

Introdução às principais técnicas para a síntese de imagens por computador, a partir de modelos geométricos bidimensionais/tridimensionais

Prof. Marcos Amaris

Setembro - 2018



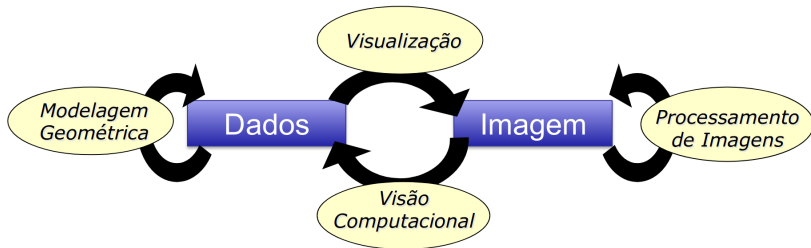
Requisitos para essa Aula

- Noções de Geometria
- Processamento de Imagens
- Física - ótica, mecânica



Definição Computação Gráfica

“Computação Gráfica é a criação, armazenamento e a manipulação de modelos de objetos e suas imagens pelo computador.”



Objetivos Computação Gráfica

Objetivos da CG

“... desenvolver modelos de iluminação e transporte de luz baseados nas leis da física e processos de visualização perceptuais que produzam imagens sintéticas visual e/ou mensuravelmente indistinguíveis de imagens do mundo real” [Greenberg97]

Tais modelos vêm de uma variedade de disciplinas, como a física, a matemática, a engenharia, a arquitetura, etc.



Áreas relacionadas Existem três grandes áreas relacionadas com Computação Gráfica:

- 1 Síntese de Imagens,
- 2 Processamento de Imagens e
- 3 Análise de imagens (ou Visão por Computador)



Tipos de Aplicações da CG

Da análise dos tipos mais importantes de aplicações da CG é possível definir uma taxionomia baseada num conjunto de critérios de classificação.

Assim é possível identificar os seguintes critérios:

- A Características dos objetos e modo como são visualizados;
- B Tipos de interação com o utilizador;
- C Papéis desempenhado pela imagem
- D Modos como as imagens são apresentadas.



Tipos de Aplicações da CG

A. Características dos objetos e modo como são visualizados

- Quanto à **Dimensionalidade Objetos** estes podem ser subdivididos – 2D ou 3D
- Quanto à **Dimensionalidade do Espaço** em que estão definidos os objetos - podemos definir um ponto num espaço 1D, 2D ou 3D assim como uma curva, uma linha poligonal ou um texto num espaço 2D ou 3D. No entanto não podemos definir uma superfície num espaço 2D.
- Quanto ao **Tipo de Imagens** produzidas existe uma dependência relativamente ao espaço em que os objetos estão definidos.



Tipos de Aplicações da CG

A. Características dos objetos e modo como são visualizados

- A **Iluminação** tem um papel importante na CG. No Mundo Real para ser possível visualizar um objeto é necessário iluminá-lo. Este conceito de iluminação, aplicável quer a cenas definidas no espaço 2D ou 3D tem impacte no modo como o objeto é visualizado.
- Quanto à **Variação em Função Tempo**, no que se designa por Animação por Computador, os objetos podem estar estáticos ou qualquer um dos seus atributos pode variar em função do tempo, quer se trate da geometria, cor, textura ou modo como o objeto é visualizado (câmara em movimento).
- É ainda possível a estender a área da Computação Gráfica outros media tais como o Som, o Tacto ou o Cheiro. Dos sentidos unicamente o Gosto não tem sido considerado.



Tipos de Aplicações da CG

B. Tipos de interação com o usuário


Tem vários níveis de sofisticação quer na perspectiva das ferramentas que o utilizador manipula quer das capacidades dos próprios objetos virtuais

- Na **Representação Passiva** (*off-line*) existe uma descrição dos objetos a visualizar limitando-se o utilizador a mandar desenhar as imagens, quer se trate de uma ferramenta de visualização numa tela, da impressão num plotter ou da sensibilização de um filme recorrendo a um equipamento apropriado ligado ao computador.
- Na **Representação Interativa** o utilizador manipula os objetos, construindo a cena de modo incremental, grava toda a cena, incluindo a sua iluminação, posição das câmaras e, sempre que entender, obtém uma imagem no suporte mais apropriado.



