dos comprimentos envolvidos não são da mesma ordem de λ a luz comporta-se como partícula.

Princípios da propagação de feixes de luz

Se a natureza ondulatória da luz puder ser ignorada, dois princípios básicos regem a propagação de um feixe de luz:

- Princípio da propagação retilínea → Nos meios homogêneos e transparentes a luz se propaga em linha reta. Este princípio é facilmente observado no nosso cotidiano: o feixe de luz proveniente de um holofote; qualquer processo de alinhamento; mira para atirar em um alvo; formação de sombras; formação de imagens e outros. Em meios heterogêneos a luz não se propaga necessariamente em linha reta. Como exemplo, tem-se a atmosfera terrestre que aumenta a densidade com a altitude decrescente; em consequência disso os raios provenientes dos astros se encurvam ao se aproximarem da superfície terrestre, fenômeno conhecido como refração atmosférica. Isto ocorre por conta do índice de refração da atmosfera depender da densidade de partículas nela.
- Princípio da independência dos raios de luz → A propagação da luz independe da existência de outros raios de luz na região que atravessa. Este princípio você observa quando um palco é iluminado por dois feixes de luz provenientes de dois holofotes. A trajetória de um raio de luz não é modificada pela presença de outros: cada um segue sua trajetória como se os outros não existissem.

Propagação da Luz num meio

A reflexão que, facilmente se associa a “ressaltos numa superfície”, constitui um fenômeno de transcendente complexidade quando encarada do ponto de vista do

comportamento coordenado de um número incontável de átomos. Para além da reflexão, muitas questões verdadeiramente fascinantes exigem resposta: como é que a luz se propaga através da matéria?

Qualquer forma de interação da luz com matéria pode ser encarada como um fenómeno cooperativo que associa um feixe de fótons a uma rede de átomos suspensos, através de campos eletromagnéticos, no vazio. Os processos de transmissão, reflexão e refração são manifestações macroscópicas dos processos de dispersão que ocorrem a nível submicroscópico. De um modo geral, quanto mais denso for o meio no interior do qual a luz se propaga, menor é a dispersão transversa.

REFLEXÃO

Quando um feixe luminoso incide na superfície de um material transparente – uma placa de vidro, por exemplo – a onda confronta-se com um enorme número de átomos densamente distribuídos que a irão dispersar. Quando um feixe luminoso incide em tais interfaces, uma parte da energia é sempre retrodispersa, fenómeno que se designa por reflexão.

Suponha o caso inicial de um feixe de luz que se propaga em um meio menos denso e passa para um meio mais denso, diz-se que se trata de reflexão externa. Um feixe que se propaga no vidro e incide na interface com o ar, cerca de 4% da energia vai alimentar um segundo feixe. Este processo é agora referido como reflexão interna. Deve existir numa diferença de fase de 180° entre as ondas luminosas criadas por reflexão interna e por reflexão externa.

À medida que a frente da onda avança, ela excita repetidamente os diversos centros de dispersão, cada um dos quais irradia um feixe de fótons que se podem ser descritos em termos de uma onda hemisférica que se propaga no meio de incidência. Uma vez que o comprimento de onda é muito superior à separação entre moléculas, as ondas retrodispersas para o meio de incidência propagam-se em fase, sobrepõem-se construtivamente ao longo de uma direcção bem definida, dando origem a um feixe refletido bem definido. A direcção dos feixes refletidos depende da diferença de fase (constante) entre os centros de dispersão atômicos e função do ângulo de direcção de propagação que a onda incidente faz com a normal à superfície, isto é, o ângulo de incidência. Por outras palavras, para que todas as ondas emitidas pelos centros de dispersão à superfície se sobreponham em fase e constituam uma onda plana refletida única, o

ângulo de incidência deve ser igual ao ângulo de reflexão. Essa equação constitui a primeira parte da lei da reflexão. A incidência é rasante quando $\theta_i = 90^\circ$. Quando um objeto não tem contornos suaves, a luz que incide neste objeto é refletida em várias direções e aparentemente o ângulo de incidência não é igual ao ângulo de reflexão. Entretanto, a lei da reflexão é sempre válida, mas macroscopicamente nos deparamos com uma reflexão difusa.

Um raio luminoso é uma linha desenhada no espaço que representa a direção do fluxo de energia radiante, ou seja, o feixe de luz. Se o meio for isotrópico, isto é, tiver as mesmas propriedades em todas as direções, os raios luminosos são perpendiculares às frentes de onda. A lei da reflexão estabelece ainda que o raio incidente, a normal à superfície e o raio refletivo pertencem todos ao mesmo plano, o plano de incidência. A luz reemitida coletivamente por bilhões de átomos dá origem a um feixe bem definido, num processo de reflexão especular. O conjunto de raios refletidos dá origem a um feixe que não se propaga ao longo de uma direção bem definida: trata-se da reflexão difusa.

REFRAÇÃO

Foi Newton quem primeiramente se referiu ao desvio angular do feixe de luz transmitido por refração. Do ponto de vista clássico, cada molécula excitada da superfície irradia ondas que se propagam no interior do vidro com velocidade constante. O processo continua indefinidamente à medida que a onda se propaga no meio de transmissão. Seja qual for a forma de visualizar este processo, à entrada do meio de transmissão existe um campo único, uma única onda.

$$n_i \text{sen} \theta_i = n_r \text{sen} \theta_r, \quad (2.2)$$

Esta equação é uma parte da lei da refração, também conhecida por lei Snell, nome de quem a apresentou em primeiro lugar, Willebrord Snell Van Royen (1591 - 1626) que é facilmente derivável do princípio de menor caminho de Fermat: “A luz se propaga num meio de tal forma que ela viaja no caminho óptico ótimo.” Isto é, a luz se propaga no caminho que leva menos tempo. Posteriormente, Newton foi capaz de deduzir a lei Snell com base na sua teoria corpuscular. O significado do índice de refração, n , como uma medida da velocidade de

propagação da luz, era então evidente. Mais tarde ainda, a lei de Snell foi recuperada como uma consequência natural da Teoria da Eletromagnética de Maxwell-Hertz.

Os raios incidentes, refletido e refratado pertencem todos ao plano de incidência. Quando $n_i < n_r$, isto é, quando a luz se propaga inicialmente no meio de menor índice, então, pela Lei de Snell, $\text{sen}\theta_i > \text{sen}\theta_r$; como a função seno é positiva entre 0° e 90° , então $\theta_i > \theta_r$, os raios luminosos aproximam-se da normal. Por sua vez, quando a luz se propaga inicialmente no meio com maior índice de refração $n_i > n_r$, os raios luminosos afastam-se da normal.

Dois campos paralelos ao campo de incidência estão em fases se as duas componentes em y forem paralelas, e estão em oposição de fase se as mesmas componentes forem antiparalelas. A componente paralela do coeficiente de reflexão, definido como a amplitude do campo refletido dividido pela amplitude do campo incidente é dada por:

$$R_{\parallel} = \frac{n_r \cos\theta_i - n_i \cos\theta_r}{n_r \cos\theta_i + n_i \cos\theta_r} \quad (2.3)$$

O comprimento de onda diminui uma vez que a frequência se mantém inalterada e a velocidade diminui. A cor é um fenômeno psicofísico e deve ser tratado com todas as cautelas. Ao falar de comprimentos de onda e de cores, é importante utilizar sistematicamente os comprimentos de onda da luz no espaço livre. À medida que a frente de onda incidente varre a superfície, todo e qualquer ponto da superfície de onda pertence igualmente às frentes de onda refletida e transmitida. Esta situação é designada por continuidade da frente de onda. Quando a luz atravessa uma lâmina de vidro não homogênea há distorção da frente de onda.

ASPECTOS FAMILIARES DA INTERAÇÃO DA LUZ COM A MATÉRIA,

Examinando-se alguns dos fenômenos que permitem revestir o universo conhecido de uma maravilhosa paleta de cores, é visto que a luz contém de um modo equitativo, todas as frequências da região visível do espectro, e parece branca. Numa fonte extensa de luz branca (seja natural ou artificial) cada ponto da superfície emite um feixe de luz com todas as frequências visíveis, mais ou menos isotropicamente. Uma vez que todos os fenômenos se

referem ao planeta Terra, não é de estranhar que uma fonte de luz branca tenha um espectro que assemelha ao do Sol. Do mesmo modo, uma superfície refletora que se comporte de forma idêntica parece também branca: um objeto difusor altamente refletor para qualquer frequência parece branco quando iluminado por luz branca. Apesar da água, ser essencialmente transparente, o vapor de água parece esbranquiçado, tal como o vidro despolido.

Não há distinção entre qualquer das frequências componentes e, portanto, a luz que chega ao observador é branca. Este é o mecanismo responsável pela aparência esbranquiçada de substâncias como açúcar, sal, papel, nuvens, pó de talco, neve e tinta, pois cada grão é na realidade transparente. Cobrindo uma página impressa com alguns desses materiais (uma folha de papel branco, alguns grãos de açúcar ou talco) e iluminando por trás, não é difícil ver através deles. Quando os índices de refração das partículas e do meio de suporte forem iguais, não há reflexão nos limites de cada grão. As partículas pura e simplesmente não são mais discerníveis no conjunto, que permanece transparente. Por outro lado, se os índices forem bastante diferentes, ocorrem reflexões múltiplas para todos os comprimentos de onda e a tinta aparece branca e opaca.

Uma superfície difusora que absorva uniformemente ao longo de todo o espectro reflete um pouco menos que uma superfície branca, parecendo, pois, acinzentada. Quanto menos refletir, menos intenso será o cinzento. Quando a absorção for quase total a superfície parece preta. A luz incidente não pode penetrar no metal mais do que uma fração do seu comprimento de onda sem ser totalmente extinta. Existe pouca ou nenhuma luz refratada. A maior parte da energia é refletida para o exterior e apenas uma pequena parte é absorvida.

No início do século XIX Thomas Young mostrou que as cores visíveis podem ser produzidas sobrepondo três feixes de luz com frequências bastante diferentes. Quando três destes feixes sobrepostos produzem luz branca, constituem um conjunto de cores primárias. As cores características da maior parte das substâncias têm, todavia, a sua origem no fenômeno de absorção seletiva: por exemplo, a água tem uma tonalidade ligeiramente azul-esverdeada devido à absorção de luz vermelha, isto é, as moléculas de H_2O têm um grande número de ressonâncias no infravermelho e algumas até no visível. De fato, a cor da grande maioria dos objetos da natureza resulta na absorção seletiva pelas moléculas dos pigmentos cromáticos. Em contraste com a maior parte dos átomos e das moléculas, que têm ressonâncias no ultravioleta e no infravermelho, as moléculas dos pigmentos cromáticos têm ressonâncias no visível. Os fótons visíveis têm energia entre 1,6 eV e 3,2 eV, energias

reduzidas para a excitação eletrônica normal, mas demasiado elevadas para excitação por vibração molecular. Existem, contudo, átomos cujas camadas eletrônicas estão completamente preenchidas por elétrons.

2.2. Óptica Geométrica

Um conjunto de superfícies refletoras e refringentes constitui um sistema óptico. Num sistema óptico ideal, cada ponto do espaço tridimensional tem uma imagem perfeita num outro espaço. A óptica geométrica se baseia em três princípios: Propagação Retilínea da Luz, Independência dos Raios de Luz e a Reversibilidade dos Raios de Luz.

Teoria Paraxial

O ponto de partida do qual a onda esférica diverge, ou para o qual converge é o ponto focal do feixe de raios.

- Lentes

As lentes são, sem qualquer dúvida, os dispositivos ópticos mais comuns. As primeiras lentes foram seguramente construídas na antiguidade, desde que o homem começou a trabalhar o vidro. Uma lente é um elemento que atua por refração, introduzindo descontinuamente no meio em que a luz se propaga inicialmente, e que reconfigura a distribuição da energia transmitida. A forma da lente depende do tipo de reformatação da onda luminosa que se deseja. Por exemplo, com fontes pontuais é freqüente converter as ondas esféricas em ondas planas.

É o que se passa em flashes, projetores e faróis, de modo a diminuir a divergência do feixe luminoso e, conseqüentemente, controlar a redução da sua densidade de fluxo à medida que a luz se propaga.

A situação oposta, em que é necessário coletar os feixes de raios paralelos e fazê-los convergir com um foco, concentrando deste modo a energia, ocorre com igual frequência em lupas ou telescópios.

De qualquer modo, como a luz difundida pelo rosto de qualquer pessoa é dispersa por bilhões de fontes pontuais, uma lente que provoque a convergência de todas as ondas divergentes pode ser utilizada para criar uma imagem do rosto.

- Refração em Superfícies Esféricas

Algumas lentes são mais espessas no eixo do que no bordo e dizem-se, com frequência, lentes convexas; como cada uma das lentes de algum modo é responsável pelo aumento da convergência do feixe incidente, são também conhecidas como lentes convergentes.

