



República Federativa do Brasil
Ministério do Desenvolvimento, Indústria
e do Comércio Exterior
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) (21) **PI 0606106-0 A**



(22) Data de Depósito: 28/11/2006
(43) Data de Publicação: 15/07/2008
(RPI 1958)

(51) *Int. Cl.:*
G06T 11/00 (2008.04)

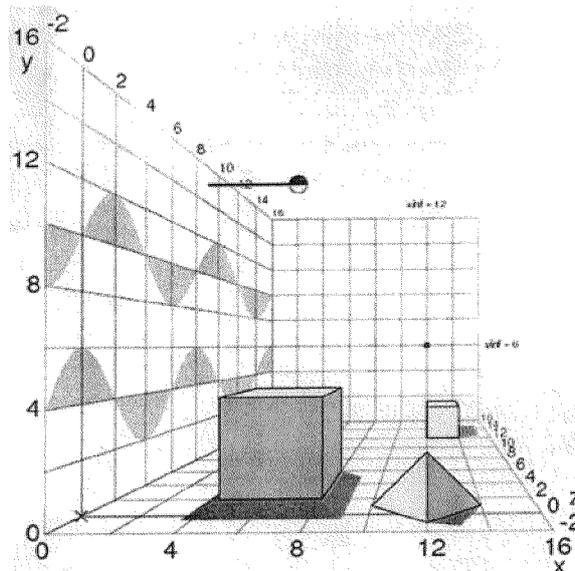
(54) Título: **SISTEMA E MÉTODO PARA CRIAÇÃO DE IMAGENS EM PERSPECTIVA GERADAS POR UM ALGORITMO EXPONENCIAL NEGATIVO**

(71) Depositante(s): Fundação Oswaldo Cruz (BR/RJ)

(72) Inventor(es): Carlos Medicis Morel

(74) Procurador: Bhering, Almeida & Associados

(57) Resumo: SISTEMA E MÉTODO PARA CRIAÇÃO DE IMAGENS EM PERSPECTIVA GERADAS POR UM ALGORITMO EXPONENCIAL NEGATIVO A presente invenção se refere a um sistema para criação de imagens em perspectiva que inclui: um novo método para transformar coordenadas globais tridimensionais (3D) em coordenadas de tela bidimensionais (2d) usando um algoritmo exponencial negativo, em vez de se usar algoritmos clássicos de projeção que colocam no denominador a distância "z" do objeto ao observador (algoritmos de divisão); um novo método para gerar imagens em perspectiva realísticas de objetos localizados em qualquer distância do observador (distâncias positiva, negativa ou zero) o qual não precisa de qualquer correção para distâncias zero ou negativa; a demonstração de uso prático da invenção por programas gráficos computacionais que geram e visualizam imagens em perspectiva baseadas no algoritmo exponencial da presente invenção.



SISTEMA E MÉTODO PARA CRIAÇÃO DE IMAGENS EM PERSPECTIVA GERADAS POR UM ALGORITMO EXPONENCIAL NEGATIVO

Campo da Invenção

A presente invenção se refere a um sistema e a um
5 método para gerar imagens em perspectiva, onde os ditos
sistema e método não usam a abordagem clássica da projeção
perspectiva. Em vez de projetar as imagens de um objeto 3D
em um plano 2D, que requer a divisão das coordenadas do
objeto por suas distâncias para o plano de projeção, a
10 invenção aplica uma função exponencial negativa para
calcular diretamente as coordenadas da tela a partir das
coordenadas globais do objeto.

Fundamentos da invenção e estado da arte

Imagens em perspectiva podem ser geradas por artistas,
15 técnicas fotográficas e/ou por abordagens baseadas em
computação gráfica. Os princípios básicos para a geração de
figuras em perspectiva foram descobertos no século XVI por
artistas italianos e em particular pelo arquiteto e
engenheiro florentino Filippo Brunelleschi, que realizou
20 uma série de experiências que geraram uma teoria matemática
da perspectiva ("The Science of Art: Optical Themes in
Western Art from Brunelleschi to Seurat". M. Kemp. Yale
University Press, 1990).