Tipos de Aplicações da CG

B. Tipos de interação com o usuário

- Nos **Sistemas de Navegação** a cena está pré-definida podendo o utilizador controlar não só o modo de iluminar a cena mas também definir e controlar várias câmaras virtuais e navegar num espaço, normalmente, tridimensional. Estes sistemas designam-se por de Tempo Real, sendo uma das ferramentas mais populares: os navegadores VRML (Virtual Reality Modeling Language)
- Nos **Ambiente de Realidade Virtual**, também de Tempo Real é possível não só navegar mas também alterar a cena, incluindo a geometria e restantes atributos dos objetos. Os navegadores VRML suportam também esta funcionalidade.
- Até agora consideramos que os objetos eram representações gráficas de objetos inanimados. No entanto, com a crescente importância dos **Agentes Autônomos**, em particular nos jogos de computador, devemos considerar um novo tipo de interação 

Tipos de Aplicações da CG

C. Papéis desempenhado pela imagem

- Na maioria das aplicações de CG o objectivo final é a **criação de imagens ou sequência de imagens** Por exemplo: a produção de publicações electrónicas, de pinturas ou de animações são exemplos desta situação. Por outro lado, para um cartógrafo o mais importante é o rigor da informação que é no Mundo Real e não a simples produção de mapas.
- Já para a maioria dos engenheiros o objectivo é a **criação da cena** a qual representa um produto que irá ser produzido quer se trate de um edifício ou de um produto electromecânico.



Tipos de Aplicações da CG

D. Modos como as imagens são apresentadas.

- Quando existe só **coerência espacial** é apresentada uma imagem de cada vez seja na tela, sob a forma de um álbum de fotografias, ou numa impressora, num plotter ou sob a forma de uma imagem holográfica.
- Quando existe também **coerência temporal** entre as imagens elas podem ser apresentadas numa cadência que esteja bem definida (por exemplo 50 imagens/segundo), vulgo animação, ou numa cadência definível, vulgo simulação. A apresentação o da sequência de imagem pode ser efetuada na tela de um computador ou ser gravada em vídeo e apresentada em cinema, televisão ou na própria tela de um computador



Breve História da CG

Anos 60-70

- Ivan Sutherland (Sketchpad, 1963).
- Tecnologia de display: terminais gráficos vetoriais capazes de armazenar primitivas (raster inviável, devido a custo de memória e capacidade de processamento).
- Wire-frame, aplicações de Computer-aided design (CAD).
- Problemas fundamentais: visibilidade, recorte, técnicas de modelagem geométrica (2D e 3D).



Breve História da CG

Anos 80

- Viabilização da tecnologia raster (economia de mercado, microcomputadores).
- Adaptação das técnicas wire-frame para raster.
- Z-buffer: inviável quando introduzido (1975), mas a tecnologia do futuro.
- Visualização realista, animação, iluminação global (radiosidade).
- Interfaces gráficas.



Breve História da CG

Anos 90

- Consolidação do raster.
- Visualização volumétrica.
- Maior integração com imagens (modelagem e visualização baseada em imagens).
- Aquisição de movimentos.
- Realismo em movimento (efeitos especiais).



Breve História da CG

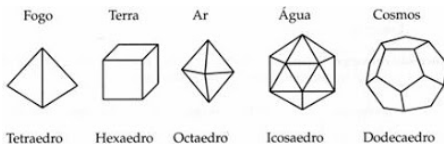
Na atualidade

- Programação em placas gráficas (indústria de jogos).
- Modelos de iluminação mais realistas (não Lambertianas).
- Aquisição de dados fotométricos mais precisos (HDR).
- Aquisição de geometria em tempo real.
- Modelos baseados em pontos.
- Superfícies de subdivisão



Modelagem Geométrica

A Geometria (em grego antigo: geo- "terra", -metria "medida") é um ramo da matemática preocupado com questões de forma, tamanho e posição relativa de figuras e com as propriedades dos espaços. Ela estuda as formas presentes na natureza e das propriedades que essas formas possuem.



