
Processamento de Imagens Digitais

Curso de Inverno de Introdução às Tecnologias Espaciais:
Engenharia, Matemática e Computação

Rafael Santos



- Introdução
 - Aplicações de processamento de imagens digitais
 - Formação de imagens digitais
 - Resolução espacial/espectral e imagens multiespectrais
 - Correção geométrica
 - Problemas com a representação de imagens
 - Sistemas de cores
- Análise Básica e Realce
 - Regiões e vizinhança
 - Análise estatística básica
 - Histogramas e aplicações
 - Realce

- Operações Básicas
 - Extração de características
 - Operações básicas com imagens
 - Operações aritméticas
 - Operações morfológicas
 - Casamento de padrões
- Introdução à Classificação
 - Introdução à classificação de imagens digitais
 - Classificação supervisionada: conceitos e algoritmos básicos
 - Classificação não-supervisionada: conceitos e algoritmos básicos
 - Outros tópicos de classificação



Introdução

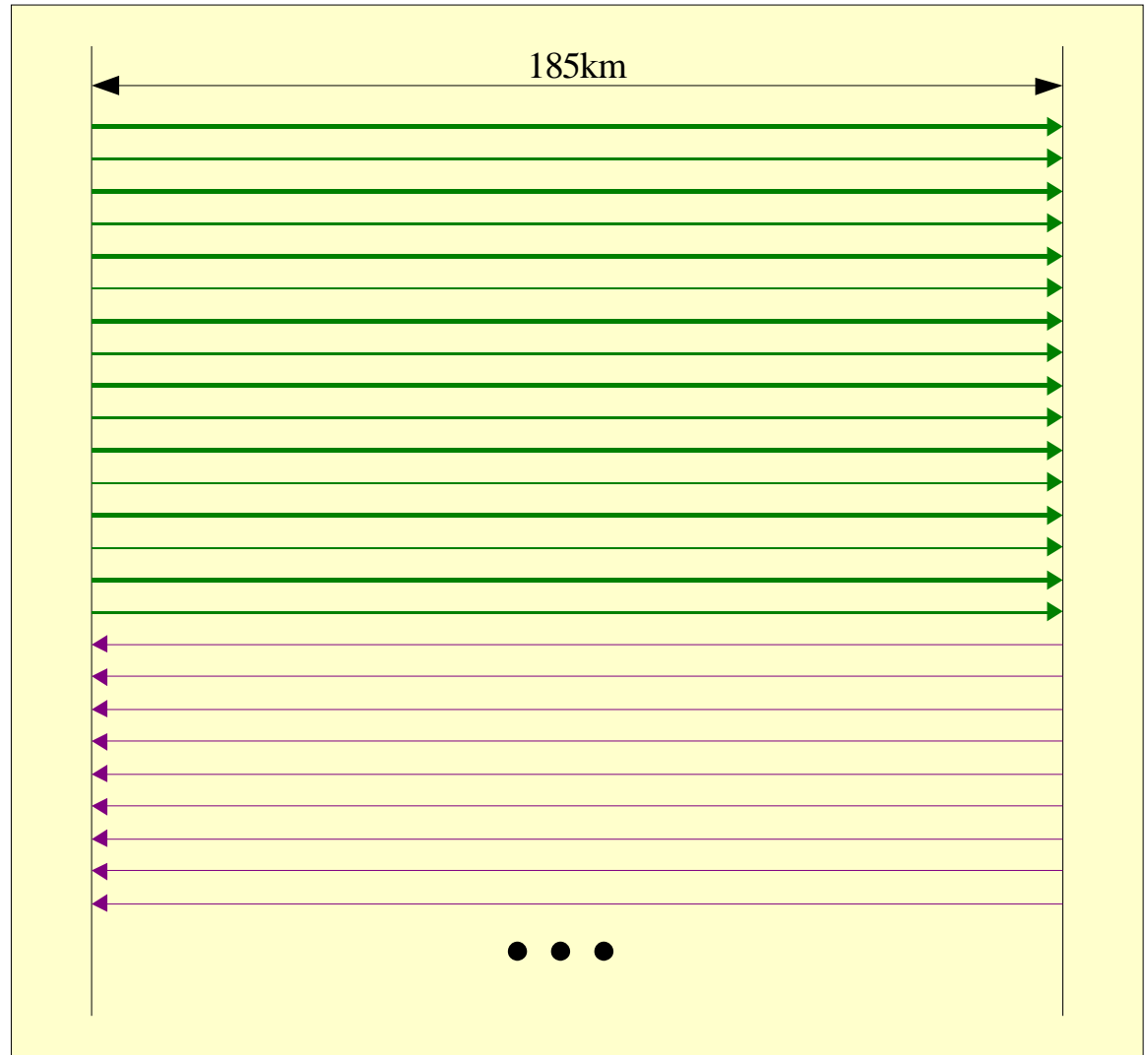


- **Sensoriamento Remoto:**
 - Geologia (estudo da composição da superfície)
 - Agricultura (determinação da cobertura vegetal)
 - Engenharia Florestal (idem)
 - Cartografia (mapeamento da superfície)
 - Meteorologia
- Medicina e Biologia
- Astronomia (macro) e Física (micro)
- Produção e Controle de Qualidade
- Segurança e Monitoramento
- Documentos, Web, etc.



- Sensor(es) medem uma determinada característica em um ponto de um objeto
- Vários pontos são usados para criar uma imagem
 - Pontos são geralmente distribuídos regularmente (*resolução espacial*)
 - Atributos ou características são digitalizadas ou discretizadas (*resolução espectral*)
- Uma imagem é uma matriz regular onde cada elemento pode ter vários atributos associados (bandas)

- Sensor TM (*Thematic Mapper*) do satélite Landsat
 - Dezesesseis sensores paralelos bidirecionais
 - Resolução de 30 metros por pixel
 - 6 bandas (mais uma de outra resolução)
 - Imagem que cobre faixa de 185 km de largura
 - Cada pixel é discretizado com valores entre 0 e 255

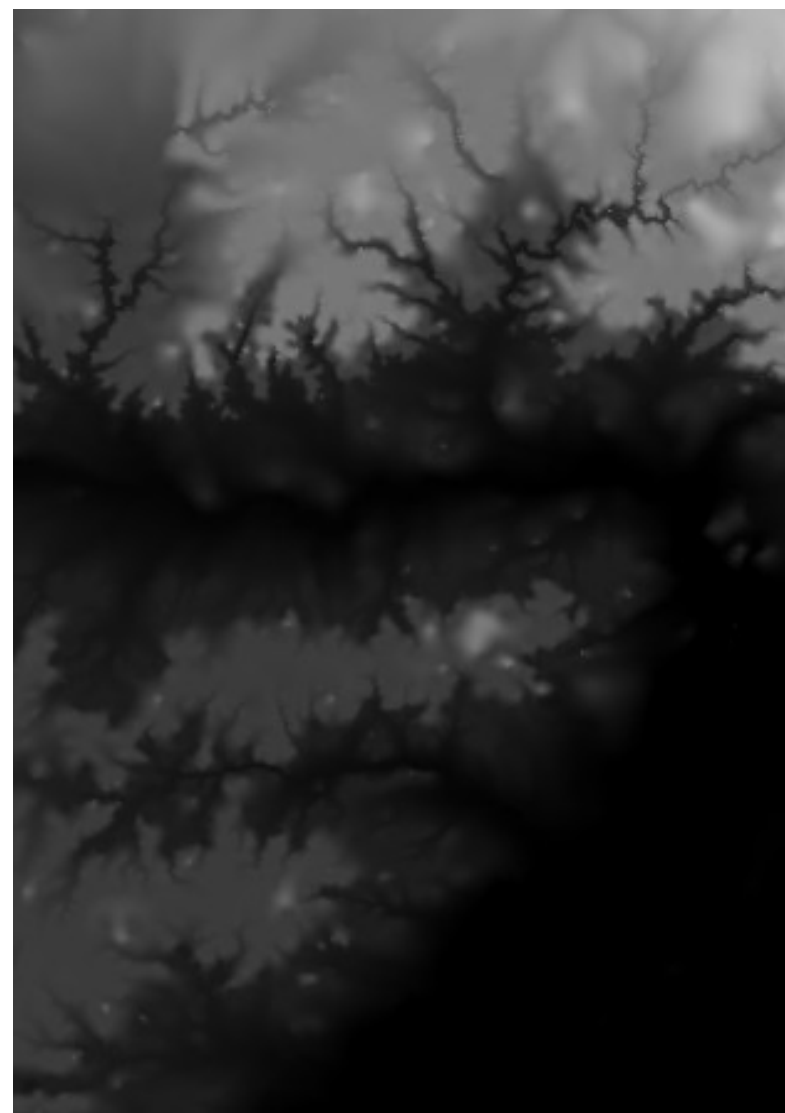


- Câmera Digital
 - 3264x2448 elementos sensores
 - Resolução: não se aplica
 - 3 bandas
 - Cada pixel é discretizado com valores entre 0 e 255

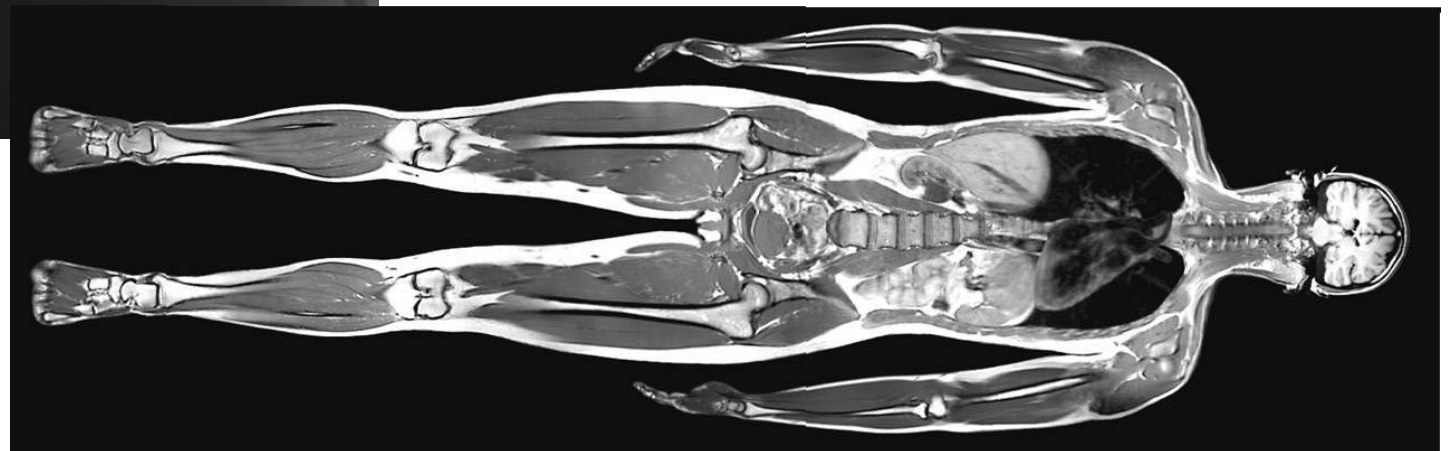
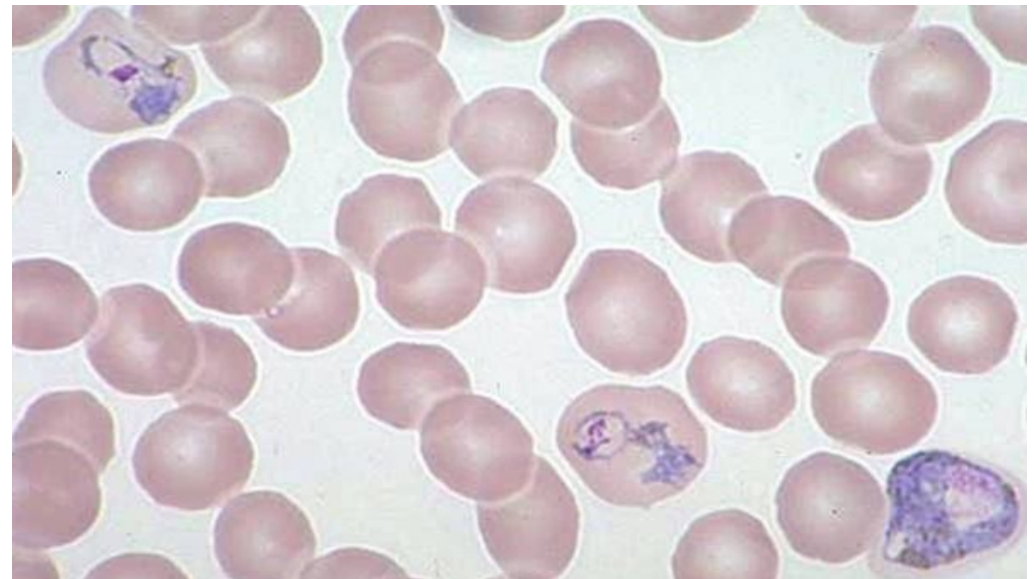
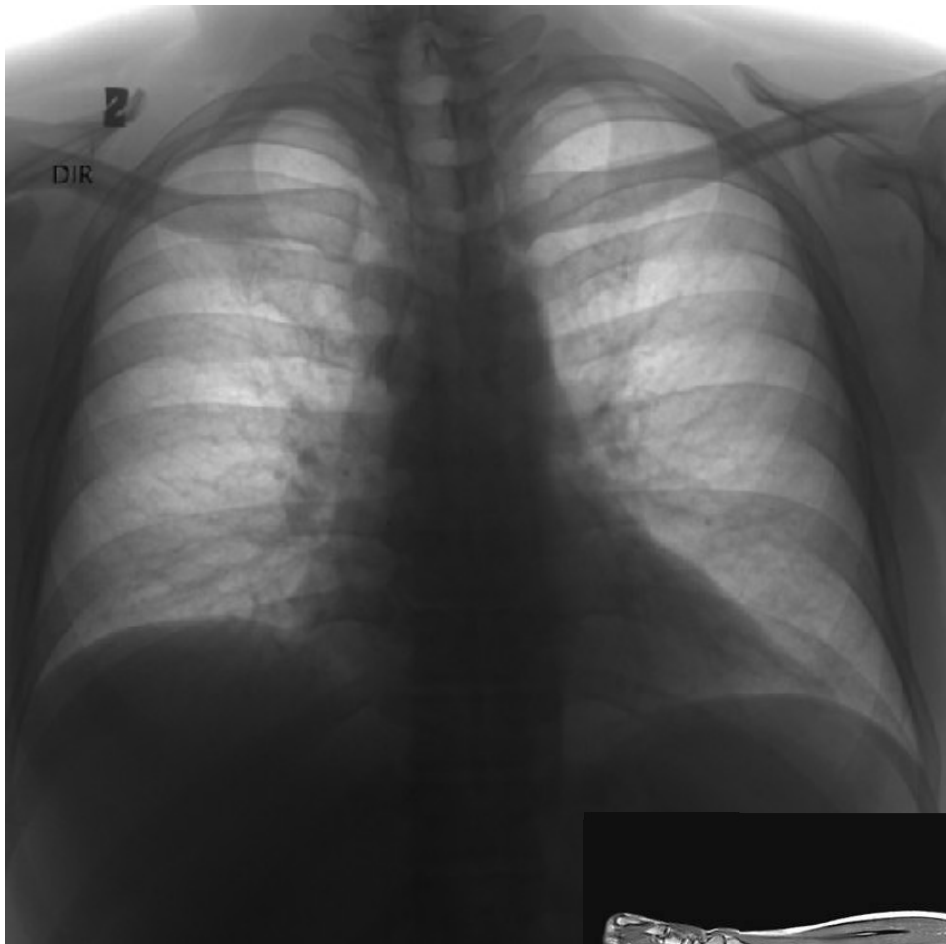
- Scanner
 - Array móvel de elementos sensores
 - Resolução: 2400 DPI ou mais
 - 3 bandas
 - Discretização variável



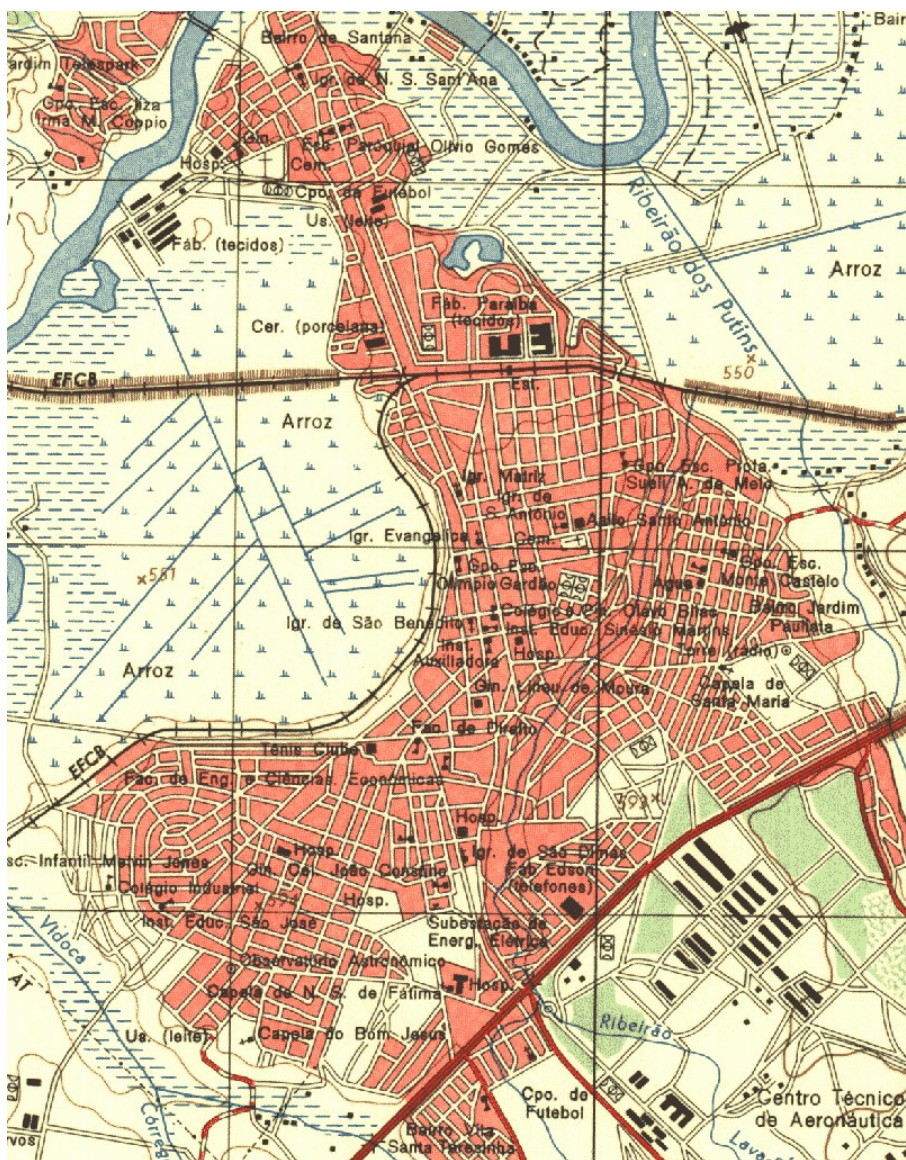
Outros Tipos de Imagens Digitais










Outros Tipos de Imagens Digitais



Outros Tipos de Imagens Digitais

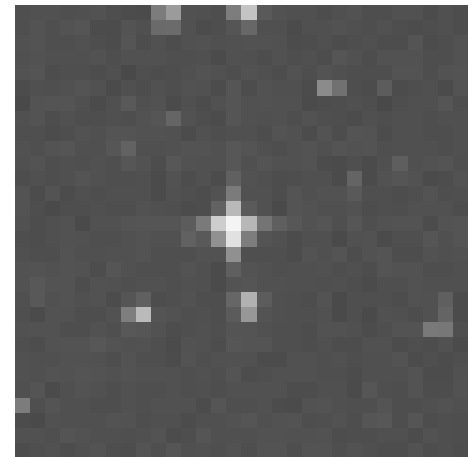
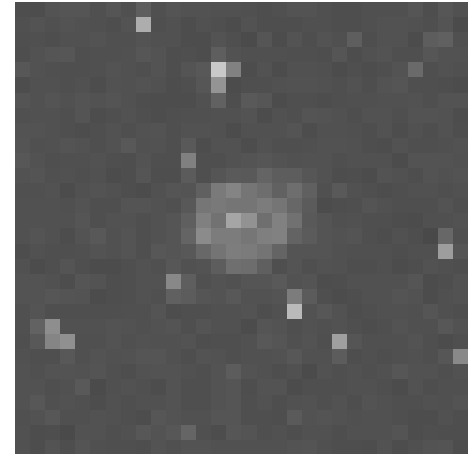


