

RICARDO ABRANTES MARTINS
TIAGO AZEVEDO DE ALBUQUERQUE

**ESTUDO DOS ASPECTOS FUNDAMENTAIS E TECNOLÓGICOS DE
TÉCNICAS DE PROJEÇÃO 3D**

São Paulo
2010

RICARDO ABRANTES MARTINS
TIAGO AZEVEDO DE ALBUQUERQUE

**ESTUDO DOS ASPECTOS FUNDAMENTAIS E TECNOLÓGICOS DE
TÉCNICAS DE PROJEÇÃO 3D**

Monografia apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo referente à
disciplina PMR2550 – Projeto de Conclusão
de Curso II

São Paulo
2010

RICARDO ABRANTES MARTINS
TIAGO AZEVEDO DE ALBUQUERQUE

**ESTUDO DOS ASPECTOS FUNDAMENTAIS E TECNOLÓGICOS DE
TÉCNICAS DE PROJEÇÃO 3D**

Monografia apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo referente à
disciplina PMR2550 – Projeto de Conclusão
de Curso II

Área de concentração: Engenharia
Mecatrônica

Orientador: Prof. Dr. Marcos Ribeiro Pereira
Barretto

São Paulo
2010

FICHA CATALOGRÁFICA

Martins, Ricardo Abrantes

Estudo dos aspectos fundamentais e tecnológicos de técnicas de projeção 3D / R.A. Martins; T.A. Albuquerque. -- São Paulo, 2010. 77 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos.

1.Terceira dimensão 2.Estereoscopia 3.Visualização 4.3D studio 5.Óptica 6.Computação gráfica 7.Renderização 8.Animação (Computação gráfica) 9.Imagem 3D I.Albuquerque, Tiago Azevedo II.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos III.t.

DEDICATÓRIA

Dedicamos esse trabalho a todos os que nos apoiaram durante nossos anos de graduação, permitindo que superássemos todas as dificuldades encontradas pelo caminho. Em especial aos nossos pais, irmãos e amigos.

RESUMO

O uso de ferramentas de visualização para apresentar informações não é uma idéia nova. É, na verdade, usada a milhares de anos e vem sendo aperfeiçoada à medida que os avanços tecnológicos e científicos abrem novas possibilidades. Atualmente as técnicas de projeção tridimensional têm ganhado bastante destaque, com aplicações em diversas áreas (medicina, entretenimento, engenharia, ciências, etc.) e começam a chegar ao usuário doméstico. Muitas técnicas engenhosas, usando apenas ótica básica (como truques de espelho) foram garimpadas de antigos truques de mágica e números de circo de séculos atrás e associadas de forma a criar imagens incrivelmente reais. Com o desenvolvimento da microeletrônica e da computação estas técnicas foram modernizadas de forma a permitir maior flexibilidade, dispensando um objeto físico para ser copiado. Agora as imagens podem ser geradas de forma computacional e projetadas oportunamente de maneira a se valer de propriedades óticas bem conhecidas de espelhos e lentes, bem como das peculiaridades do olho humano (agora extensivamente estudado). Neste contexto, este trabalho visa documentar as formas mais usadas, ou altamente promissoras apesar de incipientes, de projeção tridimensional. O Mirage® (espelhos parabólicos sobrepostos), o Cheoptics® 360 (manipulação do fantasma de Pepper), os óculos passivos e o espelho giratório são mais detalhadamente discutidos em seus aspectos fundamentais e tecnológicos por atingirem resultados muito realistas mesmo usando princípios, em sua maioria, de grande simplicidade.

Palavras-chave: Visualização, terceira dimensão, óptica, estereoscopia, 3D Studio, imagem 3D, computação gráfica, renderização, animação.

ABSTRACT

The use of visualization tools to present information is not a new idea. It is actually used for thousands of years and has been enhanced as the scientific and technological advances open new possibilities. Currently the three-dimensional projection techniques have gained enough prominence, with applications in various fields (medicine, entertainment, engineering, science, etc.) and begin to reach the home user. Many ingenious techniques, using only basic optics (mirror-like tricks) are mined from ancient magic tricks and circus figures from centuries ago and combined to create images that are incredibly real. With the development of microelectronics and computing these techniques have been modernized to allow more flexibility, without the need of a physical object to be copied. Now images can be generated on a computer and designed appropriately so as to take advantage of well-known optical properties of mirrors and lenses, as well as the peculiarities of the human eye (now extensively studied). In this context, this study aims to document the most widely used forms, or highly promising however incipient three-dimensional projection techniques. The Mirage ® (overlapping parabolic mirrors), the Cheoptics 360 ® (manipulation of Pepper's ghost), passive glasses and rotating mirror are discussed in more detail in its fundamental and technological aspects for achieving highly realistic results even though using principles, in most cases, of great simplicity.

Keywords: Visualization, third dimension, optics, stereoscopy, 3D Studio, 3D image, graphical computing, rendering, animation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – IMAGENS 3D CRIADAS NO MIRAGE.	12
FIGURA 2 – DESENHO ESQUEMÁTICO DAS REFLEXÕES NO MIRAGE	12
FIGURA 3 – TIPOS DE ESTEREOSCOPIA.....	13
FIGURA 4 – EXEMPLO DE ÓCULOS ANAGLIFO.	13
FIGURA 5 – EXEMPLO DE SISTEMA ATIVO (NVIDIA VISION 3D)	14
FIGURA 6 – TV AUTOESTEREOSCOPICA PHILIPS QUAD FULL HD	15
FIGURA 7 – EXEMPLO DE HEAD-MOUNTED DISPLAY	16
FIGURA 8 – ESQUEMA ÓTICO DE UM MÉTODO VOLUMÉTRICO UTILIZANDO ESPELHO VARIFOCAL.....	17
FIGURA 9 – EXEMPLO DE DISPLAY POR VOLUME EMISSIVO. LASERS EXCITAM O AR ATÉ TRANSFORMÁ-LO EM PLASMA EMISSOR DE LUZ.	17
FIGURA 10 – EXEMPLO DE UMA IMAGEM CRIADA ATRAVÉS DE ESPELHO GIRATÓRIO.....	18
FIGURA 11 – SEÇÃO CÔNICA PARABÓLICA.	20
FIGURA 12 – DEFINIÇÃO DE PARÁBOLA COMO LUGAR GEOMÉTRICO	21
FIGURA 13 – EIXOS, PONTO FOCAL E RETA DIRETRIZ.	21
FIGURA 14 – PARÁBOLA OBTIDA ATRAVÉS DO EQUACIONAMENTO	23
FIGURA 15 – PARABOLÓIDE DE REVOLUÇÃO	24
FIGURA 16 – PROPRIEDADE DO ESPELHO PARABÓLICO	25
FIGURA 17 – RAIOS DENTRO DO SISTEMA DE ESPELHOS (COM ABERTURA EXPONDO O F2).....	26
FIGURA 18 – CÁLCULO DA SAGITTA DE UM ESPELHO CÔNCAVO	27
FIGURA 19 – TRAÇADO DE RAIOS DE UM ESPELHO PARABÓLICO SEMELHANTE AO MIRAGE	28
FIGURA 20 – TRAÇADO DE RAIOS COM AFASTAMENTO DOS ESPELHOS PARABÓLICOS.....	29
FIGURA 21 – EXATO TRAÇADO DE RAIOS PARA UMA SEPARAÇÃO DE ESPELHOS IGUAL A 3F.	30
FIGURA 22 – TÉCNICAS DISPONÍVEIS PARA A CONFORMAÇÃO DE METAIS	31
FIGURA 23 – CONSTRUÇÃO DE UM ESPELHO PARABÓLICO PELO MÉTODO DO BALDE DE NEWTON	32
FIGURA 24 – PROCESSO DE FORMAÇÃO DA PSEUDO-IMAGEM EM UMA SUPERFÍCIE REFLETORA CILÍNDRICA.	34
FIGURA 25 – FORMAÇÃO DE IMAGENS POR UMA SUPERFÍCIE REFLETORA CILÍNDRICA NA DIREÇÃO AXIAL.....	34
FIGURA 26 – FORMAÇÃO DE IMAGENS POR UMA SUPERFÍCIE REFLETORA CILÍNDRICA REPRESENTANDO UM CONTÍNUO DE IMAGENS NAS POSIÇÕES OBSERVADAS	35
FIGURA 27 – ILUSÃO DE UMA VELA ARDENDO DENTRO DE UM COPO DE ÁGUA.	37
FIGURA 28 – ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DO FANTASMA DE PEPPER.....	38
FIGURA 29 – CONFIGURAÇÕES DISPONÍVEIS PARA O CHEOPTICS360.....	41
FIGURA 30 – LAYOUT DE 4 IMAGENS IGUAIS NO CHEOPTICS360.	42
FIGURA 31 – LAYOUT DE 4 IMAGENS DIFERENTES NO CHEOPTICS360.....	43
FIGURA 32 – VERGALHÃO.....	44
FIGURA 33 – BOBINA DE FILME DE POLIETILENO.	45
FIGURA 34 – VIDRO CRISTAL TRANSPARENTE COM 2MM DE ESPESSURA.....	46
FIGURA 35 – GEOMETRIA DOS PROTÓTIPOS DO CHEOPTICS 360.	47
FIGURA 36 – AUTODESK 3DS MAX 9.	47
FIGURA 37 – IMAGEM MODELADA TRIDIMENSIONALMENTE USANDO O 3DS MAX 9	48
FIGURA 38 – MODELO TRIDIMENSIONAL EDITADO PELO 3DS MAX 9.	49
FIGURA 39 – MODELO TRIDIMENSIONAL FINAL.....	49
FIGURA 40 – INSTANTÂNEO DO VÍDEO TRIDIMENSIONAL FINAL.	50
FIGURA 41 – PROTÓTIPO 1 FEITO DE VIDRO.....	51
FIGURA 42 – PROTÓTIPO 2 FEITO DE FILME DE POLIETILENO.	52
FIGURA 44 – IMAGEM TRIDIMENSIONAL RESULTANTE DO PROTÓTIPO 2.	54
FIGURA 45 – NO OLHO HUMANO, A IMAGEM É FORMADA NA RETINA, SEMELHANTEMENTE A UMA CÂMERA.....	56
FIGURA 46 – O SISTEMA DE COORDENADAS DA CÂMERA (X, Y, Z) ESTÁ ALINHADO COM O SISTEMA DE COORDENADAS DO MUNDO (X, Y Z).....	57
FIGURA 47 – ESQUEMÁTICO DE UM SISTEMA DE ESTEREOSCOPIA.	60
FIGURA 48 – GRÁFICOS DOS PERFIS DE INTENSIDADE HORIZONTAL DAS IMAGENS À ESQUERDA.....	65
FIGURA 49 – FIGURAS ILUSTRATIVAS DO FUNCIONAMENTO TEÓRICO DO ESPELHO GIRATÓRIO.	66
FIGURA 50 – SPINNING MIRROR DE JONES ET AL (2007).....	67
FIGURA 51 – DMD DE UM CIRCUITO DLP	68

FIGURA 52 – FORMAÇÃO DE IMAGENS COLORIDAS NA TECNOLOGIA DLP	69
FIGURA 53 – CONECTOR DVI	69
FIGURA 54 – CHIP FPGA	70
FIGURA 55 – ESQUEMÁTICO DO PROJETO	72

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. OBJETIVO	11
2. MÉTODOS DE FORMAÇÃO DE IMAGEM TRIDIMENSIONAL	12
2.1. ÓTICA PURA.....	12
2.2. ESTEREOSCOPIA.....	12
2.2.1. Passiva (anaglifo e polarizado).....	13
2.2.2. Ativa	14
2.2.3. Autoestereoscopia	14
2.2.4. Visualização Estéreo (HMD e EyeWear).....	15
2.3. VISUALIZAÇÃO VOLUMÉTRICA.....	16
2.3.1. Espelho Varifocal	16
2.3.2. Volume Emissivo	17
2.3.3. Espelho Giratório	17
3. ESCOLHA DOS MÉTODOS PARA APROFUNDAMENTO.....	19
4. MIRAGE.....	20
4.1 PARÁBOLA – DEFINIÇÃO	20
4.2 PARÁBOLA – EQUACIONAMENTO	21
4.3 QUÁDRICAS E O PARABOLÓIDE DE REVOLUÇÃO	23
4.4 ESPELHOS PARABÓLICOS.....	25
4.5 ESPELHOS PARABÓLICOS SOBREPOSTOS	25
4.6 ANÁLISE MATRICIAL E TRAÇADO DE RAIOS.....	27
4.7 ASPECTOS TECNOLÓGICOS E CONSTRUTIVOS.....	30
4.8 SOLUÇÃO ALTERNATIVA.....	33
5. CHEOPTICS 360.....	36
5.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA: O FANTASMA DE PEPPER	36
5.2 PRISMA DE VISUALIZAÇÃO.....	40
5.3 ESPECIFICAÇÕES.....	41
5.3.1 Descrição Técnica	41
5.3.2. Área de Visualização	41
5.3.3. Aspectos construtivos:.....	41
5.3.4 Produção dos filmes	42
5.3.5. Hardware.....	42
5.3.6 Métodos de utilização	42
5.4 ASPECTOS TECNOLÓGICOS E CONSTRUTIVOS.....	44
6. ESTEREOSCOPIA PASSIVA.....	55
6.1 PRINCÍPIO BÁSICO.....	55
6.2 ÓCULOS ANAGLIFOS.....	62
6.3 ÓCULOS POLARIZADOS	62
6.4 ESQUEMA DE INSTALAÇÃO	63
7. ESPELHO GIRATÓRIO	64
7.1 MATERIAL.....	64
7.2 CARACTERÍSTICAS	65
7.3 PROJETO.....	67
7.4 DLP	67
7.5 DVI.....	69
7.6 FPGA	70
7.7 CUSTOMIZAÇÃO DO PROJETOR	70
7.8 SISTEMA MECÂNICO	71

7.9. ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA PARA CONSTRUÇÃO.....	72
8. CONCLUSÃO.....	74
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75

1. Introdução

O 3D está presente há muito tempo no mundo. O interesse nessa tecnologia sempre foi alto, entretanto, devido ao alto grau dos desafios da tecnologia, sua disseminação está retardada em relação a outras tecnologias contemporâneas. Finalmente a nova leva de projetores 3D, que é muito mais avançada que os seus antepassados, aproxima-se dos sonhos mais sagrados da ficção científica.

O desejo por construir sistemas que permitam: fazer imagens 3D curvas; mostrar imagens 3D em tamanho real; reproduzir o efeito "Princesa Leia é um holograma" do filme Star Wars de George Lucas. Levaram ao desenvolvimento de técnicas diferentes de se obter uma projeção 3D.

Estereoscopia é a técnica para geração de imagens 3D mais antiga e mais utilizada até hoje. Inventada pelo físico inglês Charles Wheatstone em 1840, baseia-se na característica da visão humana binocular, ou seja, com a mesma imagem ligeiramente diferente na perspectiva para cada olho, cria-se uma ilusão de profundidade, enganando o cérebro como se fosse uma imagem 3D que está sendo visualizada. Normalmente nesta técnica os olhos convergem para um ponto diferente do ponto de foco que é na superfície da tela.

Além da estereoscopia outras técnicas fazem parte do escopo desse trabalho. A mais nova técnica, ainda em desenvolvimento, é a visualização volumétrica. A grande diferença entre a visualização volumétrica e outras técnicas é que ela não simula a profundidade 3D através de efeitos visuais, ela de fato cria a imagem nas três dimensões. A maioria, se não todas, visualizações 3D volumétricas são visíveis ao olho nu, a imagem pode ser vista em 360° independentemente da distância e altura do observador.

Por último a técnica holográfica, que não deve ser confundida com as técnicas holográficas de hologramas impressos e estampados em filmes. A técnica utiliza um laser para projetar imagens 3D reais no ar, ainda extremamente experimental.

1.1. Objetivo

O objetivo deste trabalho é analisar as diferentes técnicas de projeção de imagens tridimensionais, sob a perspectiva da qualidade da imagem projetada, da complexidade do projetor e eficiência da técnica.

2. Métodos de formação de imagem tridimensional

2.1. Ótica pura

A forma mais antiga de se formar imagens com efeito tridimensional é usando composições de espelhos e reflexões múltiplas de forma a projetar um objeto real em outro local. A imagem formada tem características volumétricas e cores idênticas às do objeto real.

Um produto que usa este princípio e está disponível comercialmente é o Mirage, da Optigone (www.optigone.com).



Figura 1 – Imagens 3D criadas no Mirage.

Este produto consiste em uma fonte de luz (luz ambiente) incidindo sobre um objeto real localizado dentro de um domo espelhado como esquematiza a figura a seguir.

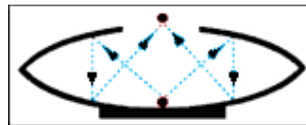


Figura 2 – Desenho esquemático das reflexões no Mirage

2.2. Estereoscopia

É uma técnica de projeção 3D que gera duas imagens ligeiramente diferentes, uma para cada olho e cria uma ilusão de tridimensionalidade, enganando o cérebro.