A operação fundamental consiste em projetar um objeto
25 tridimensional em uma representação bidimensional desse
objeto sobre um plano. Artistas renascentistas baseavam-se
em diferentes abordagens para prosseguir nessa tarefa,
incluindo o uso da "máquina de perspectiva" projetada por
Albrecht Durer (**Fig. 1**) e a "câmara obscura" inventada no

século XVI como uma câmera "pinhole" (sem lentes). A invenção da fotografia, que captura a imagem projetada sobre um plano fotográfico ou película fotográfica, representou um avanço fundamental.

5 O método para a geração de figuras em perspectiva 3D por computadores utiliza, até os dias de hoje, os mesmos princípios básicos da projeção perspectiva descobertos durante a Renascença, e que requer a divisão pela profundidade de cada ponto. O dito método é baseado em

10 equações matemáticas, onde a distância " z " do objeto para o plano de projeção entra no denominador, causando a compressão, ou encurtamento, característico da projeção perspectiva ("perspective foreshortening", quanto maior a distância de um objeto em relação ao observador, menor é o

15 seu tamanho), responsável por tornar partes remotas parecerem menores do que as partes mais próximas. Os denominadores, todavia, "têm um comportamento desagradável quando se aproximam do zero" ("have a nasty way of evaluating to zero") ("Computer Graphics: Using Open GL",

20 2nd edition. Hill, F.S., Jr. Prentice Hall; **2001**, pp. 373 (ISBN 0-02-354856-8). Isto é claramente ressaltado por Upstill ("The RenderMan Companion. A Programmer's Guide to Realistic Computer Graphics". By Upstill, Steve. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company; **1990**, pp.

25 1-475 (ISBN 0-201-50868-0). "Transformações de perspectiva causam divisão por zero para pontos em $z=0$, e apresentam resultados bizarros para pontos em z negativo. Consequentemente, (elas) devem ser usadas com grande cuidado". O eminente especialista em computação gráfica Jim

Blinn também chama a atenção para essas questões quando discute transformações em perspectiva: "Levar um programa à morte porque tentou uma divisão por zero é uma experiência extremamente desagradável" ("Having a program die because
5 of a zero divide error is a most unpleasant experience", citado em "A Trip Down the Graphics Pipeline". By J. Blinn. Morgan Kaufmann Publishers, Inc., San Francisco, 1996, pp. 131).

O gráfico da Fig 2A mostra por que acontece esse
10 problema. Quando a distância z diminui até zero e assume valores negativos, a função matemática de divisão sofre uma descontinuidade durante essa transição de valores positivo para negativo. As ferramentas atuais utilizadas por programas de computador para gerar figuras em perspective
15 são, conseqüentemente, obrigadas a introduzir limitações e/u aproximações tais como, respectivamente: (i) o processo conhecido como recorte ("clipping") para remover "pontos problemáticos" (aqueles muito perto de zero ou possuindo valores negativos) antes de tentar projetá-los (Hill,
20 2001); (ii) a adoção de modelos de câmera de "perspectiva fraca" que transformam equações de divisão fundamentalmente não lineares em equações lineares colocando os pontos da cena em locais distantes da câmera do observador. ("Introductory Techniques for 3-D Computer Vision". By E.
25 Trucco and A. Verri. Prentice Hall, 1998, pp. 26-28).

Sumário da Invenção

A presente invenção se refere a um sistema e a um método para gerar imagens em perspectiva, que não utilizam a clássica abordagem da projeção perspectiva. Em vez de

projetar imagens de um objeto 3D em um plano 2D, operação que requer a divisão das coordenadas do objeto por suas distâncias para o plano de projeção, a invenção aplica uma função exponencial negativa para calcular diretamente as coordenadas da tela a partir das coordenadas globais do objeto. Essa abordagem elimina os problemas associados com a teoria matemática clássica da perspectiva que utiliza algoritmos de divisão que não podem manipular distâncias iguais a zero ou negativas. Sistemas computacionais que adotam a presente invenção podem gerar figuras em perspectivas, realísticas e livres de distorção, de objetos localizados a qualquer distância do observador (positiva, negativa ou zero).