平かな 日常用語-216

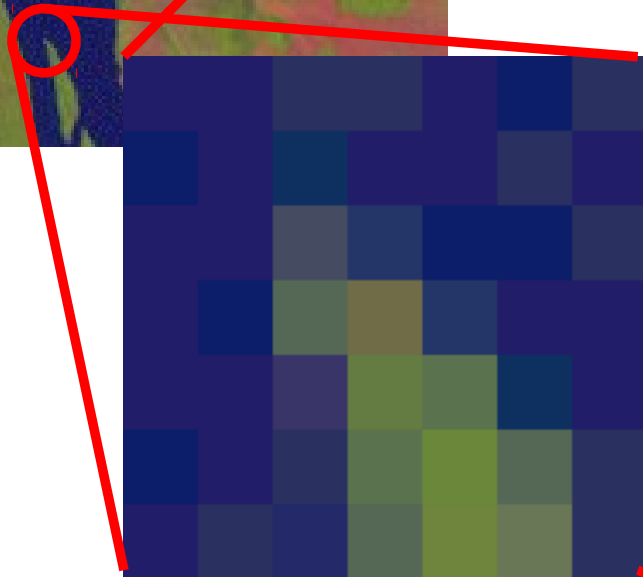
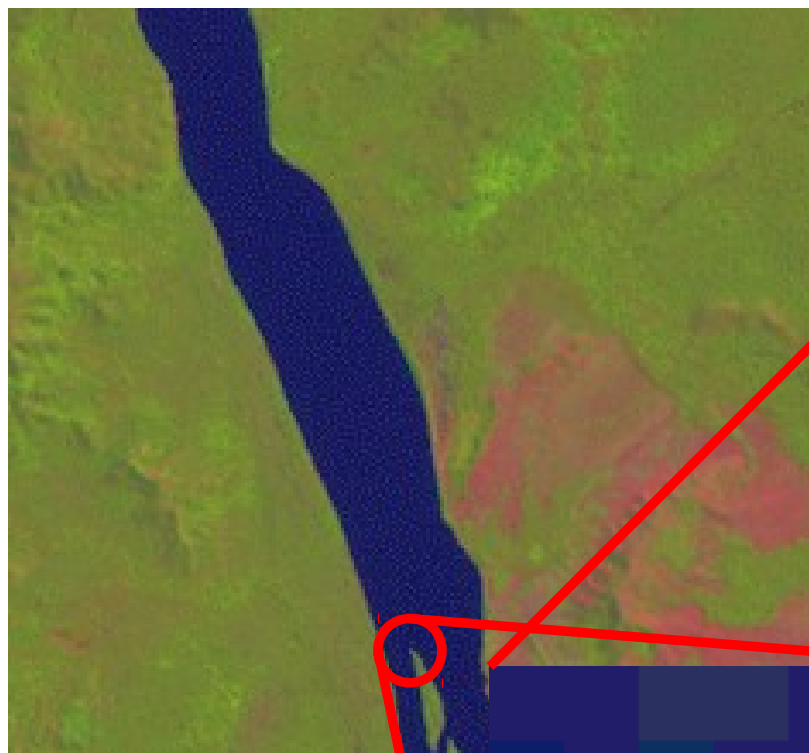
 <p>そのま、</p>	 <p>先日お話の</p>	 <p>すみません</p>	 <p>しのぎよく</p>	 <p>さぞかし</p>	 <p>御無沙汰</p>	 <p>御心配なく</p>
---	--	--	--	---	---	--



Outros Tipos de Imagens Digitais



Imagens e Pixels



34	34	42	42	34	12	42
29	29	49	49	29	30	49
105	105	97	97	105	105	97
12	34	14	34	34	42	34
30	29	48	29	29	49	29
105	105	97	105	105	97	105
34	34	69	36	12	12	42
29	29	76	54	30	30	49
105	105	97	104	105	105	97
34	12	85	113	36	34	34
29	30	103	108	54	29	29
105	105	85	72	104	105	105
34	34	58	100	90	14	34
29	29	53	123	115	48	29
105	105	105	66	78	97	105
12	34	42	90	107	85	42
30	29	49	115	136	103	49
105	105	97	78	58	85	97
34	42	35	85	111	105	42
29	49	41	103	132	119	49
105	97	105	85	60	86	97



- Qual é o tamanho (lado) de um pixel ?
 - NOAA AVHRR (meteorológico): 1.1 km
 - Landsat RBV: 80 m
 - Landsat TM: 30 m para bandas 1-5 e 7, 120 m para banda 6 (térmica)
 - CBERS-2: 260m para WFI, 20m para CCD.
 - SPOT: 20 m para multiespectral, 10 m para pancromático
 - IKONOS: 1 m
 - QuickBird: 60 cm
 - Aéreas (obtidas de vôos com aviões): depende

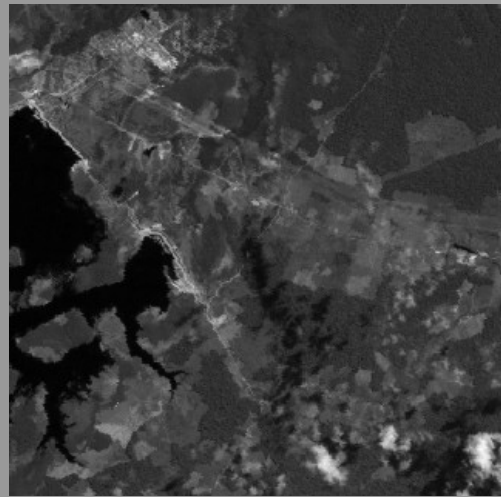
- Menor resolução → Menos detalhes
 - Alguns alvos ou objetos são parcialmente menores do que um pixel: não podem ser identificados facilmente
- Maior resolução → Mais detalhes
 - Alvos ou objetos compostos de vários pixels contíguos (regiões)
 - Quanto maior a resolução, maiores estas regiões
- Mesma área coberta, com maior resolução → Mais pixels (mais informação para processar, imagens maiores)
- Alguns algoritmos e metodologias devem ser aplicados diferentemente dependendo da resolução!

- Quantas cores ou níveis de cinza diferentes um pixel pode assumir ?
 - Mais comum: usar oito bits para cada pixel em cada banda
 - Oito bits = um byte: valor máximo do pixel é 2^8-1 (entre 0 e 255)
 - Outros valores comuns: 12 bits por pixel (entre 0 e 4095)
- Frequentemente imagens são compostas de bandas:
 - Uma banda, 8 bits/pixel: 256 níveis de cinza diferentes
 - Três bandas, 8 bits/pixel: 256^3 cores diferentes (aprox. 16 milhões)
 - Seis bandas, 8 bits/pixel: 256^6 combinações diferentes (aprox. 281 trilhões)

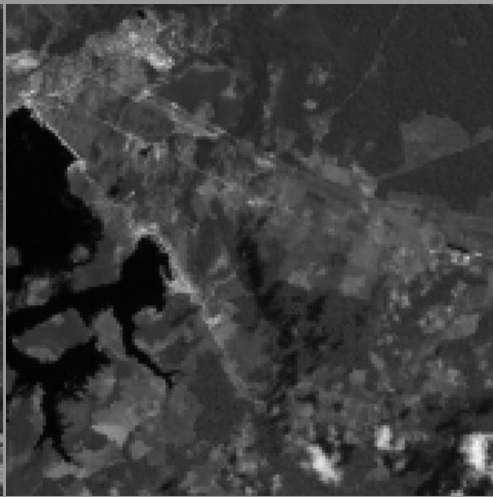


- Reamostragem:
 - Redução do número de pixels para representar uma imagem
 - Causa a redução dos requisitos para processamento
- Quantização:
 - Redução do número de níveis de cinza (ou cores) de uma imagem
 - Pode levar a uma redução do número de bits necessário para representar a imagem → compressão
- Reamostragem e quantização causam a perda de informação
 - Podem ser necessárias...

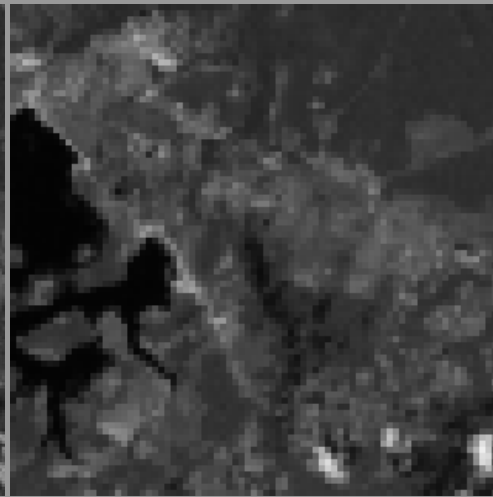
Efeitos da Reamostragem



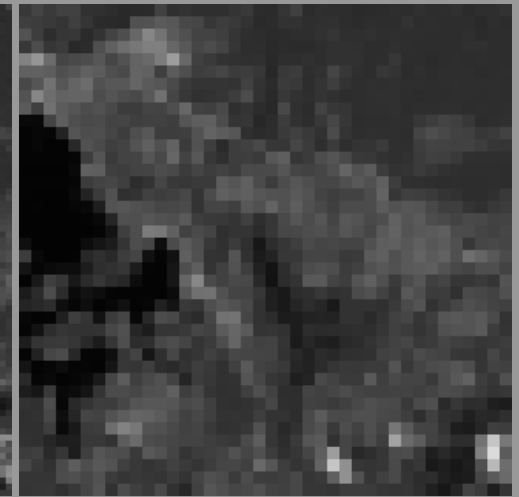
Sem reamostragem



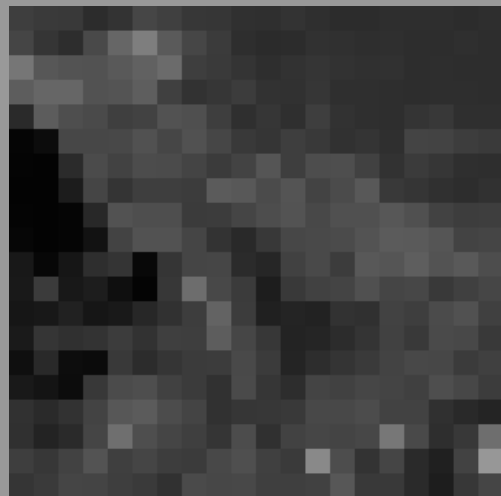
2:1



4:1



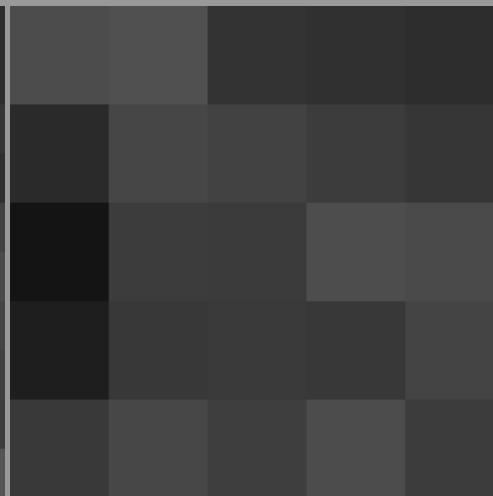
8:1



16:1



32:1



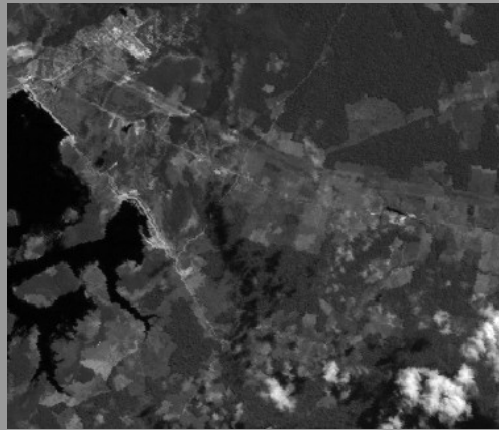
64:1



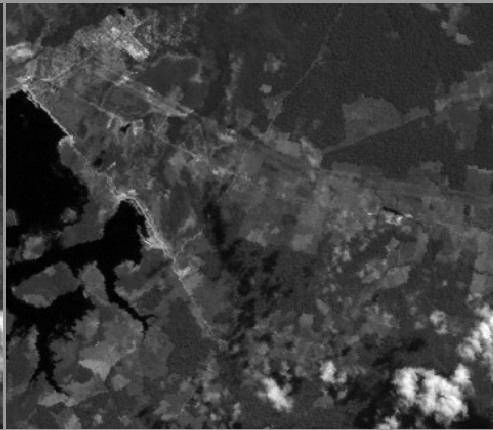
80:1



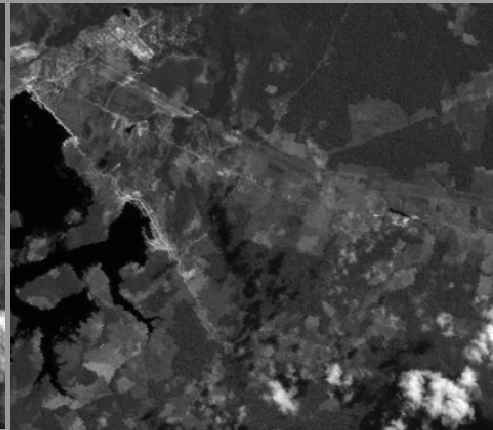
Efeitos da Quantização



8 bits



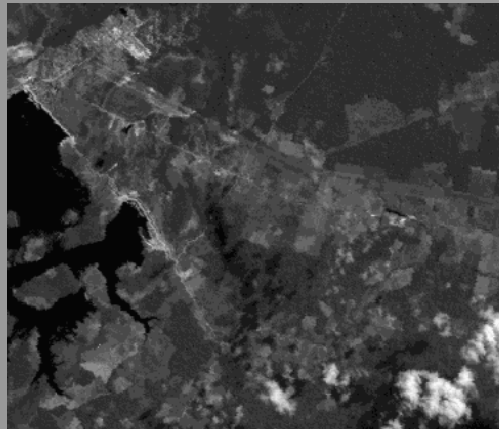
7 bits



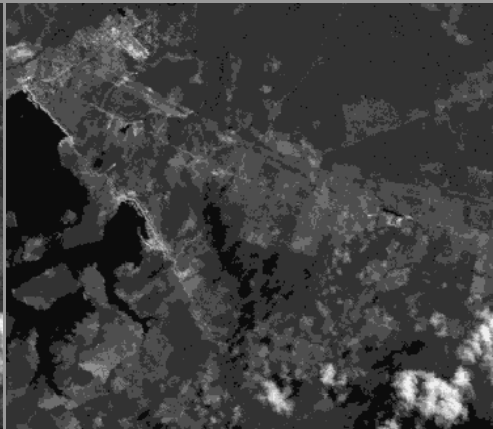
6 bits



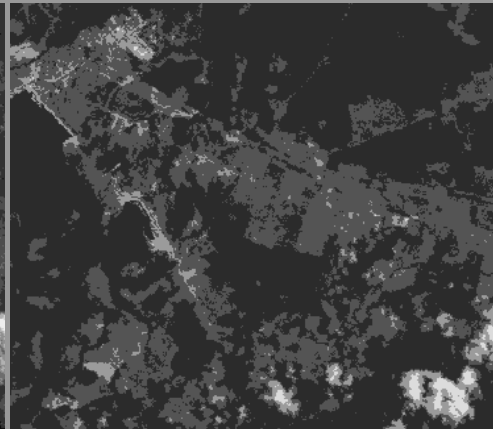
5 bits



4 bits



3 bits



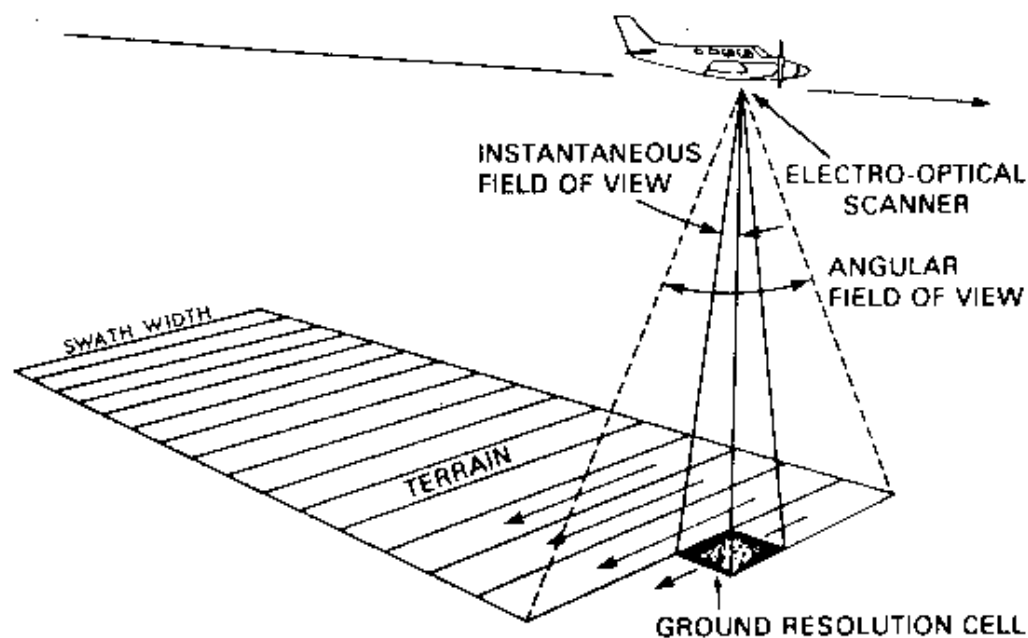
2 bits



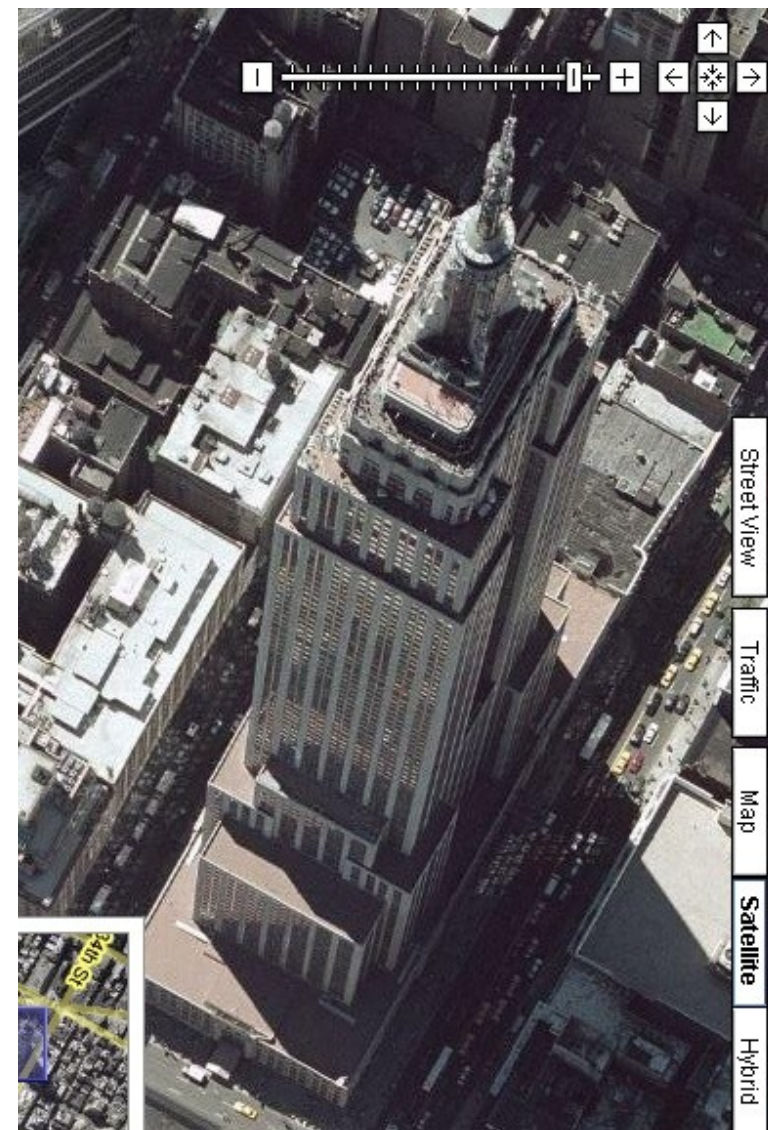
1 bit



- Imagens de sensoriamento remoto não correspondem geometricamente ao solo
 - Características dos sensores
 - Movimento do sensor
 - Curvatura da Terra e relevo