Por outro lado, as lentes côncavas são mais finas no eixo do que nos bordos. Quando iluminadas por feixes colimados (de raios paralelos) dão origem a feixes divergentes. Como, de algum modo, as lentes côncavas aumentam a divergência dos raios luminosos em relação ao eixo central, são também conhecidas como lentes divergentes.

Quando se faz incidir um feixe colimado numa lente convergente (ou divergente), o ponto para o qual o feixe converge (ou do qual ele parece convergir) é o ponto focal da imagem da lente. Mas, quando nenhuma imagem luminosa aparece agora sobre um alvo colocado em torno desse ponto: a imagem é dita virtual, tal como a imagem (familiar), produzida por um espelho plano.

Elementos Ópticos, lentes ou espelhos, com dióptros que não são planos nem esféricos, são conhecidos como esféricos. Embora o seu funcionamento seja fácil de compreender e realizem muito bem certas funções, as lentes esféricas são bastante difíceis de produzir com precisão; todavia, sempre que os custos o justificarem e as tolerâncias são grandes, ou ainda quando a quantidade é suficientemente grande, as lentes esféricas são já utilizadas em larga escala e possivelmente sê-lo-ão cada vez mais no futuro. As primeiras lentes esféricas de qualidade produzidas em grande quantidade (dezena de milhões) foram incluídas em máquinas fotográficas da Kodak (1982).

Atualmente as lentes esféricas são utilizadas com frequência para corrigir erros de formação de imagens em sistemas ópticos complexos. Encontram-se hoje lentes esféricas de

plástico ou de vidro, numa grande variedade de instrumentos, sem restrições de qualidade, incluindo telescópios, projetores, máquinas fotográficas e sistemas de reconhecimento.

Duas peças de material com superfícies esféricas, uma côncava e outra convexa, ambas com um mesmo raio de curvatura, encaixam perfeitamente uma na outra, seja qual for a sua orientação relativa. Esta é uma propriedade única da esfera. É compreensível que a maior parte das lentes de qualidade que hoje se utilizam tenha superfícies esféricas. Os erros de formação de imagem, as aberrações, são inevitáveis e estão sempre presentes, mas a tecnologia atual permite construir sistemas de lentes esféricas de alta qualidade, com aberrações controladas até ao limite de difração.

Os raios que se propagam muito próximos do eixo óptico, com inclinações reduzidas são designados raios paraxiais. A frente de onda emergente associada a estes raios paraxiais é essencialmente esférica e dá origem a uma imagem “perfeita” no seu centro à distancia do vértice.

Em 1841, Gauss construiu uma análise da formação de imagens na aproximação referida, conhecida como óptica Gaussiana. Os desvios relativamente ao comportamento paraxial constituem uma medida conveniente da qualidade de um sistema óptico real.

Em distância particular da superfície ao objeto, a distância focal do objeto e da imagem será dada pela fórmula (2.4):

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \quad (2.4)$$

Diafragmas

Todas as lentes tem um diâmetro finito e só podem coletar uma parte da energia emitida por uma fonte pontual. A limitação física imposta pelo bordo de uma lente determina quais os raios de uma lente simples determina quais os raios que entram no sistema e que vão contribuir para a formação da imagem.

Qualquer elemento – seja ele o aro de uma lente ou um diafragma independente – que determine a quantidade de energia luminosa que contribui para a formação da imagem, tem o nome genérico de *diafragma*.

O diafragma de diâmetro variável, que se encontra normalmente depois dos primeiros elementos de um sistema de lentes da objetiva de uma câmara fotográfica, é um exemplo de

uma abertura que condiciona a quantidade de energia que se propaga através de um sistema óptico.

A existência de um *diafragma de abertura* não impede, todavia, que raios muito oblíquos se propaguem através de um sistema óptico.

O elemento que limita o tamanho ou as dimensões angulares máximas do objeto de que se pretende constituir imagem, desempenha a função de *diafragma de campo* e determina o campo visual do instrumento.

Numa câmera fotográfica é o bordo do próprio filme que delimita o plano imagem e funciona como diafragma de campo.

Aumentar o diâmetro do diafragma de abertura permite que o sistema aceite um cone de energia mais largo e faz, portanto, aumentar a irradiância em cada zona da imagem. Abrir o diafragma de campo permite a formação da imagem dos extremos do objeto, anteriormente bloqueados.

2.3. Óptica Ondulatória

Como dito anteriormente, a luz é uma manifestação da oscilação de um campo eletromagnético que se propaga. Como uma onda ela partilha de algumas propriedades de qualquer onda mecânica.

Difração

Outro tipo de fenômeno característico do movimento ondulatório é conhecido pelo nome genérico de difração. A difração é observável quando uma onda é deformada por um obstáculo que tem dimensões comparáveis ao comprimento de onda da mesma.

Este efeito torna-se mais evidente a medida que as dimensões das fendas ou o tamanho dos obstáculos aproximam-se do comprimento de onda das ondas.

Em 1803, Young realizou uma experiência demonstrando que a luz possuía natureza ondulatória. Ele a fez passar por uma abertura estreita e constatou que, num anteparo instalado do outro lado, não surgia simplesmente uma linha nítida, mas sim um conjunto de faixas luminosas de diferentes intensidades. Isso mostrava que a luz sofria difração, tal como ocorria com as ondas sonoras ou as de um lago. Se ela fosse constituída de partículas, esse comportamento seria impossível.

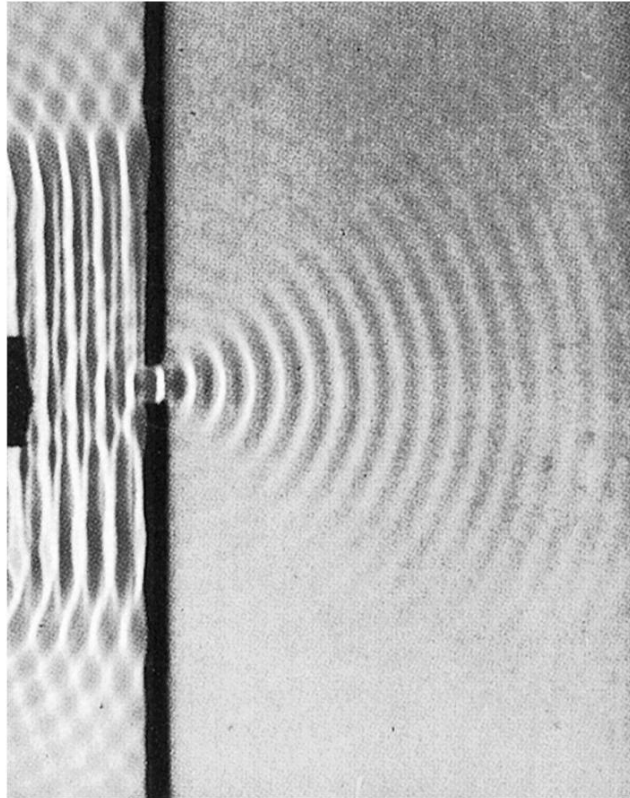


Figura 2.3-1 - Ondas num tanque. Ao passar por um orifício ela se comporta como uma fonte de onda circular.

Franjas de difração que se formam ao longo das bordas de uma sombra foram primeiramente observadas por Francesco Grimaldi, mais de cem anos antes da natureza ondulatória da luz ter sido estabelecida por Thomas Young. Mesmo com o conceito ondulatório aceito, como a luz pode se desviar de sua direção inicial e contornar um obstáculo? Isto pode ser explicado pelo princípio de Huygens, onde cada frente de onda se propaga na direção perpendicular àquela dos feixes de luz. Assim, ao se tratar a luz como um fenômeno ondulatório, ela é capaz de contornar obstáculos como uma onda no mar contorna um obstáculo.

Quando uma onda passa por um orifício ou contorna um obstáculo, as várias ondas provenientes de pontos distintos do orifício interferem umas nas outras. Dependendo das

distâncias envolvidas, é comum distinguir entre dois tipos de difração: difração de Fraunhofer e a difração de Fresnel.

A difração de Fraunhofer ocorre quando a fonte e a tela estão distantes e os feixes de luz estão aproximadamente paralelos (comumente chamada de difração de *farfield*⁸). A difração de Fresnel ocorre quando a fonte está próxima da tela. A difração de Fresnel é mais geral e inclui a difração de Fraunhofer como caso especial. Mas a difração de Fraunhofer é muito mais fácil de ser discutida matematicamente que a de Fresnel.

Difração de Fresnel

É o tipo de difração cujo tratamento matemático é mais complexo. Nesse caso, a onda que se desloca não é plana. A difração de Fresnel é produzida quando a fonte pontual de ondas incidentes ou o ponto de observação do qual as vemos, ou ambos, estão a uma distância finita da abertura ou do obstáculo. É matematicamente complexa especialmente a abertura circular. Algumas situações podem ser resolvidas de forma gráfica mediante a espiral de Cornu.

À medida que se afasta o plano de observação, verifica-se uma estruturação progressiva da imagem que, embora ainda identificável, começa a revelar franjas cada vez mais bem definidas. Os raios incidentes originam-se de uma fonte pontual ou os raios difratados são observados em um determinado ponto do espaço, ou ambos.

⁸ Palavra de origem inglesa que significa campo distante.

Difração de Fraunhofer

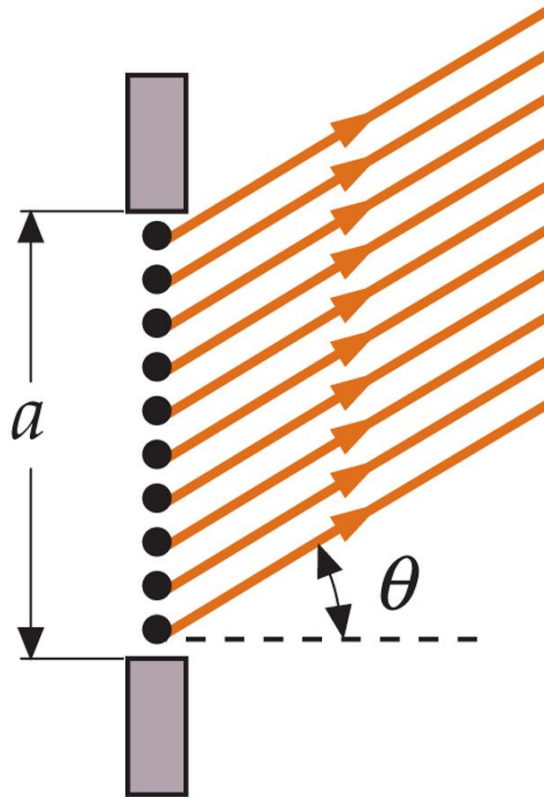


Figura 2.3-2 - Descrição pictórica da difração de Fraunhofer ao passar por uma fenda de largura a , onde a aproximação paraxial dos feixes é aceita.

É o tipo de difração mais simples. Pode-se dizer que este tipo de difração é aquela em que a onda difratada é plana (pelo menos aproximadamente, no nível de precisão observado) e exige um tratamento matemático mais simples.

Seja uma fenda de largura a . Num ponto P_0 distante da tela, a luz que passa através a fenda contém três feixes, 1-2-3. Para a ocorrência de um mínimo, a onda luminosa do feixe no topo da fenda tem de estar defasada da onda do feixe proveniente do meio da fenda por um múltiplo ímpar de 180° ou π . Uma vez que a diferença de fase é dada por:

$$\delta = ka \sin \theta, \quad (2.5)$$

onde $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ é o número de onda; assim a condição de que $\delta = (2j - 1)\pi$, com j sendo um número inteiro positivo. Então, para ângulos dados por $\sin \theta_j = \frac{(2j-1)\lambda}{2a}$, a intensidade da luz no anteparo é nula.

Supondo que os raios incidentes são paralelos e que observamos a figura de difração a uma distancia suficientemente grande, de forma que os raios que chegam ao anteparo são

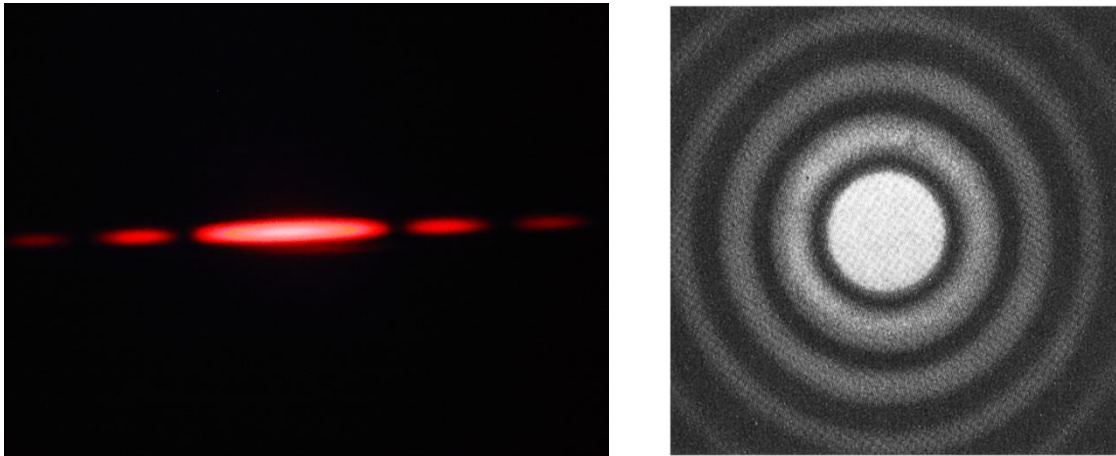


Figura 2.3-3 - Padrão de difração por uma fenda retangular, à esquerda, e por uma fenda circular, à direita.

efetivamente paralelos, aproximação paraxial (ver figura 2.3-2). Isso pode ser realizado usando uma lente que focaliza os raios difratados numa mesma direção em uma mesma posição sobre a tela.