A invenção aqui descrita evita completamente a operação de divisão através do uso de um algoritmo exponencial negativo para calcular as coordenadas de tela 2D a partir das coordenadas globais 3D.

A Figura 2B mostra a função matemática que descreve o tamanho na tela de um objeto localizado a uma distância z do observador de acordo com essa função exponencial negativa: o objeto diminui de tamanho a medida que z aumenta, que é a propriedade básica de transformação em perspectiva; todavia, em contraste às abordagens clássicas de perspectiva, não existe descontinuidade da função matemática: o objeto tem tamanho natural quando localizado a distância zero do observador e é maior do que o tamanho natural para distâncias imaginárias negativas. A principal diferença entre a função de divisão (Fig. 2A) e a função exponencial (Fig. 2B) é, conseqüentemente, esse

comportamento regular da última que não possui a
descontinuidade da primeira.

Como mencionado por Casselman, a "Perspectiva em 3D é
um ingrediente crucial em qualquer kit de ferramentas
5 gráficas" ("Mathematical illustrations: A manual of
geometry and PostScript". By Casselman, Bill: Cambridge,
UK: Cambridge University Press; **2005**, pp. 162 (ISBN 0-521-
54788-1). Todos os gráficos computacionais contemporâneos
ou kits de ferramentas de visão computacional disponíveis
10 nos dias de hoje para a geração ou análise de imagens em
perspectiva são, sem exceção, baseados no algoritmo de
divisão clássico, como pode ser visto, por exemplo, nas
patentes **US 3.602.702**, **US 5.771.046**, **US 6.900.806**, **US**
6.947.611. De fato, o algoritmo de divisão é considerado
15 uma etapa fundamental na criação de imagens em perspectiva,
conforme ilustrado pelas seguintes citações:

- "... a divisão pela distância do centro de perspectiva a
partir do plano de visão é um aspecto *essencial* (em
itálico no original) dessa projeção. A divisão é sempre
20 necessária e não pode ser evitada." ("An Introductory
Course in Computer Graphics" (2nd edition). By R.
Kingslake. Chartwell-Bratt (Publishing and Training)
Ltd, **1991**, pp. 70.
- "A transformação perspectiva é fundamentalmente
25 diferente daquelas para a rotação, translação, e
escalonamento: ela envolve *divisão* (itálico no original)
pelo valor da coordenada z_e , enquanto que as outras
envolvem somente multiplicação e adição. *Gerar uma
imagem verdadeira em perspectiva requer a divisão pela*

profundidade de cada ponto (itálico no original).” (“Principles of Interactive Computer Graphics” (2nd edition). By W. M. Newman and R. F. Sproull. McGraw-Hill International Editions, 1981, pp. 341).

5 Devido a essa percepção de “essencialidade” do algoritmo de divisão, não existe estado da arte que descreva o uso de algoritmos exponenciais para gerar figuras em perspectiva, o que vem a ser o âmago da presente invenção.

10 **Breve descrição dos desenhos**

A Figura 1 mostra uma gravação do artista Albrecht Duhrer.

15 A Figura 2A mostra um gráfico da função de divisão usada em projeções ou transformações clássicas de perspectiva

A Figure 2B mostra um gráfico da função exponencial negativa base da presente invenção.

20 A Figure 3 representa um exemplo de uma figura em perspectiva gráfica computacional baseada na presente invenção (perspectiva exponencial).

A Figura 4 representa o resultado de um exemplo de um par estéreo de figuras em perspectiva exponencial de acordo com a presente invenção.