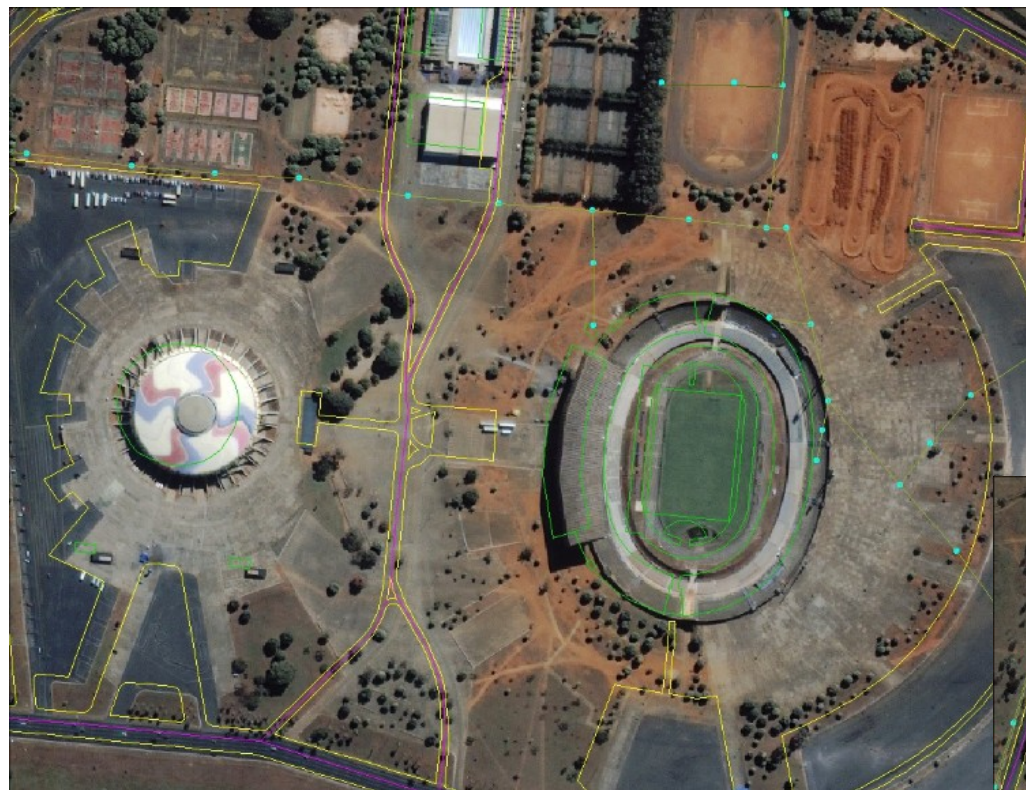


<http://www.fao.org/DOCREP/003/T0355E/T0355E16.gif>



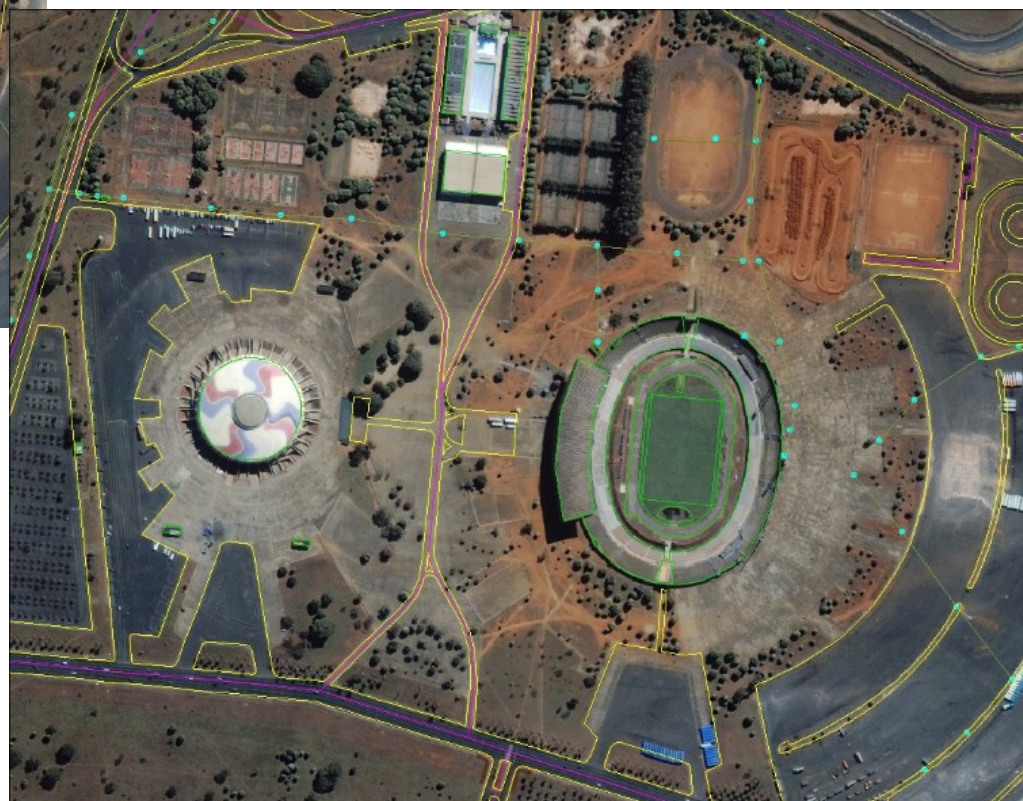
- Correção Geométrica: reorganiza os pixels de forma que estes correspondam a um sistema de projeção cartográfica
 - Modelo de geometria orbital: paramétrico (ortorretificação) com DEMs e dados de efemérides.
 - Polinomial racional: Usa DEMs, não usa dados de efemérides.
 - Polinomial simples: uso de pontos de controle no solo e identificação destes nas imagens

Correção Geométrica



Sem correção geométrica

Ortorretificada



Geoambiente Sensoriamento Remoto

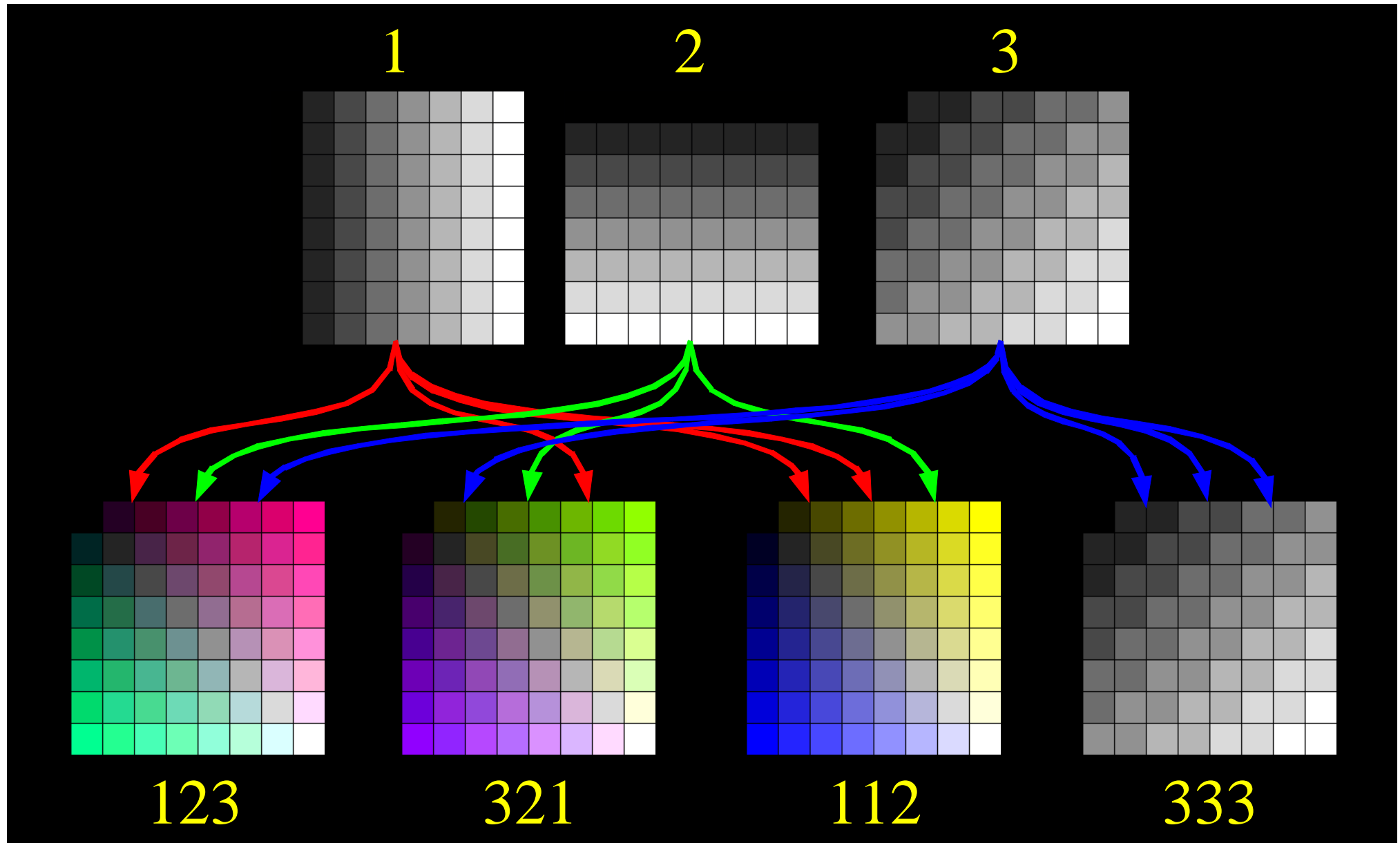


- Imagem pancromática: uma banda do espectro visível
 - Imagens multiespectrais: com várias bandas
 - Cada pixel pode ser considerado um vetor (matemático) no espaço de N dimensões onde N é o número de bandas
 - Exemplo: Landsat TM

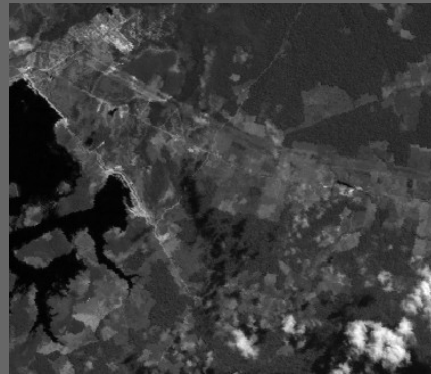
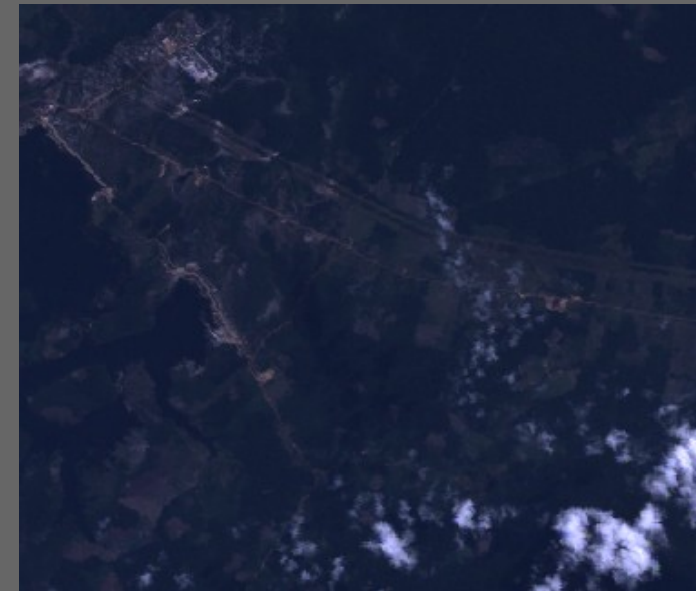
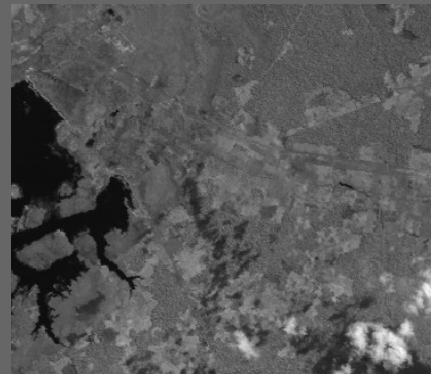
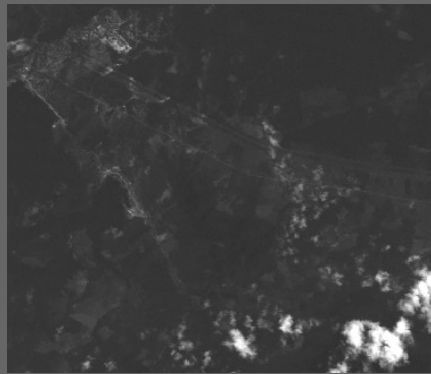
Banda	Comprimento de Onda	Descrição	Características
1	0.45-0.52	Azul	Penetra corpos de água, influenciada pela atmosfera
2	0.52-0.60	Verde	Reflectância de vegetação saudável
3	0.63-0.69	Vermelho	Discriminação de vegetação, efeito da atmosfera é reduzido
4	0.76-0.90	Infravermelho próximo	Identificação de tipos de vegetação, contraste entre solo/plantação e terra/água
5	1.55-1.75	Infravermelho médio	Quantidade de água nas plantas, remoção de nuvens finas e fumaça
6	10.4-12.5	Térmico	Calor emitido da superfície, umidade do solo, atividade geotérmica
7	2.08-2.35	Infravermelho médio	Discriminação entre formações geológicas, identificação de alterações termais

- **Problema:** hardware para visualização e visão humana processam bem 1 ou 3 bandas.
- **Solução:** combinar 3 das bandas disponíveis para visualização
 - Uma banda para o componente vermelho, uma para o verde e uma para o azul: cores primárias de vídeo
 - Ordem (R1G2B3, R3G2B1) importa!
 - Só funcionará se as 3 bandas forem da mesma cena!

Composição de Bandas (RGB)



Composição de Bandas – Imagem Landsat



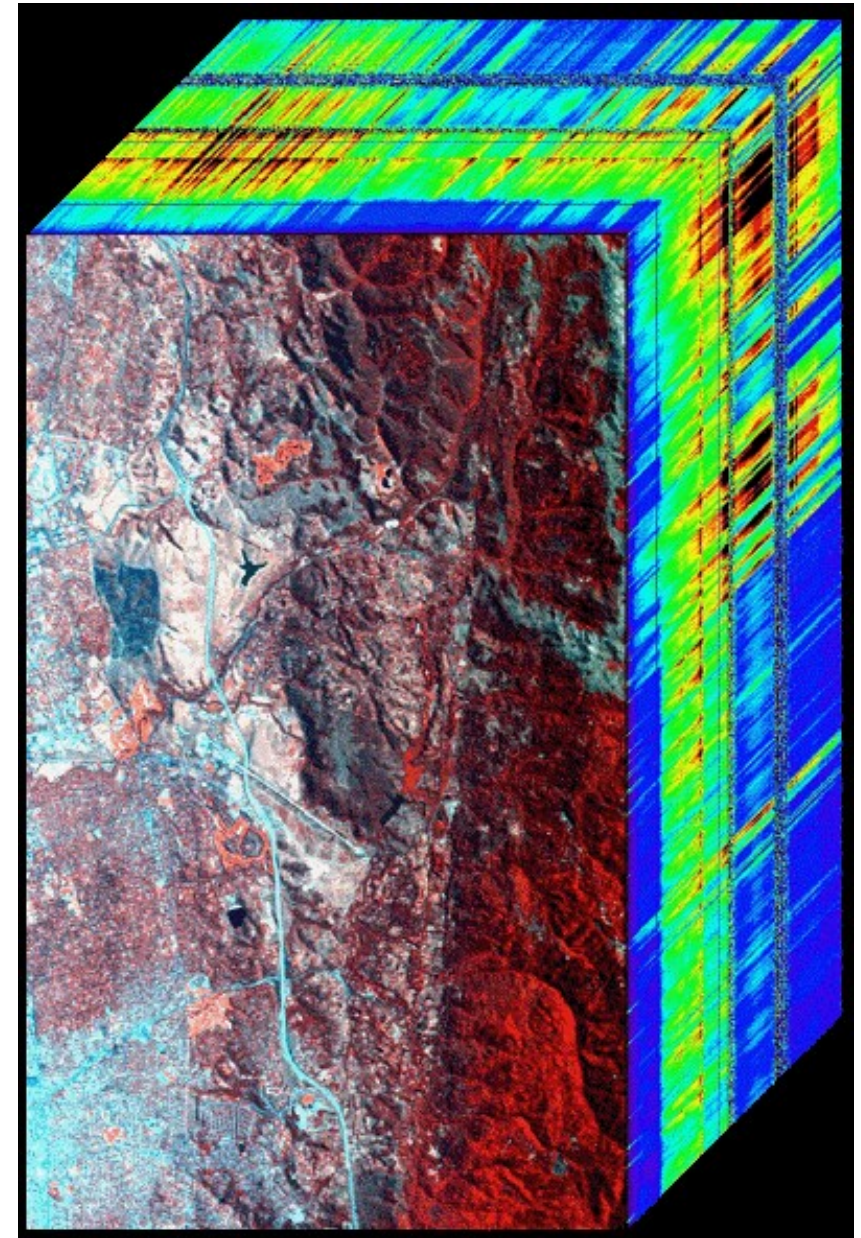
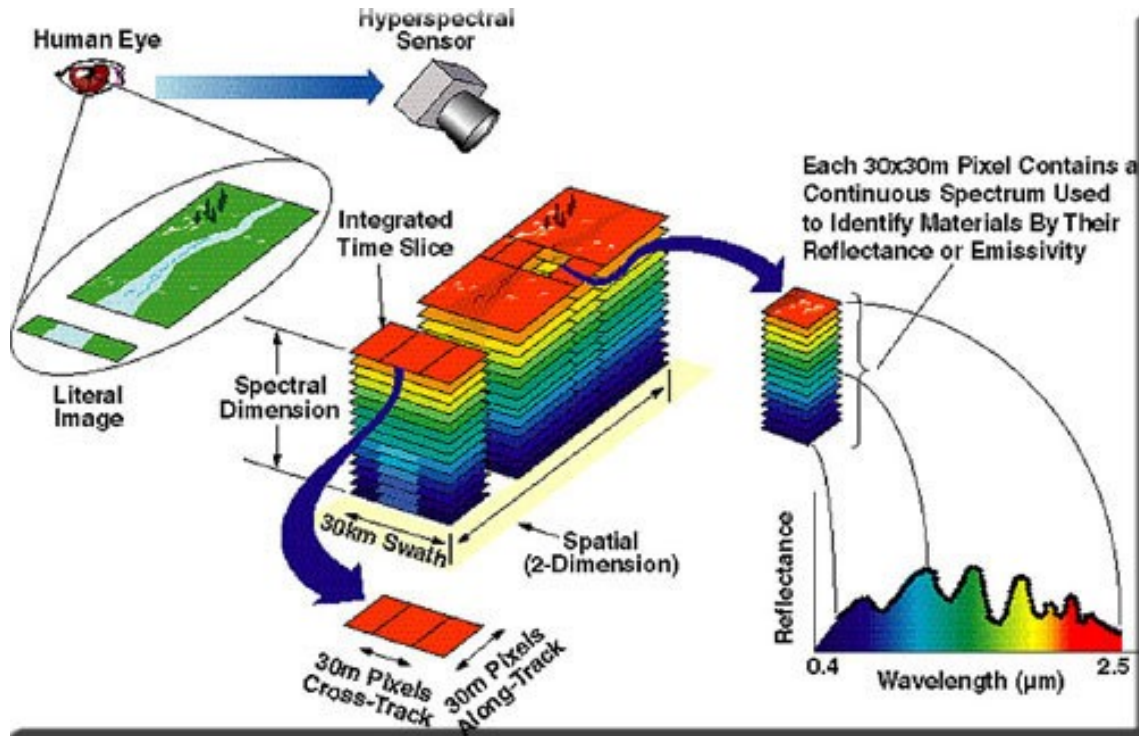
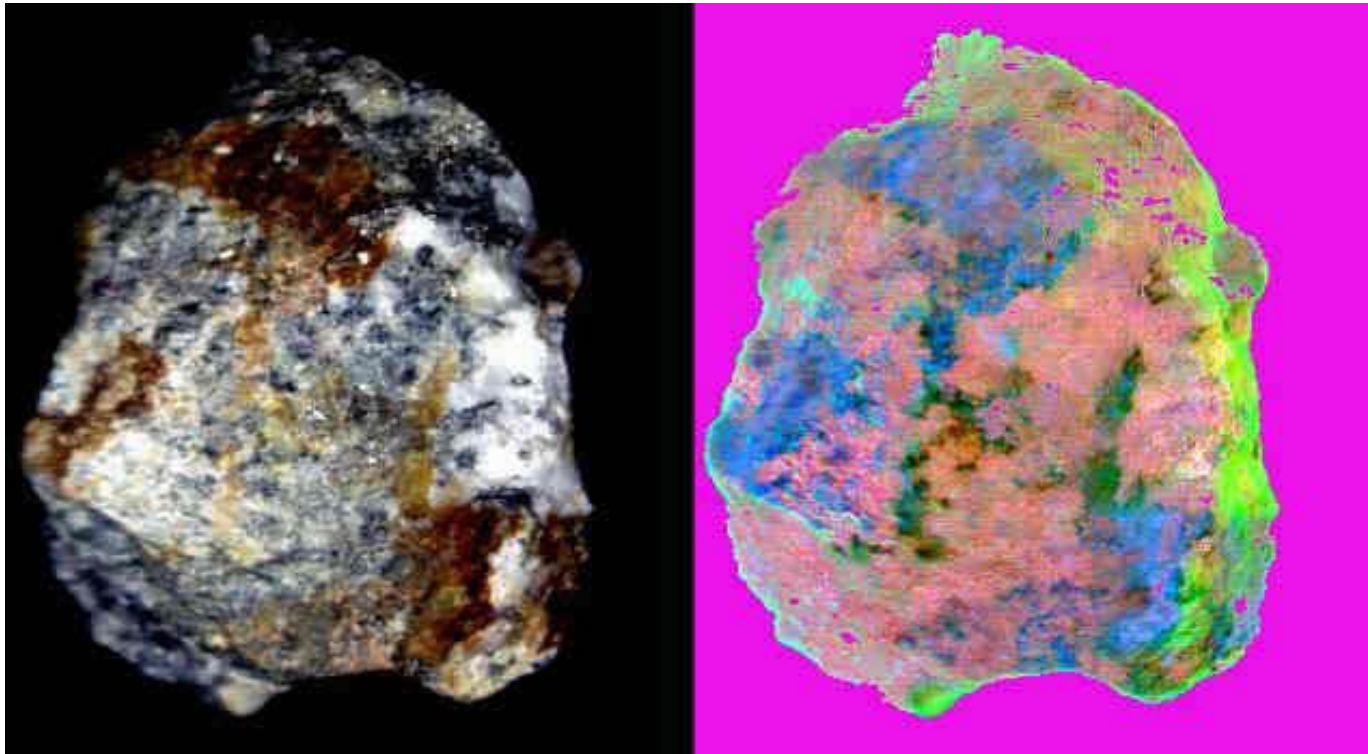


Imagem de 1024x614 pixels e 224 bandas (280Mbytes).