Em uma abertura circular, a figura de difração produzida exibe muitas das características já vistas no caso de uma fenda retangular. Mas, em vez de uma figura retangular, como na fenda retangular, os máximos e mínimos tomam a forma de anéis concêntricos. O máximo brilhante central é conhecido como disco de Airy. O padrão é muito similar àquela formado através de uma fenda, embora as dimensões sejam diferentes.

A análise matemática da difração através de uma abertura circular é mais difícil que a difração através de uma fenda. Como antes, a abertura é dividida numa série de tiras estreitas de largura igual. Mas desde que estas tiras não têm o mesmo comprimento, as amplitudes são diferentes. A amplitude resultante é encontrada por integração. As posições dos mínimos através da fenda são dadas pela simples relação $a \sin \theta = m\lambda$, agora m é trocado por outro fator, J , que deriva das funções de Bessel de primeira ordem. Para o primeiro máximo tem-se $J = 1,635$, para o segundo máximo $J = 2,679$, e para os três primeiros mínimos, temos $J=1,220$; $2,233$ e $3,238$. E a largura da fenda a é trocada pelo diâmetro da abertura circular D .

A intensidade do padrão de difração de Fraunhofer para uma abertura circular, muitas vezes chamado de padrão de Airy, é dada pela transformada de Fourier da abertura circular:

$$I(\theta) = \left[\frac{J_1\left(\frac{kD}{2} \sin \theta\right)}{kD \sin \theta} \right]^2 I_{\max}. \quad (2.6)$$

onde J_1 é a função de Bessel de primeiro tipo de ordem um e I_{\max} é a intensidade da luz no centro do padrão de difração (ver figura 2.3-4).

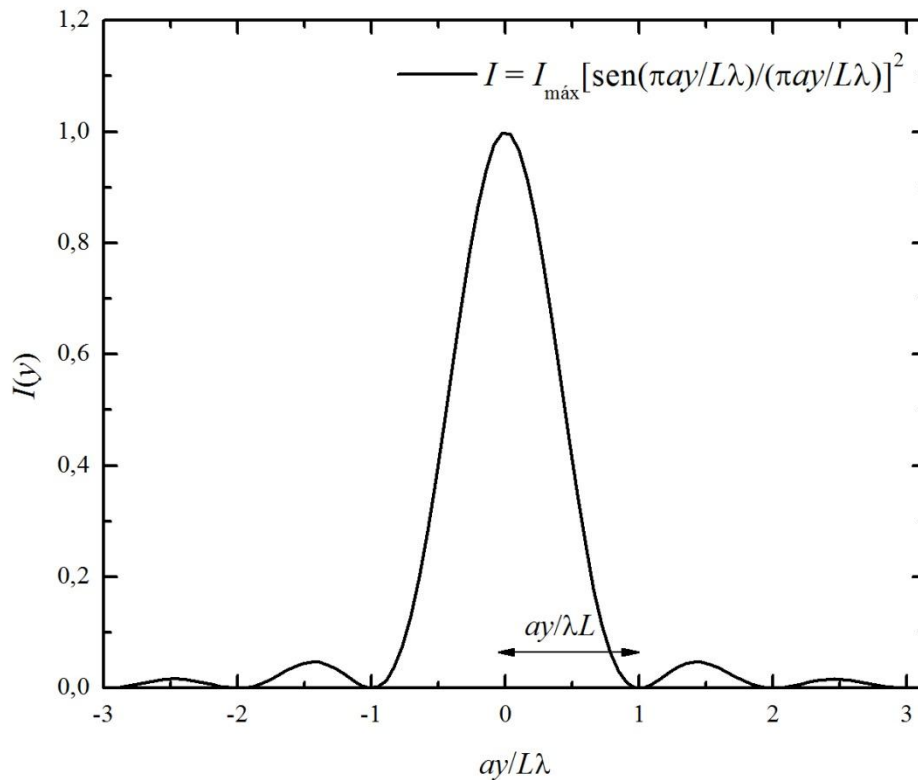


Figura 2.3-4 - Função matemática do padrão de difração por uma fenda de largura a a uma distância L do anteparo.

De acordo com Eric Renner, pelo menos 50 fórmulas sugerindo otimizar diâmetros de pinhole foram criadas nos últimos 125 anos (Renner 1995:118). Refira-se que o diâmetro do buraco de agulha não é realmente crítico. Mas para cada distância focal não seria um "ótimo" de diâmetro, ou seja, um diâmetro que produz a imagem mais nítida possível.

Há belas imagens pinhole, que são intencionalmente mais suaves do que aquilo que é tecnicamente possível. Uma imagem pinhole boa é algo mais do que uma imagem borrada, fora de foco, a imagem da lente.

Uma tabela contendo os gráficos com os melhores diâmetros de uma pinhole está reproduzida na tabela do Anexo I.

A difração de Fraunhofer por uma abertura circular é de interesse prático considerável, visto que muitos instrumentos ópticos têm abertura aproximadamente circular, incluindo o olho humano.

Um furo bem calculado e executado garante às imagens uma nitidez indiscutível, que caracteriza as imagens *pinhole*. O furo é sempre minúsculo se comparado à dimensão da câmara escura; como consequência, requer obtenções fotográficas de tempos relativamente longos, se comparados ao *click* da câmara fotográfica. As imagens, também, sofrerão distorções se o recipiente onde o papel fotográfico for colocado não possuir paredes planas (pode ser um recipiente cilíndrico, como é o caso de muitas latas). Suas imagens finais, porém, são mais suaves - menos acentuada – do que as fotos feitas com uma lente e têm a profundidade de campo quase infinita.

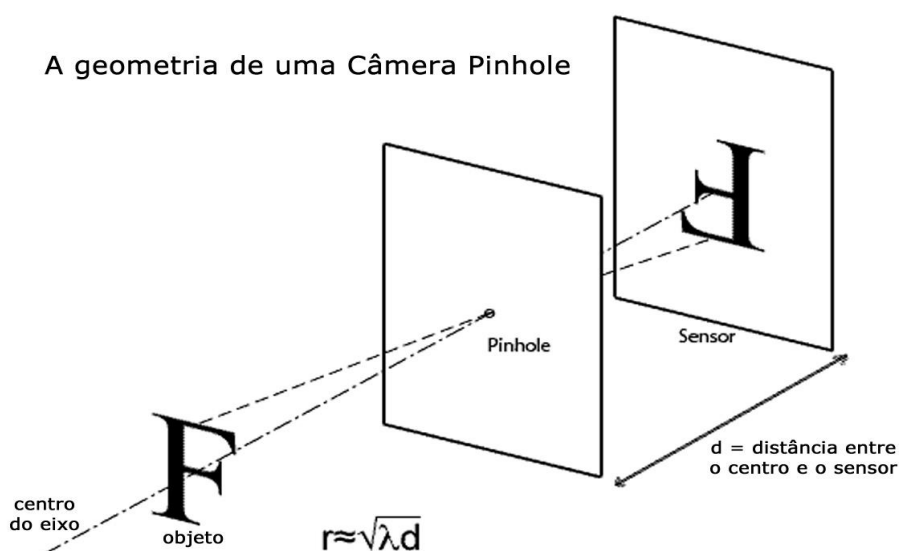


Figura 2.3-5 - Ilustração adaptada do site www.northlight-images.co.uk/article_pages/Canon_1ds_pinhole.html, que representa a geometria de uma câmera Pinhole criada por Keith Cooper.

Por outro lado, as imagens pinhole sofrem maior aberração cromática de fotos feitas com uma lente simples, e que toleram pouco campo. As exposições são longas, variando de meio segundo por várias horas. As imagens são expostas em filme ou papel - positivos ou negativos, a preto e branco ou cor.

Até certo ponto, um pequeno orifício, irá produzir uma imagem mais nítida do que um maior. Se a pinhole for muito pequena, a imagem fica menos nítida devido à difração. O buraco deve ser perfeitamente redondo, sem bordas irregulares. Ele pode ser verificado com uma lupa ou um ampliador. É comum nos dias de hoje produzir este orifício com o auxílio de um laser (Young 1971).

Joseph Petzval de Viena, aparentemente, foi o primeiro, em 1857, a tentar encontrar uma fórmula matemática do diâmetro ideal do pinhole para a definição mais nítida em uma imagem pinhole. O britânico ganhador do Prêmio Nobel Lord Rayleigh (John William Strutt 1842-1919) trabalhou em fórmulas de diâmetro pinhole por dez anos e publicou seu trabalho na revista Nature de 1891 (Rayleigh 1891). A fórmula de Lord Rayleigh ainda é uma das fórmulas usadas hoje. Uma grande quantidade de fórmulas também foram publicadas desde a década de 1880.

A fórmula Lord Rayleigh para distâncias acima de 1 metro pode ser escrita como segue:

$$d = 1.9\sqrt{\lambda f}, \quad (2.7)$$

onde d é o diâmetro da pinhole, λ é comprimento de onda da luz e f é o comprimento ou distância focal de pinhole de material sensível à luz.

Para o comprimento de onda de luz diferentes valores médios podem ser substituídos. Muitas vezes o valor do espectro verde-amarelo é utilizado para o cálculo, ou seja, 0,00055 milímetros. De acordo com Renner, a maioria das fórmulas usadas hoje é da seguinte forma geral:

$$d = \sqrt{C\lambda f}, \quad (2.8)$$

Onde λ é o comprimento de onda da luz, C é uma constante, normalmente uma fração decimal entre 0,5 e 1, e, f é o comprimento focal da lente.

Para uma câmara fotográfica, se a pupila de entrada for demasiado grande, não se forma imagem; à medida que o diâmetro da pupila diminui a imagem define-se cada vez mais. Não é difícil concluir que a medida do diâmetro do orifício para uma ótima definição é proporcional à sua distancia ao plano imagem (um orifício de 0,5mm de diâmetro a 0,25m do alvo, é adequado). Não há qualquer deflexão dos raios luminosos, e a diminuição da luminosidade da imagem não pode ser atribuída a qualquer tipo de desfocagem. Trata-se de fato de um problema de difração, como citado.

O problema principal desse tipo de câmara é a sua reduzida velocidade (aproximadamente $f/500$), o que conduz a tempos de exposição muito elevados, mesmo com filmes sensíveis. Para objetos em repouso, um prédio, por exemplo, uma pinhole produz excelentes resultados. Na focagem de uma câmara a posição de uma objetiva é feita variar regularmente ao plano do filme. O campo angular de uma objetiva traduz a fração da cena

registrada em fotografia. É necessário que a qualidade da imagem seja adequada em toda fotografia.

À medida que um objeto se aproxima e a lente é afastada do filme de modo a garantir a focagem; o campo angular deve diminuir. Uma objetiva vulgar tem distâncias focais entre 50 e 58 mm e campos angulares entre 40° e 50°. Nas objetivas de grande angular as distâncias focais variam entre 40 e 6mm e o campo angular entre 50° e 220°. As teleobjetivas têm distâncias focais mais elevadas, no mínimo 80mm e campos angulares reduzidos de poucos graus para $f = 100\text{mm}$.

2.4. Captura da Luz

A captura de imagens é de domínio da química há mais de 150 anos, porém técnicas eletrônicas modernas adicionaram a captura digital de imagens como uma alternativa real e, ainda, incluíram novas técnicas de manipulação destas imagens. Embora a captura de imagens seja de domínio da química, ela necessita de princípios físicos para que aconteça. A obtenção da imagem em câmeras fotográficas se dá com o auxílio do obturador. Na maioria das câmeras, o obturador está localizado bem na frente do filme ele é impenetrável pela luz e se abre por um tempo determinado, para permitir que o filme seja exposto à luz que passa pela objetiva.