25 A Figura 5 mostra um exemplo de uma plotagem em 3D de dados experimentais envolvendo três dimensões.

A Figura 6 mostra um outro exemplo da presente invenção, uma representação fio-de-aramé de um cubo que pode ser aproximado ou distanciado do observador e ser

movido em tempo real na tela do computador em qualquer uma das três dimensões.

Descrição detalhada da invenção

O método da presente invenção consiste das seguintes etapas:

(a) codificar a imagem de um objeto como uma série de elementos de dados de localização de coordenadas;

(b) aplicar o novo algoritmo baseado nas funções exponenciais negativas, para gerar figuras regulares ou estereoscópicas em perspectiva;

(c) transformar as coordenadas globais 3D em coordenadas de tela 2D por implementações de programa de computador usando o algoritmo da invenção;

(d) usar sistemas gráficos computacionais para visualizar, mostrar, armazenar, imprimir ou analisar figuras em perspectiva exponencial.

De forma a mostrar os princípios e vantagens da presente invenção, será feita referência às Figuras 1, 2A, e 2B. A Figura 1 que mostra uma gravação do artista Albrecht Duhrer explicando o funcionamento de uma típica "máquina de perspectiva" e seu uso por pintores. As coordenadas do objeto a ser representado são "projetadas" sobre uma tela com o auxílio de uma corda que é segurada por um assistente.

A Figura 2A é um gráfico da função de divisão usada em projeções ou transformações clássicas de perspectiva. A descontinuidade dessa função, à medida que a variável independente se move de valores positivos para negativos, introduz sérios problemas que estão relacionados tanto à

necessidade de se evitar essas distâncias como quanto ao uso de métodos corretivos, tais como recorte ("clipping") (Hill, 2001).

A Figura 2B é um gráfico da função exponencial negativa usada na invenção. O comportamento suave e sem problemas da função permite a geração de imagens em perspectiva de objetos situados em qualquer distância do observador.

É importante ressaltar que quando o objeto está na distância "zero" do observador ele é mostrado em seu tamanho natural (em contraste, o algoritmo de divisão clássico da Fig. 1A não pode ser usado nessa distância $z=0$ para o tamanho do objeto tenderia ao infinito).

Algoritmo básico

O algoritmo básico que é a base da invenção é baseado na seguinte equação de exponencial negativo:

$$L_{screen} = L_{world} \times base^{(-zoom \times (Z_{world} + Z_{obs}))}$$

Equação 1

onde:

- L_{screen} = tamanho na tela de um objeto de tamanho "L" no mundo real
- 20 L_{world} = tamanho real do objeto
- Base** = uma constante
- Zoom** = uma constante
- Z_{world} = distância do objeto a partir da tela (ou a partir do observador se $Z_{obs} = 0$)
- 25 Z_{obs} = distância da tela a partir do observador.

A Equação 1, cujo comportamento está mostrado na Fig. 2B estipula que a dimensão percebida de um objeto é uma função exponencial negativa de sua distância a partir do observador. As constantes "**base**" e "**zoom**" podem ser
5 ajustadas para gerar efeitos fotográficos de teleobjetiva ou de grande angular.

Agora, modalidades da invenção serão descritas a título de exemplificativo, com referência aos desenhos nos quais números de referência semelhantes designam as mesmas
10 partes ou similares.

Exemplo 1

A Figura 3 mostra o resultado de um exemplo de figura em perspectiva gerada por computação gráfica baseada na presente invenção (perspectiva exponencial). Os objetos
15 podem ser colocados em qualquer distância a partir do observador ou da tela, como é o caso da pirâmide nessa figura (sua base se estende de -1 a +3, passando através de zero, uma faixa de coordenada impossível na perspectiva clássica). Deve ser observado também que não existe
20 distorção da pirâmide ou das curvas seno/cosseno na plataforma vertical esquerda a medida que a coordenada "z" se aproxima de zero e passa para distâncias negativas de "z".