A Geometria é o estudo das formas dos objetos presentes na natureza, das posições ocupadas por esses objetos, das relações e das propriedades relativas a essas formas.

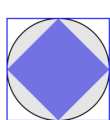


Primitivas Lineares

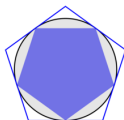
As primitivas lineares bidimensionais

São as entidades básicas às quais as demais primitivas são reduzidas

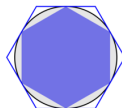
- Retas: elementos básicos dos modelos vetoriais;
- Poligonais: sequência de vértices unidos por retas chamadas arestas;
- Polígonos: áreas delimitadas por poligonais fechadas.



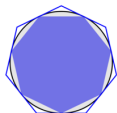
n=4



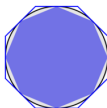
n=5



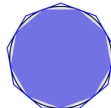
n=6



n=7



n=8



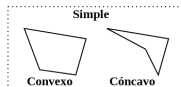
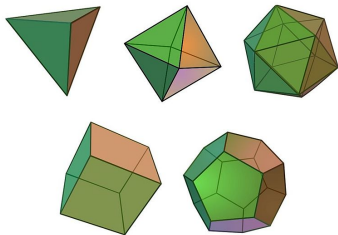
n=9



Poliedros

Poliedros são sólidos geométricos limitados por polígonos, que, por sua vez, são figuras geométricas planas limitadas por segmentos de reta. Um poliedro é dito regular quando obedece às três exigências seguintes:

- é convexo;
- é também poliedro de Platão;
- Os polígonos que o formam, chamados de faces, são regulares.

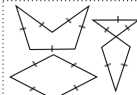


Convexo

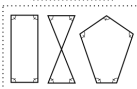
Côncavo



Cíclico



Equilateral



Equiangular



Regular convexo



Regular complejo



Figuras planas e espaciais

As figuras geométricas podem ser planas ou espaciais dependendo da quantidade de dimensões necessárias para a sua construção.

- O plano é uma figura geométrica que possui duas dimensões. Comprimento e largura, mas possui profundidade nula.
 - ▶ As figuras bidimensionais são denominadas de figuras planas.
- O espaço é uma figura geométrica que possui três dimensões. Comprimento, largura e profundidade.
 - ▶ As figuras tridimensionais são denominadas espaciais e também chamadas de sólidos geométricos.



Representação de Objetos Tridimensionais

Modelos Poligonais

- Polígonos e superfícies quádricas;
- superfícies spline
- métodos procedimentais, como fractais e sistemas de partículas
- métodos de modelagem físicos usando sistemas de forças
- octrees são usadas para representar a estrutura interna de objetos



Processo de Visualização 3D

- SRU - Sistema de Referência do Universo (SRU) consiste em três eixos ortogonais entre si (x, y, z) e uma origem $(0,0,0)$.
- Visualização 3D é a definição da cena 3D.
- Especificação do observador virtual
- Representação Geométrica
- A posição da câmera é dada por um ponto (x, y, z)
- Sistema de Referência da Câmara (SRC)
- Realismo - Iluminação e Texturas



Volume vs. Superfícies

Objetos sólidos tridimensionais

- Representados apenas pela sua fronteira
 - ▶ representações por fronteira: objeto 3D descrito como um conjunto de superfícies que separa o seu interior do meio externo(geralmente quadriláteros ou triângulos, ou superfícies paramétricas)
- Superfície e conteúdo interno representados explicitamente
 - ▶ Representações por particionamento espacial descrevem propriedade interiores, particionando a região do espaço que contém o objeto em um conjunto de pequenos sólidos adjacentes não sobrepostos (geralmente cubos ou tetraedros)



Técnicas e modelos em CG

Atualmente existe uma enorme diversidade de técnicas e modelos em CG:

Representação da fronteira

- Malha de polígonos
- Superfícies paramétricas
- Superfícies implícitas

Representação do Volume

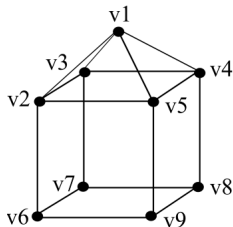
- Voxels
- Quadrees e Octrees
- Constructive Solid Geometry (CSG)