Exposição é a quantidade de luz que atinge o filme. Depende da abertura do diafragma e do tempo de abertura do obturador, ou seja, $E = I \times T$ (Exposição= Intensidade x Tempo)
Número de exposições é a quantidade de imagens que é possível registrar com o filme. Existem no mercado filmes para 12, 24 ou 36 exposições. Três fatores determinam a exposição correta: a sensibilidade à luz ou a ‘velocidade’ do filme indicado pelo nº ISO⁹ : tamanho da abertura da objetiva e o tempo em que o obturador fica aberto (calibrado em frações de segundos).

Cada filme colorido, ao contrario do preto e branco, é projetado para ser exposto sob a iluminação de uma ‘temperatura de cor’ particular. No entanto, o olho e o cérebro humano são extremamente adaptáveis, por isso tendemos a ver os objetos em suas ‘verdadeiras’ cores, em quase todas as formas de iluminação.

⁹ Acrônimo da Organização Internacional de Padronização - International Standards Organization.

Se, por exemplo, você carrega a câmera com o filme especificado para a temperatura de cor da luz do dia (o tipo mais comum) e bate uma fotografia iluminada por lâmpadas domésticas de tungstênio, o resultado sairá alaranjado demais. Quanto mais sensível ou rápido é um filme, menos precisa de luz para produzir uma imagem com a exposição correta.

O filme preto e branco, por causa de sua composição química das emulsões, têm aspectos bem mais granulados do que filmes de baixa sensibilidade, quando ampliados. Sua sensibilidade extra é obtida pelo uso de partículas maiores de haletos de cristais de prata. O material sensível utilizado atualmente compõe-se de duas camadas básicas: uma emulsão (sais de prata sensíveis à luz, suspensos em gelatinas) aplicada sobre uma base transparente (normalmente feita de acetato).

Quando atinge o filme, a luz afeta uma estrutura básica dos haletos de prata existentes no interior da camada de gelatina. Quanto maior a quantidade de luz que atinge essa camada, maior o número de grãos afetados. Os haletos de prata que não forem afetados pela luz não são modificados pelo revelador.

Os filmes fotográficos requerem cuidados especiais, tais como evitar o calor excessivo, armazenagem em locais secos, ventilados e livres de poeiras. É também aconselhável revelar o filme o mais cedo possível após este ter sido exposto, pois com o tempo vai-se degradando, podendo sofrer alterações na cor. Por essa mesma razão, os filmes têm prazo de validade.

3. EXPERIMENTO

A parte prática da pesquisa se dará na fabricação de um experimento de baixo custo para alunos de primeiro ou segundo ano do ensino médio, os quais irão construir suas próprias câmeras fotográficas: estas, chamadas *pinholes* (podem ser acoplados filmes coloridos comuns de ISO 100) serão utilizadas numa aula de campo após uma prévia dos princípios do estudo da óptica.

Após a exposição da parte teórica da óptica geométrica clássica, será realizado um experimento, que na verdade é uma forma de instrumentação para o ensino da óptica aos alunos de ensino médio (1º ou 2º ano, de acordo com o cronograma da escola), que será uma fabricação - com material de baixo custo -, de uma câmera artesanal (pinhole), a fim de adquirir uma maior atenção por parte dos alunos e correlacionar essa prática durante as aulas expositivas.

É importante salientarmos o estudo da luz em si e suas propriedades físicas, que foi por onde tudo começou, até mesmo, a câmera escura originou-se deste tópico. De antemão é importantes lembrar três observações básicas acerca dessa forma de energia:

- Quando a luz é refletida por um objeto, se propaga em todas as direções.
- O orifício de uma câmara escura, quando diante desse objeto, deixará passar para o interior alguns desses raios que irão se projetar.
- Após refletir os raios de luz, o objeto apresenta uma projeção da sua imagem, só que de forma invertida a original.

Como cada ponto do objeto corresponde a um feixe luminoso, a imagem formada possui pouca nitidez. Por isso se torna tão importante o diâmetro perfeito no orifício para entrada de luz na câmara escura que iremos construir mais adiante, a *pinhole*.

É importante lembrar que será demonstrado (em forma de equações), o modelo ideal de construção de uma Pinhole. Pois, mesmo sendo de fabricação artesanal e possuir um baixo custo, exige condições perfeitas tais como um diâmetro ideal do orifício de entrada de luz, para que a imagem formada alcance o foco e profundidade de campo almejados.

Construção do Instrumento:

Para se construir uma pinhole, basta termos à mão o material necessário, que pode ser desde uma simples caixa de sapatos até uma caixa de madeira, latinha de leite em pó ou algo semelhante (desde que tenha tampa).

O primeiro passo é transformar esta caixa numa câmara escura. Com tinta preto-fosco pintamos o interior da câmara, inclusive a tampa. Podemos também utilizar um papel cartão preto para forrar a câmara, ao invés da tinta. Depois, com o auxílio de uma agulha, furamos um pequeno buraco em uma das laterais da caixa/câmera. Quanto menor a câmara, menor deve ser o furo. Chamamos de plano focal a distância ideal onde a imagem é projetada com o melhor foco. Este orifício deverá ser vedado pelo lado de fora da pinhole com um pedacinho de fita isolante preta, que servirá como o dispositivo de controle da entrada de luz no interior da câmara. Temos assim uma câmara fotográfica Pinhole pronta para o uso.

Mas, para melhor entendimento do experimento utilizado, será explicado a seguir o passo a passo de sua construção.

Pinhole de Caixa de Fósforo → Fosfoto

Figura 3.1-1a20. Fotografias retiradas pelo Núcleo de Fotografia da Univali (Universidade do Vale do Itajaí) para o passo a passo da criação de uma Fosfoto pelos alunos Caroline Agnoletto e Eugênio Andreola.



Figura 3.1-1

1. Material necessário: • Lata de Alumínio • Tesoura • Caixa de Fósforo • Durex • Fita Isolante • Latinha Vazia de filme • Capinha para filme • Régua • Filme Fotográfico • Caneta Estilete • Agulha ou Alfinete • Papel Cartão

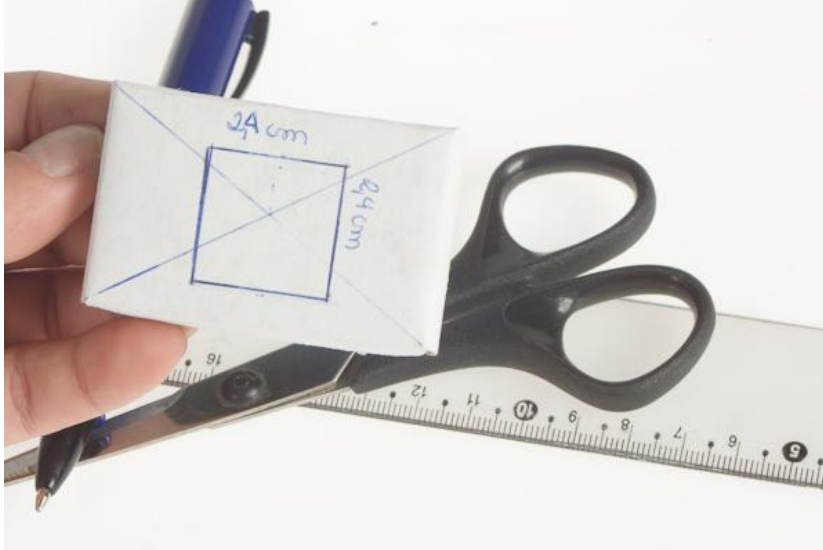


Figura 3.1-2

2. Inicialmente, marca-se o centro da parte interna da caixinha de fósforos, na forma de um quadrado de 2,4x2,4 cm, e recorta-se. Este, servirá para esticar e dar a moldura do nosso quadro para a fotografia.



Figura 3.1-3

3. Após recortada a parte interna, pinta-se de preto dentro dela e uma das laterais internas da caixa de fósforo.



Figura 3.1-4

4. Depois de pintadas, marca-se a parte externa da caixa de fósforo (no lado oposto ao que foi pintado internamente) um quadrado de 0,6x0,6 cm e o cortamos. Este quadrado menor dará suporte ao obturador da pinhole.



Figura 3.1-5

5. Logo após, recorta-se um quadrado de 2x2 cm da lata e no centro vamos fazer um minúsculo furo com a agulha. Este será o diafragma da câmara.



Figura 3.1-6

6. Após recortado, o alumínio deve ser pintado de preto para que não reflita internamente.



Figura 3.1-7

7. Quando terminar de pintar deve-se colar com fita isolante a latinha com o furo, mas com cuidado para não colar com o furo descentralizado. Para ajudar em tal processo é indicado marcar o centro da caixa de fósforo nas bordas para facilitar o alinhamento deste furo.

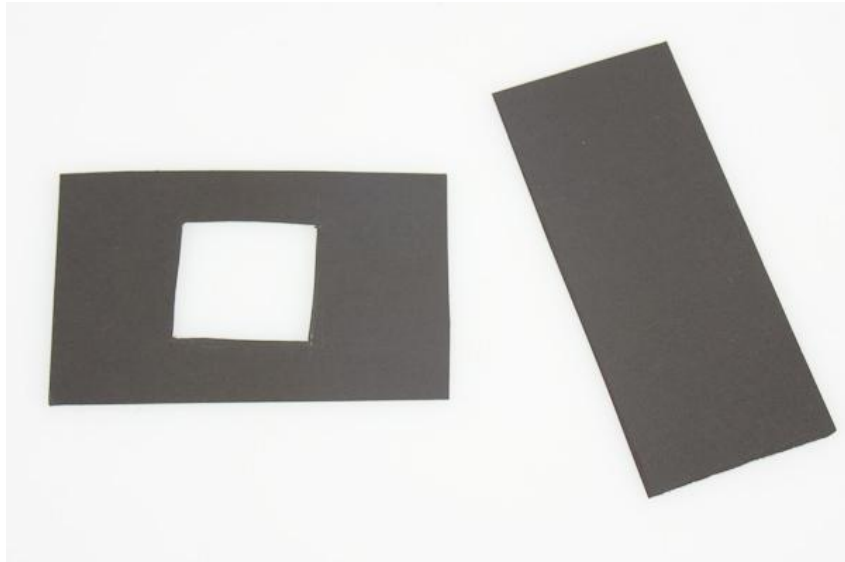


Figura 3.1-8

8. Em seguida, pega-se o papel cartão e recorta-se em dois retângulos, um do tamanho externo da caixa de fósforo e no centro dele um quadrado de 2x2 cm e outro de 3x6 cm. Este último retângulo será o obturador da pinhole.



Figura 3.1-9

9. Cola-se com a fita isolante o retângulo maior na caixa de fósforo mas deve haver um cuidado para que a fita passe rente a borda do quadrado menor recortado.

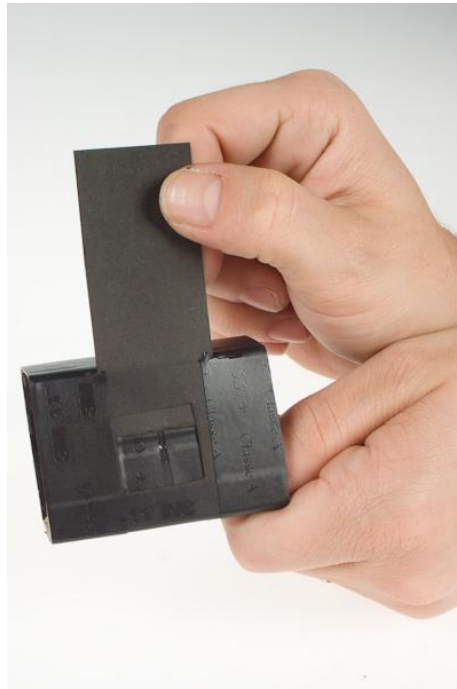


Figura 3.1-10

10. Para que o obturador funcione corretamente deve-se com o estilete, cortar um pouco da fita isolante da parte de cima da caixa, para que o retângulo mais comprido possa entrar entre a caixa e o retângulo do tamanho dela.



Figura 3.1-11

11. Em seguida, é necessário cortar uma “trava” para o filme não voltar para dentro da bobina. Com o tubo de plástico que vem o filme, cortamos uma tira de 1 cm, comprida o suficiente para dar a volta na bobina. E em uma das extremidades da tira corta-se uma ponta.



Figura 3.1-12

12. Após cortar e fazer a ponta na tira, deve-se colá-la na latinha de forma que a ponta que foi feita se encaixe dentro de um dos “furinhos laterais” do filme. Este passo e o anterior podem ser pulados se dentre os materiais disponíveis estiver o tubinho que protege o filme. E deve-se cortar a ponta do filme que veio vincada.