Exemplo 2

25 A Figura 4 representa um exemplo de um par estéreo de figuras em perspectiva exponencial. Um observador pode ter uma percepção 3D estereográfica quando cada imagem é vista pelo olho correspondente através do uso de aparelho especial; algumas pessoas podem ter essa percepção sem o

uso de qualquer instrumento olhando para longe ou para muito perto, de maneira que as duas imagens se sobrepõem no espaço em uma imagem central estéreo.

Exemplo 3

5 A Figura 5 é um exemplo de uma plotagem em 3D de dados experimentais que envolvem três dimensões.

Exemplo 4

A Figura 6 mostra imagens de um cubo em representação fio-de-aramé gerado em tempo real por um programa
10 computacional interativo baseado em tecnologia "Flash". O objeto pode ser girado ao longo dos eixos x, y e z e colocado em diferentes distâncias a partir do observador, incluindo zero ou distâncias negativas.

A geração de figuras em perspectiva exponencial em gráficos 15 computacionais

A linguagem de programação gráfica PostScript é reconhecida como uma eficiente ferramenta para gerar ilustrações matemáticas (Casselman, 2005) e foi usada para demonstrar o uso prático da invenção na geração das Figuras
20 3, 4 e 5. A Figura 6 representa o resultado de um programa interativo de demonstração que usa tecnologia Flash para desenhar e manipular três dimensões, e em tempo real, um modelo de cubo.

Como será entendido pelos especialistas na arte
25 relacionada à presente invenção, várias alterações e modificações serão aparentes. Essas alterações e substituições que não se afastam do espírito da presente invenção devem ser consideradas estarem abrangidas pelo

escopo da presente invenção a qual é definida pelas reivindicações.

A presente invenção é aplicada para gerar transformações em perspectiva em sistemas, programas, métodos ou produtos novos ou revisados, tais como, por exemplo, simuladores de vôos usados para treinamento civil ou militar de pilotos e navegadores; simuladores de vôos desenvolvidos e vendidos para a indústria de entretenimento; jogos eletrônicos (vídeo games) em plataformas dedicadas e/ou proprietárias; jogos eletrônicos (vídeo games) em plataformas abertas; filmes, vídeos ou DVDs produzidos por, ou fazendo uso de, técnicas de computação gráfica; programas de arquitetura em geral; programas de modelagem em 3D; e, sistemas de visão computacional.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para criar uma imagem em perspectiva, a partir de um objeto, caracterizado por compreender as seguintes etapas:

5 (a) codificar a imagem de um objeto como uma série de elementos de dados de localização de coordenadas;

(b) aplicar o novo algoritmo objeto desta invenção baseado em funções exponenciais negativas, para gerar figuras regulares ou estereoscópicas em perspectiva;

10 (c) proporcionar a transformação de coordenadas globais 3D (x_{world} , y_{world} , z_{world}) em coordenadas de tela 2D (x_{screen} , y_{screen}) usando um algoritmo exponencial negativo ou uma função definida pela equação;