Na estereoscopia existe uma diversidade de tecnologias e por isso vamos analisar somente algumas principais. Classificando-as em Uso de óculos Ativo ou

Passivo (3D Glasses), Sem óculos (Autostereoscopy) e Stereo Display (HMD). Conforme esquematizada na figura abaixo:

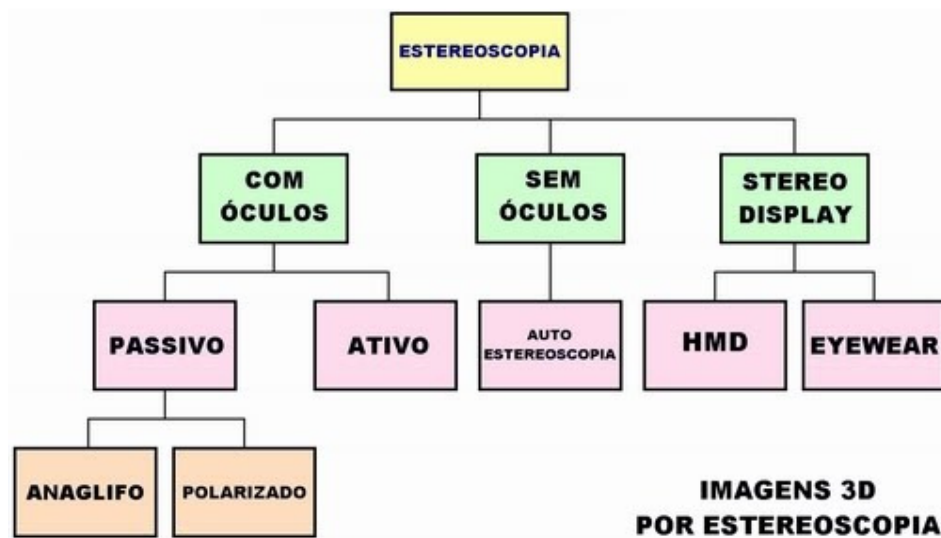


Figura 3 – Tipos de estereoscopia

2.2.1. Passiva (anaglifo e polarizado)

Provavelmente o jeito mais fácil de fazer imagens 3D é separar a imagem direita da esquerda usando cores. A imagem tem duas camadas de cores e as camadas são separadas usando óculos que têm lentes azul/vermelha. Isso é chamado de Anaglifo e é barato e fácil de fazer, já que não é necessário comprar uma TV nova e os óculos são baratos. O problema é que se perde cores da imagem



Figura 4 – Exemplo de óculos anaglifo.

Uma técnica melhor é utilizar lentes polarizadas. Novamente, projetam-se duas imagens, usando polarizações perpendiculares e os óculos filtram a imagem para cada olho. Essa técnica permite melhor visualização das cores. Entretanto pode causar efeitos colaterais como: náusea, dores de cabeça, vista cansada, entre outros. Além de ser uma técnica mais custosa.

2.2.2. Ativa

A estereoscopia ativa utiliza a projeção de imagem com o dobro da frequência normal (120 Hz). Dessa forma, podemos projetar imagens para o olho esquerdo separadamente das imagens do olho direito. Óculos sincronizados com a TV alternam entre bloquear o olho esquerdo e bloquear o olho direito. Assim, conseguimos o efeito 3D mandando uma imagem para cada olho de cada vez.

Apesar de apresentar bom resultado na imagem gerada, esta forma de projeção estereoscópica se mostra bastante custosa ao demandar uma TV especial (120hz) e um óculos especial (com 2 LCDs, baterias e sistema de sincronização)



Figura 5 – Exemplo de sistema ativo (nVidia Vision 3D)

2.2.3. Autoestereoscopia

A autoestereoscopia é uma forma de projeção estérea que não demanda o uso de óculos. Isto se dá porque este sistema envia cada pixel para um determinado olho, usando ótica (lentes ou barreiras). Um ponto negativo desta técnica é o fato de ter uma área de visão muito limitada. Para aumentar esta área, seria necessário sobrepor mais camadas de LCD, encarecendo o projeto.

Outro problema é o fato de cada camada de LCD somente poder projetar imagens 3D ou 2D.



Figura 6 – TV Autoestereoscópica Philips Quad Full HD

2.2.4. Visualização Estéreo (HMD e EyeWear)

Neste método, utilizamos duas telas (geralmente LCD ou LED) montadas em uma armação de óculos, voltando cada tela para um olho. Como as telas exibem imagens ligeiramente diferentes, atingimos o efeito 3D. A proximidade dos olhos faz com que o usuário tenha a impressão de estar diante de uma tela de cerca de 80 polegadas.

Este aparelho pode ser disponibilizados na forma de Head-mounted Displays (os quais apresentam funções extras como aquelas voltadas para a utilização de realidade aumentada) ou sob a forma de EyeWear (os quais apenas apresentam o vídeo).



Figura 7 – Exemplo de Head-mounted Display

2.3. Visualização volumétrica

2.3.1. Espelho Varifocal

É uma membrana espelhada que oscila se tornando um espelho de distância focal variável, refletindo a imagem de uma tela. Sincronizando a imagem mostrada na tela com o poder óptico do espelho, qualquer ponto de um dado volume pode ser escaneado (e iluminado). Ainda é um sistema experimental.

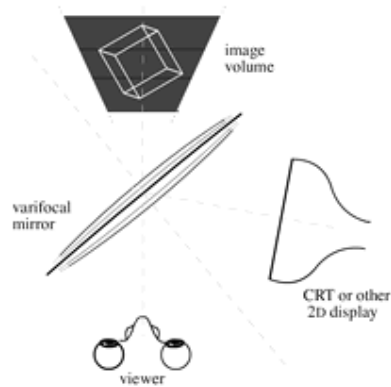


Figura 8 – Esquema óptico de um método volumétrico utilizando espelho varifocal

2.3.2. Volume Emissivo

É um dado volume preenchido com um substrato que é capaz de emitir luz de qualquer parte do seu interior como consequência de uma excitação externa (por exemplo lasers de comprimentos de onda diferentes). O principal problema é encontrar um substrato apropriado, também muito experimental

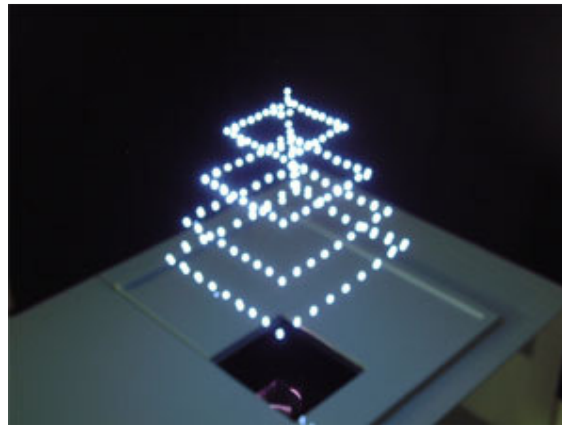


Figura 9 – Exemplo de display por volume emissivo. Lasers excitam o ar até transformá-lo em plasma emissor de luz.

2.3.3. Espelho Giratório

Consiste em uma tela plana que roda à aproximadamente 900 rpm. Para cada posição angular da tela em um arranjo óptico pré-determinado, um sistema projeta a imagem de um objeto correspondente à perspectiva associada àquele ângulo. O resultado final é uma imagem 3D de um objeto, visível a 360°.



Figura 10 – Exemplo de uma imagem criada através de espelho giratório

3. Escolha dos métodos para aprofundamento

Após explorar todas as técnicas mais comuns e mais promissoras da visualização tridimensional pudemos perceber que estas podem ser separadas em basicamente três grupos:

- **Menos complexos. Pouca ou nenhuma eletrônica/computação associada**
Mirage, Cheoptics 360 e óculos passivos.
- **Complexidade mediana. Uso de automação / eletrônica / computação.**
Espelho giratório e espelho varifocal
- **Alta complexidade. Uso extensivo de automação / eletrônica / computação de ponta.**
Volume emissivo, visualização estéreo, autoestereoscopia e óculos ativo.

Como um primeiro trabalho nesta área, escolhemos as técnicas da primeira categoria. Esta categoria representa os dispositivos que se valem de fenômenos físicos conhecidos há séculos e que podem ser manipulados ou associados de forma a nortear o desenvolvimento de outros dispositivos mais elaborados.

No grupo intermediário, o espelho giratório chamou a atenção pela geração de uma imagem de alta qualidade, permitindo reprodução de movimentos e noção de profundidade avançada. Além disso, este método se destaca por ser mecatrônico, fundindo mecânica, eletrônica e computação.

4. Mirage

O Mirage consiste basicamente de 2 espelhos parabólicos côncavos sobrepostos horizontalmente e arranjados de forma a aproveitar suas propriedades focais na formação de uma imagem real. Mais adiante discutiremos tais propriedades elucidando assim o porquê da escolha de espelhos deste tipo.

4.1 Parábola – Definição

Uma parábola é uma curva cônica obtida na intersecção de um cone com um plano paralelo à linha geratriz deste mesmo sólido. Esta curva também pode ser definida como o lugar geométrico dos pontos co-planares a uma reta e a um ponto e que eqüidistam destes dois elementos. O ponto recebe o nome de foco enquanto a reta é referida como reta diretriz.



Figura 11 – Seção cônica parabólica.

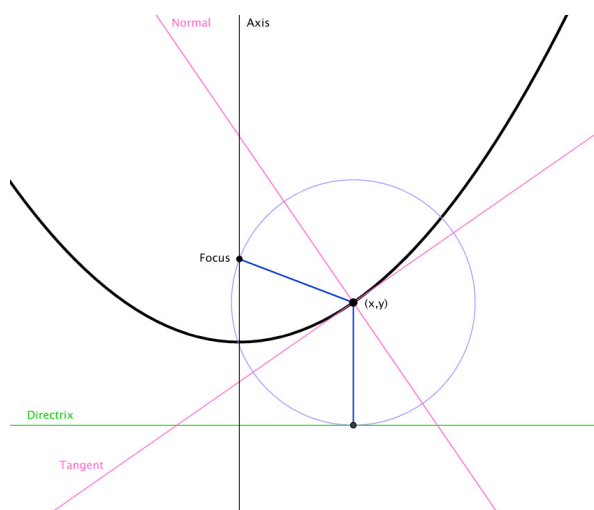


Figura 12 – Definição de parábola como lugar geométrico

4.2 Parábola – Equacionamento

Consideramos um ponto $F(0,p)$ e uma reta $r: y=-p$ como mostrados na figura 13.

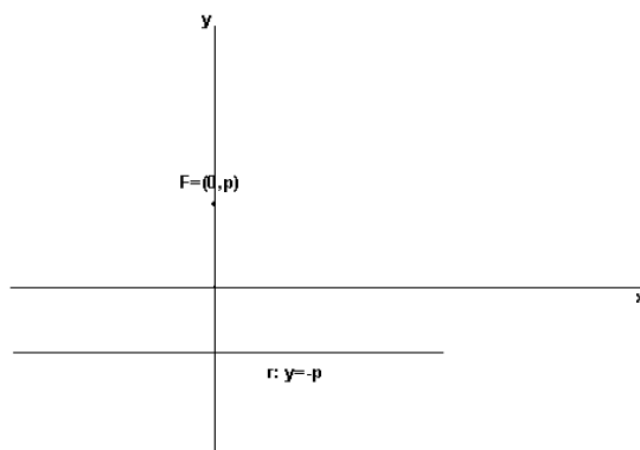


Figura 13 – Eixos, ponto focal e reta diretriz.

Para chegarmos à parábola P definida por estes elementos devemos considerar sua principal propriedade:

$$\text{Distância}(P,F) = \text{Distância}(P,r)$$

Desenvolvendo,

$$\text{Distância}(P,F)=\text{Distância}(P,r) \rightarrow |\text{Distância}(P,F)|^2 = |\text{Distância}(P,r)|^2$$

$$|\text{Distância}(P,F)|^2 = (x_p - 0)^2 + (y_p - p)^2$$

$$|\text{Distância}(P,r)|^2 = (x_p - x)^2 + (y_p + p)^2$$

Pela definição de distância de ponto a reta temos que $(x_p - x)^2 = 0$. Portanto,

$$|\text{Distância}(P,r)|^2 = (y_p + p)^2$$

Logo,

$$(x_p - 0)^2 + (y_p - p)^2 = (y_p + p)^2 \rightarrow x_p^2 + y_p^2 + p^2 - 2y_p p = y_p^2 + p^2 + 2y_p p$$

$$x_p^2 - 2y_p p = 2y_p p \rightarrow x_p^2 = 4y_p p$$

$$y_p = \frac{x_p^2}{4p} \quad (1)$$

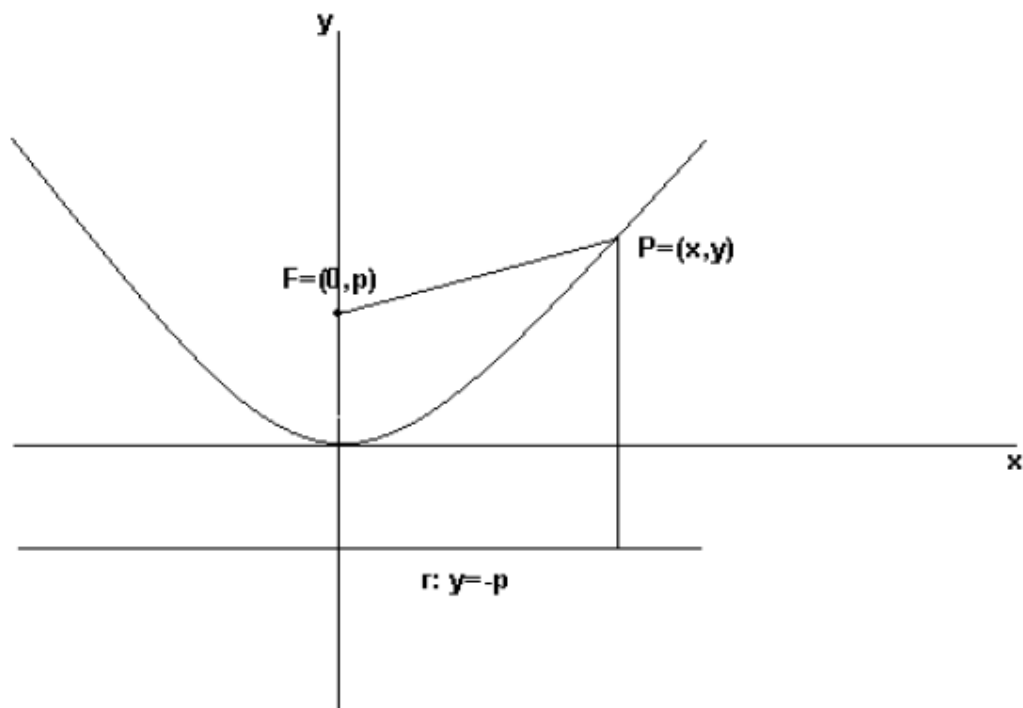


Figura 14 – Parábola obtida através do equacionamento

A partir desta forma analítica parametrizada podemos determinar a equação de qualquer parábola dados seu foco e sua diretriz. Pode ser interessante o uso de transformações de coordenadas de forma a adequar a formulação apresentada às necessidades práticas como descrito em [5].

4.3 Quádricas e o parabolóide de revolução

Superfícies quádricas são conjuntos de pontos no espaço tridimensional cujas coordenadas formam um polinômio de segundo grau com, no máximo, três variáveis formando a equação cartesiana da superfície.

$$Ax^2 + By^2 + Cz^2 + Dxy + Eyz + Fxz + Gx + Hy + Iz + J = 0 \quad (2)$$

Forma geral de uma quádrica

Em nosso contexto, a quádrica de interesse é o chamado parabolóide elíptico cuja forma geral é:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = z \quad (3)$$

Caso particular do parabolóide elíptico, parabolóide de revolução ocorre quando temos $a=b$ na equação cartesiana. Neste caso, temos que a superfície é formada pela rotação de uma parábola em torno de seu eixo de simetria, formando uma superfície que lembra um recipiente ovalado.

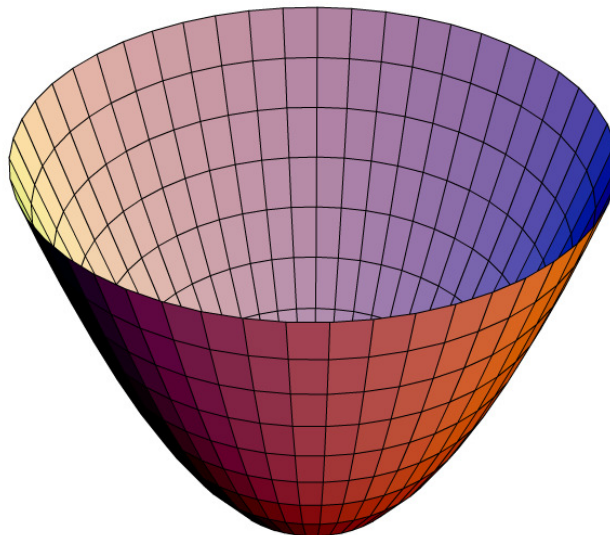


Figura 15 – Parabolóide de revolução

Para determinarmos o foco do parabolóide podemos considerar a intersecção desta superfície com um plano que contenha seu eixo. Desta forma obteremos uma parábola, calculamos seu foco e este será o foco de todo o parabolóide.

Utilizemos o plano $y=0$, teremos

$$\frac{x^2}{a^2} = z$$

Comparamos com a forma geral da parábola

$$y_p = \frac{x_p^2}{4p}$$

Por inspeção podemos concluir que $a^2 = 4p \therefore p = \pm \frac{a}{2}$. Considerando apenas um foco positivo temos que nosso ponto focal se encontra sobre o eixo z , a uma distância $\frac{a}{2}$ da origem: $F(0,0,\frac{a}{2})$.

4.4 Espelhos Parabólicos

Um espelho parabólico consiste em uma superfície refletora com o formato de um parabolóide de revolução. Desta forma, o espelho mantém as propriedades básicas destas formas matemáticas:

Raios incidentes que passam pelo foco emergem do refletor paralelamente ao eixo de simetria.

Raios que incidem paralelamente ao eixo de simetria emergem do refletor convergindo para o foco.