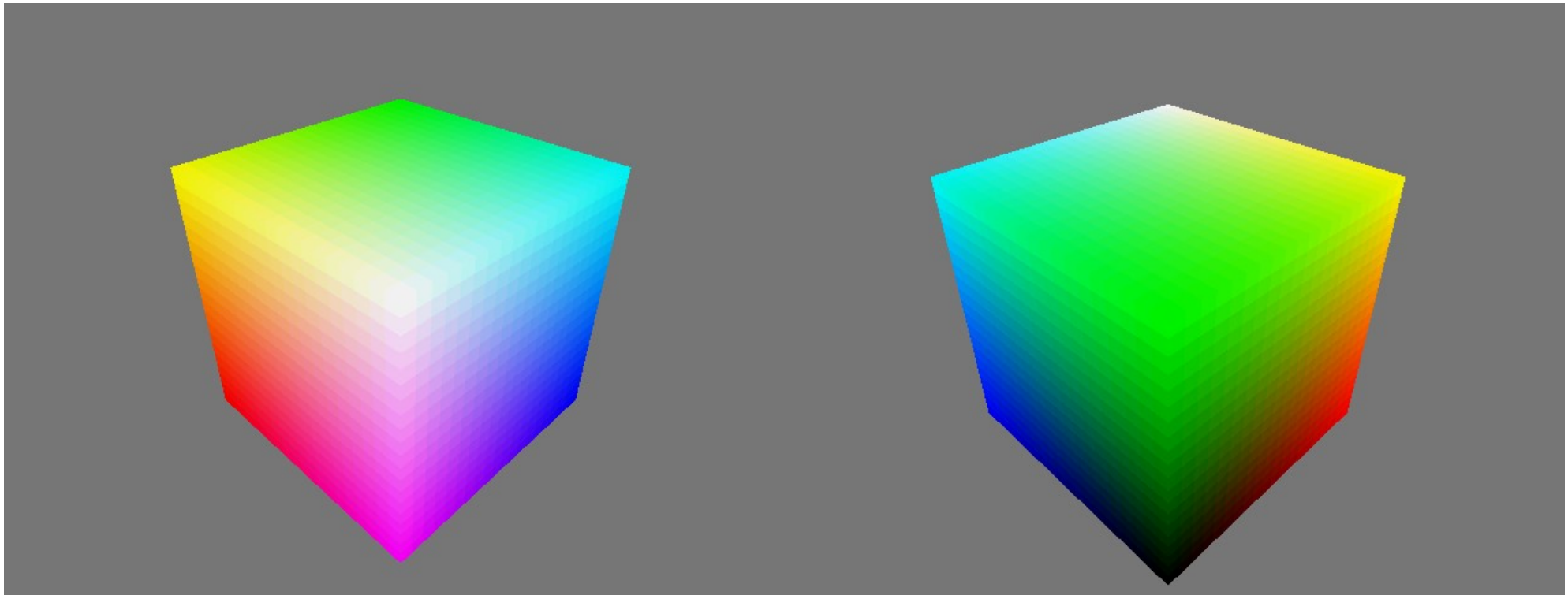
- Face é composição das bandas 43, 17 e 10

- Aplicações também na indústria, em medicina e biologia.



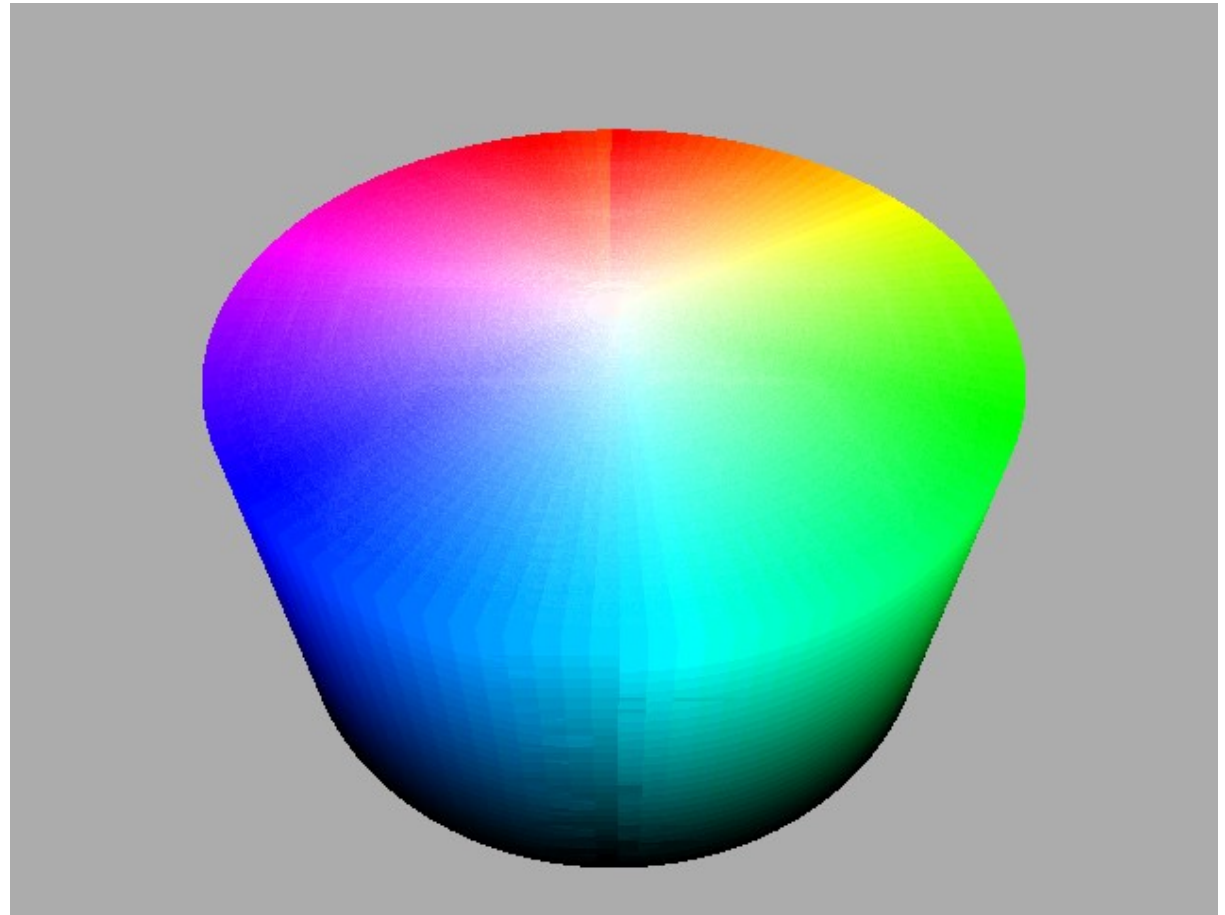
<http://www.photon-industries.com/gallery.htm>

- Baseados em Hardware: RGB, CMY, CMYK, YIQ
 - Usam 3 ou 4 coordenadas para especificar uma cor



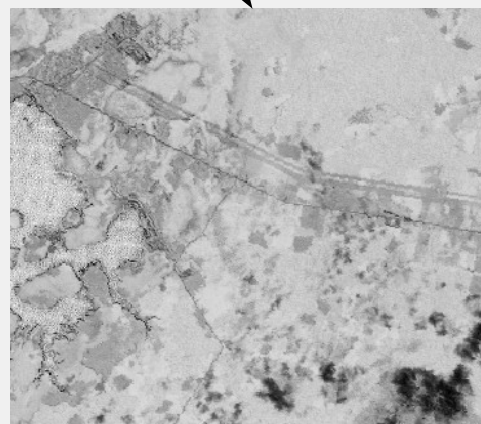
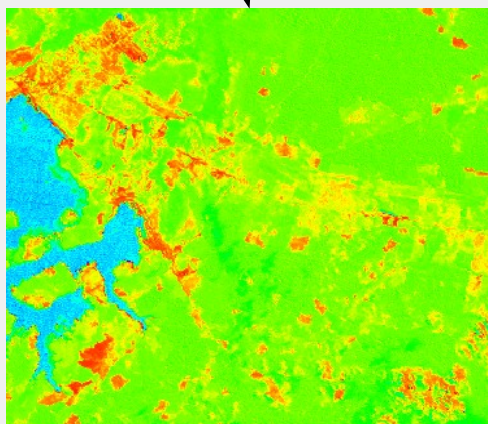
- Baseados em Colorimetria: XYZ, L*a*b*, U*V*W*, etc.

- Baseados na percepção humana: IHS, HSV, HLS, etc.
 - Usam 3 coordenadas para especificar uma cor
 - *Hue*: croma; *Saturation*: saturação; *Intensity* (ou *Value*): brilho



- Integração de imagens de diferentes sensores
 - RGB \rightarrow IHS, substitui banda I por banda de maior resolução, converte novamente IHS \rightarrow RGB
- Manipulação de contraste e brilho
 - RGB \rightarrow IHS, manipula brilho e contraste da banda I, converte novamente IHS \rightarrow RGB
- Compactação (algoritmos especiais)
 - Compactam bandas diferentemente dependendo do detalhamento que o sistema visual humano pode discernir
 - Pouco usado, compactação com perda

Conversão RGB → HSV e separação das bandas



Manipulação de brilho e contraste



**União de bandas e conversão
HSV → RGB**



- Armazenamento de imagens como matrizes de vetores requer muita memória e espaço em disco
- Um byte por pixel:
 - Cena Landsat: 6000 x 6000 pixels, 3 bandas: ~102 Mbytes
 - Cena Landsat: 6000 x 6000 pixels, 6 bandas: ~205 Mbytes
 - Todo o Prodes Digital (3 bandas, 229 cenas): ~23 Gbytes
- Um byte para representar uma cor RGB (LUTs)
 - Scanmap: 16000x12000 pixels: ~183 Mbytes
- Como transmitir estes dados via rede/Internet ?
- E o tempo para processar tudo isto ?

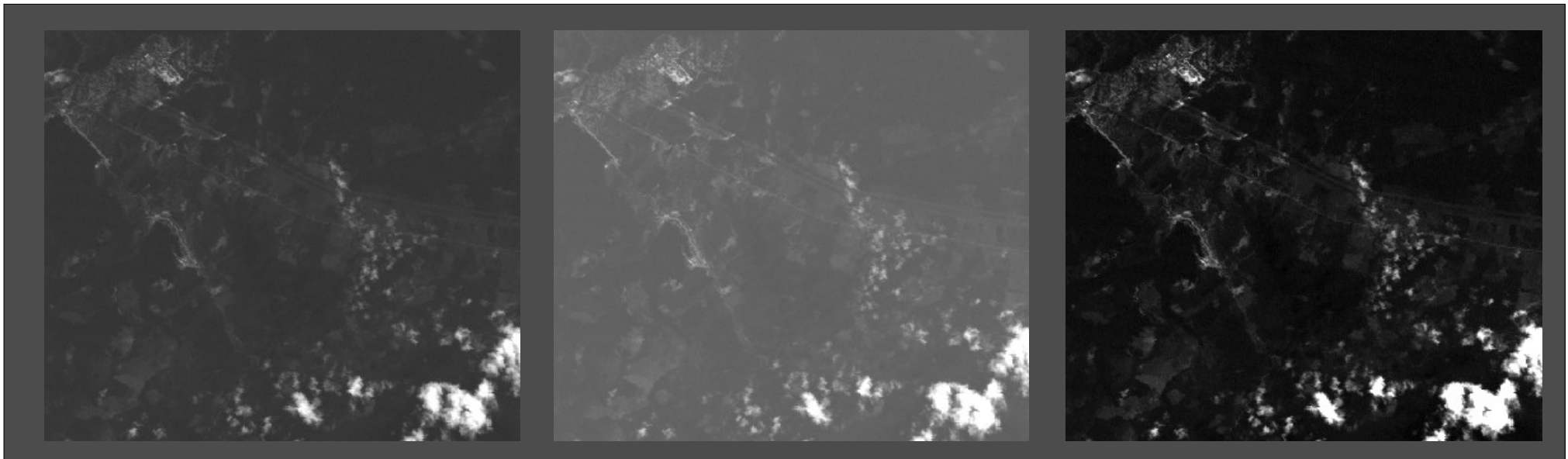


- Armazenamento de imagens requer muita memória e espaço em disco
- Compactação: muda a representação da imagem para ocupar menos espaço
 - Sem perda: a matriz original pode ser recuperada (TIFF, GIF, PNG)
 - Com perda: somente uma aproximação da matriz original pode ser recuperada (JPG, ECW, MrSID)
 - Algoritmos permitem uso de um fator de compressão
 - Geralmente a perda não é percebida visualmente, mas numericamente.

Realce e Análise Básica



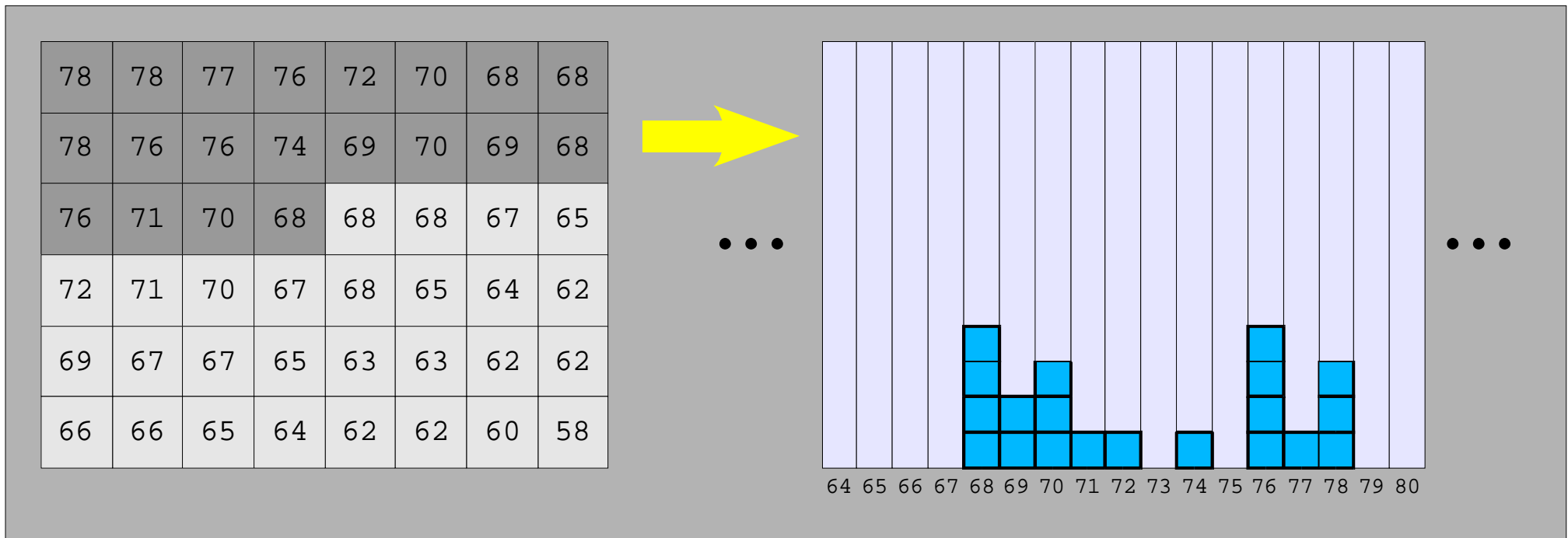
- Técnicas de realce:
 - Permitem melhorar a qualidade visual de uma imagem (brilho, contraste)
 - Possibilitam enfatizar características da imagem
 - Podem (ou não) ser úteis para processamento automático
- Principais e mais conhecidas: baseadas em histogramas



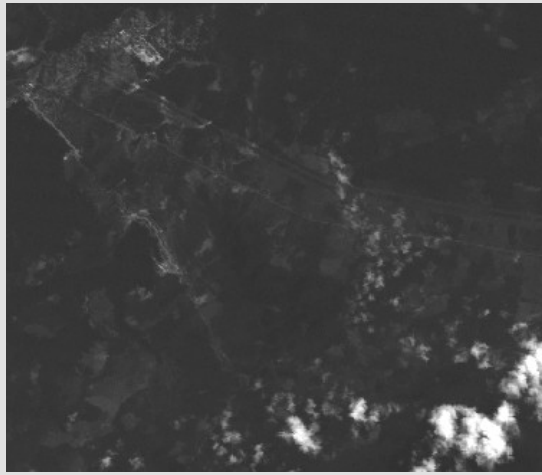
- Ferramenta básica de análise e realce
- Revela distribuição dos níveis de cinza (atributos)
- Ignora distribuição espacial
 - Duas imagens diferentes podem ter histogramas iguais ou similares !
- Espalhamento: indica contraste/variância
- Dimensões dos histogramas:
 - 1 dimensão: imagem em escalas de cinza
 - 2 dimensões (*scatterplot*, *scattergram*, *diagrama de espalhamento*): dois atributos ou bandas
 - N dimensões: pode ser processado mas não visualizado

Histogramas

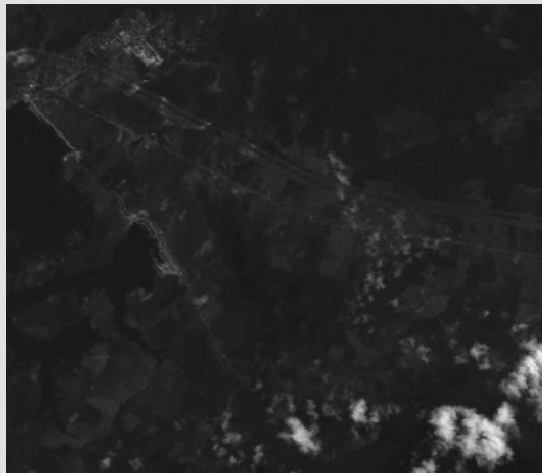
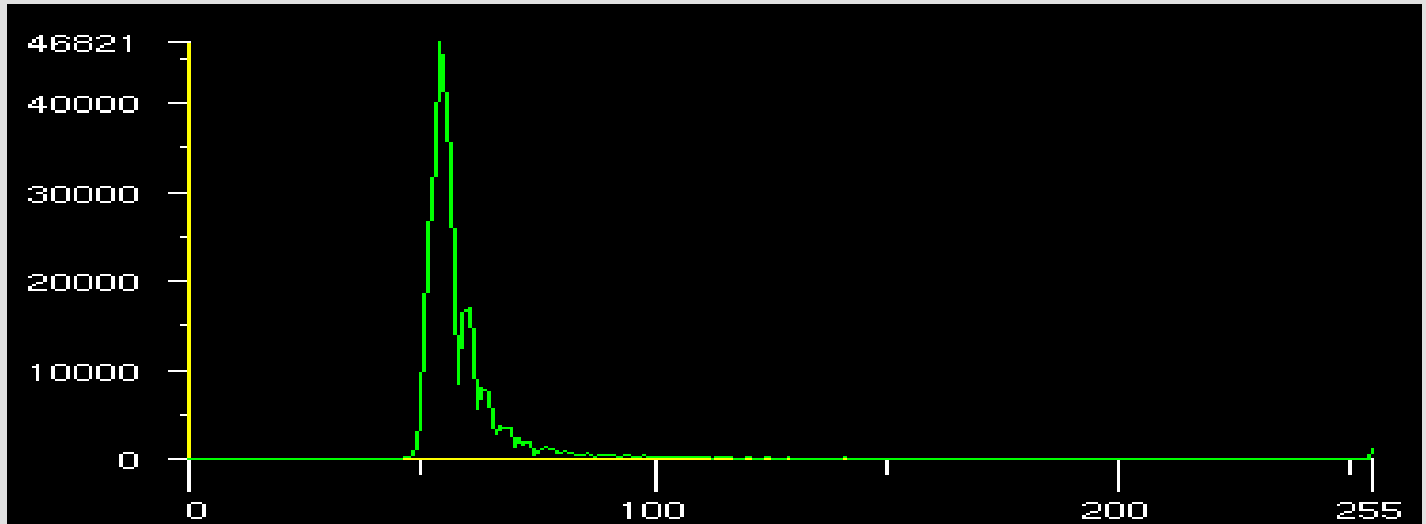
- Passos para a construção de um histograma (uma dimensão):
 - Decide-se o número de posições
 - Para cada pixel na imagem, verifica-se o valor do pixel
 - Incrementa-se a posição daquele valor em um