$$L_{screen} = L_{world} \times base^{(-zoom \times (Z_{world} + Z_{obs}))}$$

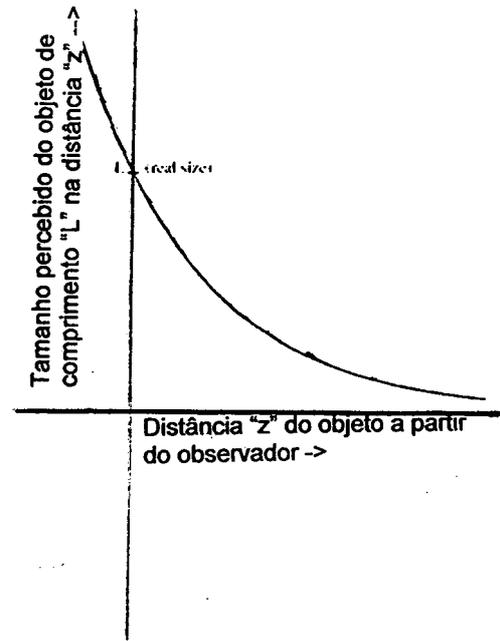
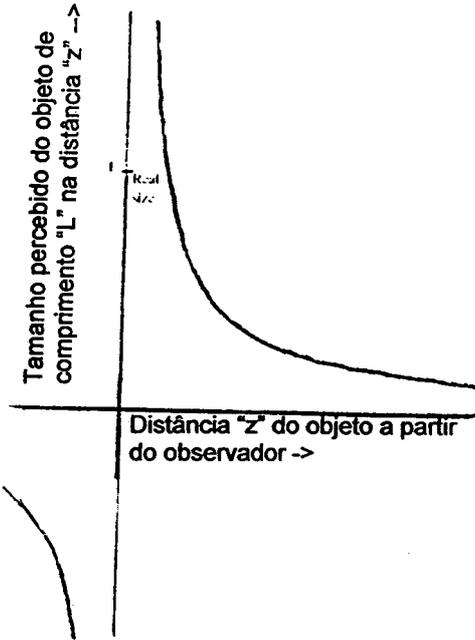
(d) plotar as coordenadas de tela em um mostrador de
15 computador para obter um produto gráfico que pode ser imediatamente visualizado e impresso ou armazenado e salvo em um meio magnético ou ótico para posterior visualização ou análise.

2. Método para criar imagens em perspective
20 caracterizado por a criação das ditas imagens ser a partir de um objeto virtual localizado em qualquer distância "z" a partir de um observador virtual (em frente do observador virtual: distância "z" positiva; atrás do observador virtual: distância "z" negativa; na mesma posição do
25 observador virtual: distância "z" é igual a zero) o qual evita completamente a divisão pela distância e, conseqüentemente, não precisa de qualquer correção tal como recorte ("clipping") ou "modelos de câmera de fraca perspectiva" para distâncias de "z" negativa ou zero.

30 3. Método para criar imagens estereocópicas em perspectiva caracterizado por utilizar os métodos definidos nas reivindicações 1 ou 2.

4. Uso do método descrito nas reivindicações 1 e 2 para gerar transformações em perspectiva em sistemas, programas, métodos ou produtos novos ou revisados, tais como, por exemplo, simuladores de vôos usados para 5 treinamento civil ou militar de pilotos e navegadores; simuladores de vôos desenvolvidos e vendidos para a indústria de entretenimento; jogos eletrônicos (vídeo games) de plataformas dedicadas; jogos eletrônicos (vídeo games) de plataformas abertas; filmes, vídeos ou DVDs 10 produzidos por, ou fazendo uso de, técnicas de computação gráfica; programas de arquitetura em geral; programas de modelagem em 3D; e, sistemas de visão computacional.

5. Sistema de programa de computador caracterizado por compreender instruções codificadas para fazer com que o 15 processador desempenhe o método descrito nas reivindicações precedentes, as instruções sendo configuradas para aplicar uma função exponencial negativa para calcular diretamente as coordenadas de tela a partir das coordenadas globais de um objeto.