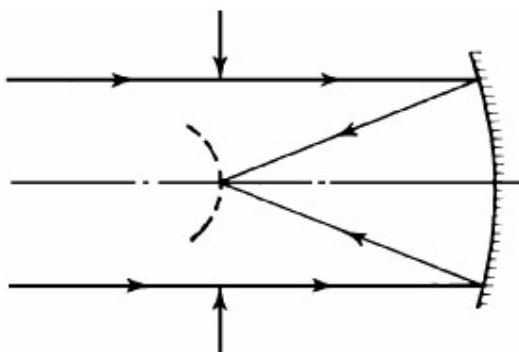


Figura 16 – Propriedade do espelho parabólico

4.5 Espelhos parabólicos sobrepostos

O Mirage usa um sistema de dois espelhos parabólicos sobrepostos e voltados um para o outro. Os pontos mínimos de cada espelho estão separados pelo equivalente a uma distância focal. Desta forma, ao depositarmos um objeto no centro do espelho inferior estamos posicionando-o no ponto focal do espelho superior. Assim, a luz que emerge do objeto incide sobre o espelho superior e é refletido de forma paralela ao eixo principal deste espelho.

Como o espelho inferior apresenta a mesma propriedade, os raios, que incidem paralelamente ao seu eixo principal (já que os eixos principais dos dois espelhos são coincidentes) os raios emergem convergindo no foco do espelho inferior produzindo uma imagem real.

Para que um observador possa ver a imagem produzida, é feita uma abertura no espelho superior para que o foco do espelho inferior permaneça exposto.

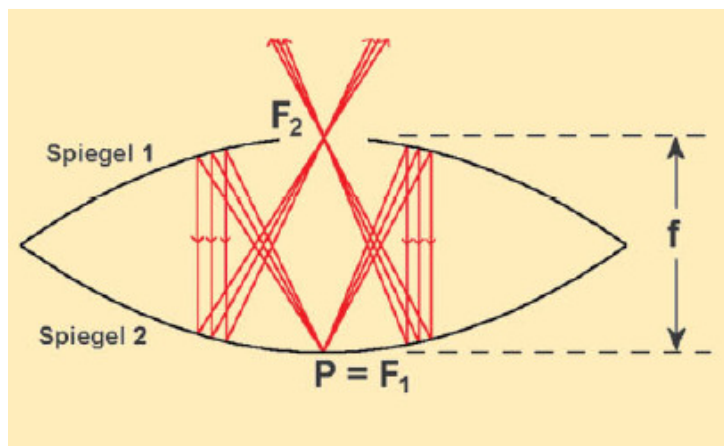


Figura 17 – Raios dentro do sistema de espelhos (com abertura expondo o F2)

Sabendo as características da montagem podemos agora definir os parâmetros dimensionais de cada espelho. Começamos o raciocínio lembrando que a distância entre os espelhos deve ser de uma distância focal (p). Portanto, cada espelho deve ter $p/2$ de altura.

Agora relacionamos o raio com a altura do espelho

$$y_p = \frac{x^2}{4p} \therefore y_p = \frac{p}{2} \therefore \frac{p}{2} = \frac{x_p^2}{4p} \therefore x_p^2 = 2p^2 \therefore x_p = \pm\sqrt{2} \cdot p \cong 1,41 p$$

Logo, temos que o raio do espelho será $r = x_p = 1,41p$.

Tomando como referência o Mirage Model 20 (ou “giant mirage”) com 22 polegadas de diâmetro temos que $22,2,54,0,5 = 1,41 \cdot p \therefore p = 19,76\text{cm}$.

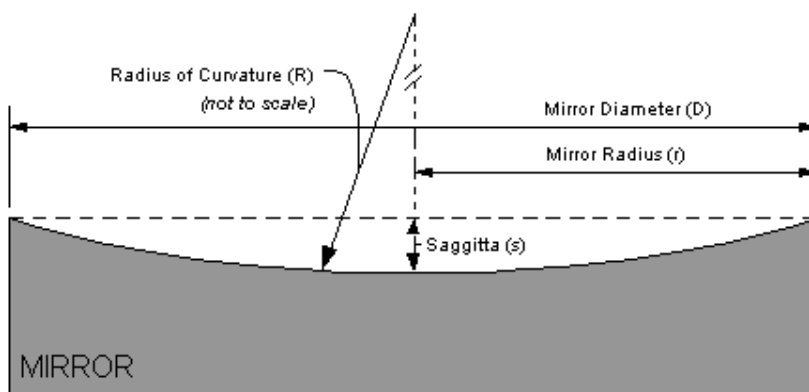
Assim, temos que os espelhos devem ter foco de 19,76 cm e raio máximo de 27,94 cm.

Tomando como referência o Mirage Original com 9 polegadas de diâmetro temos que $9,2,54,0,5 = 1,41 \cdot p \therefore p = 8,08\text{cm}$

Assim, temos que os espelhos devem ter foco de 8,08 cm e raio máximo de 11,43 cm.

Não existe um tamanho ótimo para escolha do buraco do espelho superior. O que deve ser levado em conta é que quanto maior o buraco, menor será a qualidade da imagem apresentada. Isso se dá uma vez que existirá uma menor quantidade de raios sendo refletidos dentro dos espelhos. A outra limitação é que para um buraco muito pequeno diminuirá o tamanho dos objetos que poderão ser utilizados no Mirage. Para

satisfazer ambas as limitações partimos para o cálculo da sagitta de um espelho parabólico. A sagitta é definida como na figura abaixo:



$$s = R - \sqrt{R^2 - r^2} \quad (4)$$

Figura 18 – Cálculo da sagitta de um espelho côncavo

Sabendo do tamanho do diâmetro do buraco (6,23 cm) temos então uma sagitta “removida” pelo buraco no valor de 0,3 cm. Sabendo que a imagem é formada a uma distância de 8,08 cm, pode-se concluir que dependendo da altura que se deseja a formação da imagem tem se uma dada altura. Com uma altura de 0,16 cm acima do buraco temos a altura do Mirage de 7.62 cm (3 polegadas) como na especificação.

4.6 Análise Matricial e Traçado de Raios

A técnica 2x2 ou de matriz ABCD para o traçado de raios é bem conhecida. O trabalho de analisar através de matrizes já foi feito por DZIERBA [11] utilizando o software Mathematica.

A figura abaixo mostra alguns raios representativos. Não é muito difícil de ver o que está acontecendo. Um raio do objeto começa no foco do espelho superior e é refletido paralelamente ao eixo em direção do espelho inferior onde é refletido para o ponto focal do espelho inferior, que está no buraco do espelho superior.

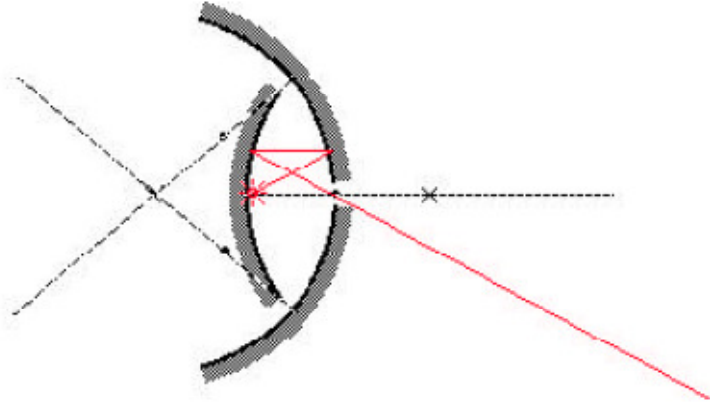


Figura 19 – Traçado de raios de um espelho parabólico semelhante ao Mirage

Lembrando da convenção de sinais e do fato de que a distância focal é metade do raio do espelho, as matrizes para os espelhos côncavos e para o espaço são:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 2/r & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & d \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

Deixando os espaços entre os espelhos ser variável. Um raio começando do objeto viaja pelo espaço e reflete, viaja, reflete e viaja. A matriz final é um produto de 5 matrizes:

$$\begin{pmatrix} 1 & d \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 2/r & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & d \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 2/r & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & d \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Quando são multiplicadas temos:

$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{4d^2+6dr+r^2}{r^2} & \frac{d(4d^2+8dr+3r^2)}{r^2} \\ \frac{4(d+r)}{r^2} & \frac{4d^2+6dr+r^2}{r^2} \end{pmatrix}$$

A condição para foco requer que o elemento B desapareça que se resume a resolver a quadrática:

$$4d^2 + 8dr + 3r^2 = 0$$

As soluções são $d = -r / 2$ e $d = -3r / 2$. O primeiro é esperado, mas o segundo não é óbvio. Se substituirmos a primeira solução na expressão para o elemento A:

$$A = \frac{4d^2 + 6dr + r^2}{r^2} \quad (6)$$

Vamos encontrar que $A = -1$. Lembrando que se $B = 0$, então A é a magnificação. Isso nos diz que a imagem é invertida. Se substituirmos a segunda solução encontra-se $A = +1$. De fato é possível observar a imagem não invertida ao levantar-se o espelho superior até $3f$. Veja a simulação abaixo:

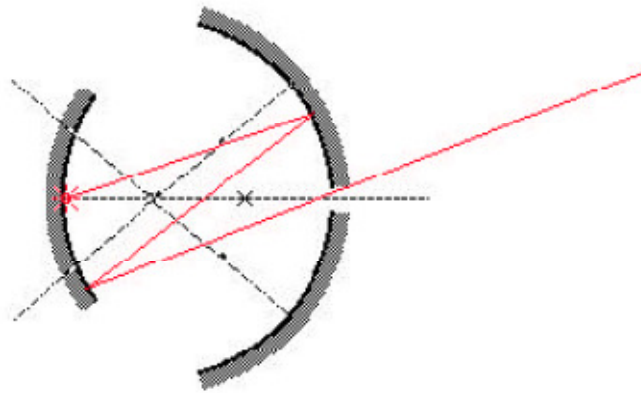


Figura 20 – Traçado de raios com afastamento dos espelhos parabólicos

O software BEAM2 foi usado por ADHYA [12] para realizar o traçado dos raios. A primeira constatação foi que a primeira imagem formada pelos espelhos parabólicos a uma distância focal é perfeita, sem aberrações geométricas. O estudo se seguiu para a segunda imagem formada, de acordo com o previsto pelo modelo matricial, a uma distância de $3f$, foi constatado que os raios falham em convergir e, portanto, a segunda imagem não é observável.

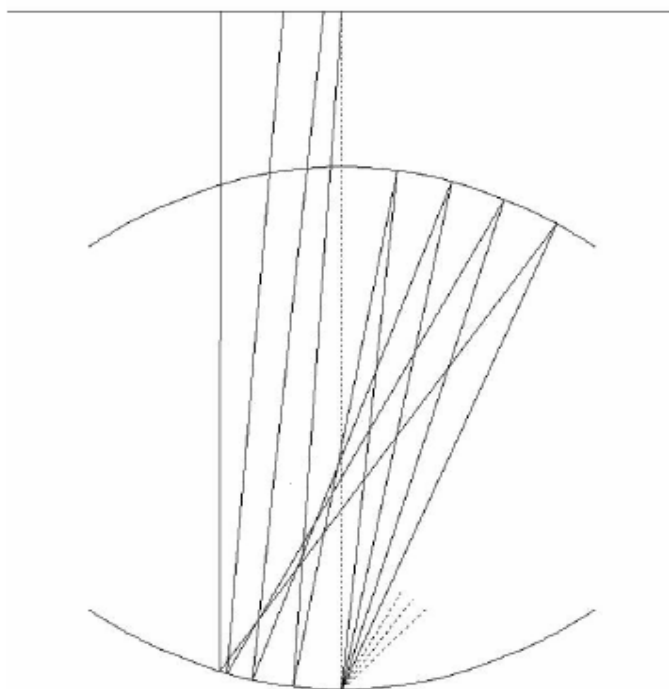


Figura 21 – Exato traçado de raios para uma separação de espelhos igual a $3f$.

Os raios não entram em foco e não há imagem visível. A linha horizontal em cima é uma tela que deve ser incluída quando estiver preparando o programa.

4.7 Aspectos tecnológicos e construtivos

Para completa análise do Mirage foi proposta a construção de um protótipo para observarmos e estudarmos os efeitos dos espelhos em um modelo físico. As soluções levantadas para a construção dos espelhos foram:

- Conformação em metal e polimento do metal
- Conformação em vidro ou polímero e metalização
- Balde de Newton

A solução de conformação e polimento do metal acabou por ser descartada devido às dificuldades encontradas para encontrar uma técnica para a conformação do metal no formato de um parabolóide. Dentre todas as técnicas disponíveis a mais

plausível seria a de estampagem, entretanto o molde no formato de um parabolóide é utópico devido à própria natureza única do sólido de revolução.

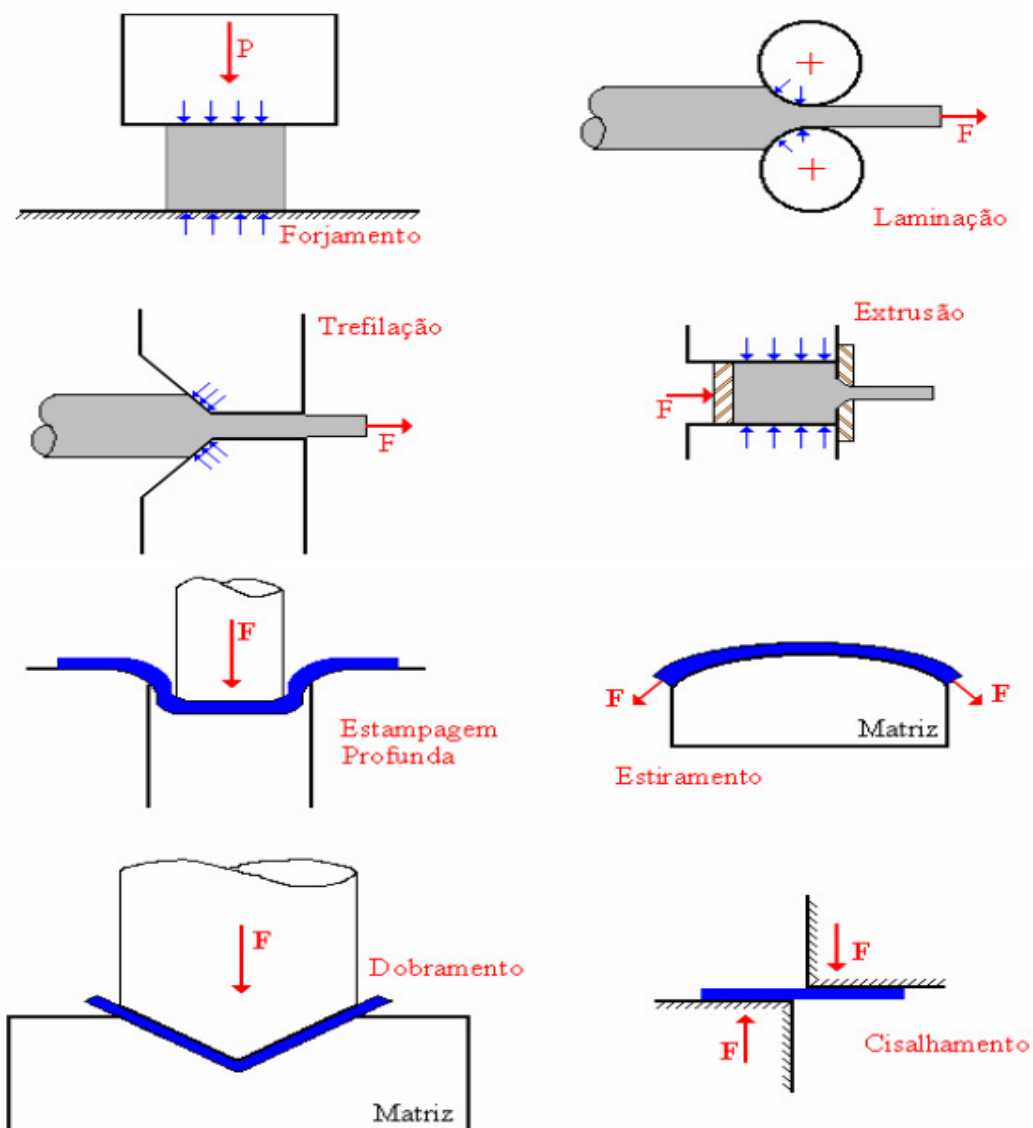


Figura 22 – Técnicas disponíveis para a conformação de metais [13].

A conformação de vidro ou polímero e metalização foi descartada na questão financeira. Um pedido de fabricação do espelho parabólico conforme nossa especificação estava fora de cogitação dado seu alto preço por ser em pequena quantidade e extremamente restrito.

A terceira solução acabou não seguindo adiante, pois avaliamos que o resultado não seria proveitoso e com a qualidade suficiente sabendo do grande trabalho que teríamos para a confecção dos espelhos pelo método do Balde de Newton.



Figura 23 – Construção de um espelho parabólico pelo método do balde de Newton [10].

4.8 Solução alternativa

A solução alternativa adotada foi aquisição de um modelo do Mirage e utilização de uma superfície espelhada com formato cilíndrico para um estudo mais elementar da imagem. O espelho de formato cilíndrico evidenciará uma característica observacional interessante, quando depositamos um pequeno objeto neste espelho o padrão de imagem formado parecerá, para um observador posicionado de maneira a olhar o cilindro lateralmente, como se estivesse flutuando no interior deste cilindro. Além disso, se fixarmos o olhar nessa imagem gerada e circundarmos o espelho, a fim de enxergar o outro lado da figura, a imagem formada acompanhará seu movimento, de modo que o observador veja sempre a imagem inicial. A sensação de tridimensionalidade melhora se iluminarmos todo o conjunto com uma luminária.