Malha de Polígonos

Malhas poligonais: coleções de polígonos, ou faces, que em conjunto definem a fronteira da superfície de um objeto 3D

- Conjunto de vértices, arestas e faces planares (triângulos)
- Representação adequada para 'rendering' por placas gráficas: objetos gráficos padrão
- Forma padrão de representar objetos em CG



Vértices (geometria)

1	x1	y1	z1
2	x2	y2	z2
3	x3	y3	z3
4	x4	y4	z4
5	x5	y5	z5
6	x6	y6	z6
7	x7	y7	z7
8	x8	y8	z8
9	x9	y9	z9

Faces (topologia)

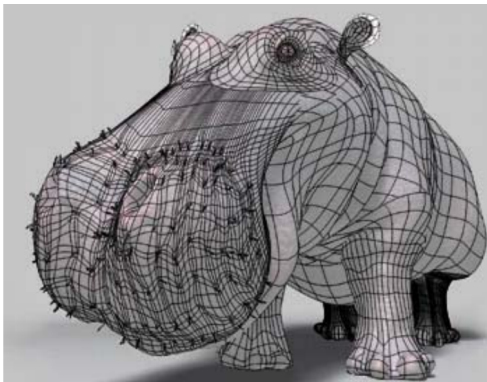
1	v1	v4	v5	
2	v1	v5	v2	
3	v1	v2	v3	
4	v1	v3	v4	
5	v4	v3	v7	v8
6	v5	v4	v8	v9
7	v2	v5	v9	v6
8	v3	v2	v6	v7
9	v6	v9	v8	v7



Malhas Poligonais

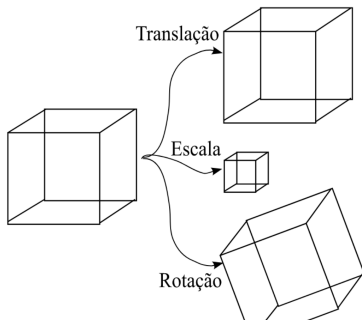
A superfície do objeto é discretizada e representada por faces planas, tipicamente triângulos ou quadrados.

Trade-off entre **Eficiência** e **Realismo**



Transformações Geométricas

- manipular e alterar interativamente as características dos objetos que compõem uma cena
- objetos em OpenGL - conjunto de primitivas gráficas definidas através de vértices.
- As transformações geométricas, consistem em operações matemáticas realizadas sobre estes vértices,
- Os três tipos fundamentais de transformações geométricas, são translação, rotação e escala.



SHADING - SHADERS



Mapeamento de textura (ou texturização)

é a parte da computação gráfica, que se ocupa do estudo da simulação de materiais e texturas sobre planos.

Um mapa de textura é aplicado (ou mapeado) para um lado de um polígono.

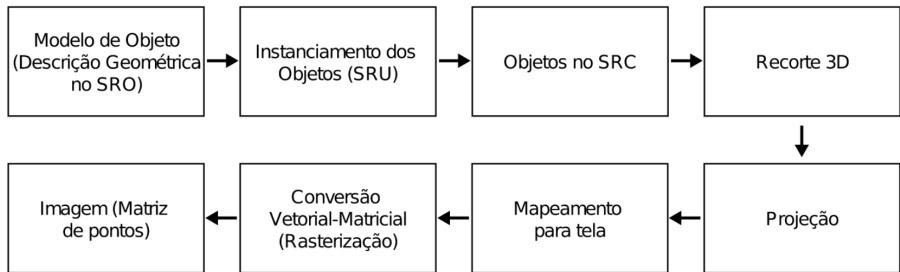
Multitexturização é o uso de mais de uma textura ao mesmo tempo, em um mesmo polígono[2].



- Projeções
 - ▶ Projeção Paralela Ortográfica
 - ▶ Projeção Perspectiva
- Mapeamento para a Tela: Sistema de Referência de Projeção (SRP), que consiste no plano de projeção, é geralmente definido como $[-1, 1]$.
- Rasterização: Algoritmos para desenhos de linhas - Bresenham, e para preenchimento de polígonos - flood-fill.