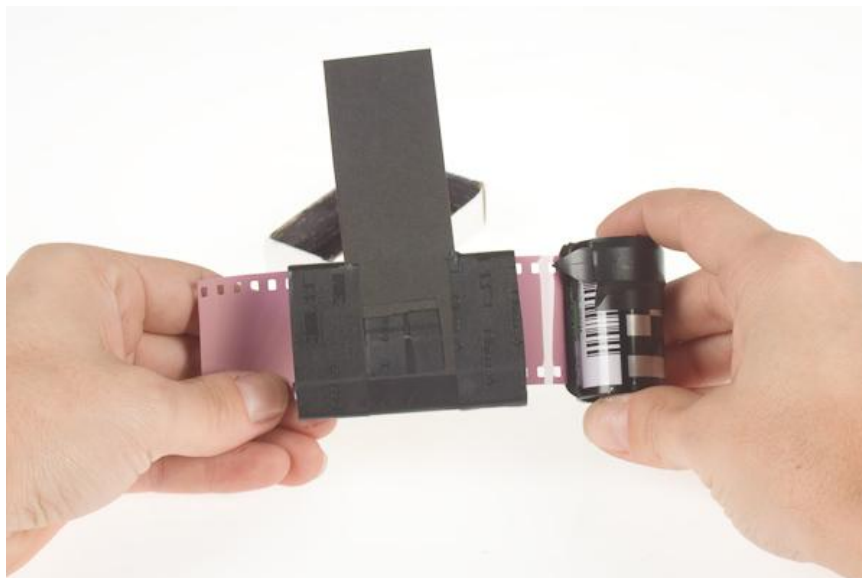


Figura 3.1-13

13. Agora é o momento em que a pinhole será carregada: com a emulsão (lado menos brilhante do filme) voltada para cima, e passando dentro da caixa de fósforo, da direita para esquerda, tomando cuidado para que o pino que tem na lata onde veio o filme, fique para baixo.

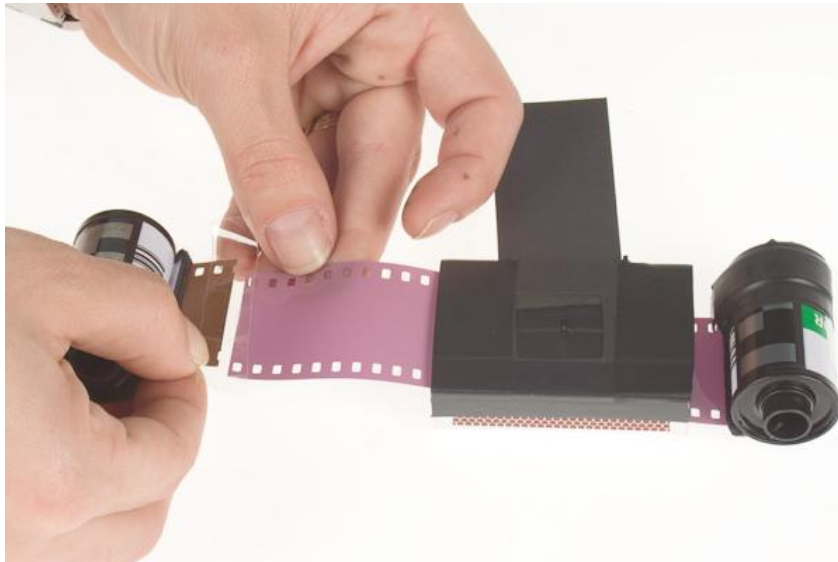


Figura 3.1-14

14. Agora, cola-se a bobina vazia na outra extremidade do filme. Esta bobina vai recolher o filme já exposto, e servir como rebobinador do filme, para isso deve-se pegar uma bobina vazia e com a emulsão voltada para cima passarmos durex na ponta do filme e colarmos o filme já carregado na pinhole.

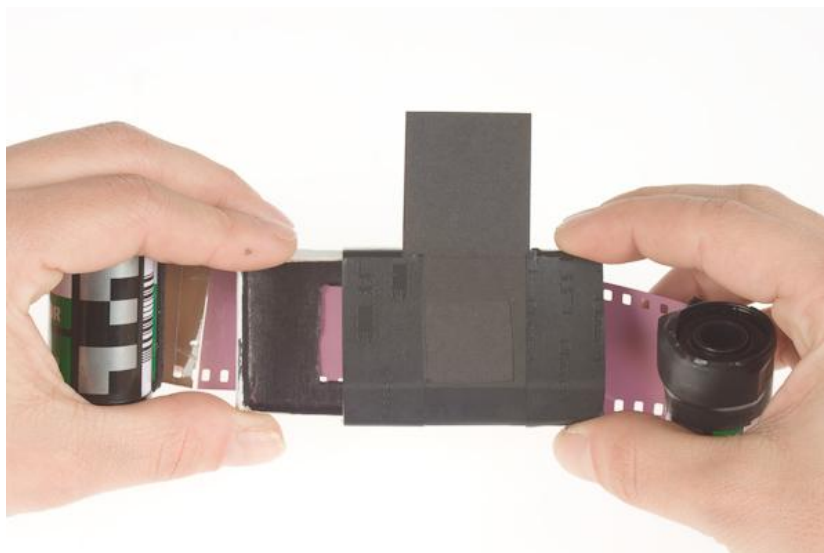


Figura 3.1-15

15. Inserir a parte interna da caixa, com a parte pintada de preto voltada para frente. É importante haver o cuidado para que o filme fique bem esticado.



Figura 3.1-16

16. Neste passo será feita a selagem contra a luz da pinhole em construção. Com a fita isolante, passe em toda a extremidade entre o filme e a caixa.



Figura 3.1-17

17. Após passarmos a fita na vertical, deve-se passar também na horizontal para que seja bem fixado as bobinas na caixa.



Figura 3.1-18

18. Neste momento, por estética, novamente deve-se passar a fita na vertical para esconder as emendas da fita.



Figura 3.1-19

19. Para se adaptar um rebobinador para a pinhole em construção, indica-se utilizar uma tampa de caneta com a aba grossa para que possa entrar na bobina e girar. Deve-se recolher toda a parte já velada do filme, em sala de aula os testes revelaram que a cada 3 voltas completas avança-se um quadro.

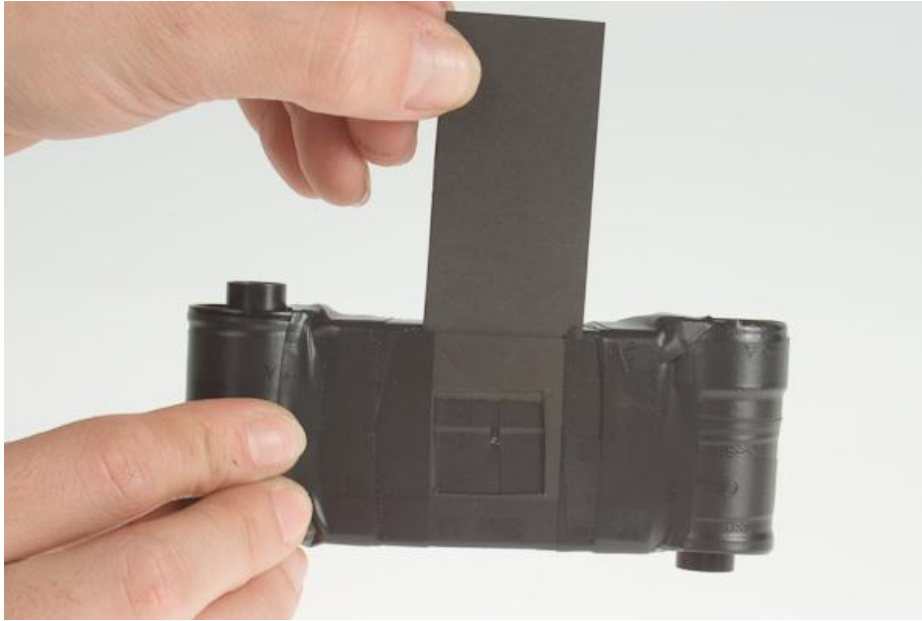


Figura 3.1-20

20. Finalmente, ao erguer a aba até expor o furo, a câmara já estará fotografando.

Dicas de tempo de exposição para filme de ISO 100:

- Ambiente externo, luz do sol: 1-2 seg.
- Ambiente externo, nublado: 5 seg.
- Ambiente interno, iluminação normal: 5-10 min.

Os tempo sugeridos são baseados na abertura aproximada da pinhole que é algo em torno de $f/90$.

Métodos de Avaliação:

Após a aula expositiva com conteúdo teórico dado aos alunos, foi aplicada uma avaliação em uma parcela de alunos para que se fizesse um breve teste dos conhecimentos obtidos até o momento.

Tal avaliação conteve 5 (cinco) questões que avaliava questões básicas do ensino da óptica geométrica, como pode se observar a seguir:

Questionário de Avaliação I

Nome do aluno: _____

Série: _____ - Idade: _____

1) Qual a relação entre os termos da física: 'óptica' e 'luz'?

2) Explique o porque da figura abaixo utilizando seus conhecimentos básicos de óptica:

3) A figura desta questão mostra um objeto óptico S, um objeto real O e sua imagem I. O objeto

objeto

imagem

S

óptico é:

- um espelho côncavo
- uma lente divergente
- um espelho convexo
- uma lente convergente
- um espelho plano

4) Dê uma diferença básica entre lente divergente e lente convergente.

5) Qual a relação entre a óptica e a fotografia?

Após trabalhar o experimento, volta-se para sala de aula e aplica um novo teste. Este, com perguntas semelhantes ao primeiro, para que se possa comparar os conhecimentos obtidos na forma convencional e com a forma de instrumentação.

Questionário de Avaliação II

Nome do aluno:

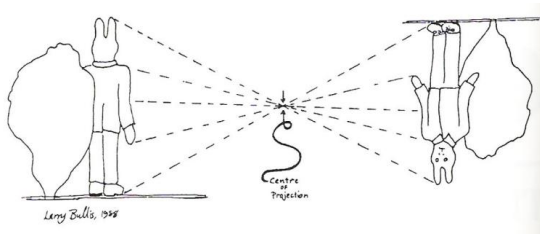
Série:

-

Idade:

1) Quando se mergulha uma palhinha num copo de água a parte imersa parece afastar-se da normal, enquanto um raio de luz se aproxima da normal ao entrar na água, explique:

2) Explique o porque da figura abaixo utilizando seus conhecimentos básicos de óptica:



3) Um rapaz construiu uma máquina fotográfica tipo fole, usando uma lente divergente como objetiva. Ao tirar fotografias com esta máquina verificará que, no filme:

- a imagem será sempre menor que o objeto
- a imagem será sempre maior que o objeto
- a imagem será maior que o objeto só se a distância do objeto à lente for maior que $2f$
- a imagem será menor que o objeto só se a distância do objeto à lente for maior que $2f$
- não apareceu imagem alguma, por mais que se ajustasse o fole

4) Após a aula de campo, alguma fórmula foi fixada mais facilmente? Qual e porque?

5) Cite algum exemplo de fenômeno óptico que ocorre em seu dia-a-dia.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após uma breve explicação científica de cada processo físico que ocorre nos princípios da óptica geométrica (em nível de segundo grau) e correlacionando-os em si, foi necessário levar a campo – no caso, foram utilizadas as horas/aula da disciplina de estágio de prática de ensino em física – um pequeno grupo de alunos (10 alunos do segundo ano do ensino médio que foram escolhidos aleatoriamente) de uma escola da rede estadual do Ceará a fim de desenvolver este experimento. Essa pequena amostragem de alunos talvez não apresente um resultado estatístico abrangente e específico, porém, com tais resultados poderemos desenvolver esta instrumentação a fim de desenvolver cada vez mais o interesse pelo conhecimento adaptado ao dia a dia da óptica e de seus conceitos básicos.

Logo após essa primeira aula, foi apresentada a pesquisa ao grupo e aplicou-se uma primeira avaliação, levando em consideração a importância de explica-lhes que era necessário apenas que eles utilizassem seus aprendizados pós primeiro contato com os estudos da óptica, repassados na forma aula tradicional, para que os resultados sejam verídicos.

A segunda parte da pesquisa foi outra pequena aula. Esta, vem explicando as relações entre a óptica e situações do dia a dia como, por exemplo, a fotografia, e que um bom exemplo de experimentar tal comprovação seria construir uma câmera artesanal, uma pinhole, feita e caixa de fósforo.

Após uma demonstração de como seria o experimento de construção da câmera, os próprios alunos construíram suas câmeras, e a utilizaram externamente à sala de aula para fotografar de acordo com as regras de exposição que lhes foi explicada. Por escassez de material, o grupo de 10 alunos foi dividido em duas equipes que ficaram cada uma, com uma câmera pinhole e um filme fotográfico colorido de ISO 100.

Após a digitalização das fotografias e explicação do resultado de cada uma delas para os alunos (o porque de uma imagem desfocada, tremida, estourada ou escura demais), foi aplicada uma segunda avaliação neste grupo com perguntas semelhantes as da primeira, mas sendo mais específicas, que têm o objetivo de medir a importância e capacidade de se obter bons resultados com a utilização uma aula em que se utiliza instrumentação para assuntos complexos da física, como a óptica.