Figuras 2A e 2B

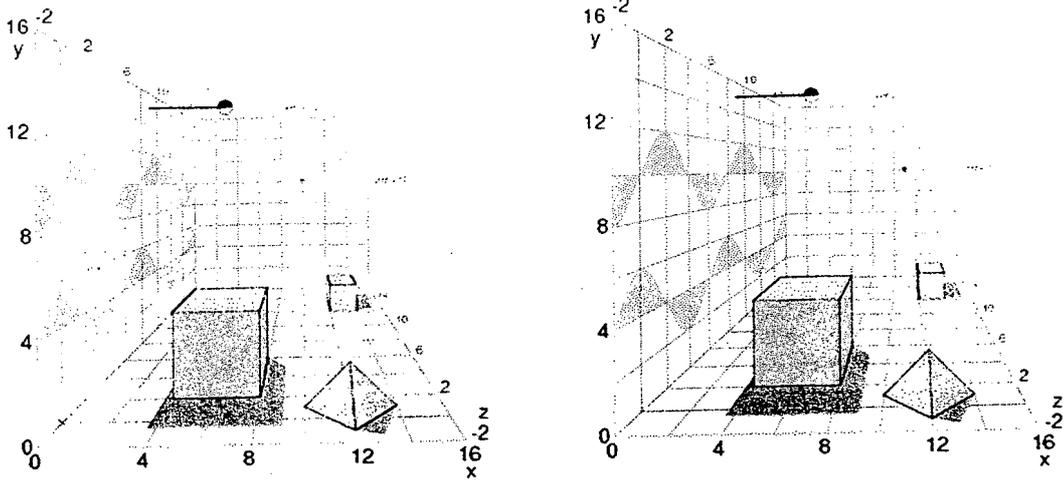


Figura 4

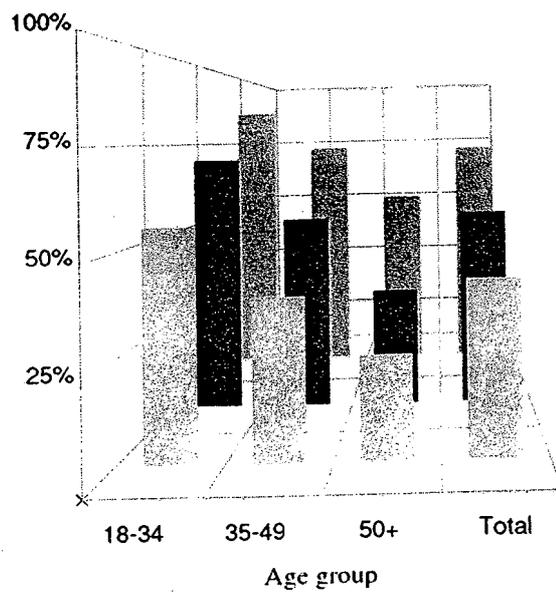


Figura 5

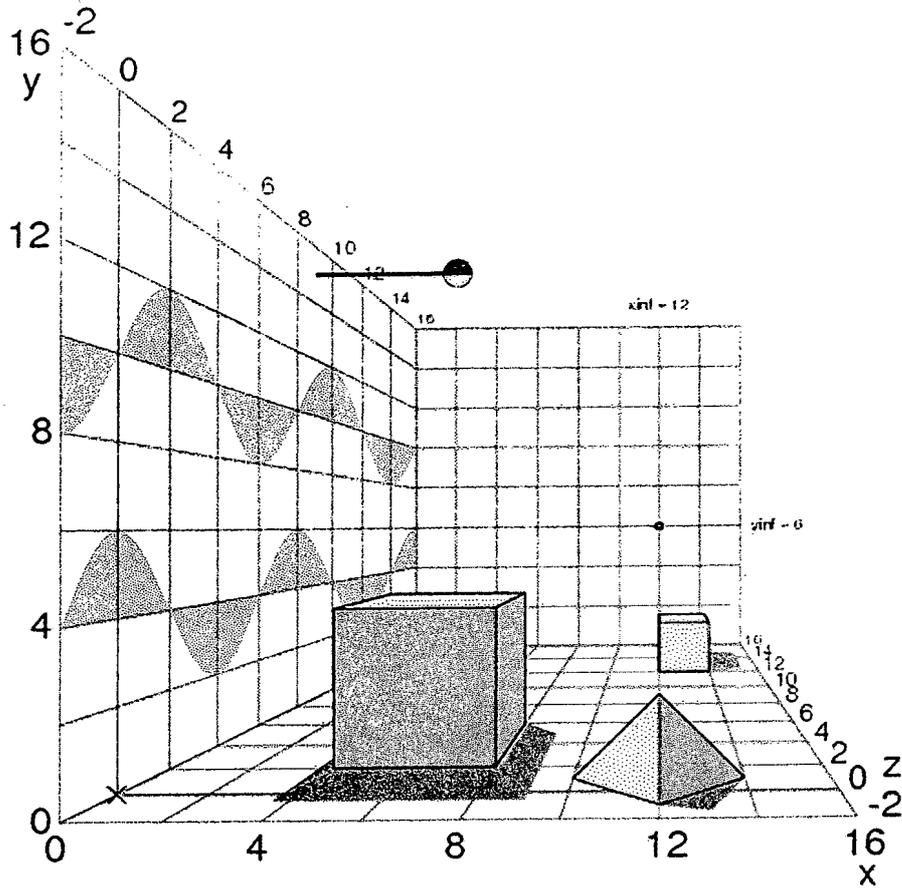


Figura 3

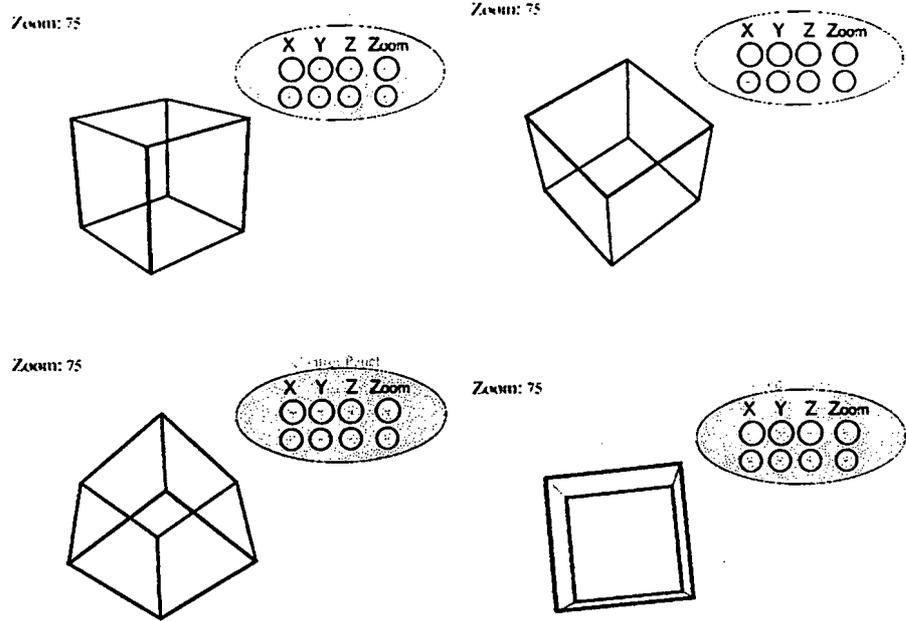


Figura 6

ANEXO I (Figura 1)



RESUMO**SISTEMA E MÉTODO PARA CRIAÇÃO DE IMAGENS EM PERSPECTIVA
GERADAS POR UM ALGORITMO EXPONENCIAL NEGATIVO**

A presente invenção se refere a um sistema para
5 criação de imagens em perspectiva que inclui: um novo
método para transformar coordenadas globais tridimensionais
(3D) em coordenadas de tela bidimensionais (2d) usando um
algoritmo exponencial negativo, em vez de se usar
algoritmos clássicos de projeção que colocam no denominador
10 a distância "z" do objeto ao observador (algoritmos de
divisão); um novo método para gerar imagens em perspectiva
realísticas de objetos localizados em qualquer distância do
observador (distâncias positiva, negativa ou zero) o qual
não precisa de qualquer correção para distâncias zero ou
15 negativa; a demonstração de uso prático da invenção por
programas gráficos computacionais que geram e visualizam
imagens em perspectiva baseadas no algoritmo exponencial da
presente invenção.

ANEXO I