Quando um objeto é inserido no interior de uma superfície cilíndrica espelhada, de preferência no eixo (centro) do cilindro, observa-se a formação de um contínuo de pseudo-imagens ao longo deste mesmo eixo, conforme mostra a Figura 24, que eventualmente podem possuir boa qualidade. Este padrão pode ser tão bom quanto se queira, bastando para isso que a superfície formada pela chapa espelhada esteja mais próxima possível de um cilindro perfeito, ou seja, sem quaisquer sinais de vincos, dobras ou partes achatadas (localmente planas). Se aproximarmos o pequeno objeto das paredes do cilindro espelhado, perceberemos que sua imagem sofrerá deformações devido à aberração esférica, que dentro de certos limites pode ser tolerada, pois não afetará consideravelmente a qualidade da imagem formada. Em uma abordagem menos superficial e mais técnica, temos que o efeito observado não é tecnicamente uma imagem, pois nem todos os raios oriundos do objeto irão convergir em um único ponto (como acontece em espelhos esféricos). Em vez disso, o espelho cilíndrico irá se comportar como um elemento óptico formado pela imagem de um ponto em um segmento de linha no eixo óptico, designado tecnicamente por axicon.

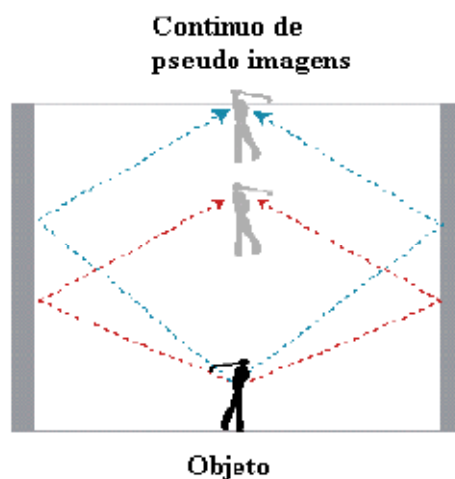


Figura 24 – Processo de formação da pseudo-imagem em uma superfície refletora cilíndrica [14].

Os raios oriundos de cada ponto do objeto contribuirão, após uma reflexão no espelho, para a formação de uma linha focal na direção axial. Estes raios também podem ser vistos como oriundos de uma linha de imagem virtual na seção transversal que contém o objeto. Como consequência a imagem observada irá apresentar um comportamento não-usual, pois quando o observador mover-se na direção axial a imagem acompanhará seu movimento

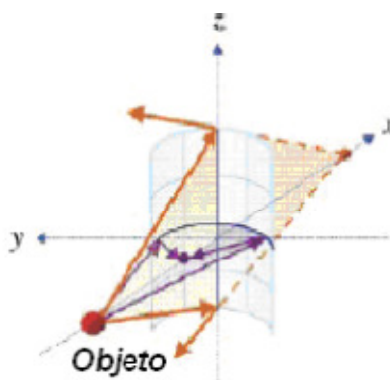


Figura 25 – Formação de imagens por uma superfície refletora cilíndrica na direção axial [14].

Uma ampla discussão dos raios do objeto que convergem em “duas linhas de imagens”, na qual uma destas linhas é real enquanto a outra é virtual. Para um objeto no centro do cilindro, a linha de imagem real localiza-se ao longo deste eixo.

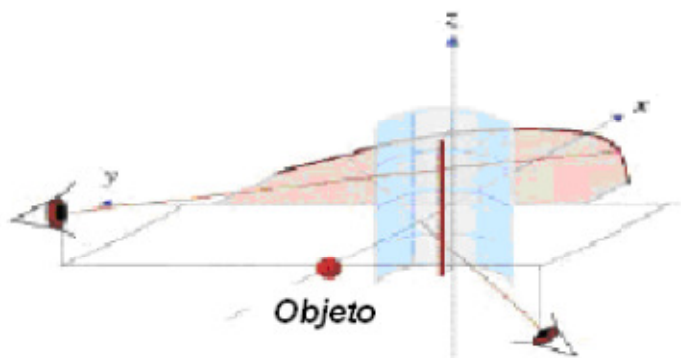


Figura 26 – Formação de imagens por uma superfície refletora cilíndrica representando um contínuo de imagens nas posições observadas [14].

Se chamarmos o raio da secção transversal do cilindro de R e nos restringirmos aos pontos de imagem ao longo do eixo central, o comprimento focal da secção horizontal deste cilindro será $R/2$, como se ele se comportasse como um espelho esférico, a distância do objeto ao espelho é R , então a linha de imagem se distancia também de R com magnificação unitária. Nesse caso, a linha de imagem virtual será um círculo de raio $2R$ no mesmo plano horizontal do objeto. Um observador que passar através de ambas as linhas de imagem receberá ambos os raios, assim a imagem na direção axial parecerá que se move verticalmente, acompanhando o movimento do observador (Figuras 24 e 25). Quando a imagem é observada por ambos os olhos, se esses estiverem em uma direção transversa ao eixo do cilindro, atrás do espelho e paralelo ao mesmo, os eixos de convergência localizam a imagem próxima ao centro do cilindro.

5. Cheoptics 360

O Cheoptics360 é uma pirâmide invertida com quatro lados, feita de material transparente, para que a audiência possa ver dentro não importando onde se encontre. Dentro da pirâmide a audiência pode ver fluando livremente imagens de vídeo e gráficos de computador. Apresentaremos primeiro a base teórica para o funcionamento do Cheoptics360.

5.1 Fundamentação teórica: O fantasma de Pepper

O fantasma de Pepper criado pelo professor de química inglês John Henry Pepper é uma das ilusões de óptica mais fascinante e conhecida em todo o mundo. Na versão popularizada no Brasil como a casa de Monga, ela consiste em um dispositivo no interior do qual uma moça parece transformar-se em um gorila. Esta famosa ilusão consiste, como veremos mais adiante, na projeção da imagem de um objeto oculto do observador, através da reflexão em uma lâmina plana de vidro inclinada de 45° .

O princípio de funcionamento do aparato é muito simples. Imagine à noite em um quarto iluminado olhar através da vidraça de uma janela para um quintal escuro, os objetos bastante iluminados no quarto parecem flutuar no escuro do quintal. Há um truque antigo, baseado em tal efeito, que consiste em fazer uma vela parecer arder dentro de um copo com água, como pode ser visto na Figura 27.



Figura 27 – Ilusão de uma vela ardendo dentro de um copo de água.

Para compreender-se melhor o princípio de funcionamento do fantasma de Pepper, observemos a Figura 28. Nela pode-se perceber que existem dois compartimentos de mesmo tamanho e perpendiculares entre si. Em um deles, visível ao público, está colocado simplesmente um piano; no outro compartimento vizinho, de paredes enegrecidas e oculto do público, encontra-se um ator vestido de fantasma, em posição tal que parece estar tocando um piano.

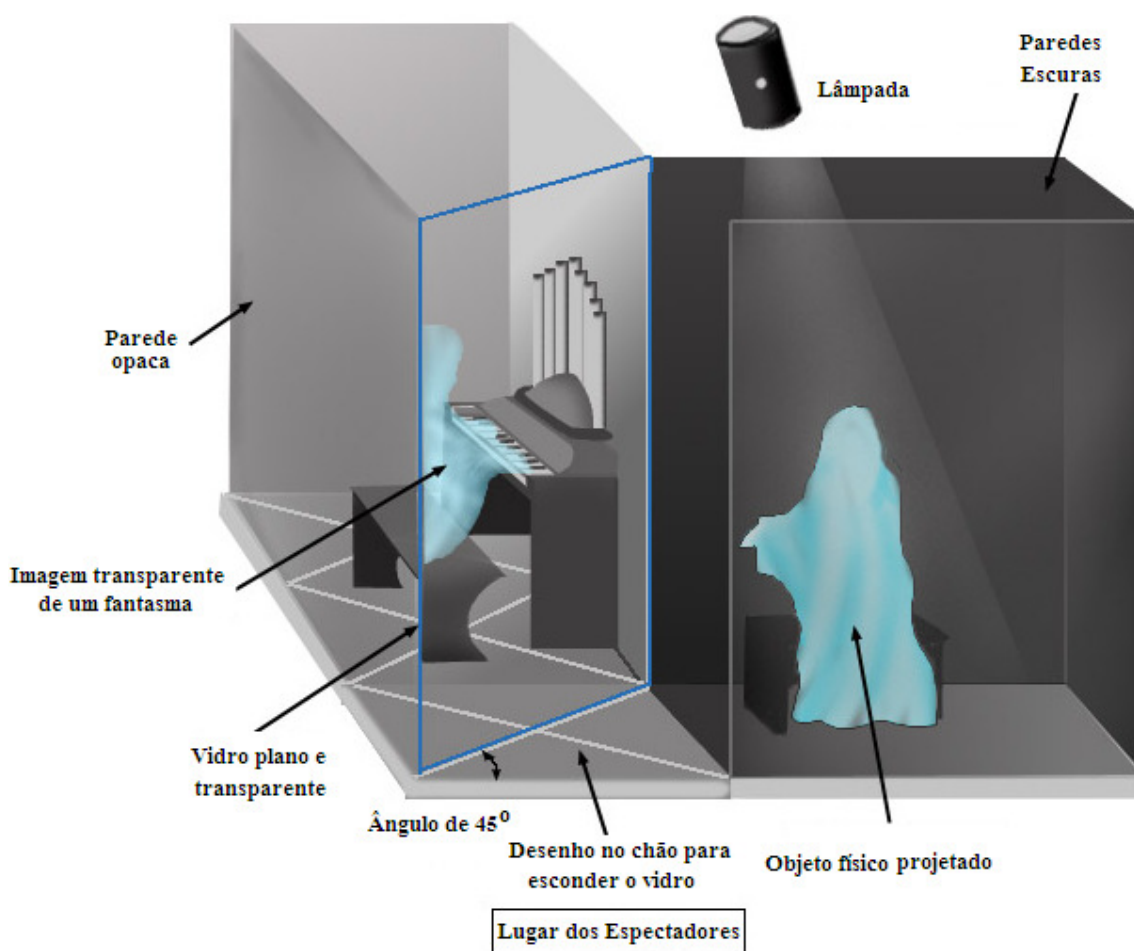


Figura 28 – Esquema de funcionamento do Fantasma de Pepper.

As posições do ator e do banquinho à frente do piano são equidistantes em relação à lâmina de vidro inclinada de 45° que aparece na Figura 28 e separa o público do palco onde está o piano. Há algum tipo de obstáculo que não permite que o público aproxime-se o suficiente da cena para ver o interior do compartimento escurecido. Inicialmente, o compartimento com o piano é iluminado intensamente enquanto o outro é deixado às escuras. À proporção em que a intensidade da luz do palco é reduzida, aumenta-se gradativamente a iluminação do quarto onde está o ator. Sua imagem vai sendo, então, gradativamente refletida, cada vez com maior intensidade, pelo vidro inclinado em direção aos olhos dos espectadores. À proporção que a iluminação sobre o ator vai aumentando, sua imagem projetada vai ficando mais e mais nítida, perdendo, assim, o aspecto fantasmagórico. Portanto, é possível produzir imagens com aspectos mais fantasmagóricos ou menos fantasmagóricos através de um simples controle da

intensidade das fontes de luz projetadas nos dois ambientes destacados no cenário do dispositivo criado por Pepper.

O fundamento físico das projeções assim obtidas, com o dispositivo criado por John Pepper, baseia-se no fenômeno da reflexão parcial da luz nas interfaces entre dois meios com índices de refração diferentes. Quando a luz viaja através de um meio para outro, uma parte dessa luz é transmitida e outra parte é refletida na interface entre os dois meios. As quantidades relativas de luz que são transmitidas e refletidas dependem da razão entre os índices de refração dos dois meios assim como do ângulo de incidência da luz na interface.

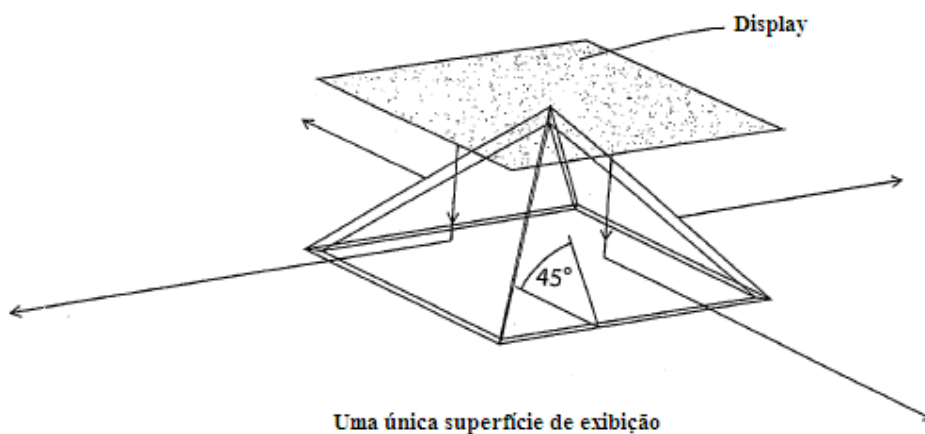
Para uma incidência normal, quando a luz viaja do ar para o vidro, aproximadamente 4% desta luz incidente é refletida, enquanto os 96% restantes são transmitidos para este segundo meio. No caso da imagem da vela dentro do copo com água, mostrada na Figura 27, é interessante observar que apenas esses 4% da luz refletida é que são responsáveis pela formação da ilusão, pois são esses 4% de luz refletida os únicos a comunicarem a imagem da vela. Os restantes 96% transmitidos através do vidro não atingem os olhos do observador pelo simples fato de que o mesmo não se encontra no interior da caixa onde está o copo. Para que a ilusão produzida seja a melhor possível é importante que minimizemos a reflexão pelas paredes da caixa que contém a vela. Deste modo, a luz que tenha atravessado o vidro não retorna aos olhos do observador. Assim sendo, a única luz que, praticamente, atinge o observador é aquela proveniente da vela e do copo que brilha com a incidência da luz sobre o mesmo. Para tal, é interessante que as paredes da mesma sejam enegrecidas. Pela mesma razão, as paredes do aparato de Pepper são igualmente enegrecidas. Deste modo, uma imagem virtual, do mesmo tamanho do objeto, aparece do outro lado da superfície refletora e a uma mesma distância que o objeto gerador da referida imagem estava da lâmina de vidro. Variando-se, entretanto, o ângulo de incidência, afastando-o gradativamente da normal, a porcentagem da luz refletida vai aumentando até atingir um ângulo crítico. O ângulo crítico é aquele para o qual a luz não mais atravessa o vidro, refletindo-se, em vez disso, em direção ao observador. Em um caso como este, a imagem virtual formada assemelha-se àquela gerada por um espelho plano tendo em vista a simetria em relação à superfície refletora. Entretanto, diferentemente do caso de um espelho plano, a imagem formada pela lâmina de vidro inclinada no aparato de Pepper permite que a luz proveniente do cenário diretamente observado através dela

possa atravessá-la, fundindo-se com aquela que havia sido refletida e produzindo, assim, uma imagem que comunica uma interessante ilusão de óptica.

Na versão do fantasma de Pepper em que a imagem de uma moça funde-se com a imagem de um gorila (a casa de Monga), é essencial que o iluminamento seja devidamente regulado de modo contínuo e gradativo, para que o efeito pareça mais realista. De início a moça é iluminada intensamente, enquanto um ator fantasiado de gorila permanece oculto no escuro em uma posição simétrica à da moça em relação à lâmina de vidro. Gradativamente, a iluminação incidente sobre a moça vai diminuindo, enquanto a iluminação sobre o gorila vai aumentando na mesma intensidade. Nessa situação, os espectadores vêem uma imagem mesclada devido à reflexão do gorila no vidro. Na próxima situação a moça encontra-se, agora, no escuro e o gorila submetido à máxima iluminação. Neste caso, apenas o gorila pode ser visualizado pelos espectadores e a ilusão de uma incrível metamorfose parece ter se concretizado.

5.2 Prisma de visualização

O Cheoptics360 usa espelhos e reflexos, a pirâmide funciona como um prisma que capta a luz de um ou quatro projetores de vídeo transformando em uma imagem sólida. Como observado na Figura 29 abaixo:



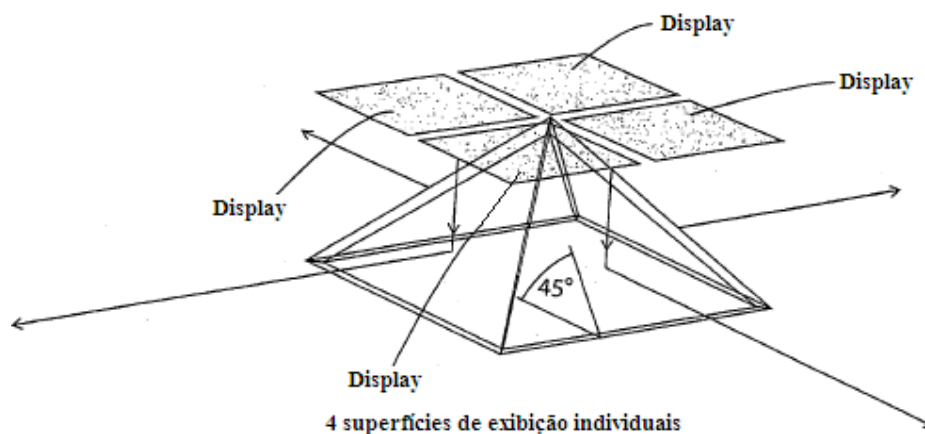


Figura 29 – Configurações disponíveis para o Cheoptics360.

5.3 Especificações

5.3.1 Descrição Técnica

Cheoptics360 é um dispositivo de projeção onde a luz é dividida entre os 4 lados de uma pirâmide de ponta cabeça. Isso cria uma ilusão da figura estar no centro do campo de visão e uma sensação de profundidade 3D já que é visível por todos os lados.