Ao final do experimento obteve-se os seguintes resultados:

RESULTADOS OBTIDOS APÓS OS TESTES COM ALUNOS

Identificação	1ª avaliação: ANTES		Percentual de Acertos	2ª avaliação: DEPOIS		Percentual de Acertos
	acertos	erros		acertos	erros	
<i>Aluno 1</i>	3	2	66% no valor total de 50 questões (5 questões p/ 10 alunos)	4	1	82% no valor total de 50 questões (5 questões p/ 10 alunos)
<i>Aluno 2</i>	1	4		2	3	
<i>Aluno 3</i>	4	1		5	0	
<i>Aluno 4</i>	3	2		3	2	
<i>Aluno 5</i>	5	0		5	0	
<i>Aluno 6</i>	2	3		4	1	
<i>Aluno 7</i>	3	2		5	0	
<i>Aluno 8</i>	4	1		5	0	
<i>Aluno 9</i>	3	2		3	2	
<i>Aluno 10</i>	5	0		5	0	

Tabela 4.1 – Resultados obtidos antes e depois do experimento de instrumentação no ensino.



Gráfico 4 – Porcentagem de acertos após cada avaliação aplicada na turma qual foi realizado o experimento.

Uma grande parcela dos alunos que participaram desta instrumentação, além de terem criado um maior interesse quando viram ao que a física estava sendo associada (a fotografia artesanal) comentaram que o grande causador do preconceito para com as aulas de física por parte dos alunos era que os professores nunca associavam tal conhecimento a nada da vida diária deles, apenas jogavam leis e fórmulas para copiarem e decorarem, e trazendo um experimento, uma comparação ou um exemplo, a fixação fica bem mais fácil para alunos e estudantes de física, sejam eles adolescentes ou não.

5. CONCLUSÕES

Após termos em mãos os resultados dos experimentos, podemos concluir que o uso da instrumentação da câmera pinhole, no caso a *fosfoto*, auxiliou bastante no desenvolvimento da aprendizagem dos princípios da ótica geométrica para os alunos que participaram do experimento.

Conforme foi se desenvolvendo o experimento, muitos alunos começaram a associar certos conceitos à prática do dia-a-dia, facilitando assim, a fixação do conhecimento. Afinal, esta pesquisa teve como objetivo principal correlacionar e aproximar dois assuntos de áreas diferentes, mas com algumas definições em comum, a fim de tornar mais agradável e fixável a aprendizagem.

Bem como, com as fotografias retiradas, podemos confirmar a teoria que garante que uma imagem desfocada é consequência de um furo muito grande na pinhole. E por se tratar de um instrumento óptico instrumental, o tempo de exposição à luz e o diâmetro da pinhole nos deu diversos tipos de resultados em um mesmo experimento, o que auxiliou bastante a compreensão por parte dos alunos acerca de luz e câmera escura e/ou fotográfica. A contextualização e interdisciplinaridades pregadas nos Planos Curriculares Nacionais fundem-se num conceito só, quando o experimento descrito nesta monografia é aplicado. A compreensão dos estudantes através de uma abordagem contextualizada na disciplina de Óptica auxilia o estudante a compreender melhor o mundo que o cerca.

REFERÊNCIAS

- (Ables 1968) Ables, J. G. Fourier Transform Photography: A new method for X-ray astronomy. **Proc. Of ASA** (1), 4, (1968).
- (Almeida 1980) Almeida Junior, J. B. de. *A evolução do ensino de Física no Brasil*. **Revista de Ensino de Física**, v. 1, n.2, p.45-58, (1979) e *ibid*, 2ª parte, v. 2, n. 1, p. 55-73, (1980).
- (Alonso 2009) Alonso, M.; Finn, E. J. **Física: um curso universitário**. Vol: II – Ed. Edgard Blücher Ltda (2009).
- (Bussele 1985) Bussele, M. **Tudo Sobre Fotografia**. Ed. Thomson (1985).
- (Fatorelli 2003) Fatorelli, A.; **Fotografia e viagem – entre a natureza e o artifício**. Mauad Ed. (2003)
- (Franke 1979) Franke, J. M. *Field-widened pinhole camera* **APPLIED OPTICS** Vol. 18, No. 17 (1979).
- (Garipov 1994) Garipov, G. K.; Khrenov, B. A.. *Camera obscura for observation of EAS images in Cerenkov Light* **J. PHYSICS 0: NUCLEAR PARTICLE PHYSICS** 20, 1981-1988 (1994).
- (Halliday 2004) Halliday, D.; Resnick, R.; Walker, J. **Fundamentos de Física 1 - Mecânica - 8ª Ed**. LTC (2009)
- (Hecht 2002) Hecht, E. **Óptica**, 2ª Ed., Fundação Calouste Gulbenkian (2002).
- (Hedge 1996) Hedge, J. **Guia Completo de Fotografia**. Ed. Martins Fontes (1996).

- (Marks 1998) Marks, D. L.; Brady, D. J. *Three-dimensional source reconstruction with a scanned pinhole camera* **OPTICS LETTERS** / Vol. 23, No. 11 (1998).
- (Rayleigh 1891) Strutt, J. W., Lord Rayleigh. *Some applications of photography*. **NATURE**. Vol.44 (1133) , pp. 249- 254 (1891).
- (Renner 2004) Renner, E. **Pinhole Photography: Rediscovering a Historic Technique**. 3^a Ed. Focal Press Ed.(2004).
- (Swing 1968) Swing, R. E.; Rooney, D. P. *General Transfer Function for the Pinhole Camera* **J. OF THE OPTICAL SOCIETY OF AMERICA** Vol. 58, No. 5 (1968).
- (Tipler 2009) Tipler P. A. e Mosca G.; **Física para cientistas e engenheiros**, vol. 1 LTC. (2009)
- (Young 1971) Young, M.; *Pinhole Optics*. **APPLIED OPTICS** Vol. 10, No. 12 (1971).

ANEXOS

- Anexo I

Bogre (1988)			
Focal length	Distância focal	Best aperture diameter	Equivalent f-stop
50 mm	50 milímetros	0.29 mm	f/174
75 mm	75 milímetros	0.35 mm	f/213
100 mm	100 milímetros	0.41 mm	f/246
125 mm	125 milímetros	0.45 mm	f/275
150 mm	150 milímetros	0.50 mm	f/203
200 mm	200 milímetros	0.57 mm	f/348
250 mm	250 milímetros	0.64 mm	f/389
300 mm	300 milímetros	0.70 mm	f/426

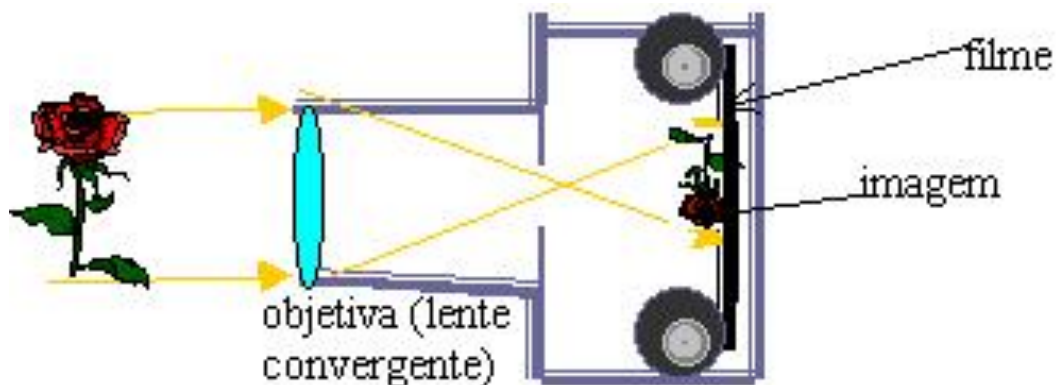
Platt (1989)		
Focal length (mm)	Pinhole diameter (mm)	f-stop
130	0.33	380
210	0.40	500
260	0.46	550
320	0.50	650
420	0.58	690
550	0.66	800
650	0.74	930
750	0.79	960
1000	0.91	1120

Holter (1990)		
Focal length (mm)	Pinhole diameter (mm)	f-stop
		Exposure factor for f/16

10 10	0.14 0,14	70 70	20 20
20 20	0.20 0,20	100 100	40 40
30 30	0.24 0,24	125 125	60 60
40 40	0.28 0,28	140 140	80 80
50 50	0.31 0,31	160 160	100 100
60 60	0.34 0,34	180 180	125 125
70 70	0.37 0,37	190 190	140 140
80 80	0.40 0,40	200 200	160 160
90 90	0.42 0,42	214 214	180 180
100 100	0.45 0,45	220 220	190 190
150 150	0.54 0,54	280 280	300 300
200 200	0.63 0,63	318 318	400 400
250 250	0.70 0,70	360 360	500 500
300 300	0.78 0,78	380 380	560 560
350 350	0.84 0,84	418 418	700 700
400 400	0.89 0,89	450 450	800 800

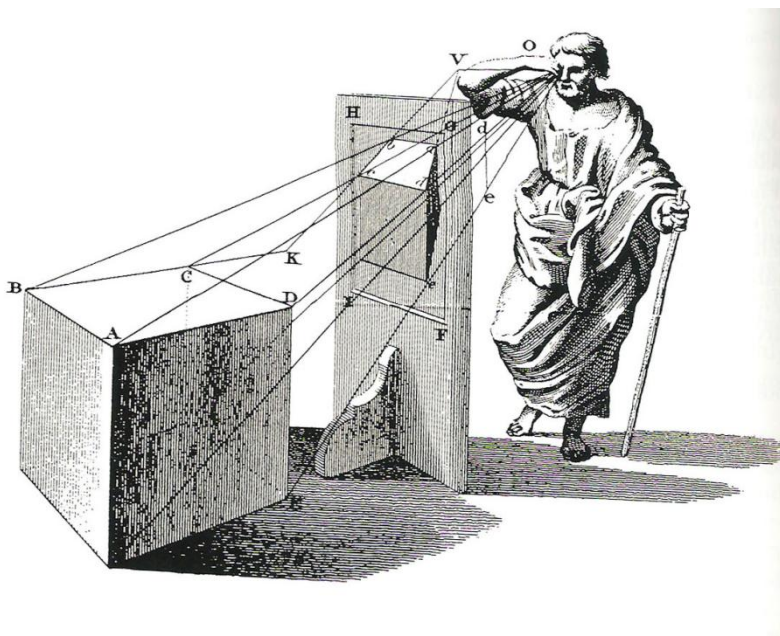
Fuller (1992)

- Anexo II



Na figura acima está representada a câmara fotográfica simplificada, sem os refinamentos óticos ou mecânicos. A objetiva está representada por uma única lente convergente que forma uma imagem real e invertida do objeto fotografado, sobre o filme situado na parte posterior da máquina.

As imagens a seguir foram retiradas do Livro “Pinhole Photographu: Rediscovering a Historic Technique” de Eric Renner.



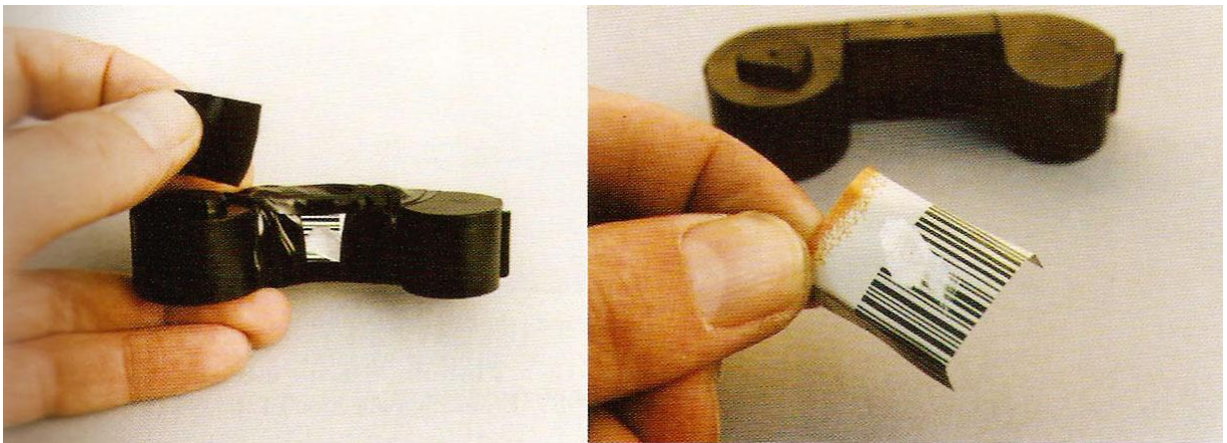
*In Renner, Eric – Pinhole Photographu: Rediscovering a Historic Technique – 3ª Ed. – Focal Press
Princípio da janela de Leonardo, por Brook Taylor- Pág: 42.*