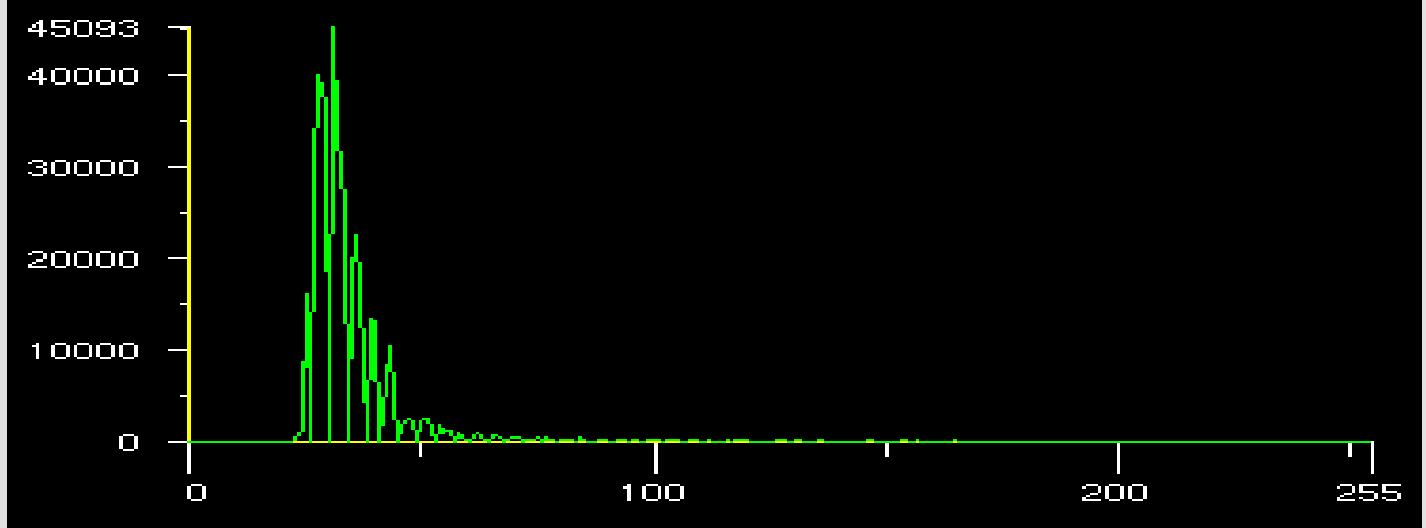
Histogramas – Exemplos



Banda 1



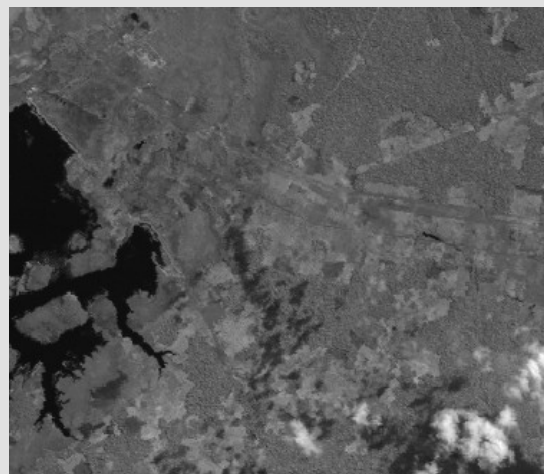
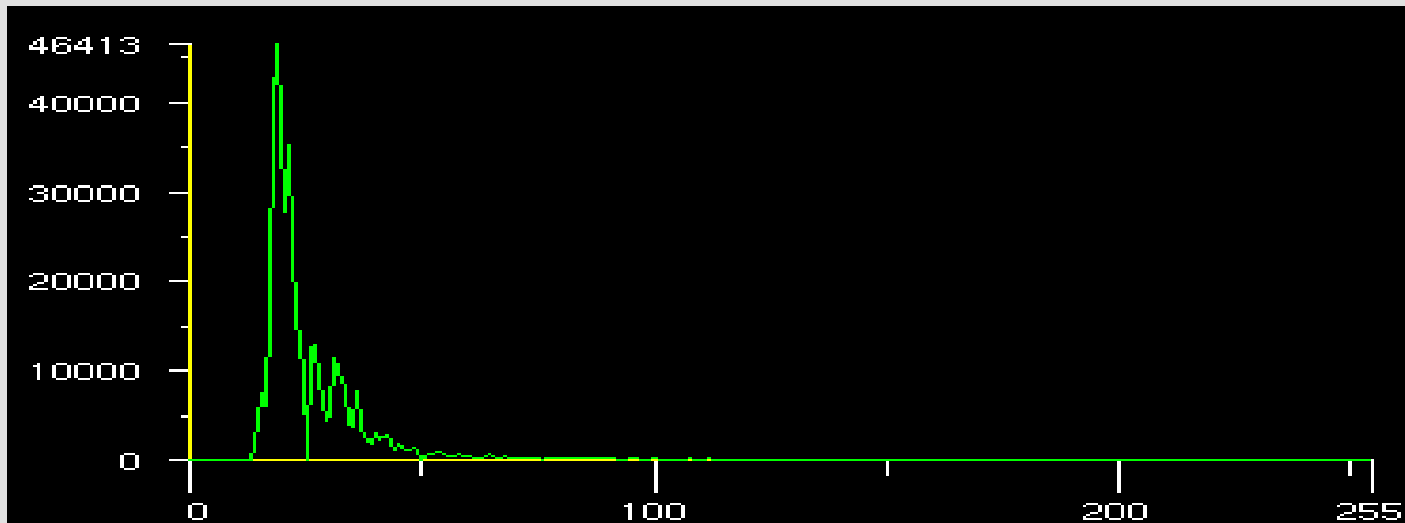
Banda 2



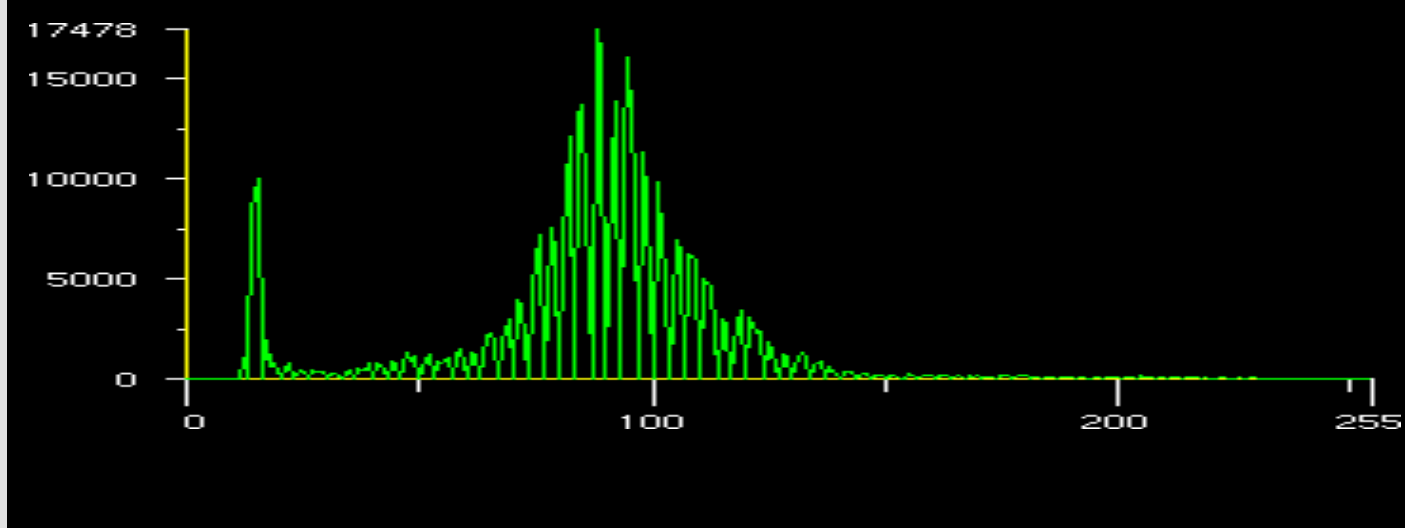
Histogramas – Exemplos



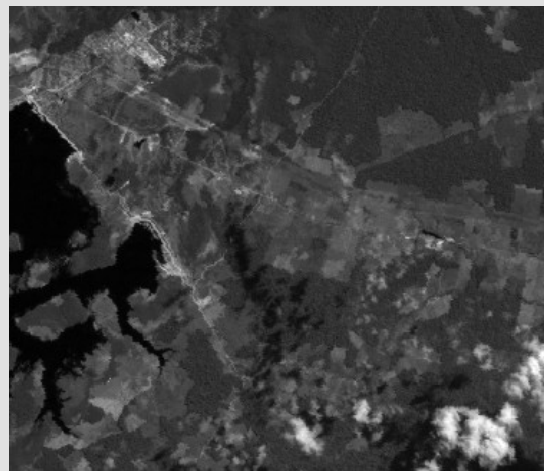
Banda 3



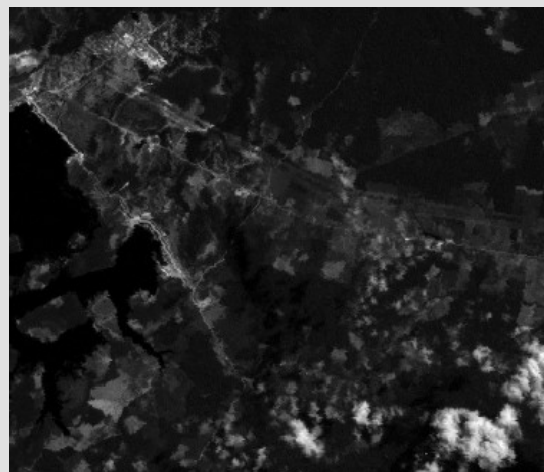
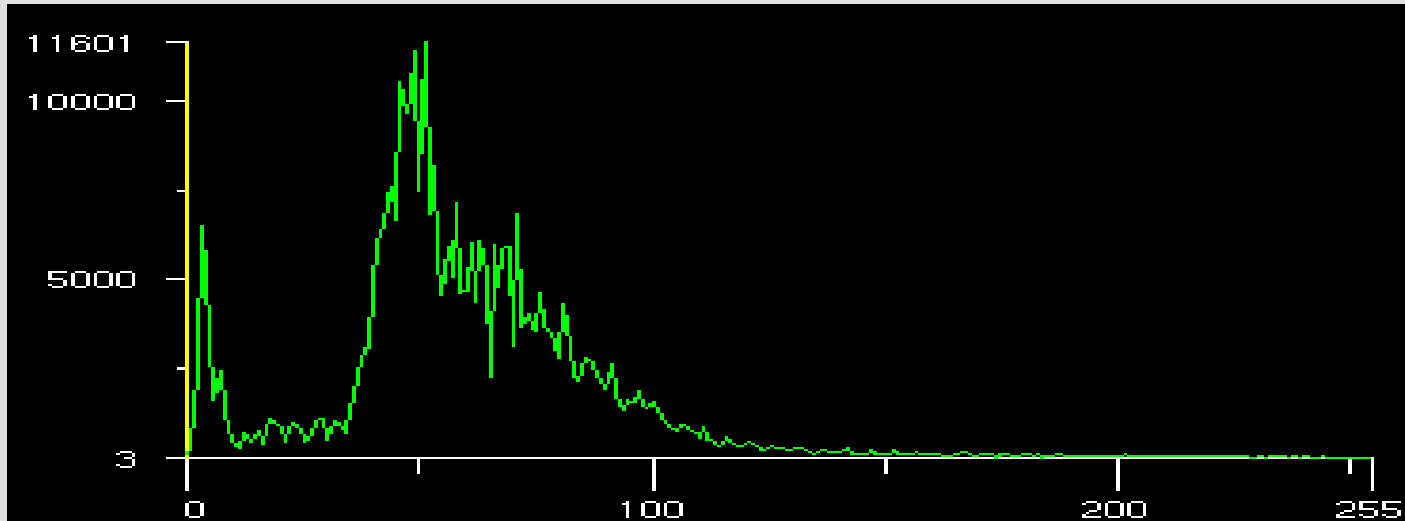
Banda 4



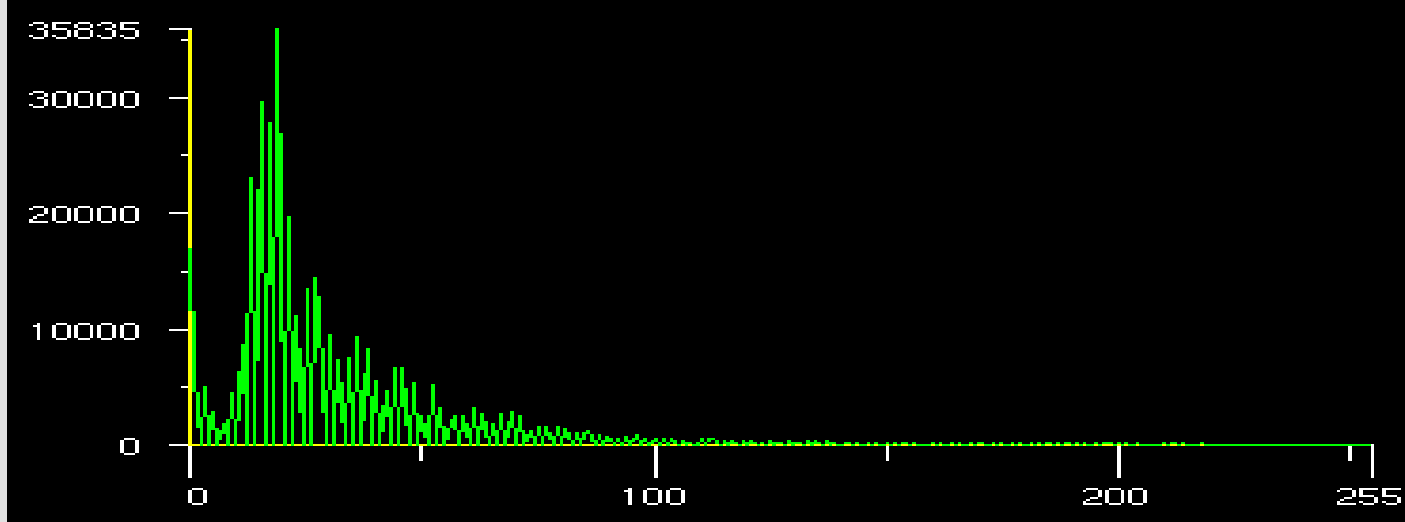
Histogramas – Exemplos



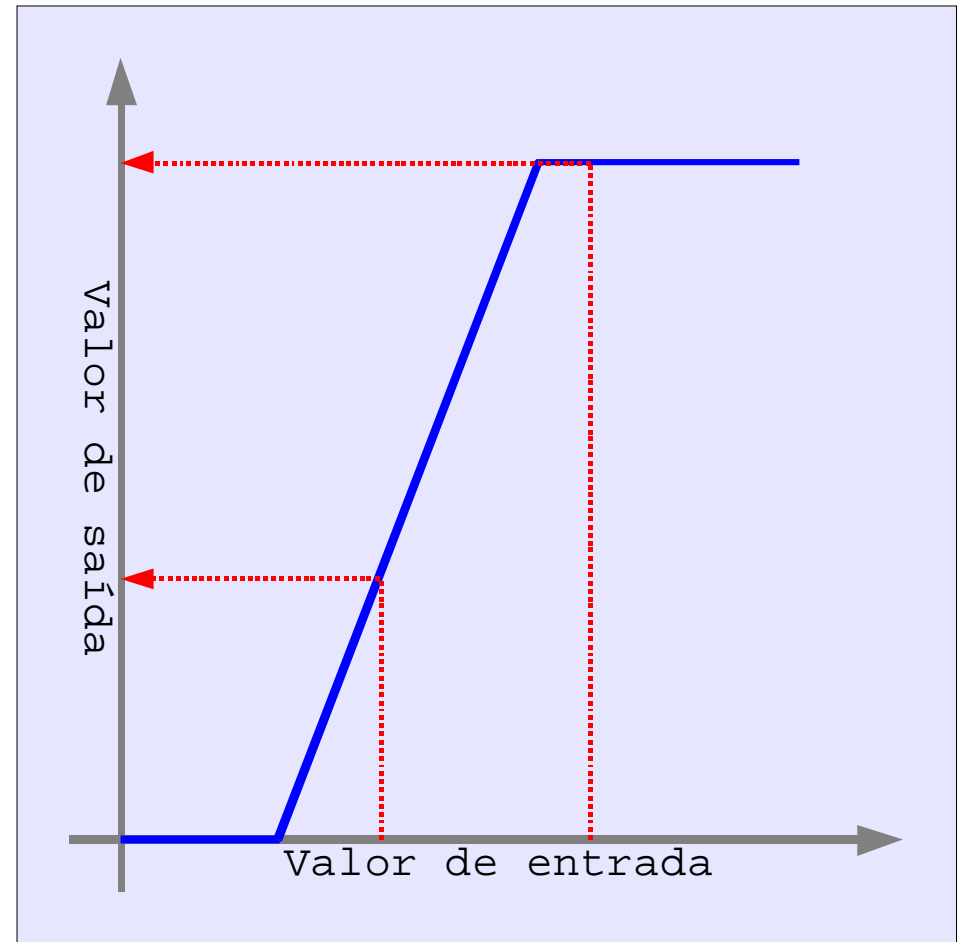
Banda 5



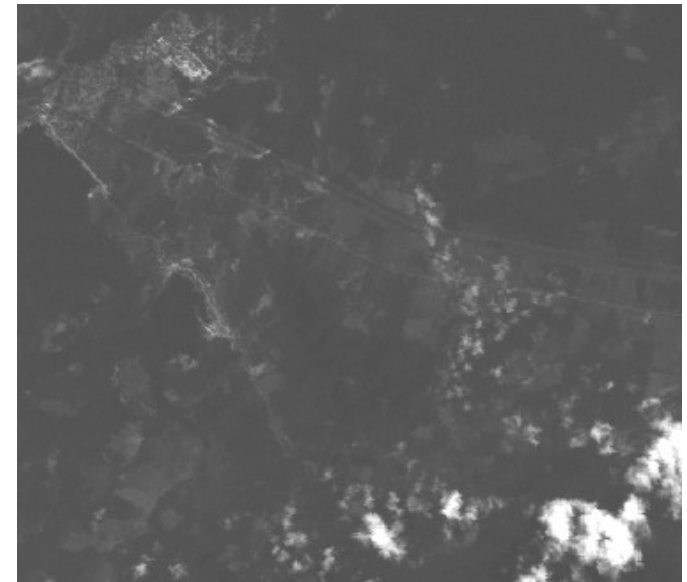
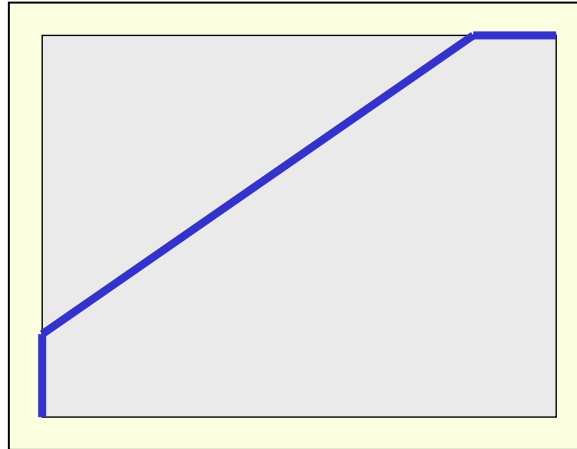
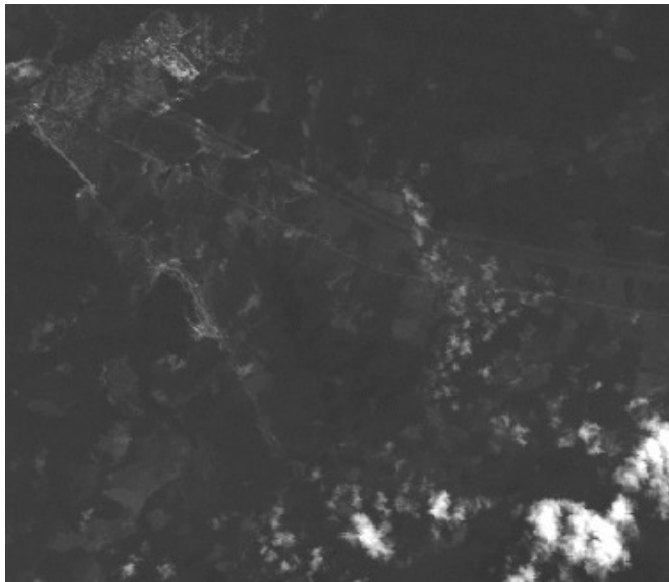
Banda 7