Visualização



- Computer Aided Design (CAD)
- Presentation Graphics
- Computer Art
- Entertainment (animation, games, ...)
- Education & Training
- Visualization (scientific & business)
- Image Processing
- Graphical User Interfaces



Atividade em Aula



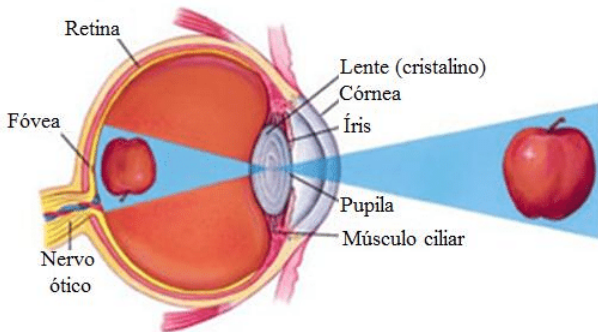
Porque processar uma imagem digitalmente?

- Melhoria de informação visual para interpretação humana
- Processamento automático de imagens (visão computacional)



Olho Humano

- A córnea do olho funciona como uma lente que focaliza os raios luminosos para dentro da retina.
- Estes raios estimulam milhares de elementos fotossensíveis (bastonetes e cones) situados na superfície da retina
 - ▶ Esses elementos convertem energia luminosa em impulso elétrico



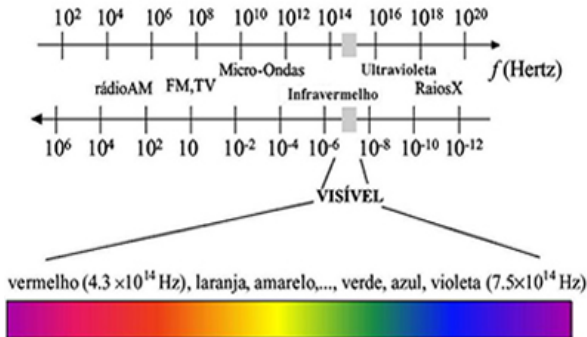
Faixa Visível do Espectro

Faixa Visível do Espectro

Sistema visual é capaz de perceber radiações eletromagnéticas com comprimentos de onda na faixa de 380 - 720 nm.

As radiações fora dessa faixa não são percebidos pelo olho.

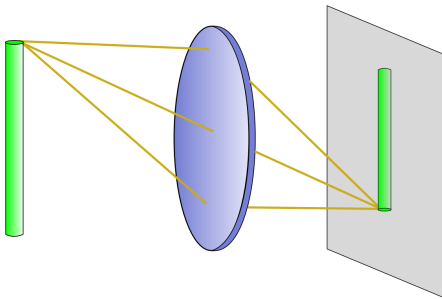
- Ex: UV, IR, Micro-ondas, TV e rádio, etc .



Formando uma Imagem

lentes

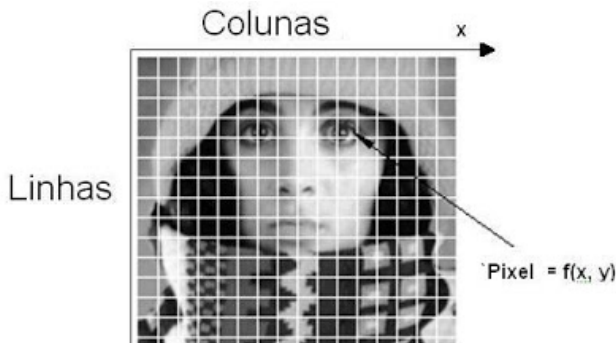
- qual o motivo principal para usar lentes?
- mais luz em menos tempo de exposição foco
- ajusta posição do plano de imagem



Atividade em Aula

Imagem Digital

- É uma matriz de valores numéricos, onde cada um deles representa um valor de intensidade de luz quantizado.
- Os pontos (valores) de uma imagem são denominados pixels



Parâmetros principais na amostragem

① Resolução espacial

- ▶ No de pixels de cada linha x No de pixels de cada coluna
- ▶ Ex: 1920 x 1080, 640 x 480, etc .

② Codificação da cor

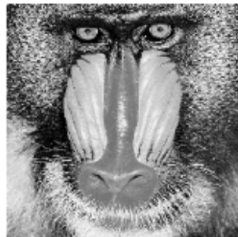
- ▶ No de bits usado para quantizar cada pixel
- ▶ Ex: 1 bit, 8 bits, 16 bits, 24 bits, etc .