5.3.2. Área de Visualização

A área de visualização de cada lado da pirâmide é uma forma triangular com o topo retirado, temos então aproximadamente 67.5 cm de largura na base, aproximadamente 18 cm de largura no topo, e a altura da área de visualização é 25 cm (Para uma pirâmide de altura 190 cm e base de 71 cm x 71 cm). Isso se dá para se obter a ilusão de um objeto flutuando no ar, uma área de segurança tem de ser levada em conta para evitar que as imagens alcancem as bordas da pirâmide.

5.3.3. Aspectos construtivos:

O dispositivo é construído numa estrutura de alumínio com um revestimento externo de placas pretas de PVC.

5.3.4 Produção dos filmes

A produção dos filmes é baseada em rotação de imagens 3D geradas ou seqüências de vídeos produzidas de acordo com os padrões definidos pela viZoo.

5.3.5. Hardware

- 1 Video projector, 2500 ANSI lúmen
- 1 pcs Player unit

5.3.6 Métodos de utilização

A Figura 30 ilustra um layout de 4 mesmas imagens sobre uma superfície de exibição, 4 observadores que vêem o dispositivo de display de cada uma das faces da pirâmide verão a mesma imagem. Esta é uma composição útil para ver imagens e comunicar ao mesmo tempo, face a face. Isto está em contraste com 4 pessoas observando a mesma tela e então virando para confrontar uns aos outros antes de comunicar. Outra característica deste layout de imagem específico é que as imagens exibidas de duas seções de tela de display adjacentes podem combinar em um modo bastante suave quando vistas de uma direção ao longo de uma diagonal do plano de base de pirâmóide, que é uma vantagem quando uma pessoa observa a imagem enquanto se movimenta.

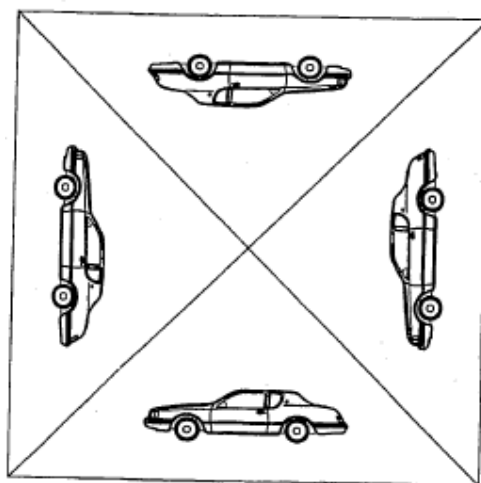


Figura 30 – Layout de 4 imagens iguais no Cheoptics360.

A semitransparência das facetas de display permite que o observador veja dentro do pirâmóide. Um observador que observa uma faceta de display verá o interior do pirâmóide de display e ao mesmo tempo verá a reflexão da imagem exibida na seção da tela de display que fica acima daquela faceta. Como a imagem sobre a tela de display está combinada com a visão do interior do pirâmóide de display está combinada com a visão do interior do pirâmóide de display, um observador terá uma forte tendência de perceber o objeto exibido como sendo um objeto físico colocado dentro do pirâmóide de display. O dispositivo de exibição assim toma o aspecto bidimensional provido por um display bidimensional e o transforma no que pode ser denominado uma imagem quase 3D.

Um aspecto espacial adicional pode ser acrescentado girando o objeto dinamicamente. O cérebro de um observador criará um a imagem 3D de um objeto de informações de imagem 2D providas pela exibição do objeto em rotação. Em qualquer cenário, as imagens sobre a superfície de exibição podem ser imagens paradas ou móveis.

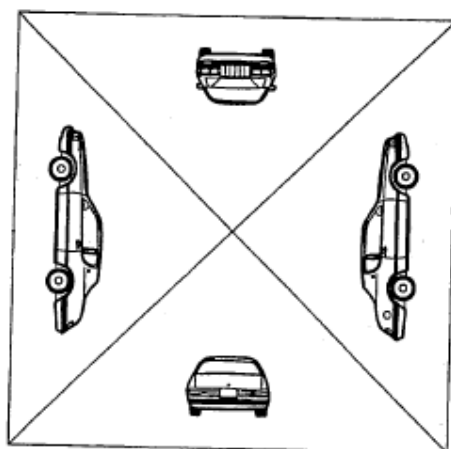


Figura 31 – Layout de 4 imagens diferentes no Cheoptics360.

A Figura 31 ilustra um dispositivo de display em que as imagens sobre a superfície de exibição estão compostas por gravações de um objeto de 4 ângulos diferentes separados por 90 graus. Um observador caminhando ao redor do dispositivo de display experimentará um aspecto espacial do objeto acrescentado por este layout específico, no topo da experiência quase 3D inerentemente provida pelo dispositivo.

5.4 Aspectos tecnológicos e construtivos

Para a construção do protótipo do Cheoptics 360 decidimos utilizar 2 métodos diferentes, para fins de comparações dos resultados futuros.

Construímos a pirâmide com configurações diferentes: filme de Polietileno para embalagens e armação de aço; vidros finos e armação da base de aço. As barras de aço foram obtidas através da serragem de um vergalhão (vergalhão é uma barra de aço com superfície nervurada, obtida por laminação a quente de tarugos de lingotamento contínuo e utilizado em armaduras para cimento armado) disponível para compra em qualquer loja de material de construção.



Figura 32 – Vergalhão.

O filme de Polietileno escolhido foi o Stretch (esticável) com 25 μ de espessura, que possui alta taxa de alongamento e alta capacidade de resistência. O filme foi adquirido em uma loja de venda de filmes para embalagens na forma de bobina.



Figura 33 – Bobina de filme de Polietileno.

O vidro utilizado foi o cristal, transparente e com 2 mm de espessura, procuramos uma vidraçaria para a customização e corte dos vidros no formato desejado.

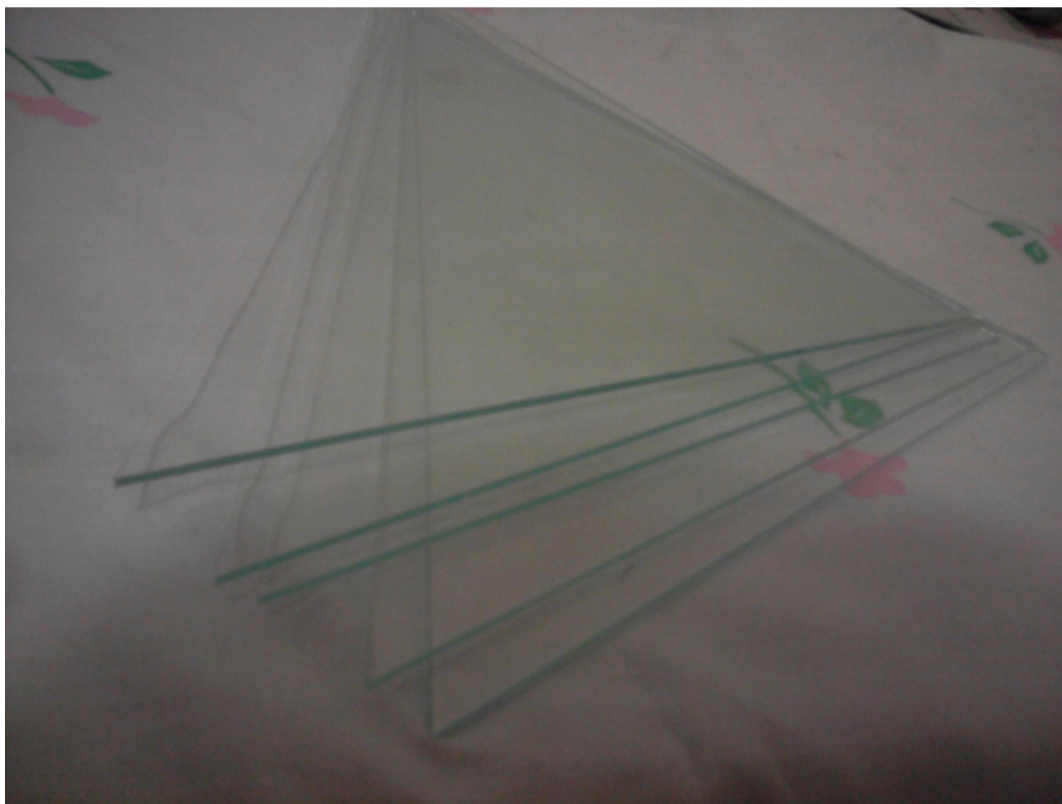


Figura 34 – Vidro cristal transparente com 2mm de espessura.

Ambas as pirâmides são construídas para funcionarem com o mesmo monitor LCD de 17" polegadas como display do sistema, optamos pela configuração de apenas uma superfície de exibição.

As pirâmides possuem como lados triângulos isósceles de base 230 mm e altura 162.6 mm, limitações oriundas do monitor LCD. A área de visualização será restringida pelo tamanho do monitor, pelo tamanho da pirâmide e por uma área de segurança que evita o alcance das imagens nas bordas das pirâmides. As configurações estão esquematizadas abaixo, todas as medidas estão em milímetros.

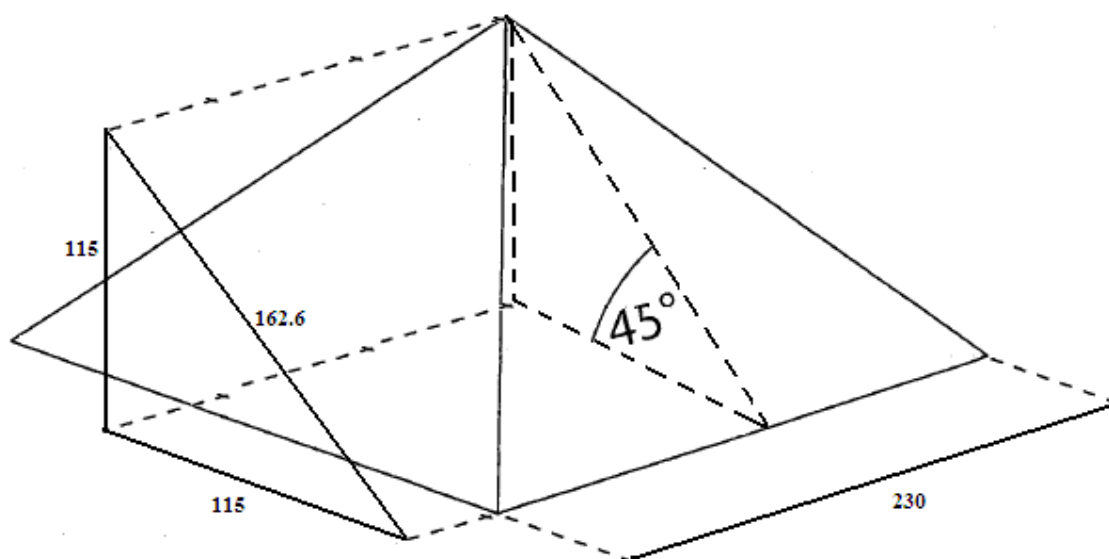


Figura 35 – Geometria dos protótipos do Cheoptics 360.

A produção dos filmes foi feita através do software Autodesk 3ds Max 9, anteriormente conhecido como 3d Studio Max, que é um programa de modelagem tridimensional que permite renderização de imagens e animações. Sendo usado em: produção de filmes de animação, criação de personagens de jogos em 3D, vinhetas e comerciais para TV, maquetas eletrônicas e na criação de qualquer mundo virtual.



Figura 36 – Autodesk 3ds Max 9.

Um modelo em 3D é definido e manipulado para servir como display para as 4 superfícies. A animação é criada em fundo negro e rotacionada ininterruptamente de 360 graus, de 90 em 90 graus, para melhor visualização da imagem e sensação de tridimensionalidade. A animação é criada através de cada frame de imagem e o

resultado final pode ser salvo em um arquivo de vídeo cujo formato é escolhido pelo usuário, é possível escolher o número de frames e o frame inicial/final de animação. Dentre as ferramentas de edição no software as mais relevantes são: a capacidade de utilização de diferentes vistas da imagem: topo, direita, esquerda, frente, atrás, em baixo, perspectiva; manipulação dos objetos com ferramentas de arrastar e soltar; a ferramenta de criação da animação que possui uma “Autokey” que permite criar uma animação com 3 ações; ferramentas de edição fácil de usar e de duplicar objetos e grupos de objetos. Exemplo de modelo no 3ds Max pode ser observada a abaixo.

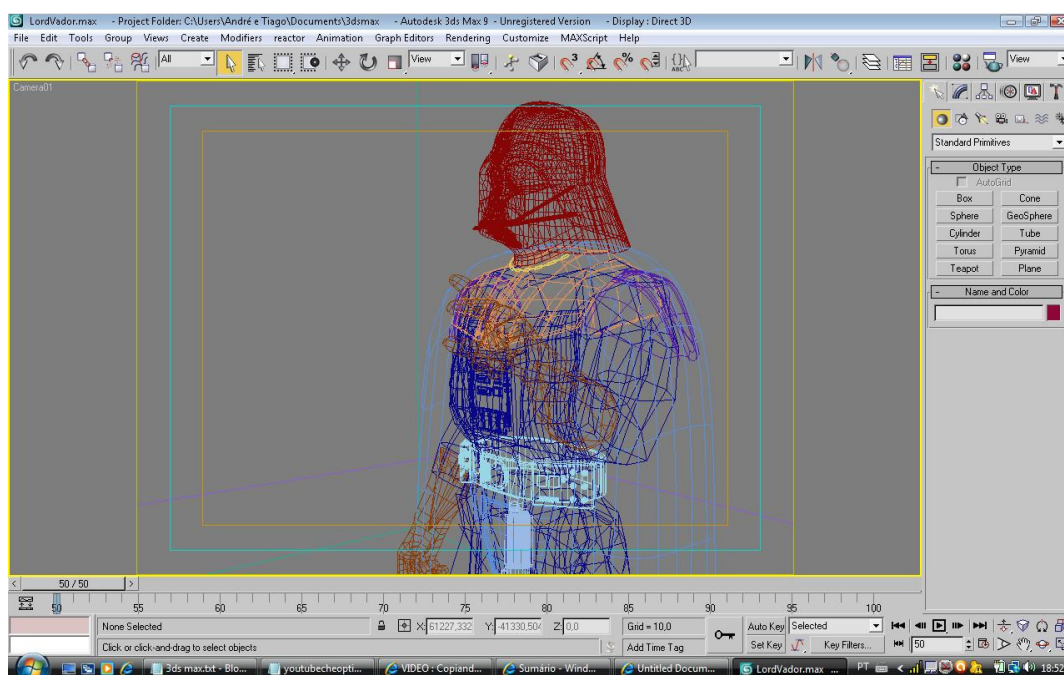


Figura 37 – Imagem modelada tridimensionalmente usando o 3ds Max 9.

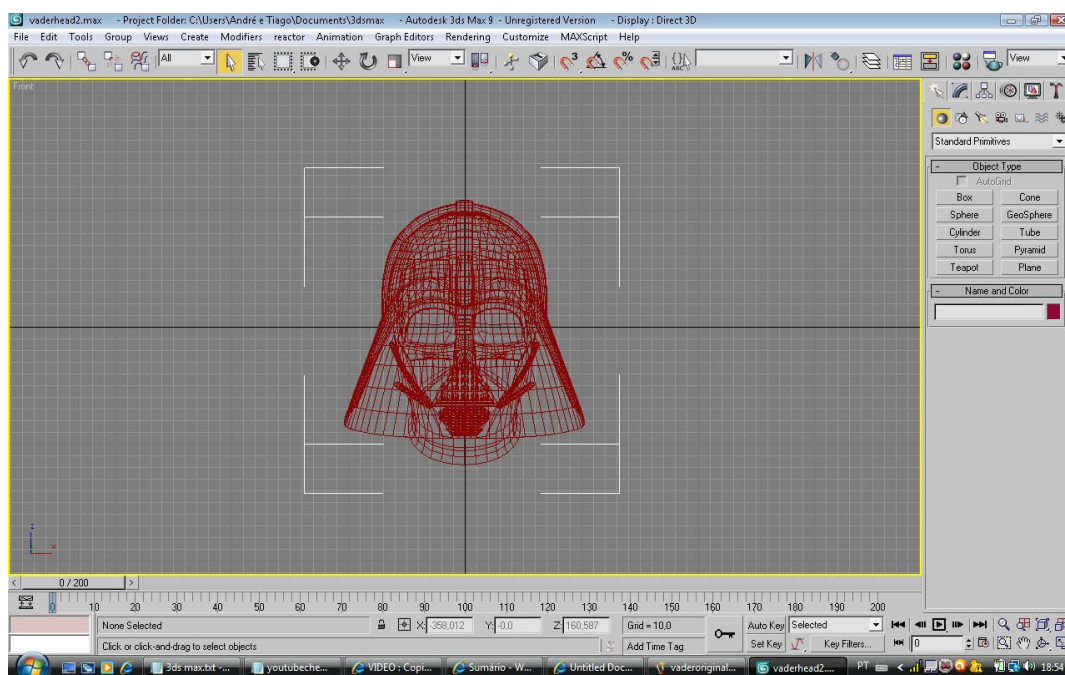


Figura 38 – Modelo tridimensional editado pelo 3ds Max 9.