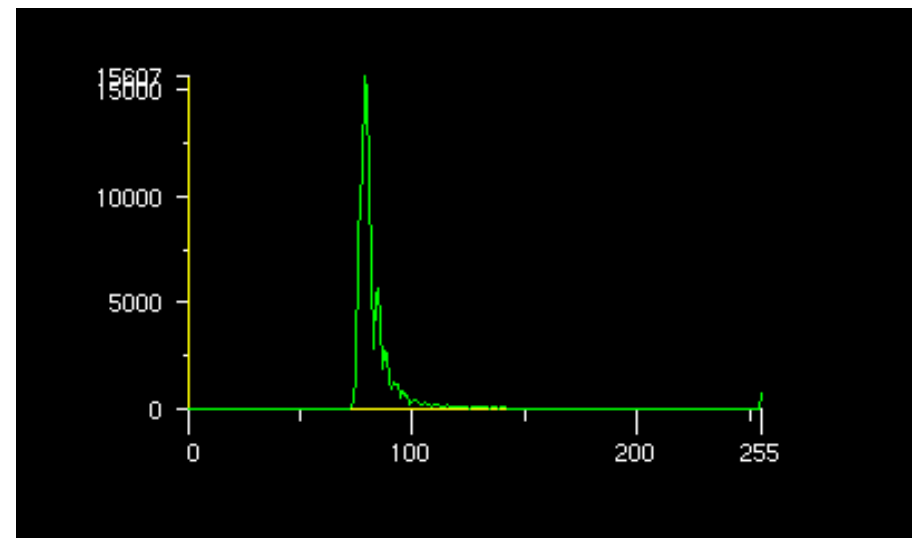
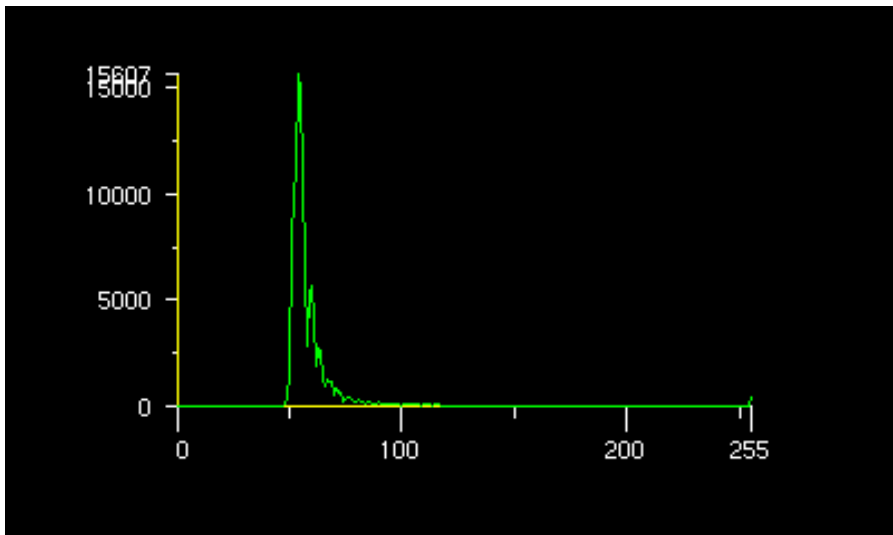
- Operação que modifica níveis de cinza para outros níveis de cinza: *mapeamento*



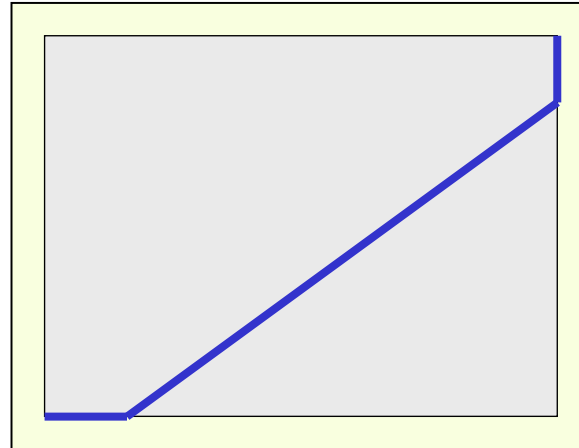
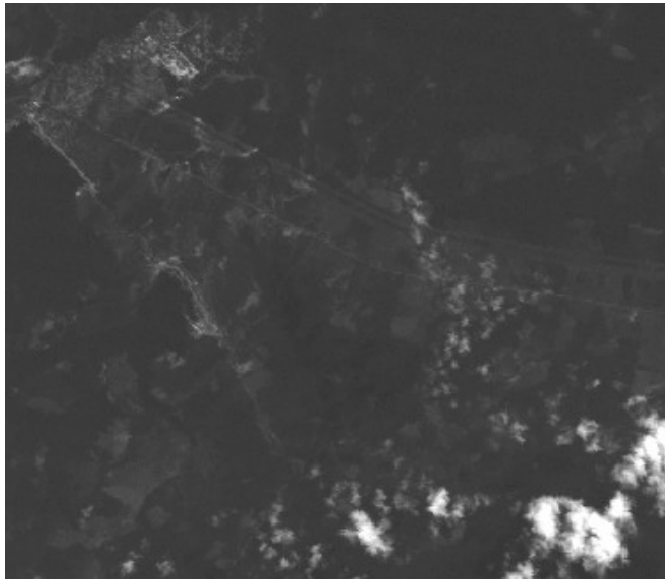
Manipulação de Histogramas



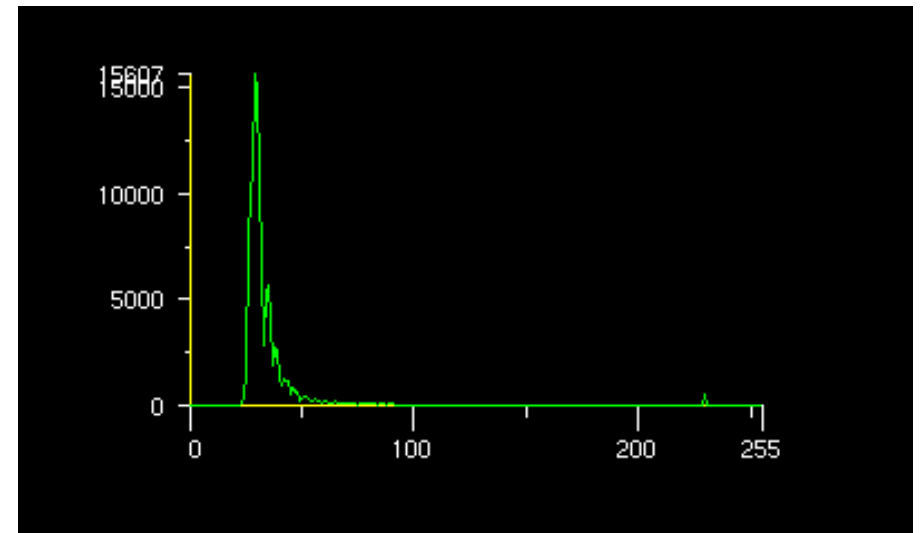
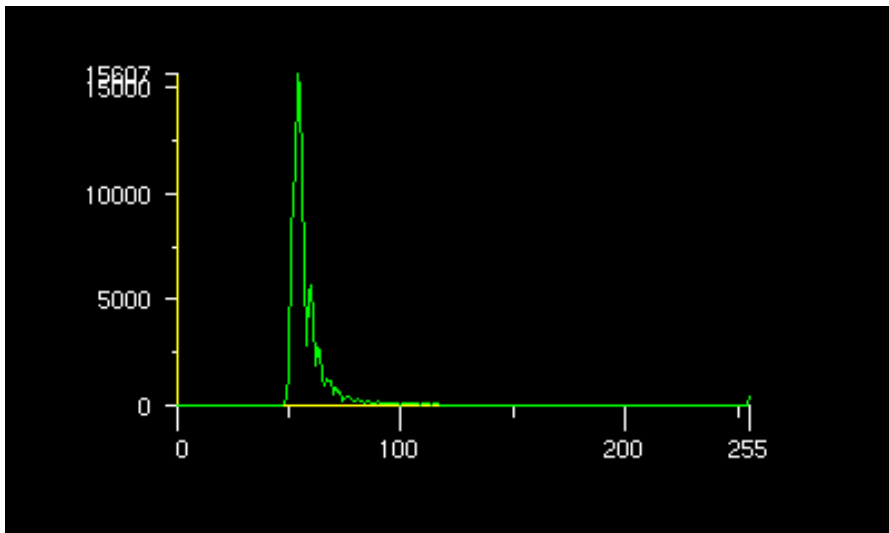
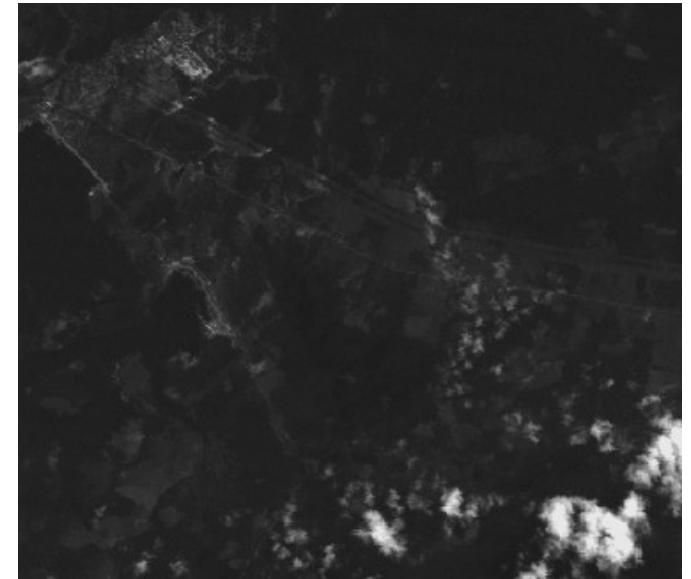
Shift para a direita



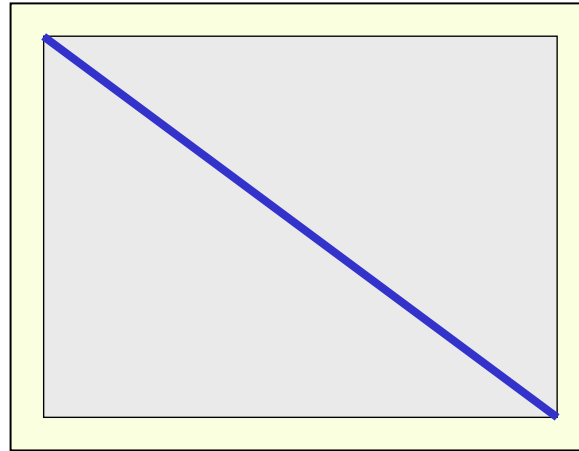
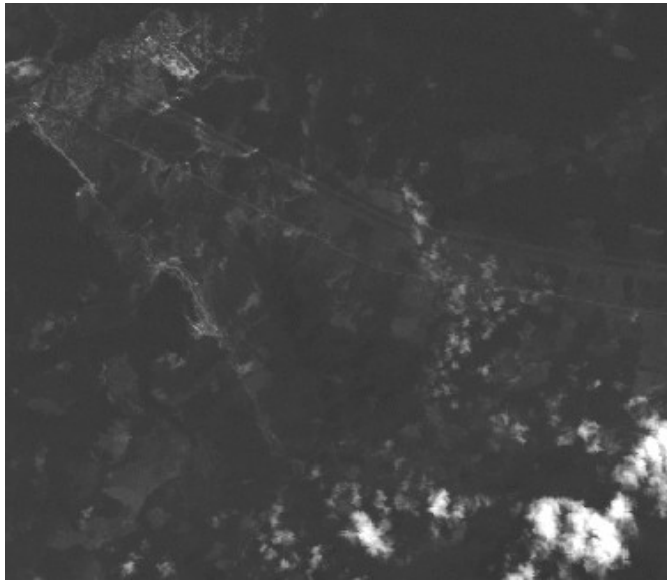
Manipulação de Histogramas



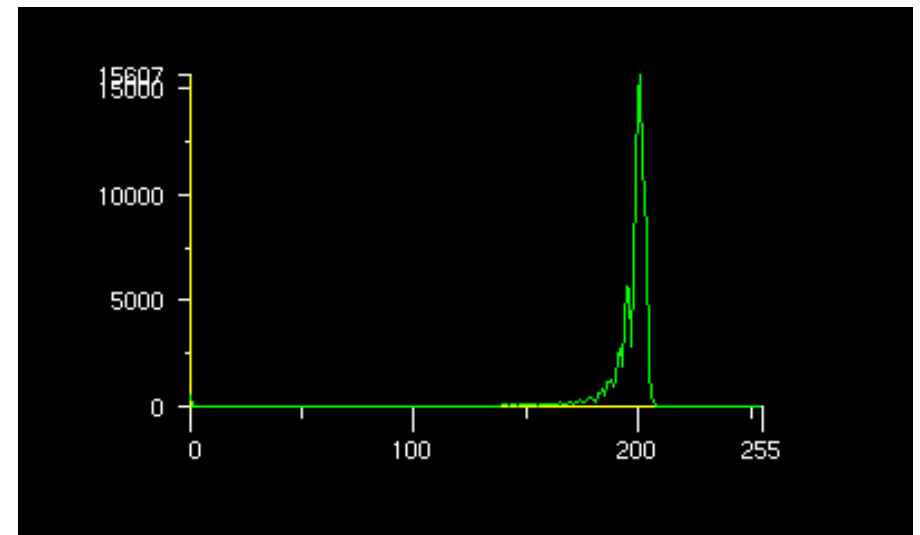
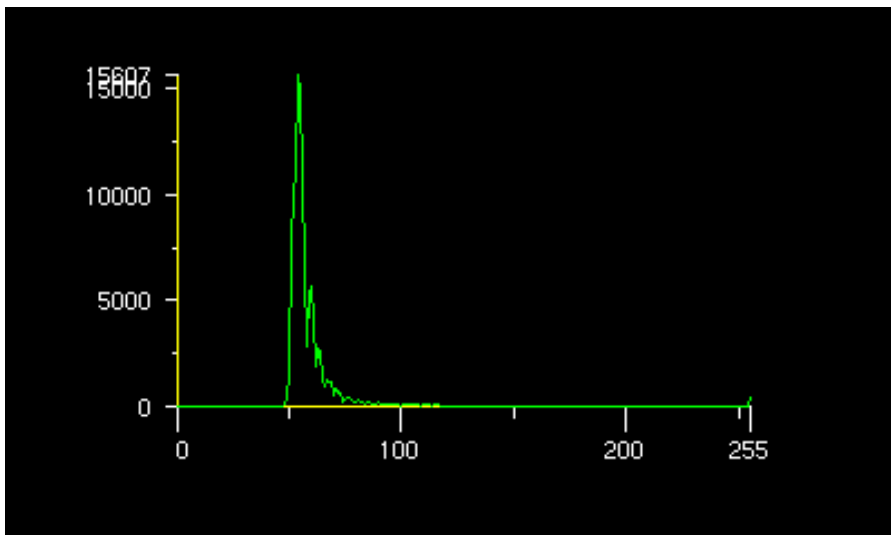
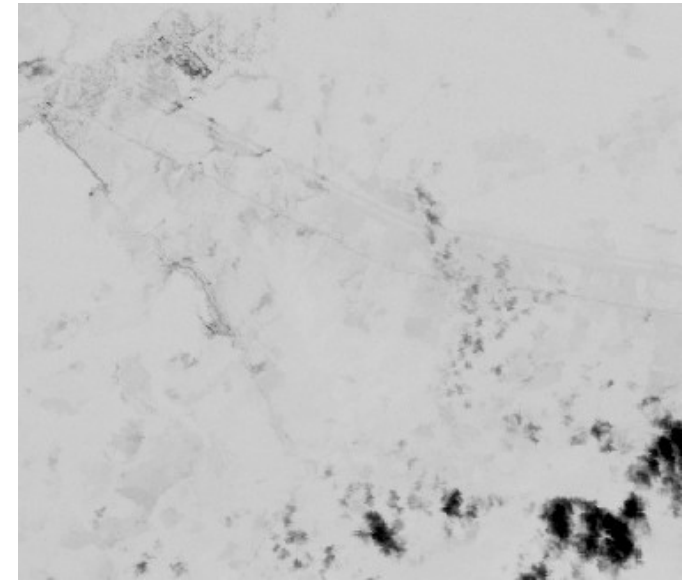
Shift para a esquerda



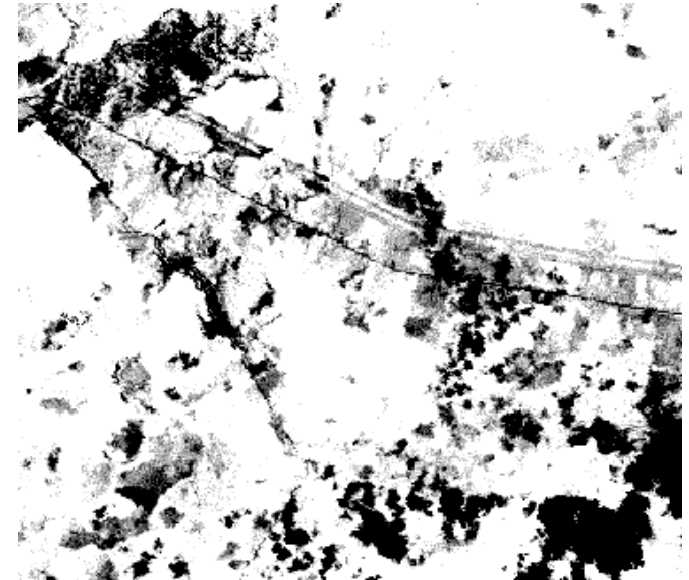
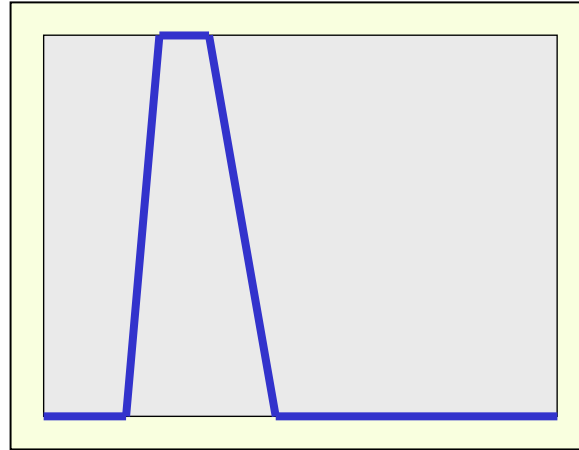
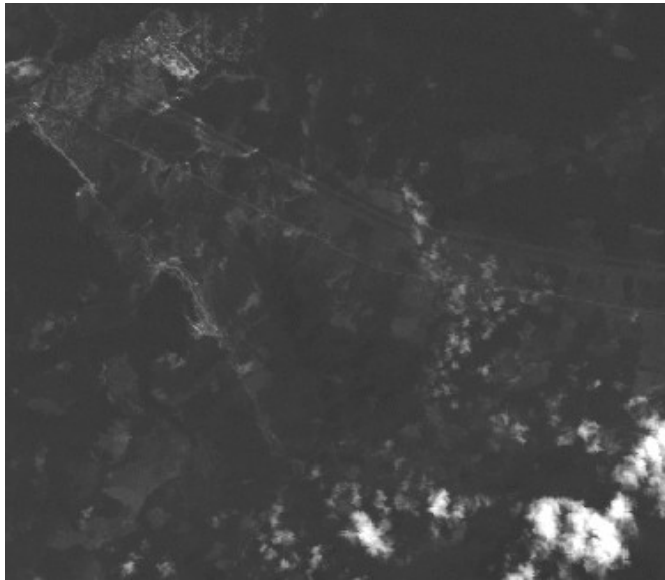
Manipulação de Histogramas