Imagens Monocromática e Coloridas

Imagens monocromáticas (P&B):

- Cada pixel é composto apenas por um valor relacionado ao brilho (nível de cinza quantizado) da imagem naquele ponto.



Imagens coloridas:

- Valor do pixel também está relacionado a outros componentes relacionados a percepção de cores do olho humano.



Sistemas de Cores

- Imagens coloridas, por tanto, podem ser geradas a partir da combinação aditiva de componentes R, G e B.
- A forma mais simples de se fazer isso é representar cada pixel colorido usando o Sistema RGB.
 - ▶ Atribui n bits para representar cada componente de cor RGB
- Os computadores usam este princípio do sistema visual humano (SVH) para gerar as cores que observamos nas telas

Exemplo

- ▶ RGB 8-8-8: Atribui 8 bits para cada componente
- ▶ $8 R + 8 G + 8 B = 24$ bits por pixel;
- ▶ Permite representar 16 milhões de cores;

Outros Sistemas de Cores

Outros sistemas de cores

- Sistema YUV (PAL)
- Sistema YCrCb (JPEG, MPEG)
- Sistema YIQ (NTSC)

Por que usar YUV, YCrCb ou YIQ em vez de RGB????



Fronteiras do Processamento de Imagens

Baixo nível:

- Operações primitivas (redução de ruído, aumento de contraste, etc)
- Imagem → Imagem

Nível intermediário:

- Segmentação, descrição e classificação de objetos.
- Imagem → Atributos (bordas, contornos, nível de cinza)

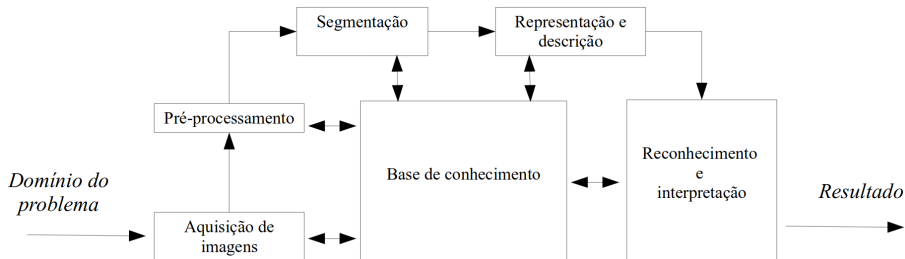
Alto nível:

- Atribuir “sentido” à um conjunto de objetos reconhecidos



Passos Fundamentais

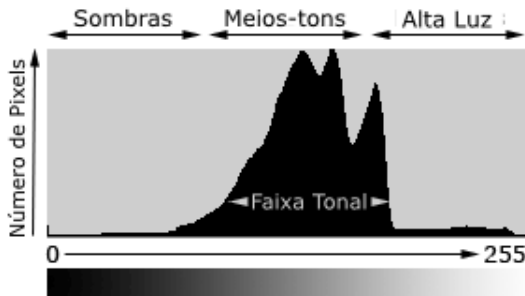
Abrange ampla escala de hardware, software e fundamentos teóricos



Pre-processamento

Pré-processamento refere-se ao processamento inicial de dados brutos para calibração radiométrica da imagem

- Histograma: É uma função que mostra a frequência com que cada nível de cinza aparece na imagem



- ▶ Realce de contraste
- ▶ Remoção de Ruído



Pre-processamento

Restauração e realce

O realce tem por objetivo destacar detalhes da imagem que são de interesse para análise, ou seja, processar uma imagem de modo que o resultado seja mais apropriado para uma aplicação específica do que a imagem original.