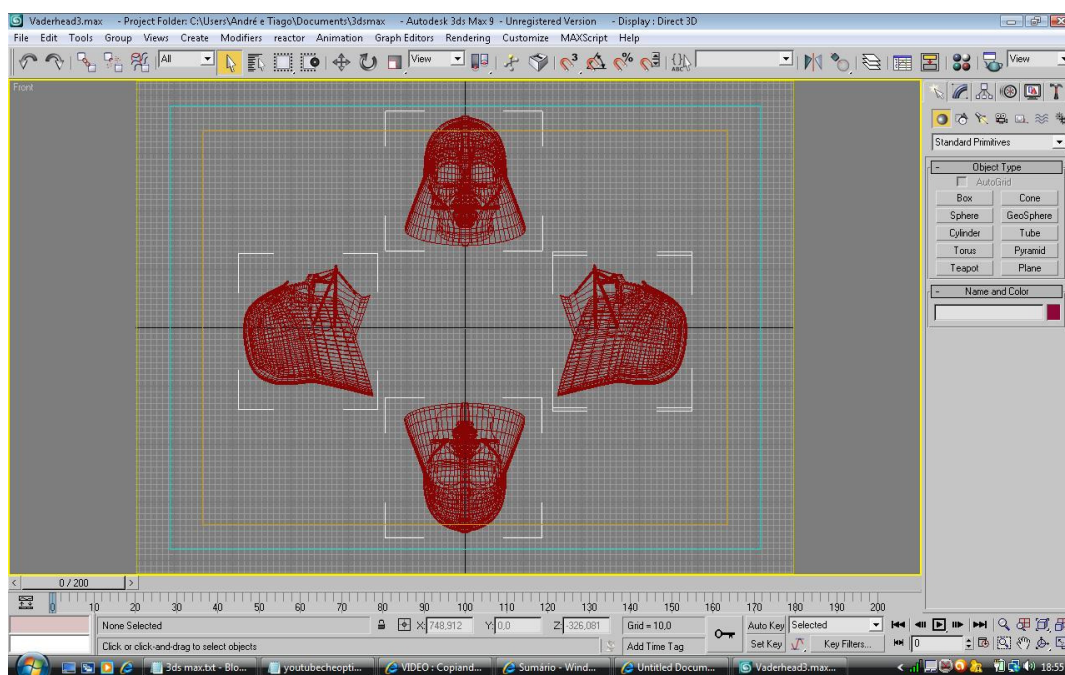


Figura 39 – Modelo tridimensional final.

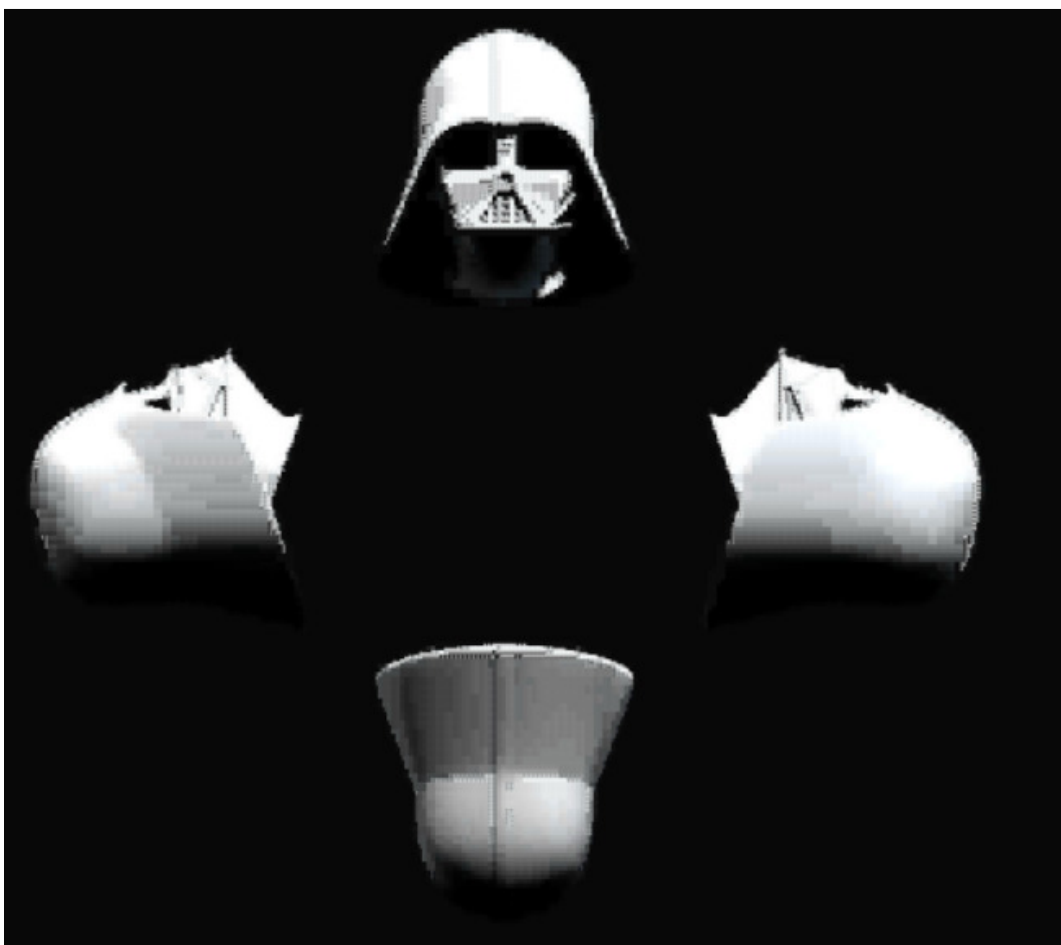


Figura 40 – Instantâneo do vídeo tridimensional final.



Figura 41 – Protótipo 1 feito de vidro.



Figura 42 – Protótipo 2 feito de filme de Polietileno.

Ambos protótipos foram bem sucedidos e houve a reflexão da imagem como esperado. Entretanto pudemos perceber uma melhor visualização no protótipo 1 feito de vidro, devido a propriedade ótica do material que é muito superior à do protótipo 2. Continuando a comparação entre os dois protótipos, é visível também que o protótipo 2 é mais sujeito às imperfeições de fabricação, visto que o filme de polietileno é passível de apresenta rugas e deformações. A princípio o custo do filme de polietileno seria infimamente inferior ao dos vidros, entretanto devido a dificuldade de obtenção dos filmes de polietileno, vendidos só em bobinas e por kg de material, o custo dos vidros foi menor, resultando em um custo-benefício muito melhor para o protótipo de vidro. Analisando a mão-de-obra empregada, constatamos que não houve variação na dificuldade de confecção entre um e outro. O principal ponto a favor do protótipo de filme é a facilidade de transporte e baixa periculosidade do material, não havendo muitos problemas caso a superfície seja exposta e/ou danificada, o que não acontece com o protótipo de vidro.



Figura

43 – Imagem tridimensional resultante do protótipo 1.



Figura 44 – Imagem tridimensional resultante do protótipo 2.

6. Estereoscopia Passiva

A estereoscopia passiva é praticamente um sinônimo de imagem 3D para a maioria das pessoas. Consagrada por sua praticidade, imagem de razoável qualidade e por não demandar grande investimento em equipamentos especializados esta técnica se difundiu nas salas convencionais de cinema.

6.1 Princípio básico

Este método usa características do olho humano e o princípio da independência dos raios luminosos para criar a sensação de profundidade. Nosso cérebro consegue definir a profundidade em uma imagem a partir da “fusão” de duas imagens obtidas de posições ligeiramente diferentes que são obtidas através de nossos olhos (separados de uma pequena distância um do outro).

Da mesma forma, podemos projetar em uma mesma tela duas imagens. Cada imagem destinada a um e, somente um, olho em específico. E isto é possível devido ao princípio da independência dos raios luminosos que diz que quando dois raios luminosos se cruzam, um não interfere na trajetória do outro. Cada um se comporta como se o outro não existisse. Desta forma, projetando duas imagens em uma mesma tela, cada uma se comporta como se a outra não existisse.

Usando soluções geométricas entre os olhos e o valor da disparidade (nome dado à separação física de pontos semelhantes em duas imagens estereoscópicas), pode ser calculada a profundidade (eixo Z) dos pontos da cena. Sem os olhos, não seria possível ter a noção de perspectiva, portanto eles são as principais ferramentas para a estereoscopia. Em um sistema de estereoscopia, duas câmeras com a mesma capacidade e características são usadas para simularem os olhos humanos, tornando-se assim factível a obtenção de informações de profundidade a partir de fotos.

A figura 45 esquematiza um olho humano com suas partes principais, mostra como a imagem é formada na retina, fazendo uma comparação com uma câmera. A primeira função dos olhos é focalizar a luz. Seu funcionamento é similar ao de uma câmera fotográfica, onde os raios de luz penetram pela córnea, que possui um grande poder de focalização. A íris regula a quantidade de luz que entra nos olhos, aumentando ou diminuindo o tamanho da pupila (abertura central da íris). A luz então viaja através do cristalino, que faz o ajuste fino na focalização sobre a retina, localizada

na parte posterior do olho, atuando como se fosse o filme da câmera. A retina transforma a luz em impulsos elétricos, que são levados pelo nervo óptico até o cérebro, possuindo de 6 a 7 milhões de foto receptores, denominados cones, sensíveis a níveis altos de luminosidade e cores, e 75 a 150 milhões de foto receptores, denominados bastonetes sensíveis a níveis baixos de luminosidade.

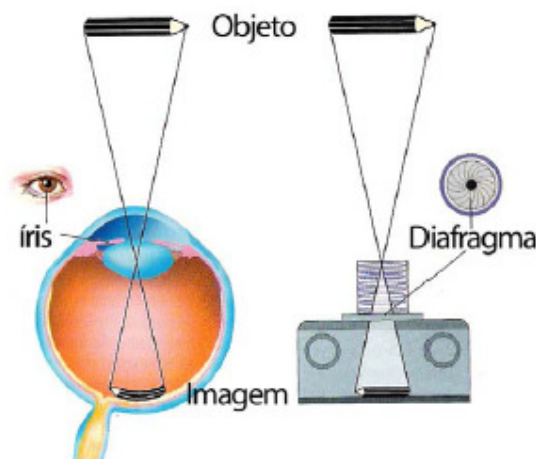


Figura 45 – No olho humano, a imagem é formada na retina, semelhantemente a uma câmera.

Assim como no sistema de percepção de uma imagem pelo olho humano, dado que a exibição de um objeto 3D em uma tela de computador ou em uma folha de papel exige o mapeamento de um sistema de coordenadas 3D em um 2D, operações de projeção são requeridas. Em geral, entende-se como projeção, o processo de mapear um sistema de coordenadas de dimensão “ n ” em um de dimensão menor ou igual a “ $n-1$ ”.

Uma transformação perspectiva projeta pontos 3D em um plano, ou seja, ela realiza uma aproximação do mundo 3D real. É importante ressaltar que a formação da imagem na retina do olho ou na câmera fotográfica utilizam o processo da projeção perspectiva.

De acordo com a figura 46, percebe-se que o sistema de coordenadas da câmera (x, y, z) tem o plano da imagem coincidente ao plano xy e ao eixo óptico coincidente ao eixo z . O centro do plano da imagem localiza-se na origem e o centro da lente é a coordenada $(0, 0, \lambda)$. Sendo λ a distância focal das lentes, é assumido que o sistema de

coordenadas da câmera está alinhada com o sistema de coordenadas do mundo (X, Y, Z) .

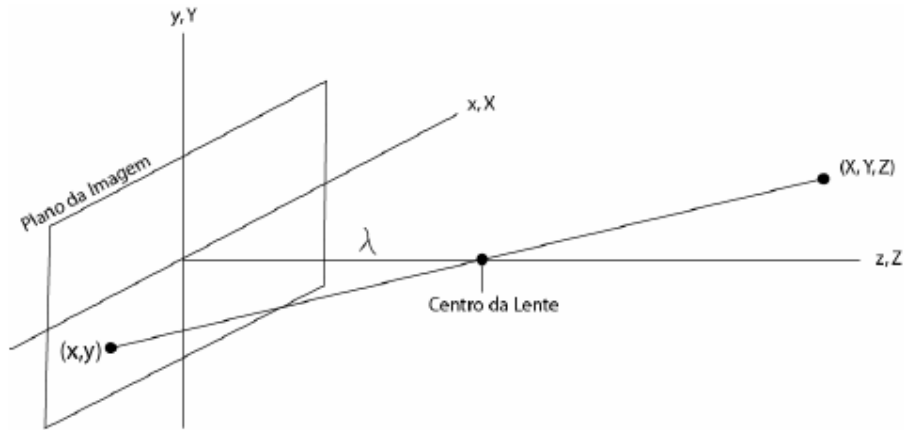


Figura 46 – O sistema de coordenadas da câmera (x, y, z) está alinhado com o sistema de coordenadas do mundo (X, Y, Z) .

Considera-se $Z > \lambda$, ou seja, todos os pontos de interesse estão na frente da lente. Com o objetivo de descobrir as coordenadas (x, y, z) a partir das coordenadas (X, Y, Z) , é feita a relação de semelhança de triângulos:

$$\frac{x}{\lambda} = -\frac{X}{Z - \lambda} = \frac{X}{\lambda - Z} \quad (1)$$

$$\frac{y}{\lambda} = -\frac{Y}{Z - \lambda} = \frac{Y}{\lambda - Z} \quad (2)$$

onde os sinais negativos que acompanham X e Y indicam que estes pontos estão invertidos.

Isolando x e y , pode-se deduzir que:

$$x = \frac{\lambda X}{\lambda - Z} \quad (3)$$

$$y = \frac{\lambda Y}{\lambda - Z} \quad (4)$$

Estas equações são não lineares, pois elas envolvem divisão pela variável Z . Embora seja possível usar as equações do jeito que se encontra, é mais conveniente expressá-las numa forma de matriz linear. Isto é facilmente alcançado usando as coordenadas homogêneas.

As coordenadas homogêneas de um ponto com coordenadas cartesianas (X, Y, Z) são definidas como (kX, kY, kZ, k) , onde k é um número arbitrário diferente de zero.

Obviamente, para converter coordenadas homogêneas para coordenadas cartesianas, é necessária a divisão das três primeiras coordenadas pela quarta.

Um ponto no sistema de coordenadas cartesianas pode ser expresso na forma de vetor como:

$$w = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (5)$$

e na forma de coordenadas homogêneas por:

$$w_h = \begin{bmatrix} kX \\ kY \\ kZ \\ k \end{bmatrix} \quad (6)$$

A matriz de transformação perspectiva é dada como:

$$p = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{-1}{\lambda} & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

O produto $P_{wh} =$ gera um vetor c_h (Vetor de Coordenadas Homogêneas da Câmera):

$$c_h = P_{wh} \quad (8)$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{-1}{\lambda} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} kX \\ kY \\ kZ \\ k \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$= \begin{bmatrix} kX \\ kY \\ kZ \\ -\frac{kZ}{\lambda} + k \end{bmatrix} \quad (10)$$

os elementos de c_h são as coordenadas da câmera em forma homogênea.

A partir das equações 3 e 4, torna-se possível deduzir as fórmulas 11 e 12:

$$X = \frac{x}{\lambda} (\lambda - Z) \quad (11)$$

$$Y = \frac{y}{\lambda} (\lambda - Z) \quad (12)$$

e portanto, estas mostram que não é possível achar z com uma imagem apenas, pois não é possível obter a variável z .

As equações 13, 14 e 15 mostram que tanto X , Y e Z dependem da variável desconhecida z .

$$X = \frac{\lambda x}{\lambda + z} \quad (13)$$

$$Y = \frac{\lambda y}{\lambda + z} \quad (14)$$

$$Z = \frac{\lambda z}{\lambda + z} \quad (15)$$

Logo, sabemos que a estereoscopia envolve o uso de no mínimo duas imagens separadas. Um único ponto P (pertencente ao objeto real) estará em discussão.

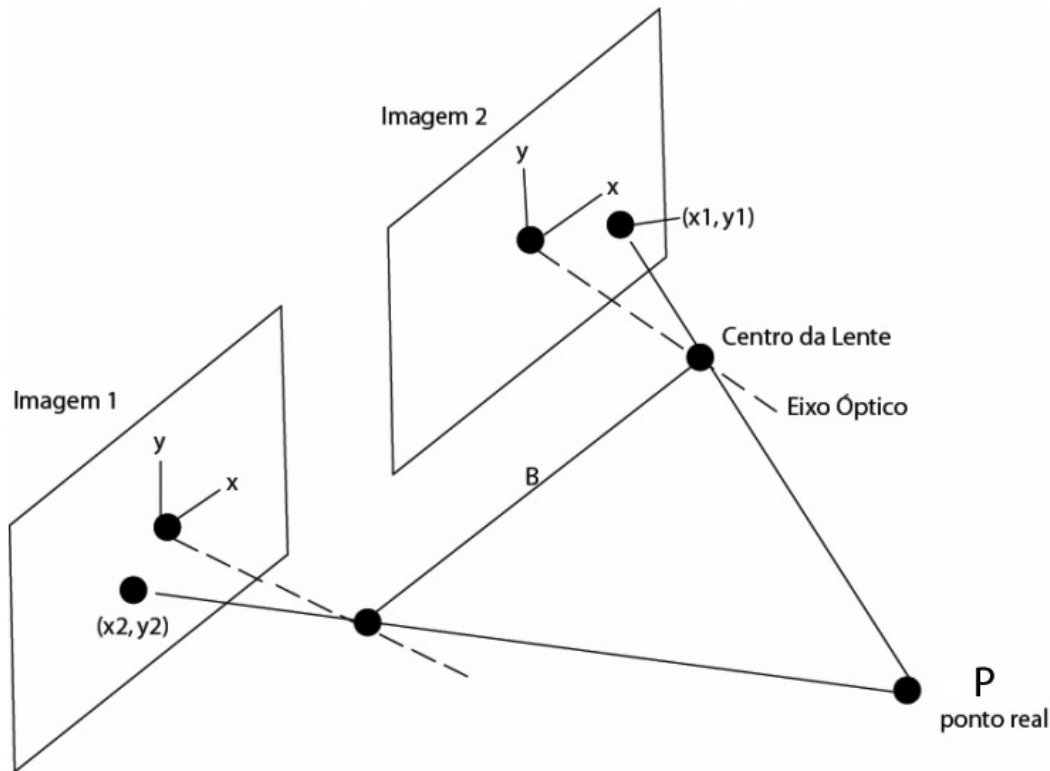


Figura 47 – Esquemático de um sistema de estereoscopia.