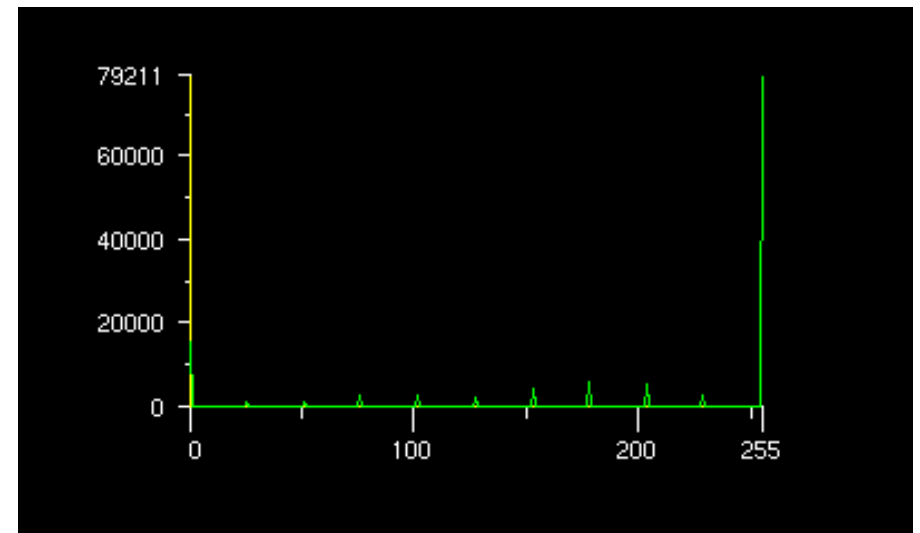
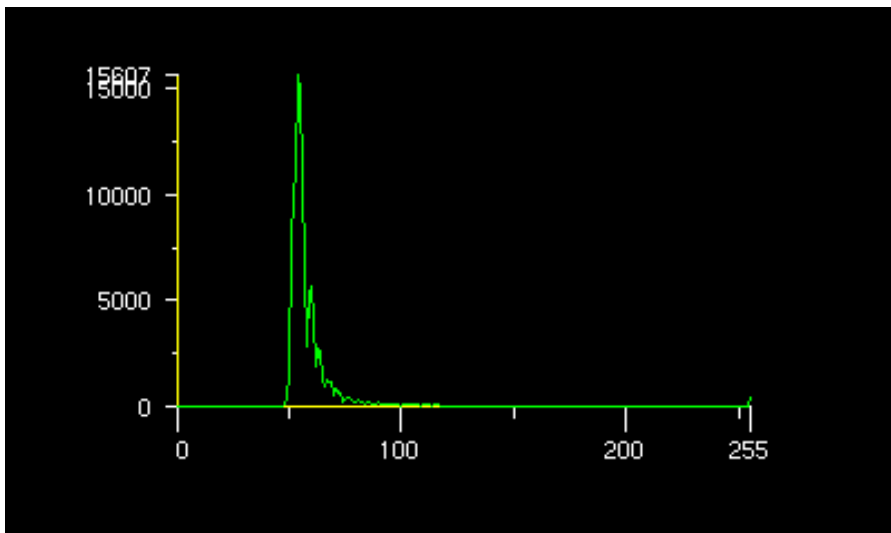
Inversão



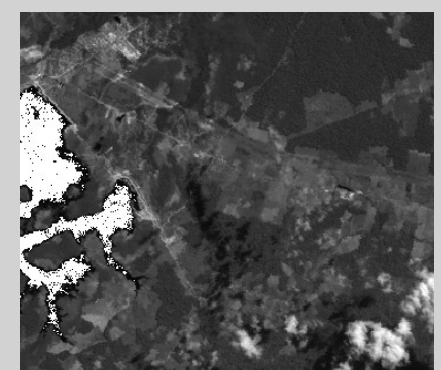
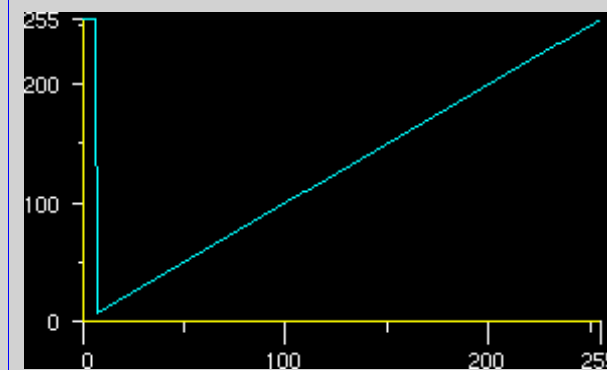
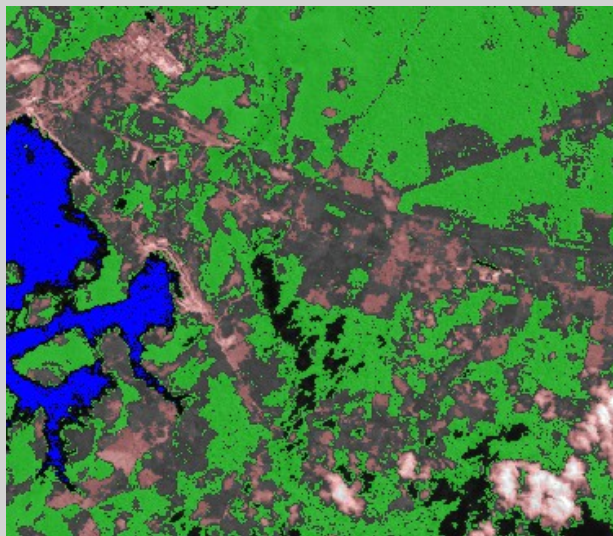
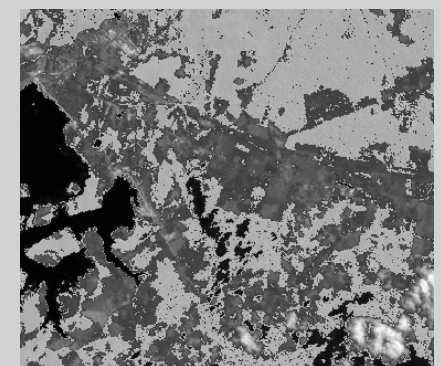
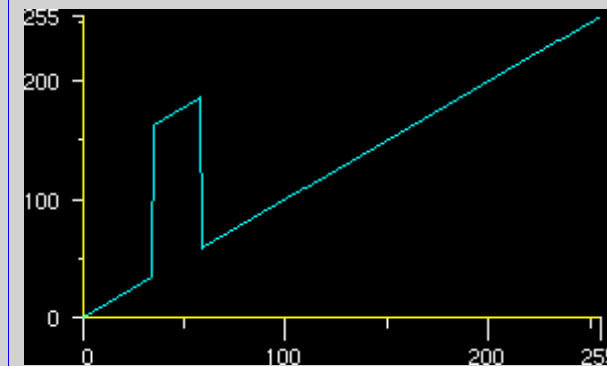
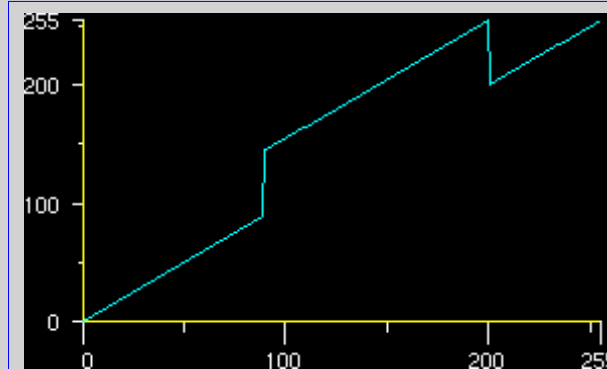
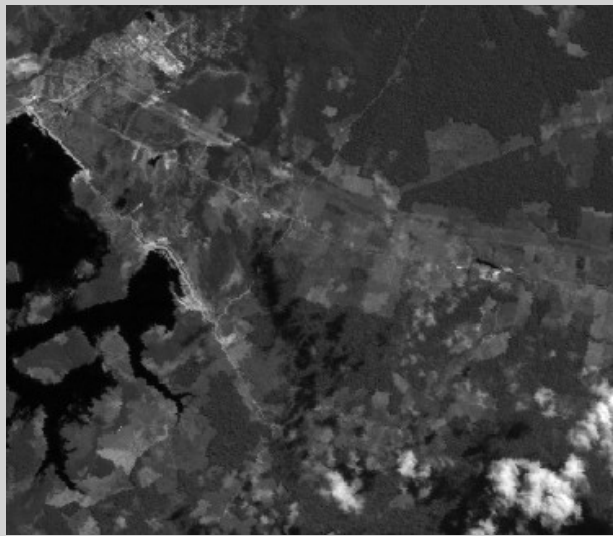
Manipulação de Histogramas