Elementos de percepção visual

Adaptação ao brilho e discriminação:

- O brilho percebido não é uma função simples de intensidade.
 - ▶ O sistema visual tende a subestimar ou superestimar a intensidade próxima aos contornos entre regiões



- ▶ Brilho percebido não depende simplesmente de sua intensidade



Análise de Histograma

- Histograma: É uma das ferramentas mais simples e úteis para o PDI;

Tipos de Realces

- Linear: $Y = A * X + B$
- MinMax
- Raiz-Quadrado: $Y = A * \sqrt{X}$
- Quadrado: $Y = A * X^2$
- Log: $Y = A * \log(X + 1)$
- Negativo: $Y = -(A * X + B)$

onde:

Y = novo valor de nível de cinza;

X = valor original de nível de cinza;

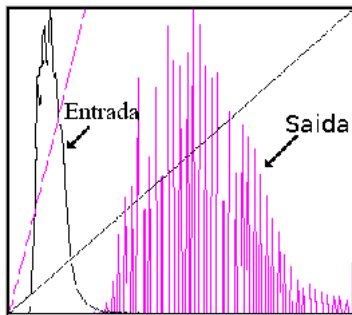


Realce Linear

$$Y = AX + B$$

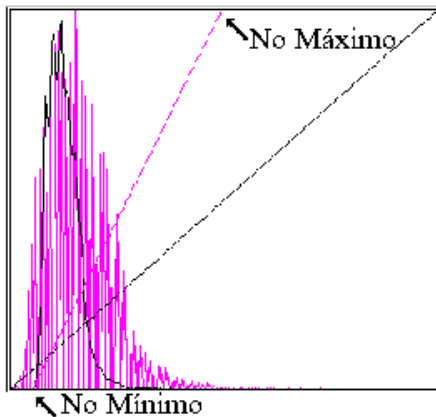
A = inclinação da reta (tangente do ângulo);

B = fator de incremento, definido pelos limites mínimo e máximo fornecidos pelo usuário.



Realce MinMax

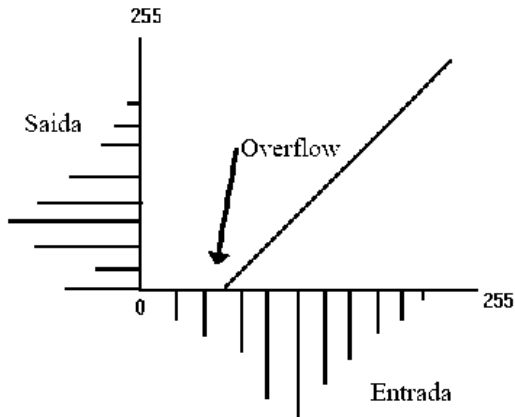
- é idêntica a manipulação de uma curva linear
- A diferença está no momento em que feita a escolha da opção.



Realce MinMax

Overflow em Realce

- Um "overflow" ocorre quando uma porção pixels de níveis de cinza diferentes são transformados em um único nível
- A ocorrência de "overflow" é muitas vezes desejada,

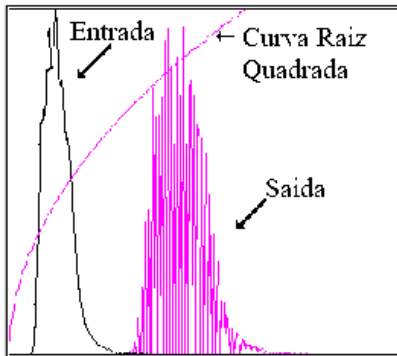


Realce Raiz-Quadrado

$$Y = A * \sqrt{X}$$

A = fator de ajuste para os níveis de saída ficarem entre 0 e 255

- Utiliza-se a opção de transformação por raiz quadrada para aumentar o contraste das regiões escuras da imagem original.

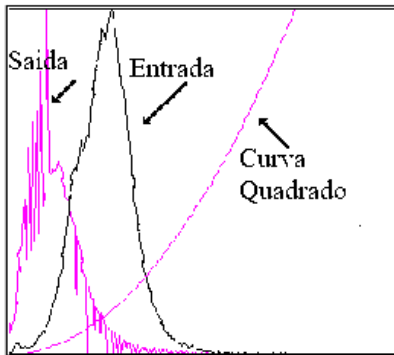


Realce Quadrado

$$Y = A * X^2$$

A = fator de ajuste para os níveis de saída ficarem entre 0 e 255

- Utiliza-se este mapeamento quando se deseja aumentar o contraste de feições claras (altos níveis de cinza da imagem).