A distância entre os centros das duas lentes é chamado de linha base (baseline), e o objetivo é encontrar as coordenadas (X, Y, Z) do ponto P tendo dois pontos de imagens $P_1 (x_1, y_1)$ e $P_2 (x_2, y_2)$. Assume-se que as câmeras são iguais e que o sistema de coordenadas de ambas as câmeras estão perfeitamente alinhadas, diferindo apenas na localização de suas origens.

Portanto, a coordenada Z de P é exatamente a mesma para ambos os sistemas de coordenadas das câmeras.

Então, é conhecido pelas equações 11 e 12 que:

$$X_1 = \frac{x_1}{\lambda} (\lambda - Z_1) \quad (16)$$

$$X_2 = \frac{x_2}{\lambda} (\lambda - Z_2) \quad (17)$$

Entretanto por causa da separação entre as câmeras, e visto que a coordenada Z de P é semelhante para ambos os sistemas de coordenadas das câmeras, segue que:

$$X_2 = X_1 + B \quad (18)$$

$$Z_2 = Z_1 = Z \quad (19)$$

Sendo B a linha base, substituindo as equações 18 e 19 nas equações 16 e 17 têm-se:

$$X_1 = \frac{x_1}{\lambda} (\lambda - Z) \quad (20)$$

$$X_1 + B = \frac{x_2}{\lambda} (\lambda - Z) \quad (21)$$

E finalmente têm-se a fórmula final de Z:

$$Z = \lambda - \frac{\lambda B}{x_2 - x_1} \quad (22)$$

Assim, pela equação 22, uma vez obtidas as coordenadas x_1 e x_2 das duas imagens e conhecendo-se λ e B, é fácil a obtenção de Z. Este par de imagens estereoscópico pode ser captado por meio de máquinas fotográficas e câmeras filmadoras para posterior reprodução ou ser produzido por meio de softwares para modelagem virtual. Se as imagens forem captadas para posterior reprodução têm-se a tarefa mais difícil no processo de obtenção de informações de profundidade numa visão estereoscópica, que é achar dois pontos correspondentes nas duas diferentes imagens da mesma cena. O estudo dessa correspondência (matching) foge do escopo desse trabalho e pode ser encontrada em ASSAF [16]. Caso as imagens sejam produzidas por softwares, como o 3DStudio Max e o SketchUp, não haverá essa dificuldade pois eles possuem recursos para geração de pares estereoscópicos a partir de uma determinada posição.

Embora com bastante esforço e persistência, seja possível visualizar corretamente um par estereoscópico sem o auxílio de meios óticos, é fato que a maioria encontra grande dificuldade. A visão de um par estereoscópico sem meios óticos é antinatural, pois se deve recondicionar um treinamento de toda a vida (a convergência-acomodação).

O olho está olhando para fotos próximas, mas o cérebro percebe ângulos paraláticos de um objeto distante, o que confunde o sistema visual. A maneira mais simples de contornar este problema é introduzir algum meio auxiliar. É neste ponto que os óculos atuam, separando as imagens.

6.2 Óculos anaglifos

Estes óculos utilizam duas lentes de cores diferentes complementares. Geralmente azuis e vermelhas. Na tela são projetadas uma imagem azulada e uma avermelhada. Quando usamos os óculos, o olho por trás da lente azul só enxerga a imagem vermelha já que a lente absorve toda a imagem azulada. Processo análogo acontece com o olho atrás da lente vermelha. Cada olho enxerga imagens diferentes e nosso cérebro as processa e nos dá a sensação de profundidade. O sistema de anaglifos apresenta como grande vantagem o fato de ser de fácil implementação, porém, o uso contínuo dos óculos bicolores se torna muito cansativo. Além disto não é possível visualizar imagens com todas as cores.

6.3 Óculos Polarizados

A primeira abordagem desse processo, a luz é projetada através de dois slides que formam um par estereoscópico que passa por filtros polaróides, com planos de polarização ortogonais entre si. O observador, utilizando óculos compostos por um par de filtros polaróides, também com planos de polarização ortogonais entre si (em correspondência com os filtros polaróides dos dois projetores) verá em cada olho apenas a imagem projetada através de um dos slides (um para cada olho), que o cérebro se encarrega de fundir, gerando a visão tridimensional.

A segunda abordagem desse processo, a tela é coberta com um painel polarizador, e as duas imagens são apresentadas seqüencialmente na tela, sendo a primeira imagem formada apenas pelas linhas pares da tela, e a segunda imagem mostrada nas linhas ímpares da tela. O painel polarizador faz com que as linhas pares sejam polarizadas em uma direção ortogonal à polarização que é dada as linhas ímpares.

A utilização de óculos polarizados permite que cada olho receba as imagens individualmente. Neste método, como os óculos são compostos de elementos passivos (chapas polaróides) de fácil construção, apresentam custo, tamanho e peso reduzidos. As dificuldades ficam por conta da construção da placa polarizadora que fica montada sobre a tela de imagens.

6.4 Esquema de instalação

Para operacionalizarmos este método necessitamos de dois projetores alinhados de forma precisa. Cada projetor deverá projetar imagens diferentes, deslocadas de aproximadamente 8 cm (distância aproximada entre os olhos humanos).

Caso utilizemos óculos anaglifos devemos projetar imagens azuladas e avermelhadas. Em caso de uso de óculos polaróides devemos posicionar filtros polaróides perpendiculares entre si na frente das saídas dos projetores.

Não foi priorizada a construção de um protótipo para essa técnica devido a necessidade de 2 projetores, não tão fáceis de obter, e por ser um método vastamente conhecido pelo público.

7. Espelho Giratório

O espelho giratório faz parte do grupo de técnicas volumétricas e consiste basicamente de um espelho girante que reflete a imagem gerada por um projetor de alta velocidade por todas as direções em volta do espelho. O projetor deve reproduzir os efeitos visuais encontrados na natureza como perspectiva, paralaxe horizontal e vertical e oclusão (mudança na iluminação dada a geometria de um ambiente). O dispositivo é capaz de gerar imagens pela combinação da alta rotação do espelho, da alta qualidade e velocidade do projetor e das propriedades do material do espelho. Veremos primeiramente como o material do espelho influencia esse dispositivo.

7.1 Material

Anteriores dispositivos de projeção volumétrica projetaram imagem em um plano difuso giratório que espalhavam a luz em todas as direções. Tais dispositivos não conseguiam recriar efeitos dependentes do ponto de vista, um dispositivo com uma superfície holográfica anisotrópica difusiva unida a uma primeira superfície espelhada consegue. A superfície espelhada reflete cada pixel do projetor para uma estreita faixa de pontos de vista. O difusor holográfico oferece controle sobre a largura e altura dessa região. A característica do difusor é tal que a difusão relativa entre x e y é aproximadamente 1:200. Horizontalmente, a superfície é fortemente especular para manter uma separação de 1.25 graus entre as vistas. Verticalmente, o espelho espalha amplamente de modo que a imagem projetada pode ser vista essencialmente de qualquer altura. A Figura 46 mostra as características da reflexão anisotrópica do sistema espelhado.

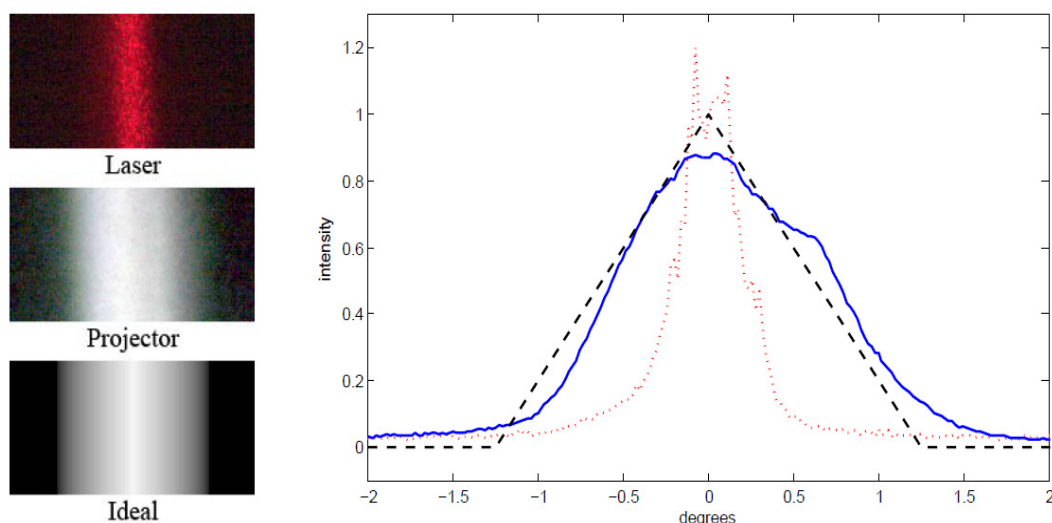


Figura 48 – Gráficos dos perfis de intensidade horizontal das imagens à esquerda. (A linha pontilhada vermelha é o laser, a linha contínua azul é o projetor e a linha tracejada preta é a função de interpolação bilinear).

7.2 Características

O perfil horizontal do lobo especular aproxima uma interpolação bilinear entre pontos de vistas adjacentes, o movimento do espelho adiciona um pouco de borrão extra que melhora a reprodução de imagens de semitônicas ao custo da resolução angular. O difusor holográfico anisotrópico e o espelho são montados em um painel de fibra de carbono e anexado em uma polia de alumínio a 45 graus.

A polia gira em sincronia com as imagens projetadas. O sistema é sincronizado como a seguir. Como a saída da taxa de quadros do cartão gráfico do PC é relativamente constante e não pode ser sintonizada precisamente durante o movimento, usa-se a taxa de saída de vídeo do PC como o sinal mestre para sincronização do sistema. Como o espelho roda até 20 vezes por segundo, a persistência da visão cria a ilusão de um objeto flutuando no centro do espelho.

Assumindo que o espelho giratório é centrado na origem e que seu eixo de rotação é o eixo y , com o vídeo projetor no ponto nodal P acima do espelho como na Figura 47. Assumindo também que o ponto de vista para obter a perspectiva correta é a uma altura h e uma distância d do eixo y . Pela simetria rotacional do sistema, é possível produzir imagens da correta perspectiva de qualquer posição do círculo V definido por h e d , dispondo imagens para um observador de frente para o dispositivo já que h e d

serão similares para ambos os olhos. Nós definimos um ponto de vista particular do círculo V como V' . Na prática, o conjunto de pontos de vista V na perspectiva correta não precisam ser um círculo contínuo e plano e pode ser uma variedade de posições de observadores a diferentes distancias e alturas.

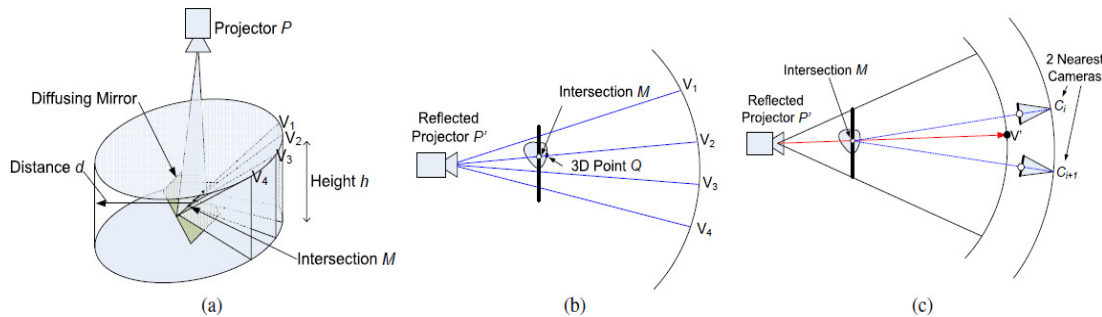


Figura 49 – Figuras ilustrativas do funcionamento teórico do espelho giratório. (a) Intersecção de um raio de luz difundido com lugar geométrico circular de pontos de vista. (b) Vendo de cima, raios deixando o espelho divergem do ponto nodal refletido do projetor para múltiplos pontos de vista. O ponto de vista correspondente ao vértice Q é encontrado pela intersecção do plano vertical que contém o raio $P'Q$ com o círculo de vistas V . (c) Quando pré-processando um campo de luz, o ponto de intersecção V' determina a vista horizontal mais próxima para estudo.

Como o espelho dispõe pouca difusão horizontal, cada pixel (u,v) do projetor manda luz até um específico ponto de vista V' em V . Se a imagem a ser projetada é um modelo poligonal 3D, é preciso determinar para qualquer vértice Q no espaço onde ele deveria ser desenhado na imagem do projetor para qualquer dada posição do espelho. Para fazer isso, o sistema é observado de cima e nota-se que no plano horizontal o espelho anisotrópico se comporta como um espelho normal. O caminho óptico é descoberto ao refletir a posição P do projetor até P' através do plano do espelho como visto na figura 47(b). Um raio originado em P' passando por Q vai continuar para o espaço até os observadores.

Esse raio $P'Q$ não vai, geralmente, intersectar o círculo de vista V . Assumindo que o espelho difunde raios em um plano vertical, intersecta-se o plano vertical contendo $P'Q$ com o círculo de vista V para determinar o ponto de vista V' de onde Q vai ser visto com o espelho na sua dada posição.

Traçando um raio do ponto de vista V' na direção de Q até que intersecta a superfície do espelho em M . M é um ponto do espelho que reflete a luz para o observador vinda da direção de Q . Para desenhar nesse ponto do projetor, precisa-se simplesmente projetar M para cima na direção do ponto nodal P do projetor para achar o pixel (u,v) correspondente.

Iluminando um pixel em (u,v) vai fazer aparecer do ponto de vista V' que o ponto 3D q foi iluminado. Q vai eventualmente ser desenhado já que deve ser visto de todos os outros pontos de vista em V enquanto o espelho roda.

7.3 Projeto

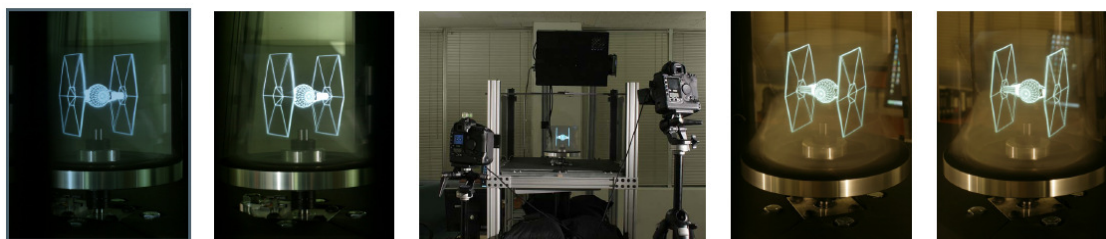


Figura 50 – Spinning Mirror de Jones et al (2007)

Analisaremos os métodos de Jones et al (2007) cujo trabalho é baseado no aparelho de Cossairt et al (2007). Esta máquina é composta basicamente de 3 partes: um sistema mecânico com um espelho girante, um projetor de alta velocidade modificado e um computador comum dotado de uma placa de aceleração gráfica com saída DVI (no caso nVidia 8800).

Com esta montagem pode-se projetar imagens em preto e branco de 768x768 pixels atingindo toda a volta de 360 graus com resolução angular de 1,25 graus e taxa de atualização visual de 15 a 20 hz. O sistema também é dotado de um dispositivo de “head tracking” para que a paralaxe vertical seja ajustada de acordo com a altura e a distância do espectador.

Para discutirmos as modificações feitas no projetor introduziremos algumas tecnologias que fazem parte do projeto.

7.4 DLP

Digital Light Processing , ou DLP, é uma tecnologia criada por Larry Hornbeck e William E. Nelson nos laboratórios da Texas Instruments em 1987. Um chip DLP, ou

DMD (Digital Micromirring Device), é composto por centenas de milhares de espelhos microscópicos dispostos em uma matriz retangular onde cada espelho corresponde a um ou mais pixels da imagem gerada. Os espelhos são feitos de alumínio com, em média, 16 micrometros de diagonal e são montados em uma dobradiça de torção (torsion hinges) podendo rotacionar de 10 a 12 graus para cada lado.