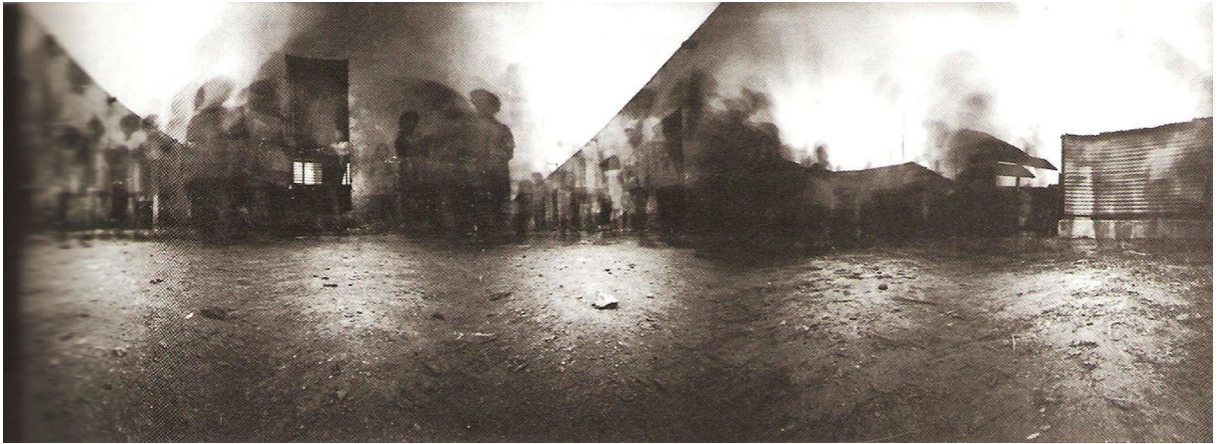
*In Renner, Eric – Pinhole Photographu: Rediscovering a Historic Technique – 3ª Ed. – Focal Press
Recreação Solar através de uma Imagem Pinhole – 1582 – por Julian Calendar no Vaticano - Página 13.*



*In Renner, Eric – Pinhole Photographu: Rediscovering a Historic Technique – 3ª Ed. – Focal Press
Por Nail Biting – 1999 – A day in the Life of my mouth – Página 113.*



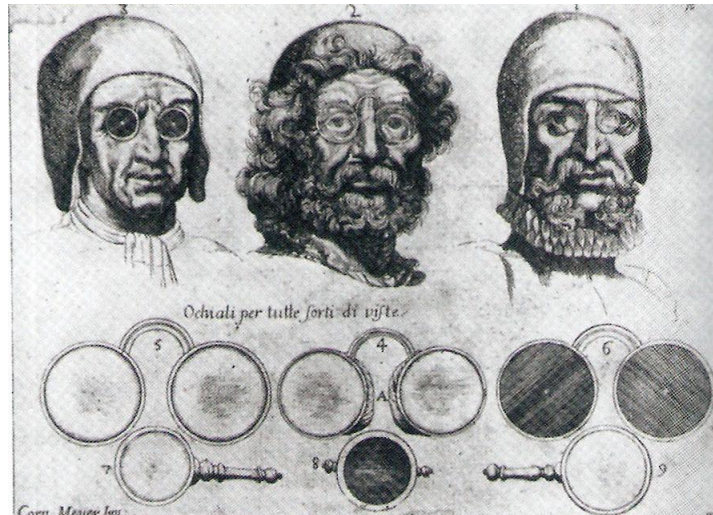
*In Renner, Eric – Pinhole Photographu: Rediscovering a Historic Technique – 3ª Ed. – Focal Press
Pinhole Mouth Camera – para 'A day in the Life of my mouth' - 2001 – Página 113.*



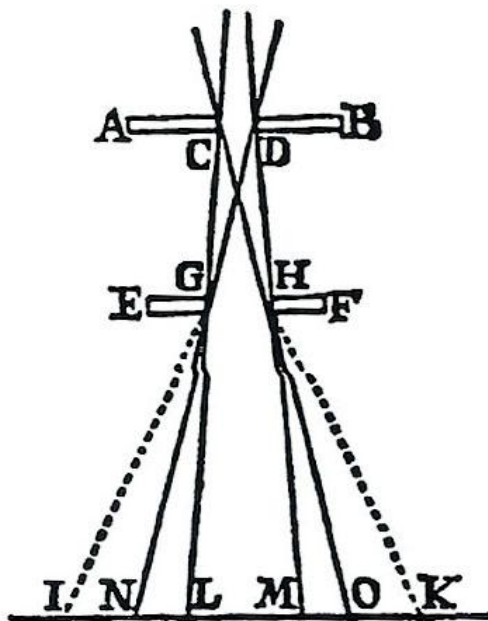
*In Renner, Eric – Pinhole Photographu: Rediscovering a Historic Technique – 3ª Ed. – Focal Press
Por Eric Renner – Ticul Schoolyard – 1969 – página 73.*



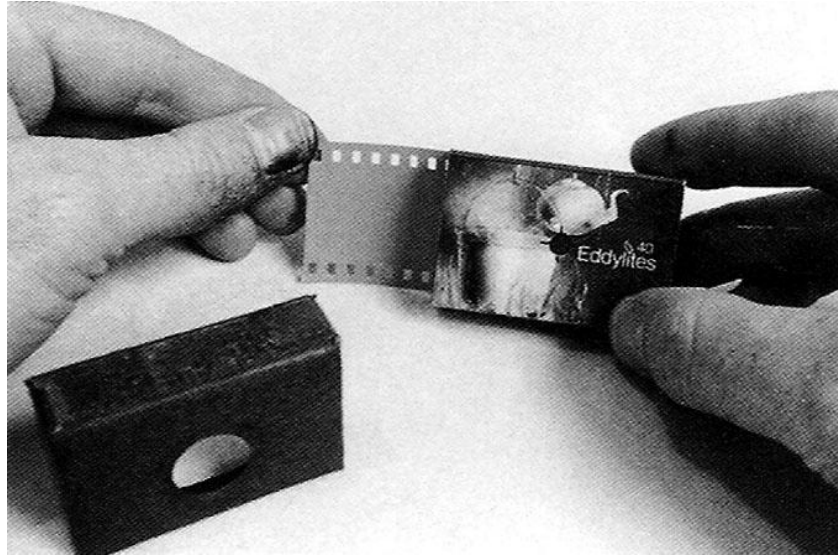
*In Renner, Eric – Pinhole Photographu: Rediscovering a Historic Technique – 3ª Ed. – Focal Press
Por Marta Casanave – 16 x 20 inch protograph - 1986 - Página: 100*



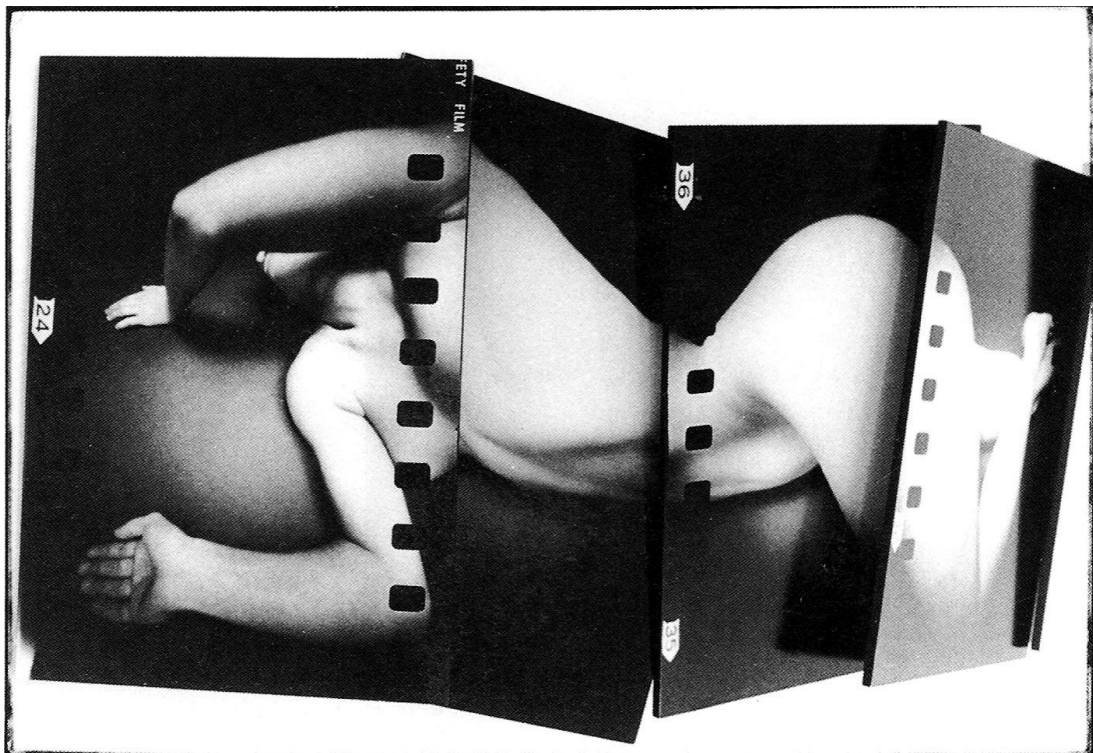
*In Renner, Eric – Pinhole Photographu: Rediscovering a Historic Technique – 3^a Ed. – Focal Press
Cornelius Meyer – Spectacles for all Manners of sight – 1689 – página 16.*



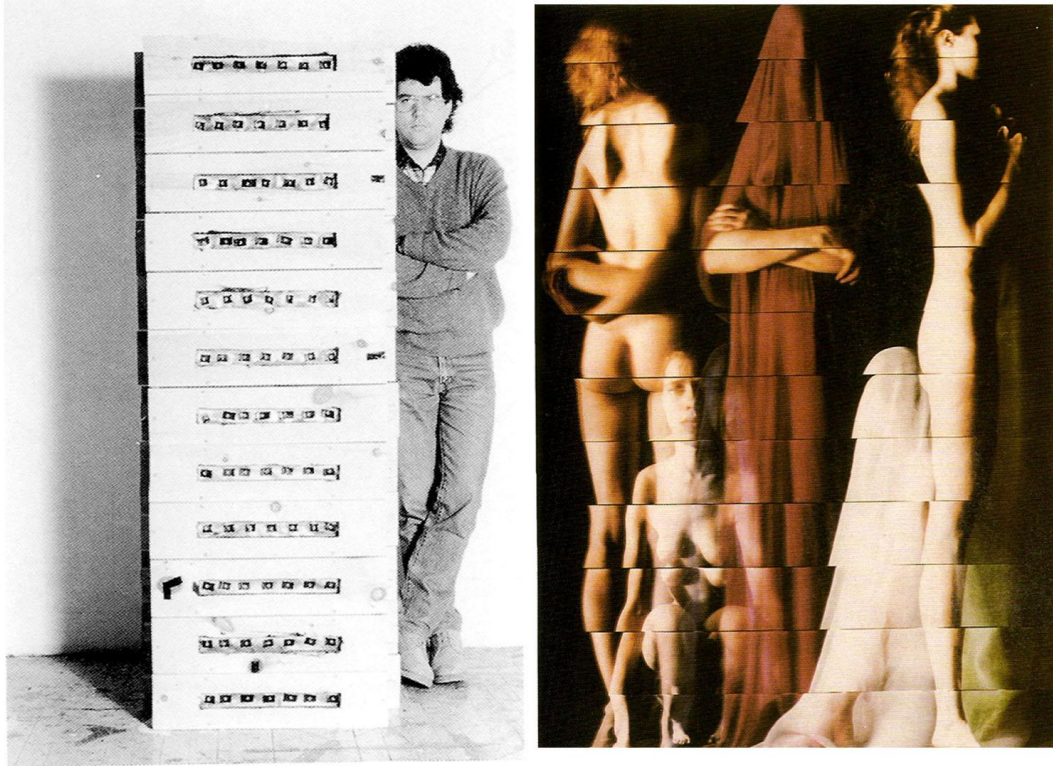
In Renner, Eric – Pinhole Photographu: Rediscovering a Historic Technique – 3^a Ed. – Focal Press. Francesco Grimaldi – Diffraction of light by a pinhole – 1665 – página 16.