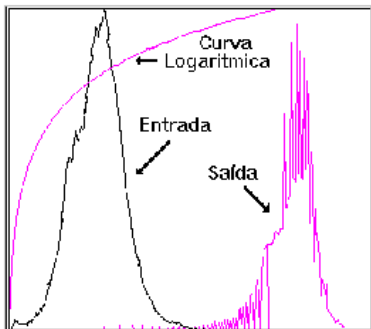


Realce Logarítmico

$$Y = A * \text{Log}(X + 1)$$

A = fator definido a partir dos limites mínimo e máximo da tabela, para que os valores estejam entre 0 e 255.

- O mapeamento logarítmico de valores de níveis de cinza é útil para aumento de contraste em feições

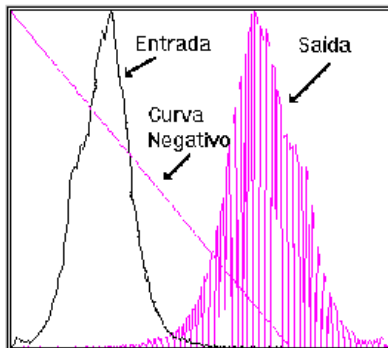


Realce Negativo

$$Y = -(A * X + B)$$

A = inclinação da reta (tangente do ângulo)

B = fator de incremento, mínimo e máximo fornecidos pelo usuário.



Relacionamentos básico entre pixels

Relacionamentos básico entre pixels

- Vizinhança
- Conectividade
- Rotulação de componentes conexos
- Operações Lógico-aritméticas



- Um pixel p nas coordenadas (x, y) possui 4 vizinhos vizinhos horizontais e verticais, $N_4(p)$:

$$(x + 1, y), (x - 1, y), (x, y + 1), (x, y - 1)$$

- Os quatro vizinhos diagonais possuem coordenadas $N_D(p)$:

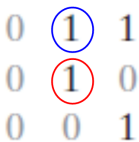
$$(x+1, y+1), (x+1, y-1), (x-1, y+1), (x-1, y-1)$$

- A vizinhança-de-8 de p , $N_8(p) = N_4(p) \cup N_D(p)$

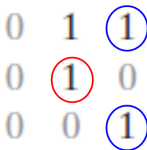


Conectividade

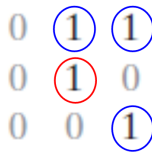
- Estabelece uma relação de adjacência entre pixels e seus níveis de cinza devem satisfazer um certo critério de similaridade.



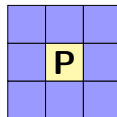
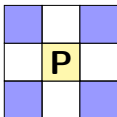
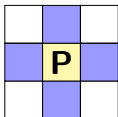
Conectados $N_4(p)$



Conectados $N_D(p)$



Conectados $N_8(p)$



Rotulação de componentes conexos

Se p e q forem pixels de um subconjunto S de uma imagem, então p está conectado a q em S se existir um caminho de p a q consistindo inteiramente de pixels de S .



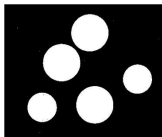
Componentes Conectados



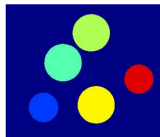
Componentes Conectados Rotulados



Imagem de entrada



Resultado da segmentação



Rotulação dos componentes conexos

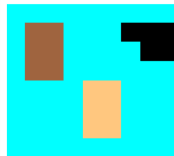


Imagem processada

Operações Lógico-Aritméticas

Aritméticas:

- Adição: $p + q$
- Subtração: $p - q$
- Multiplicação: $p * q$
- Divisão: p / q



Segmentação

Detecção de Descontinuidades

Imagem \rightarrow Atributos (bordas, contornos, nível de cinza)

- Detecção de Descontinuidades

- ▶ Detecção de pontos
- ▶ Detecção de linhas
- ▶ Detecção de bordas

A detecção é baseada na convolução da imagem com uma máscara espacial.

$$\text{Uma mascara de } 3 \times 3 = \begin{bmatrix} w_{-1,-1} & w_{-1,0} & w_{-1,1} \\ w_{0,-1} & w_{0,0} & w_{0,1} \\ w_{1,-1} & w_{1,0} & w_{1,1} \end{bmatrix}$$



Classificação