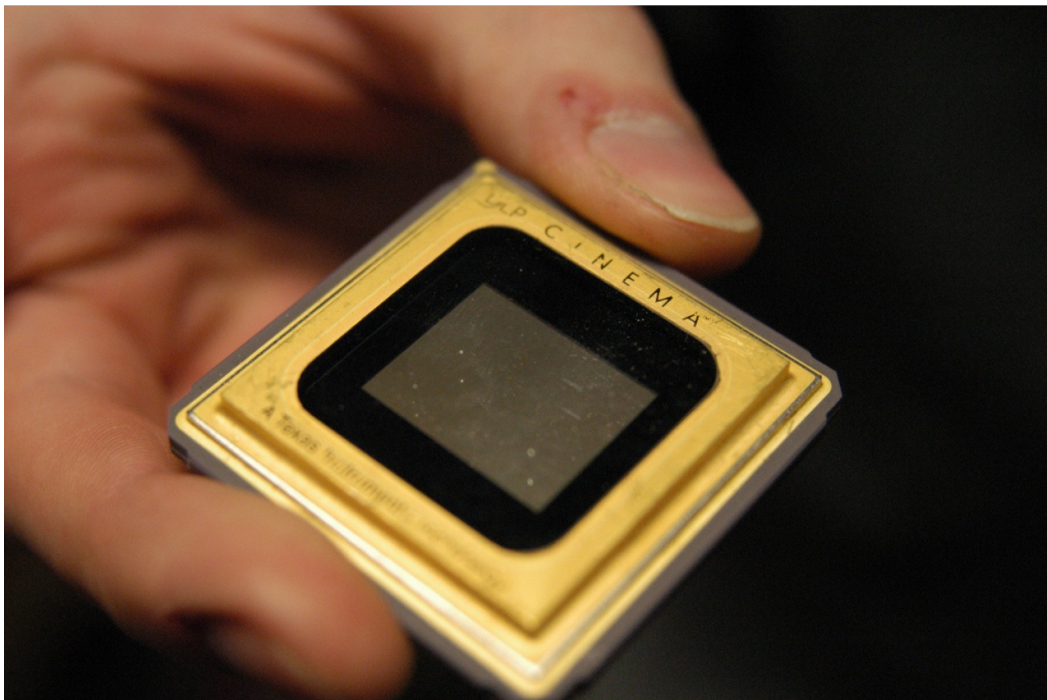


Figura 51 – DMD de um circuito DLP

Para a formação da imagem o DMD recebe palavras de controle que comandam os espelhos individualmente, ordenando que ele reflita a luz da lâmpada para a lente de projeção (ON) ou para um dissipador de calor (OFF), também chamado de “Light Dump”. Assim são formados pixels claros ou escuros na imagem projetada. Para gerar escalas de cinza os espelhos são ligados e desligados rapidamente. A proporção entre o tempo em que os espelhos ficam em ON e o tempo que ficam em OFF determina a escala de cinza apresentada na tela. DMDs atuais conseguem atingir até 1024 escalas de cinza.

Para a projeção de imagens em cores pode se usar um DMD (single-chip) refletindo todas as cores primárias ou 3 DMDs (three-chip), um para cada cor primária.

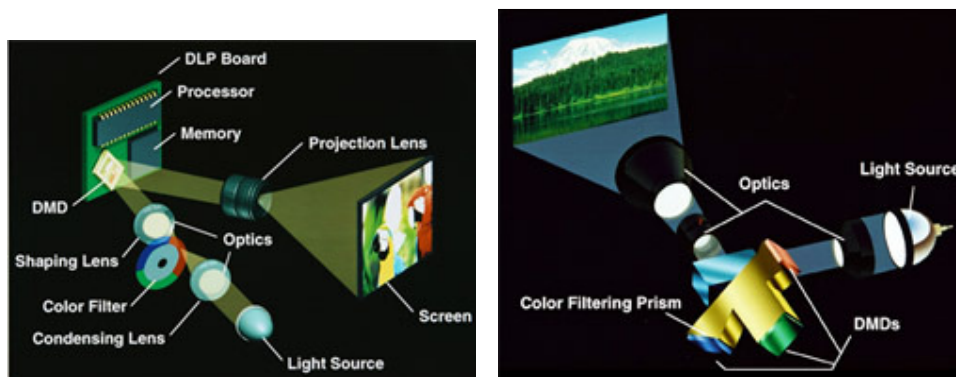


Figura 52 – Formação de imagens coloridas na tecnologia DLP

7.5 DVI

Digital Video Interface, ou DVI, é um padrão criado para fornecer imagens de alta qualidade para displays digitais. Desenvolvido pelo consórcio Digital Display Working Group (DDWG) para substituir o padrão VGA transportando vídeo digital sem compressão.

Um DVI simples (single DVI) é formado por quatro pares trançados (vermelho, verde, azul e clock) para transmitir 24 bits por pixel. A imagem é transmitida linha por linha com intervalo entre cada linha e cada frame sem estruturação em pacotes. A maior resolução possível em um single DVI a 60hz é de 2,75 megapixels, ou 1915×1436 pixels (standard 4:3), 1854×1483 pixels (5:4), ou 2098×1311 (widescreen 16:10).



Figura 53 – Conector DVI

7.6 FPGA

Um Field-programmable gate array é um circuito integrado desenvolvido para ser configurado após sua manufatura. Geralmente a configuração da FPGA é feita através de uma linguagem de descrição de hardware como a HDL. Uma FPGA pode realizar qualquer operação que um circuito integrado para aplicação específica (ASICs) pode fazer. Algumas FPGAs também dispõem de recursos analógicos (como manipulação de slew rate) além dos recursos lógicos digitais.



Figura 54 – Chip FPGA

7.7 Customização do projetor

Para que possamos transformar um projetor DLP comum em um projetor de alta velocidade associamos uma nova placa de controle DLP com um circuito baseado em FPGA capaz de decodificar o sinal recebido através da interface DVI. Ao invés de 24 bits representarem um pixel colorido de um frame a FPGA modifica o sinal de forma que estes mesmos 24 bits representam um pixel binário (preto ou branco) em 24 frames diferentes. Desta forma, um projetor trabalhando a uma taxa de atualização de 60hz na verdade projetará 60×24 imagens = 1440 imagens. Aumentado a taxa de atualização de atualização para 200hz temos $200 \times 24 = 4800$ frames por segundo de imagens binárias.

Utilizando uma resolução angular de 1,25 graus precisamos de $360/1,25 = 288$ imagens por revolução. Com uma geração de 4800 frames por segundo podemos

atualizar cada um dos 288 frames que compõem a imagem 3D $4800/288 = 16,6$ vezes por segundo.

A equipe do projeto de Jones et al (2007) disponibiliza a placa modificada com a FPGA para venda através da Polaris Road, Inc. Trata-se do projeto MULE (Multi-Use Light Engine) que se integra com uma placa controladora DLP da família Discovery 1100 comercializada pela Texas Instruments. Tanto o DMD Discovery 1100 quanto a placa controladora DLP podem ser adquiridas através da Visitech (<http://www.visitech.no>).

7.8 Sistema mecânico

A parte mecânica do projeto deve ser composta, basicamente por um motor, um sistema de controle do motor, uma plataforma girante acionada pelo motor e um espelho plano de superfície frontal revestido com um difusor holográfico.

Em um espelho plano de superfície frontal o espelhamento é feito através da deposição de alumínio sobre uma base (geralmente vidro ou acrílico) se opondo a espelhos convencionais onde o espelhamento é feito por “trás” da superfície base. Assim, no espelho de superfície frontal a luz não passa pela superfície base antes de ser refletida. Espelho como o usado não formam fantasmas (imagens secundárias) as quais seriam prejudiciais na formação do aspecto 3D.

O difusor holográfico tem a função de possibilitar que a reflexão seja bastante difusa verticalmente de forma que observadores de diferentes alturas possam ver a imagem projetada. Por outro lado, horizontalmente, a reflexão deve ser bastante especular de forma que a resolução de 1,25 graus seja mantida.

O acionamento da plataforma girante deve ser feito por um motor ligado a um circuito de atuação realimentado de forma que a plataforma possa ser monitorada e sincronizada com a projeção. O projeto de Jones et al (2007) prevê que o espelho gire entre 900 e 1200 rpm e o acionamento escolhido foi um Smart Motor SM3420D da Animatics (http://www.animatics.com/download/PLS2_motor_specs/SM3420D-PLS2.pdf) capaz de atingir 4500 rpm com um torque de 0,89 Nm. Neste produto todo o sistema de controle, bem como seu firmware, vem integrado de fábrica além de disponibilizar interface bastante amigável.

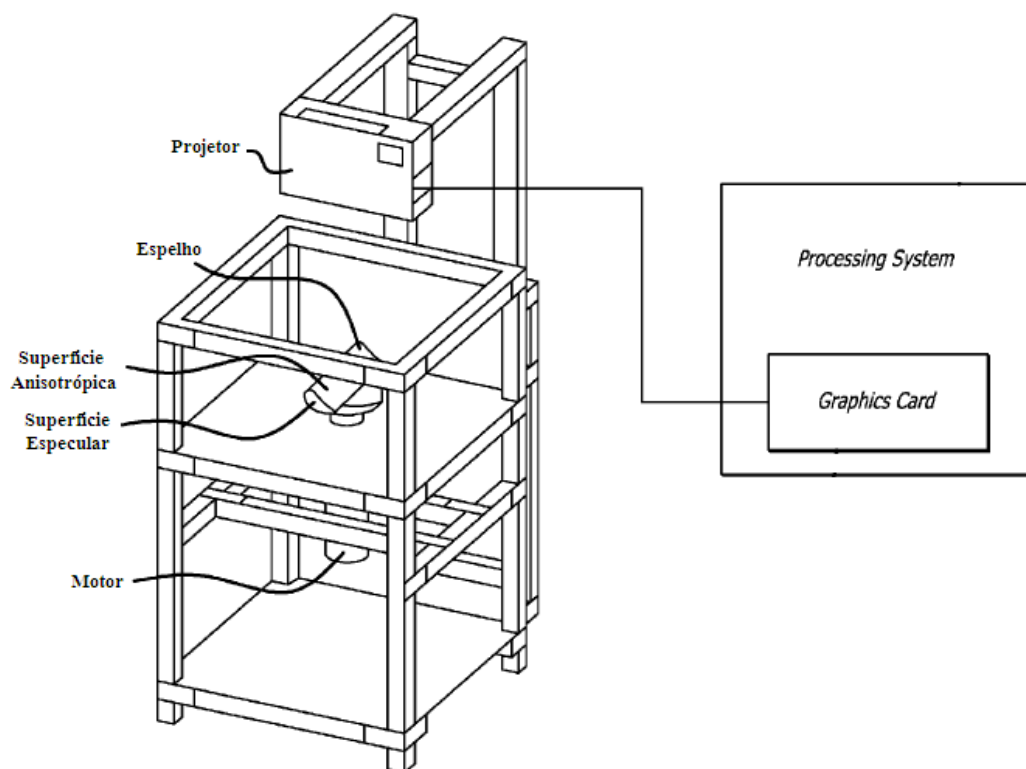


Figura 55 – Esquemático do Projeto

7.9. Análise de viabilidade técnico-econômica para construção

Para que possamos construir um protótipo de um espelho giratório realizamos uma avaliação de viabilidade para determinarmos se os custos e complexidades envolvidas se adéquam ao escopo deste trabalho.

Abaixo listamos alguns componentes chaves e seus preços como apurados através de pesquisas na internet. A cotação do dólar usada é de R\$ 1,7250 / 1 US\$ como publicado pelo Banco Central do Brasil para o dólar comercial em 15/09/2010.

- Difusor Holográfico 20cm x 20cm – 80 graus
Fonte: <http://www.edmundoptics.com>
Valor: US\$ 295,00 ou R\$ 508,88 **
- Animatics Smart Motor SM3420D
Fonte: <http://www.plccenter.com>
Valor: US\$1620,00 ou R\$ 2794,50 **
- Placa de desenvolvimento FPGA
Fonte: <http://www.exsto.com.br>
Valor: R\$ 1450,00

- Projetor DLP Single-Chip BenQ MP525p Res: 1024x768

Fonte: <http://www.mercadolivre.com.br>

Valor: R\$ 1599,00

** Os preços demonstrados em dólar não incluem tarifas alfandegárias ou fretes internacionais.

Considerando apenas estes componentes chaves, vemos que a construção não é viável financeiramente já que apenas estes componentes, em um cálculo bastante aproximado e subestimado, somam R\$ 6352,38.

A complexidade da customização do projetor DLP também é um fator que inviabiliza a construção dado o espaço de tempo disponível para a realização deste trabalho.

8. Conclusão

O estudo realizado nos permitiu avaliar cada um dos métodos escolhidos mais fundo para tirarmos conclusões finais sobre a superioridade ou não de um método sobre outro.

Devido às dificuldades de confecção, alta tecnologia envolvida, elevado esforço demandante, tempo necessário de implementação e ausência de uma mobilidade mínima, o método do espelho giratório foi preterido frente os outros métodos. Apesar da simplicidade aparente e fácil manipulação, o método dos espelhos parabólicos popularizado pelo Mirage, ficou na terceira colocação. Isso se deu devido à dificuldade evidente de produzir um aparato com o mínimo de qualidade capaz de concorrer com o industrializado e pela necessidade de um objeto físico de pequenas proporções, que acaba limitando bastante a capacidade de projeção.

O segundo colocado foi a estereoscopia, largamente utilizada nos meio cinematográficos já possui um campo de pesquisa e tecnologia mais desenvolvida que os demais. Seu custo de instalação é visivelmente mais alto que o do Mirage, entretanto ele permite muito mais aplicações e modos de se preparar uma visualização. Não necessita de um objeto físico e pode ser apresentado a um público maior. Contudo possui uma mobilidade extremamente baixa, deve ser projetado em um plano, o que não permite a visualização de 360 graus, e necessita de óculos para sua visualização.

O método preferido foi o do prisma de visualização comercializado pela viZoo como Cheoptics 360. Possui todas as vantagens da visualização volumétrica: observadores não precisam usar óculos especiais e podem observar a cena 3D de múltiplos ângulos e profundidades, não são necessário telas 3D especiais. Também, diferente de técnicas holográficas, visualizações volumétricas não requerem grande computação para processamento de dados. Seu custo é relativamente baixo, possuindo alternativas para construir os protótipos dependendo da qualidade almejada. Configuração bastante móvel, de confecção mediana, não necessita de objeto físico para projeção e a produção de filmes razoavelmente simples.

9. Referências Bibliográficas

- [1] DÜRSTELER, Juan C. **Advanced 3D displays**. Inf@Vis! The digital magazine of InfoVis.net, n. 88, 2002. Disponível <<http://www.infovis.net/printMag.php?num=88&lang=2>> Acesso em 13/04/2010.
- [2] MENDIBURU, Bernard. **3D Movie Making: Stereoscopic Digital Cinema from Script to Screen**. Focal Press/Elsevier Science & Technology Books, 2009.
- [3] OPTI-GONE INTERNATIONAL. **Mirage**. Produto à venda. Disponível <<http://www.optigone.com/m2000.htm>> Acesso em: 13/04/2010.
- [4] JONES, Andrew; MCDOWALL, Ian; YAMADA, Hideshi; BOLAS, Mark; DE-BEVEC, Paul. **Rendering for an Interactive 360 Light Field Display**. University of Southern California - Institute for Creative Technologies; Fakespace Labs; Sony Corporation ;University of Southern California - School of Cinematic Arts, 2006. Disponível: <http://gl.ict.usc.edu/Research/3DDisplay/3DDisplay_USCICT_SIGGRAPH2007.pdf> Acesso em: 13/04/2010.
- [5] BOULOS, Paulo. **GEOMETRIA ANALÍTICA UM TRATAMENTO VETORIAL**, 3a edição - Prentice Hall - São Paulo - 2005.
- [6] SMITH, Warren J. **Modern optical engineering: The design of optical systems**. 4 ed. McGraw-Hill , 2008.
- [7] FISCHER, Robert E. ; TADIC-GALEB, Biljana. **Optical system design**. McGraw-Hill,2000.
- [8] BASS, Michael. **Handbook of optics: Devices, measurements and properties**. Volume 2. 2ed. McGraw-Hill, 1995
- [9] PAULA, Leandro Aparecido Nogueira de ; RAGGIO, Pedro ; ASSIS, André Koch Torres.**Uma contribuição à construção de espelhos parabólicos**. Universidade de

Campinas. Disponível
 <<http://arxiv4.library.cornell.edu/ftp/arxiv/papers/0810/0810.4165.pdf>> Acesso em:
 16/04/2010

[10] PAULA, Leandro Aparecido Nogueira de. **Contribuição à construção de espelhos parabólicos.** Disponível
 <http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem1_2006/LeandroA_Raggio_RF1.pdf> Acesso em: 15/04/2010

[11] DZIERBA, Alex R. Indiana University. Course notes for Physics 360, **Using Matrices for Geometric Optics.** Disponível
 <<http://dustbunny.physics.indiana.edu/~dzierba/P360n/notes/note4.pdf>> Acesso em:
 16/04/2010

[12] ADHYA, Sriya; NOE, John; **A Complete Ray-trace Analysis of the Mirage Toy,** ETOP-2007. Disponível <<http://spie.org/etop/2007/etop07methodsV.pdf>> Acesso em:
 16/04/2010

[13] YAMAKAMI, Wyser Jose; **Conformação Plástica dos Metais,** Apostila Educacional. Disponível <http://www.dem.feis.unesp.br/maprotec/educ/cpm/cpm_9.pdf>
 Acesso em: 22/05/2010

[14] SILVA, Joao Paulo da. **Formação de pseudo-imagem através de superfície cilíndrica espelhada.** Disponível
 <http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem1_2007/JoaoP_Tamashiro_RF2.pdf> Acesso em: 22/05/2010

[15] MEDEIROS, Alexandre. **A história e a física do fantasma de Pepper.** Disponível
 <<http://www.fsc.ufsc.br/cbef/port/23-3/artpdf/a2.pdf>> Acesso em: 29/05/2010

[16] ASSAF, Rodrigo. **Métodos para um Sistema de Animação Facial Baseado na Aquisição Estereoscópica.** Disponível

<http://www.bdt.d.ufscar.br/htdocs/tedeSimplificado//tde_busca/arquivo.php?codArquivo=1208> Acesso em: 12/10/2010

[17] TOMMASELLI, Antonio. **Fotogrametria Básica – Estereoscopia e Paralaxe**. Apostila do curso Fotogrametria I da Unesp. Disponível <http://www4.fct.unesp.br/docentes/carto/tomaseli/Fotogrametria_1/arquivos_pdf_2009/FOTO5_6_2009.pdf> Acesso em: 12/10/2010