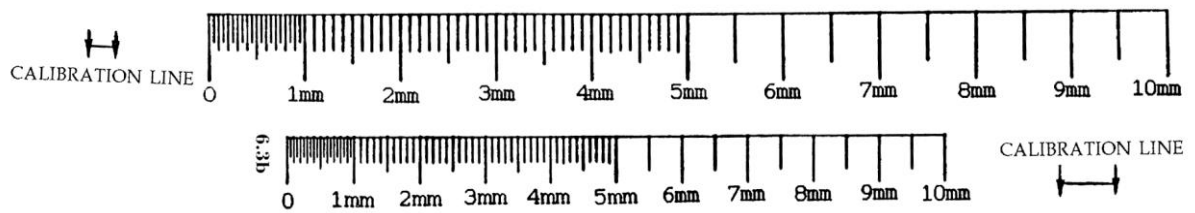
*In Renner, Eric – Pinhole Photographu: Rediscovering a Historic Technique – 3ª Ed. – Focal Press
Por Paul Cimon – New Generation Matchbox Pinhole Camera – 1986 - Página 202.*



*In Renner, Eric – Pinhole Photographu: Rediscovering a Historic Technique – 3ª Ed. – Focal Press
Por Paul Cimon – Lens photography – 1986 – página 202.*



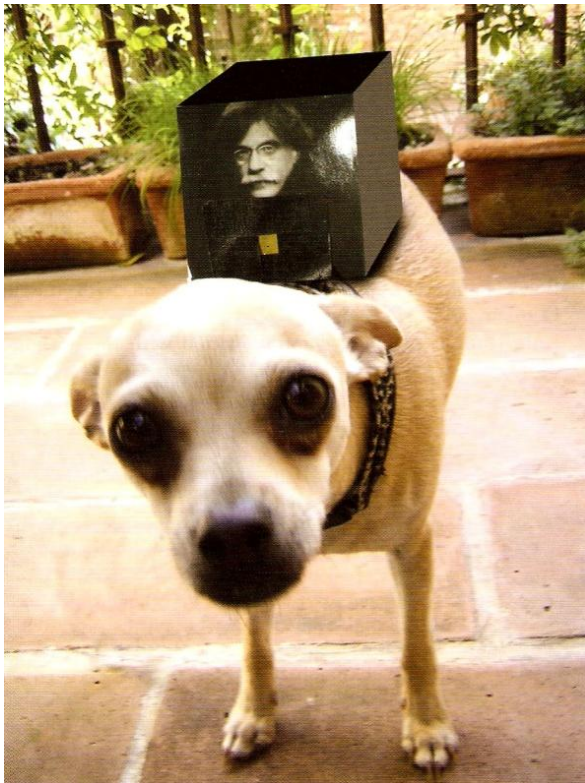
*In Renner, Eric – Pinhole Photographu: Rediscovering a Historic Technique – 3ª Ed. – Focal Press
 Por Pierre Charrier- Self-Portrait with Pinhole Camera – 1986 – Páginas 200,201.*



*In Renner, Eric – Pinhole Photographu: Rediscovering a Historic Technique – 3ª Ed. – Focal Press
 Por Jay Bender – Scale for measuring Pinholes - Página 165.*



*In Renner, Eric – Pinhole Photographu: Rediscovering a Historic Technique – 3ª Ed. – Focal Press
Por Douglas Frank – 1990.*



*In Renner, Eric – Pinhole Photographu:
Rediscovering a Historic Technique – 3ª Ed. – Focal Press
Eula Dunit – Chihuahua Cameralitos – página 265.*



a = f/22



b = f/32



c = f/45



d = f/64



e = f/90



f = f/128

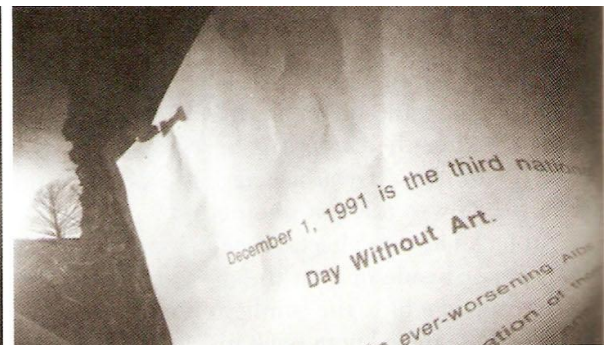
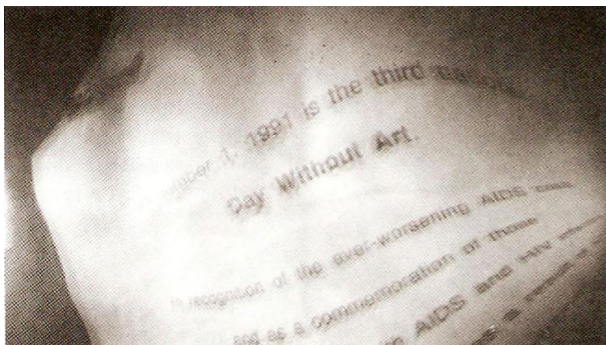


g = f/190



h = f/288

*In Renner, Eric – Pinhole Photographu: Rediscovering a Historic Technique – 3ª Ed. – Focal Press
Por Jim moninger – Postmodern Saint: our lady of the immaculate confection – 1991 - Página 173.*



*In Renner, Eric – Pinhole Photographu: Rediscovering a Historic Technique – 3ª Ed. – Focal Press
Pinhole Photograph – Paper negative - Página 143.*

Pinholes Increment		10 mm 10 mm		0.037 used in function										
Focal Length(mm)	Pinhole Diam.(mm)	Pinhole Diam.(in)	f-stop	Time-Rel. to f/64	Focal Length(in)	Focal Length(ft)	Focal Length(mm)	Pinhole Diam.(mm)	Pinhole Diam.(in)	f-stop	Time-Rel. to f/64	Focal Length(in)	Focal Length(ft)	
10	0.1170	0.0046	85	1.8	0.39	0.03	510	0.8356	0.0329	610	90.8	20.08	1.67	
20	0.1655	0.0065	121	3.6	0.79	0.07	520	0.8437	0.0332	616	92.6	20.47	1.71	
30	0.2027	0.0080	148	5.3	1.18	0.10	530	0.8518	0.0335	622	94.5	20.87	1.74	
40	0.2340	0.0092	171	7.1	1.57	0.13	540	0.8598	0.0339	628	96.3	21.26	1.77	
50	0.2616	0.0103	191	8.9	1.97	0.16	550	0.8677	0.0342	634	98.1	21.65	1.80	
60	0.2866	0.0113	209	10.7	2.36	0.20	560	0.8756	0.0345	640	100.0	22.05	1.84	
70	0.3096	0.0122	226	12.5	2.76	0.23	570	0.8834	0.0348	645	101.6	22.44	1.87	
80	0.3309	0.0130	242	14.3	3.15	0.26	580	0.8911	0.0351	651	103.5	22.83	1.90	
90	0.3510	0.0138	256	16.0	3.54	0.30	590	0.8987	0.0354	656	105.1	23.23	1.94	
100	0.3700	0.0146	270	17.8	3.94	0.33	600	0.9063	0.0357	662	107.0	23.62	1.97	
110	0.3881	0.0153	283	19.6	4.33	0.36	610	0.9138	0.0360	668	108.9	24.02	2.00	
120	0.4053	0.0160	296	21.4	4.72	0.39	620	0.9213	0.0363	673	110.6	24.41	2.03	
130	0.4219	0.0166	308	23.2	5.12	0.43	630	0.9287	0.0366	678	112.2	24.80	2.07	
140	0.4378	0.0172	320	25.0	5.51	0.46	640	0.9360	0.0369	684	114.2	25.20	2.10	
150	0.4532	0.0178	331	26.7	5.91	0.49	650	0.9433	0.0371	689	115.9	25.59	2.13	
160	0.4680	0.0184	342	28.6	6.30	0.52	660	0.9505	0.0374	694	117.6	25.98	2.17	
170	0.4824	0.0190	352	30.3	6.69	0.56	670	0.9577	0.0377	700	119.6	26.38	2.20	
180	0.4964	0.0195	363	32.2	7.09	0.59	680	0.9648	0.0380	705	121.3	26.77	2.23	
190	0.5100	0.0201	373	34.0	7.48	0.62	690	0.9719	0.0383	710	123.1	27.17	2.26	
200	0.5233	0.0206	382	35.6	7.87	0.66	700	0.9789	0.0385	715	124.8	27.56	2.30	
210	0.5362	0.0211	392	37.5	8.27	0.69	710	0.9859	0.0388	720	126.6	27.95	2.33	
220	0.5488	0.0216	401	39.3	8.66	0.72	720	0.9928	0.0391	725	128.3	28.35	2.36	
230	0.5611	0.0221	410	41.0	9.06	0.75	730	0.9997	0.0394	730	130.1	28.74	2.40	
240	0.5732	0.0226	419	42.9	9.45	0.79	740	1.0065	0.0396	735	131.9	29.13	2.43	
250	0.5850	0.0230	427	44.5	9.84	0.82	750	1.0133	0.0399	740	133.7	29.53	2.46	
260	0.5966	0.0235	436	46.4	10.24	0.85	760	1.0200	0.0402	745	135.5	29.92	2.49	
270	0.6080	0.0239	444	48.1	10.63	0.89	770	1.0267	0.0404	750	137.3	30.31	2.53	
280	0.6191	0.0244	452	49.9	11.02	0.92	780	1.0334	0.0407	755	139.2	30.71	2.56	
290	0.6301	0.0248	460	51.7	11.42	0.95	790	1.0400	0.0409	760	141.0	31.10	2.59	
300	0.6409	0.0252	468	53.5	11.81	0.98	800	1.0465	0.0412	764	142.5	31.50	2.62	
310	0.6515	0.0256	476	55.3	12.20	1.02	810	1.0530	0.0415	769	144.4	31.89	2.66	
320	0.6619	0.0261	483	57.0	12.60	1.05	820	1.0595	0.0417	774	146.3	32.28	2.69	
330	0.6721	0.0265	491	58.9	12.99	1.08	830	1.0660	0.0420	779	148.2	32.68	2.72	
340	0.6822	0.0269	498	60.5	13.39	1.12	840	1.0724	0.0422	783	149.7	33.07	2.76	
350	0.6922	0.0273	506	62.5	13.78	1.15	850	1.0787	0.0425	788	151.6	33.46	2.79	
360	0.7020	0.0276	513	64.3	14.17	1.18	860	1.0851	0.0427	793	153.5	33.86	2.82	
370	0.7117	0.0280	520	66.0	14.57	1.21	870	1.0913	0.0430	797	155.1	34.25	2.85	
380	0.7213	0.0284	527	67.8	14.96	1.25	880	1.0976	0.0432	802	157.0	34.65	2.89	
390	0.7307	0.0288	534	69.6	15.35	1.28	890	1.1038	0.0435	806	158.6	35.04	2.92	
400	0.7400	0.0291	541	71.5	15.75	1.31	900	1.1100	0.0437	811	160.6	35.43	2.95	
410	0.7492	0.0295	547	73.0	16.14	1.35	910	1.1161	0.0439	815	162.2	35.83	2.99	
420	0.7583	0.0299	554	74.9	16.54	1.38	920	1.1223	0.0442	820	164.2	36.22	3.02	
430	0.7672	0.0302	560	76.6	16.93	1.41	930	1.1283	0.0444	824	165.8	36.61	3.05	
440	0.7761	0.0306	567	78.5	17.32	1.44	940	1.1344	0.0447	829	167.8	37.01	3.08	
450	0.7849	0.0309	573	80.2	17.72	1.48	950	1.1404	0.0449	833	169.4	37.40	3.12	
460	0.7936	0.0312	580	82.1	18.11	1.51	960	1.1464	0.0451	837	171.0	37.80	3.15	
470	0.8021	0.0316	586	83.8	18.50	1.54	970	1.1524	0.0454	842	173.1	38.19	3.18	
480	0.8106	0.0319	592	85.6	18.90	1.57	980	1.1583	0.0456	846	174.7	38.58	3.22	
490	0.8190	0.0322	598	87.3	19.29	1.61	990	1.1642	0.0458	850	176.4	38.98	3.25	
500	0.8273	0.0326	604	89.1	19.69	1.64	1000	1.1700	0.0461	855	178.5	39.37	3.28	

*In Renner, Eric – Pinhole Photographu: Rediscovering a Historic Technique – 3rd Ed. – Focal Press
Pinhole Increment.*

- Anexo III

Alguns exemplos de fotografias obtidas de câmeras Pinholes seguem abaixo:



In <http://polodefotografia.files.wordpress.com/2008/04/westminsterpinhole1.jpg>



In http://www.ufmg.br/boletim/bol1577/img/vanessaoliveira_pinhole.jpg



In <http://setedoses.files.wordpress.com/2009/03/pinhole1.jpg>



In <http://setedoses.files.wordpress.com/2009/03/pinhole2.jpg>



In <http://setedoses.files.wordpress.com/2009/03/pinhole3.jpg>



In http://www.alternativephotography.com/articles/images_articles/pinhole_book_zone_plate.jpg



In http://thinkinpictures.files.wordpress.com/2008/11/pinhole_steve_gosling_486px.jpg



In <http://www.basepath.com/images/blog/big/pinhole2-big.jpg>



In <http://alemonio.deviantart.com/art/Shiny-Palace-PinHole-79780066>



In http://chriskeeneyphoto.com/blog/wp-content/uploads/2008/08/chris_keeney-pinhole-034.jpg



In http://plfoto.com/zdjecia_new2/1813220.jpg