Seleção/realce de uma faixa de níveis de cinza

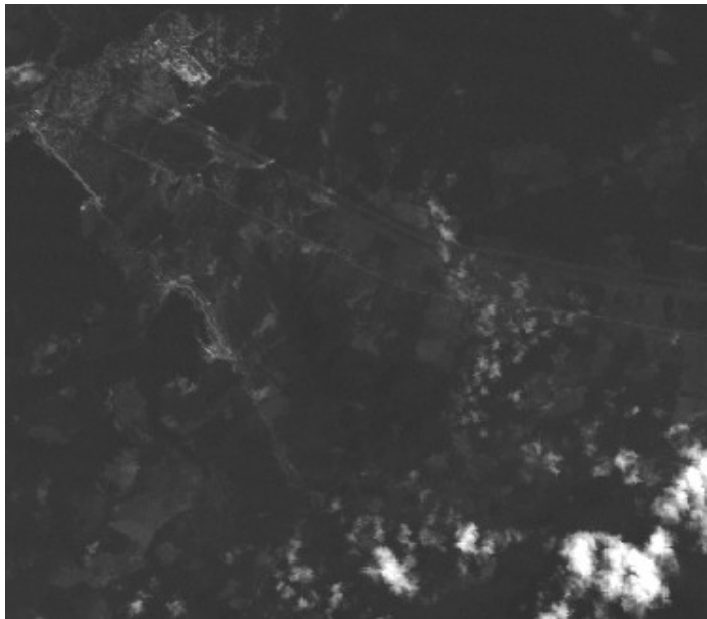


Manipulação de Histogramas

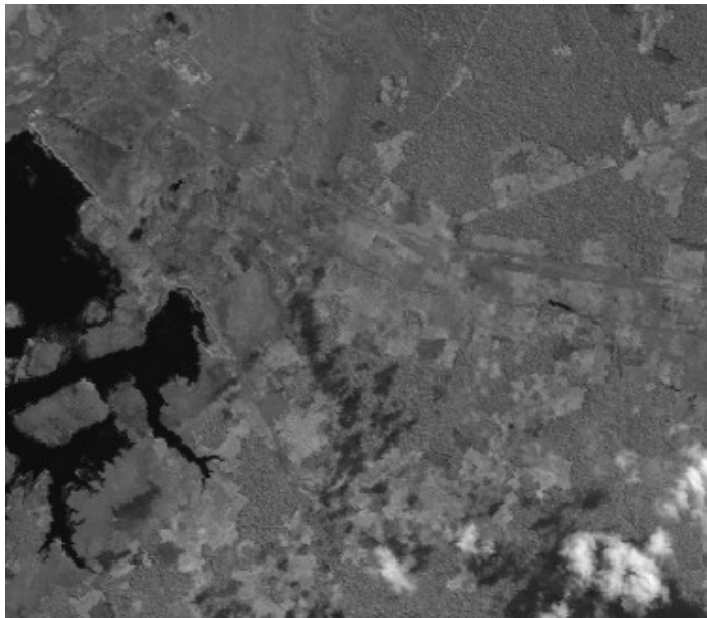


Modificação de três histogramas da mesma banda e composição

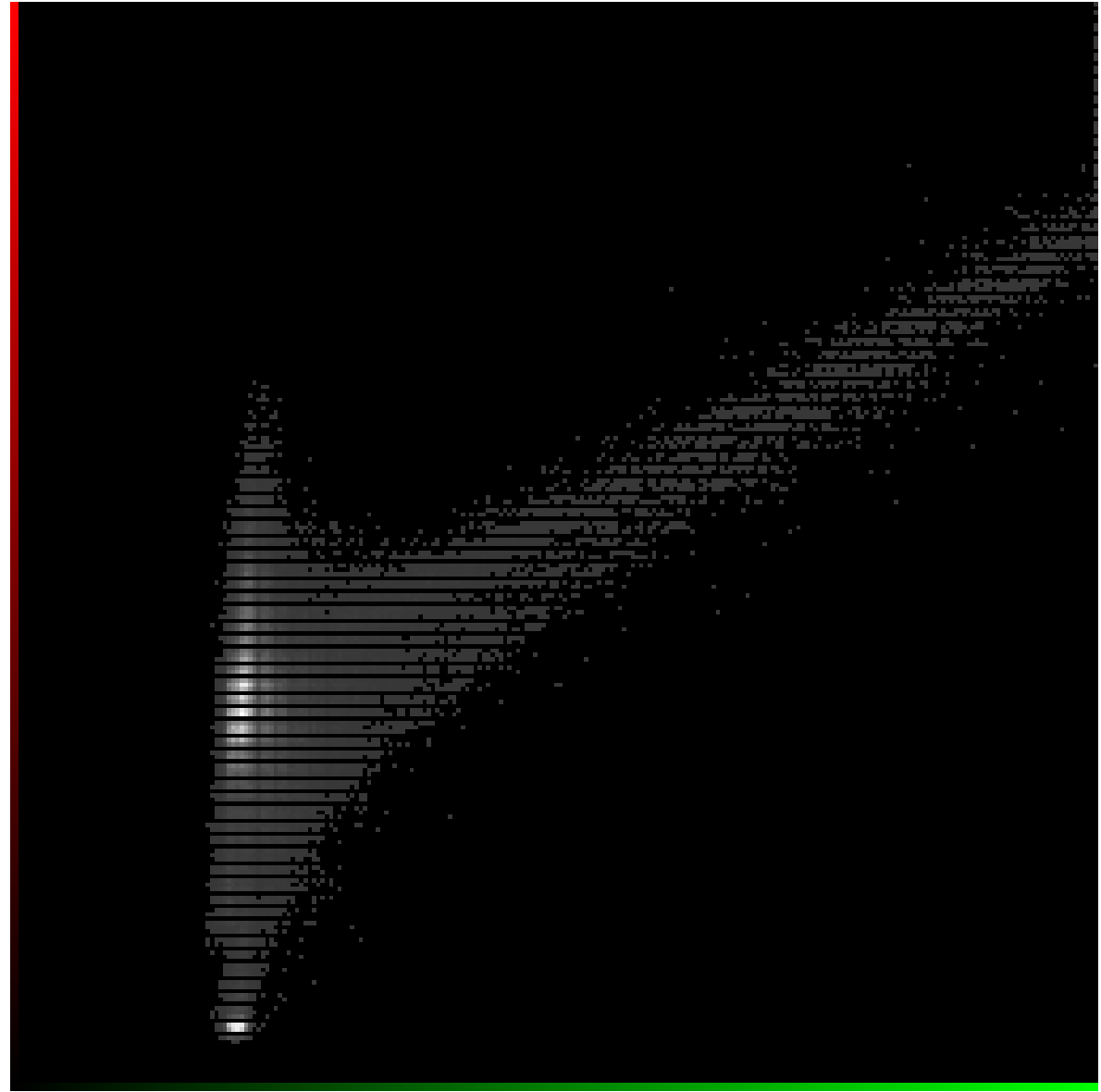
Scattergram



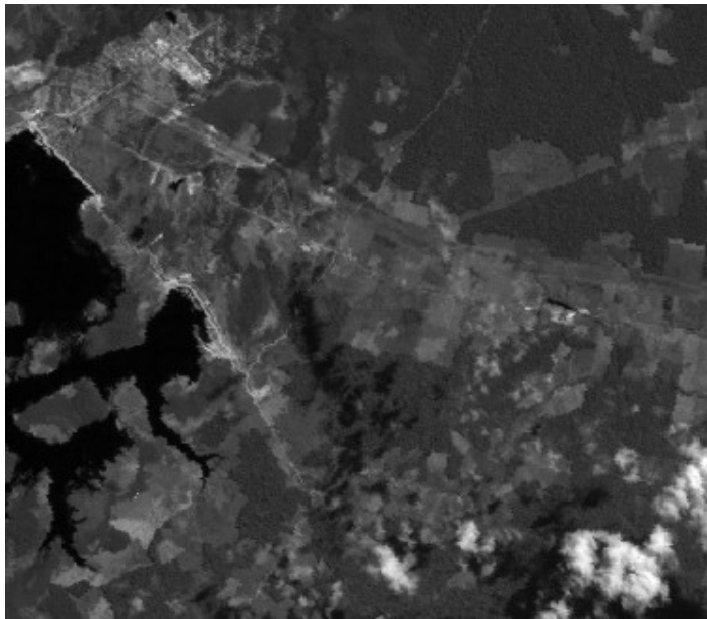
1



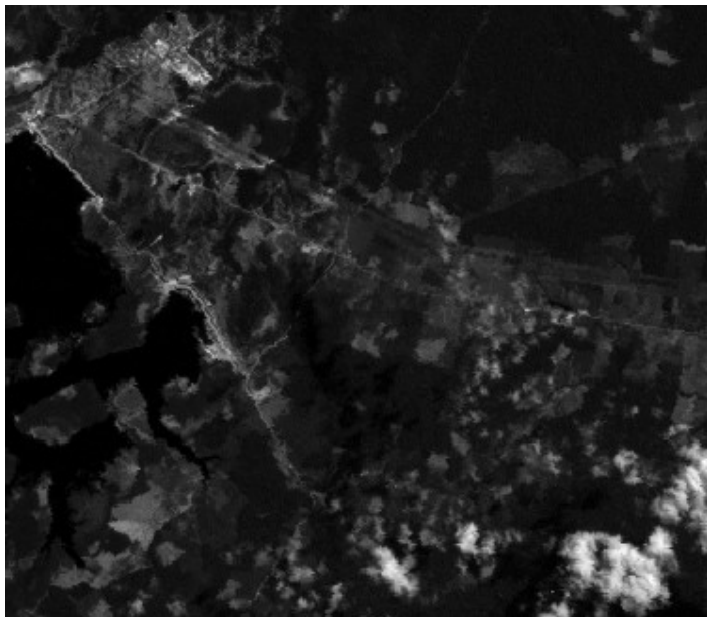
4



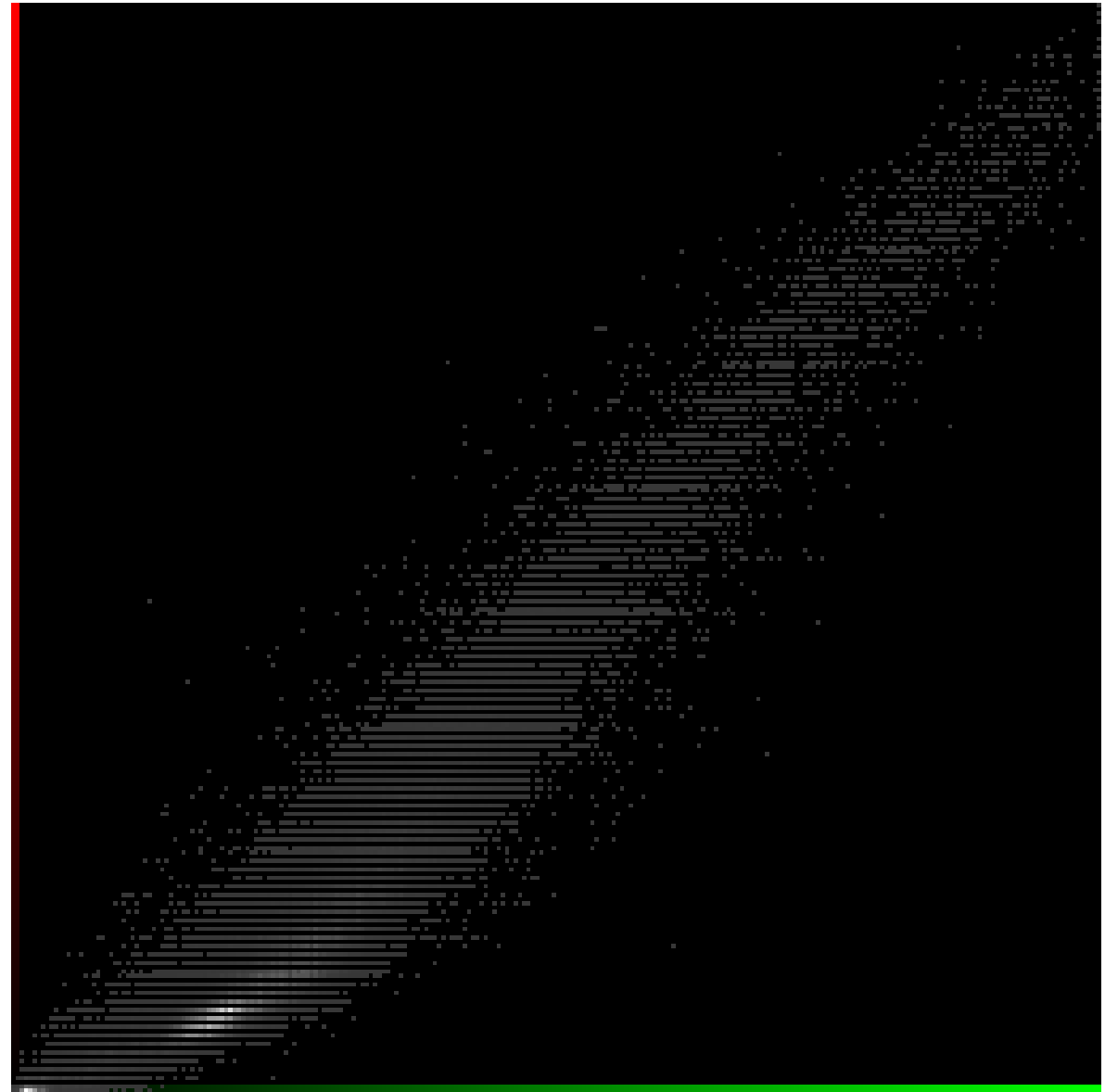
Scattergram



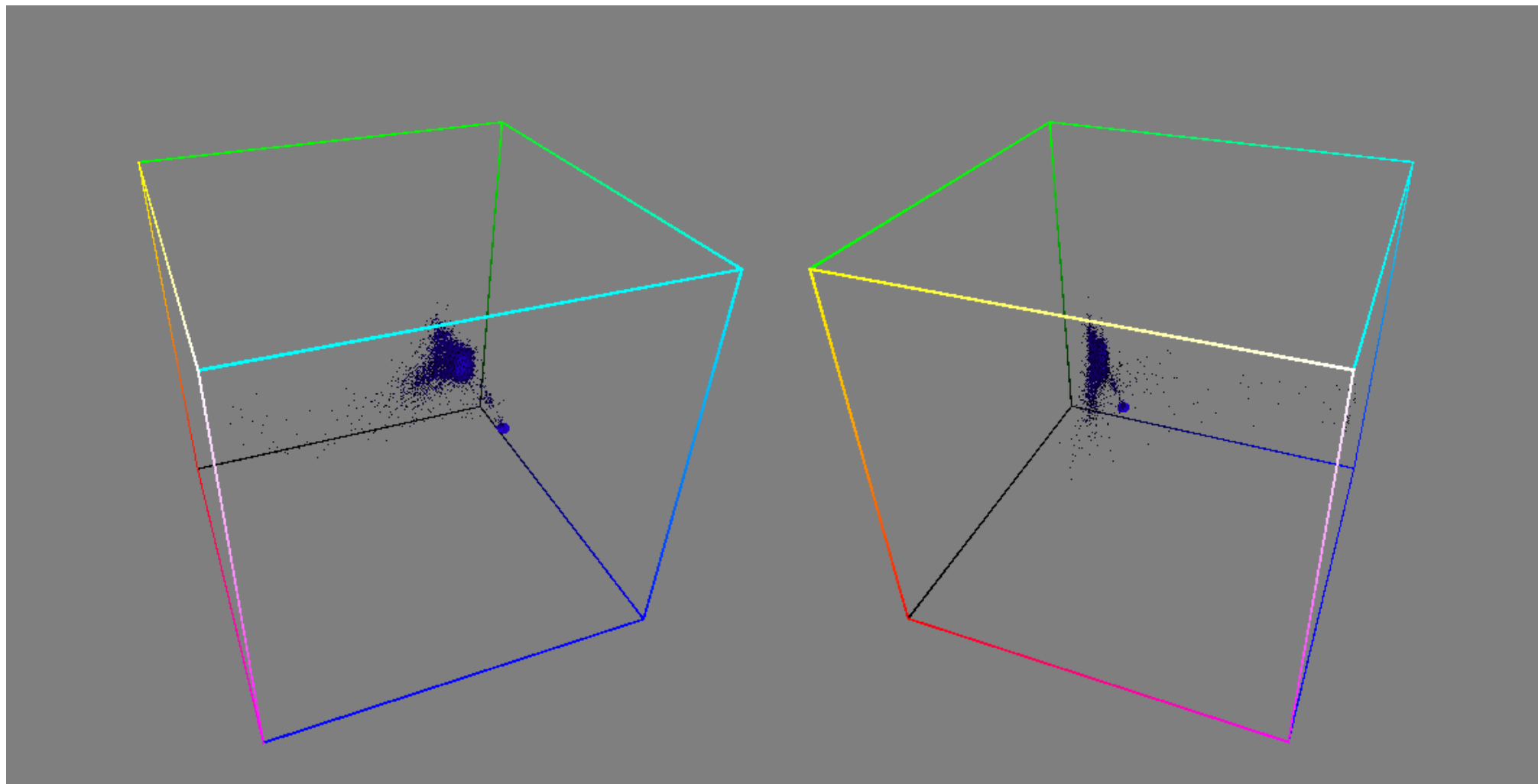
5



7



- Bandas 5, 4 e 1
- Visualização complexa !



Matriz de Scattergrams

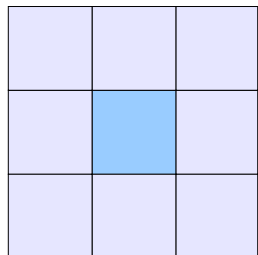
- Seis bandas, duas a duas.



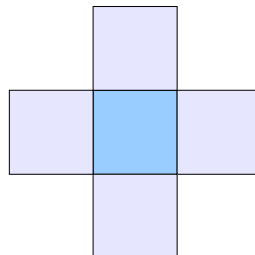
- Trechos da imagem
 - Contém um ou mais pixels relacionados de alguma forma ou por alguma medida
 - Retangulares ou não
 - Processamento, análise, realce podem ser efetuados de forma diferente em diferentes regiões de imagens
- Áreas de interesse (ROIs, *regions of interest*)
- Amostras para classificação



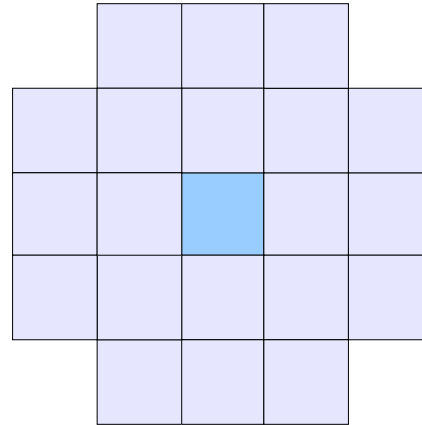
- Regiões ao redor de um pixel
 - Retangulares ou não
 - Servem para dar informação contextual ao pixel
 - Comportam-se diferentemente nas bordas da imagem



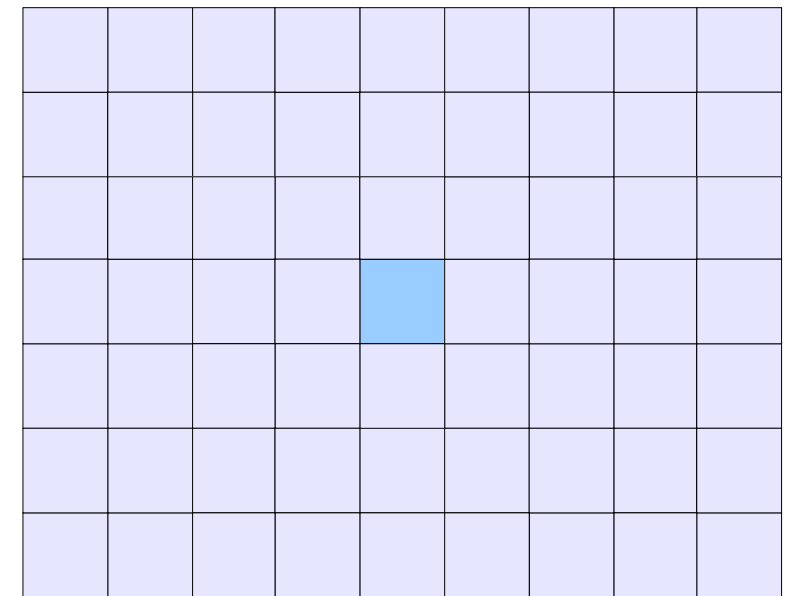
3x3



3x3
(sem diagonais)



5x5
(distância mínima)



9x7

- Média

- Indica brilho/intensidade média
- Cancela extremos, suaviza imagem

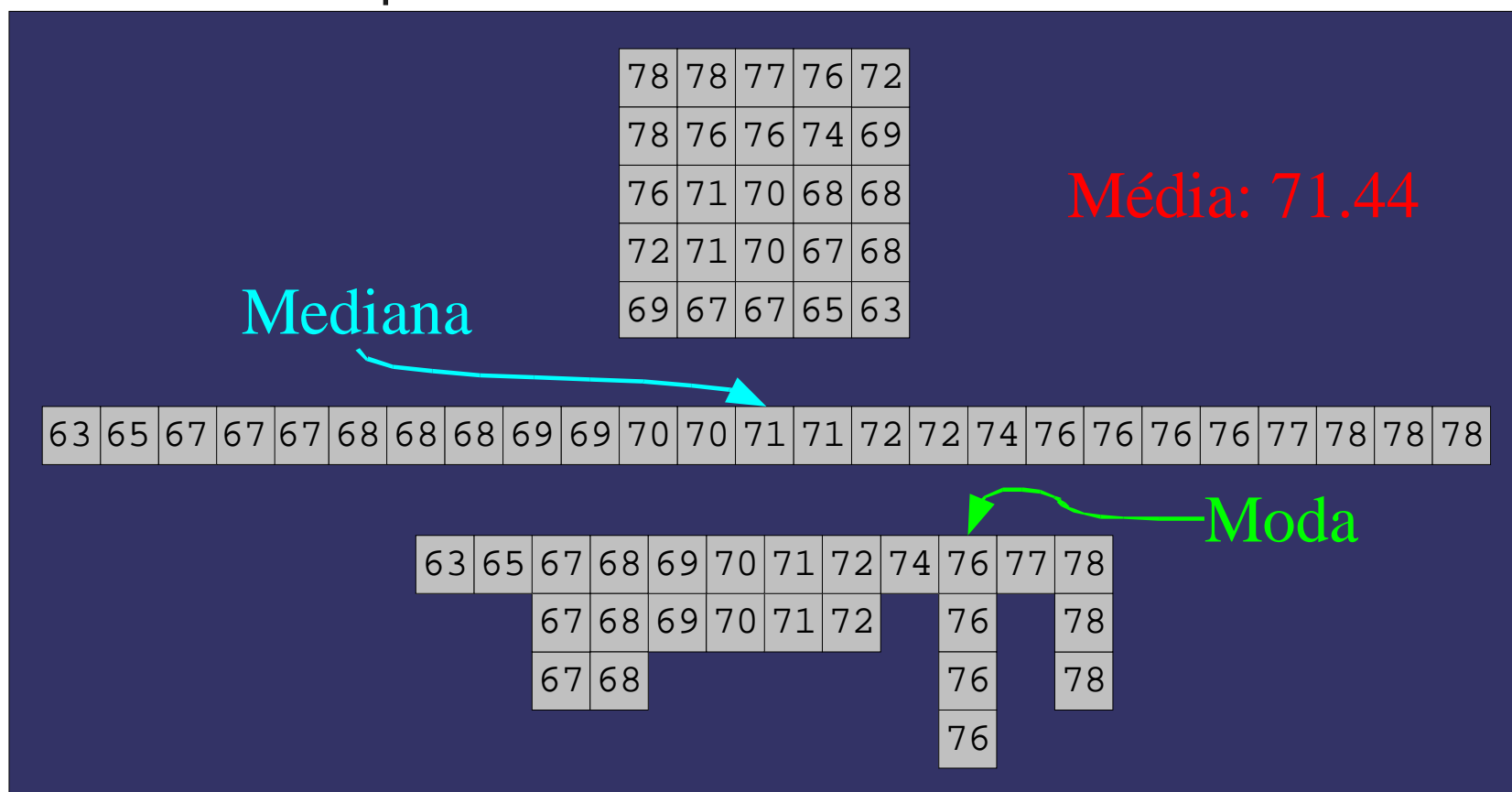
$$\mu = \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N I[m, n]$$

- Variância

- Variação dos níveis de cinza
- Indica contraste, textura, espalhamento do histograma

$$V = \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (I[m, n] - \mu)^2$$

- Mediana
 - Valor na posição média da lista ordenada dos níveis de cinza
- Moda
 - Valor mais freqüente na lista de níveis de cinza



- Relaciona variâncias de duas bandas entre si

$$C_{ab} = \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (I_a[m, n] - \mu_a)(I_b[m, n] - \mu_b)$$

	1	2	3	4	5	7
1	563,80	453,14	480,22	360,33	547,66	608,74
2	453,14	377,62	399,89	319,97	478,96	515,70
3	480,22	399,89	433,96	319,31	531,18	573,48
4	360,33	319,97	319,31	847,13	644,37	477,52
5	547,66	478,96	531,18	644,37	1.002,01	904,18
7	608,74	515,70	573,48	477,52	904,18	938,64



- Baseado na covariância entre bandas
 - Descreve o quanto a informação de uma é comum à outra:
 - Valores próximos de um: alta correlação
 - Valores próximos de zero: baixa correlação

$$\rho_{ab} = \frac{C_{ab}}{\sqrt{C_{aa} C_{bb}}}$$

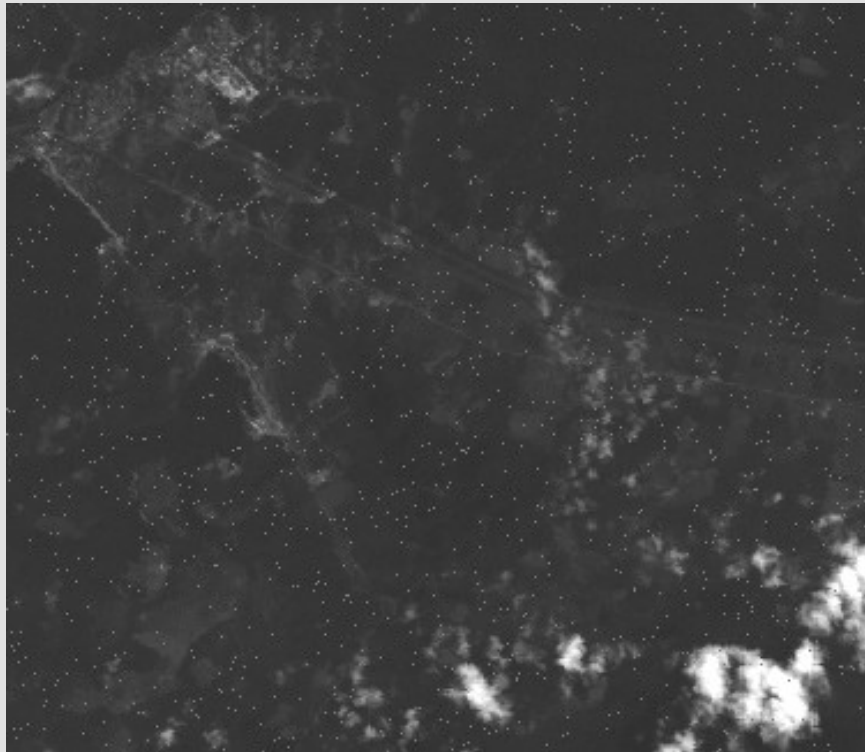
	1	2	3	4	5	7
1	1,0000	0,9821	0,9708	0,5214	0,7286	0,8368
2	0,9821	1,0000	0,9878	0,5657	0,7786	0,8662
3	0,9708	0,9878	1,0000	0,5266	0,8055	0,8986
4	0,5214	0,5657	0,5266	1,0000	0,6994	0,5355
5	0,7286	0,7786	0,8055	0,6994	1,0000	0,9323
7	0,8368	0,8662	0,8986	0,5355	0,9323	1,0000

Operações Básicas

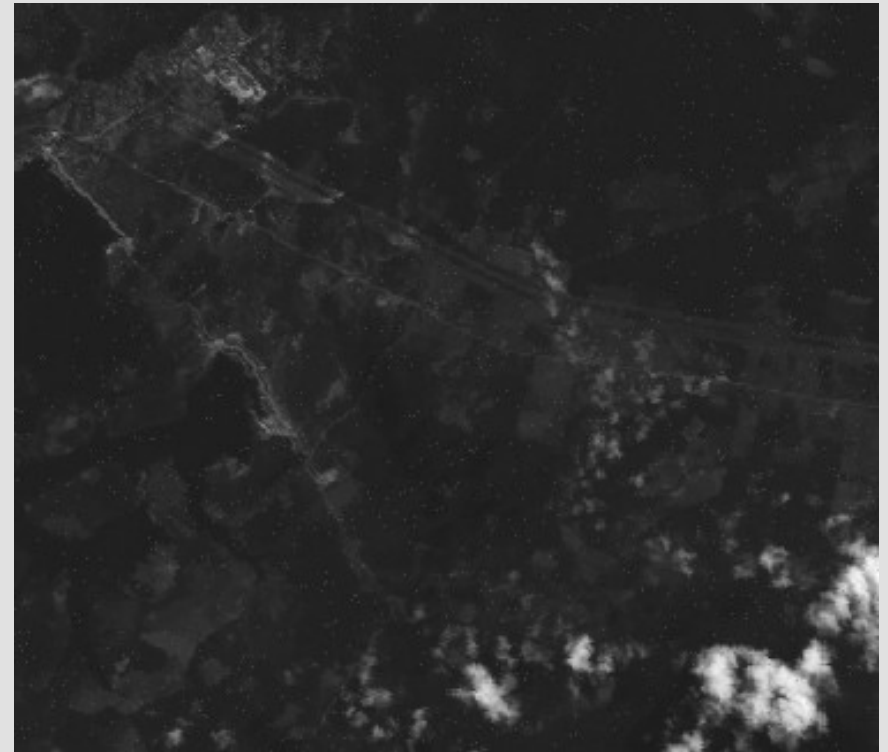


- Operações numéricas entre bandas
 - Operações devem ser feitas pixel a pixel com bandas da mesma imagem
 - Podemos usar bandas constantes (todos pixels com o mesmo valor) → manipulação de histogramas
 - Soma e subtração: *shift* dos histogramas
 - Multiplicação e divisão: espalhamento e concentração
 - Cuidados devem ser tomados para evitar valores < 0 ou > 255 (*cortes*)
- Para ter sentido devemos considerar características espectrais das bandas !

- Realçam similaridade, podem ser usadas para eliminar ruído
 - Assumimos que ruído não se propaga pelas bandas

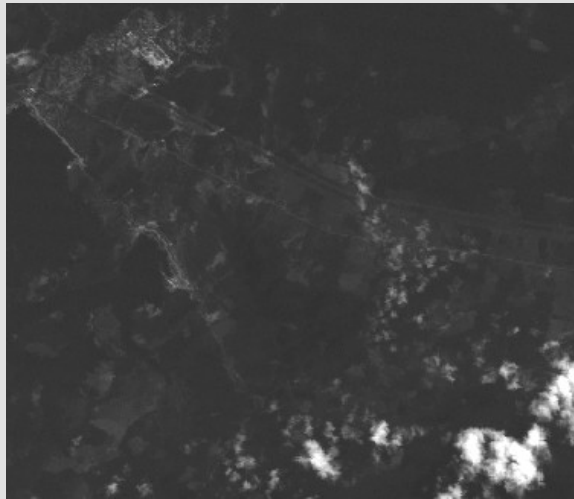


Banda 1 com ruído pontual

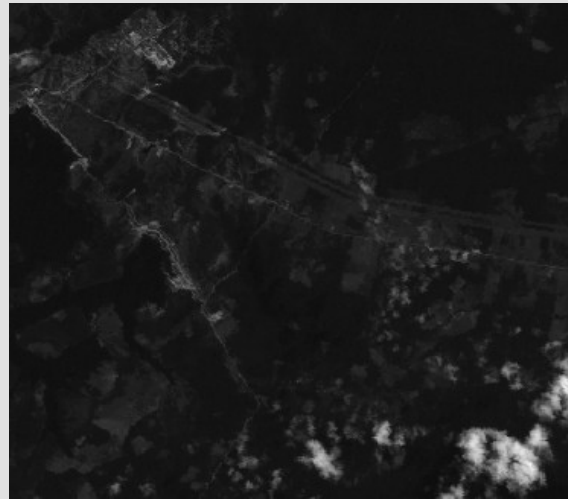


Média das bandas 1 (com ruído), 2 e 3

- Realçam as diferenças entre bandas

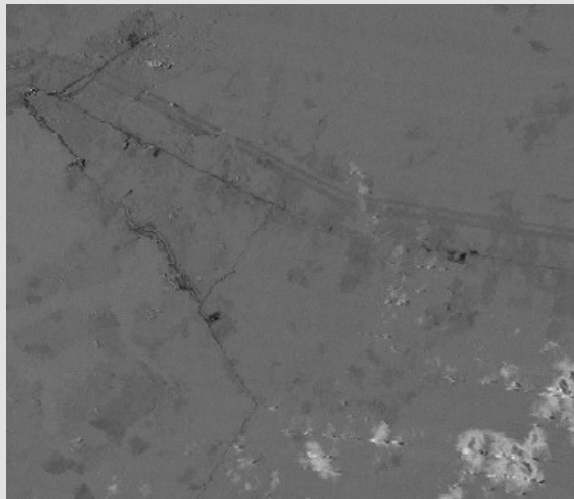


Banda 1

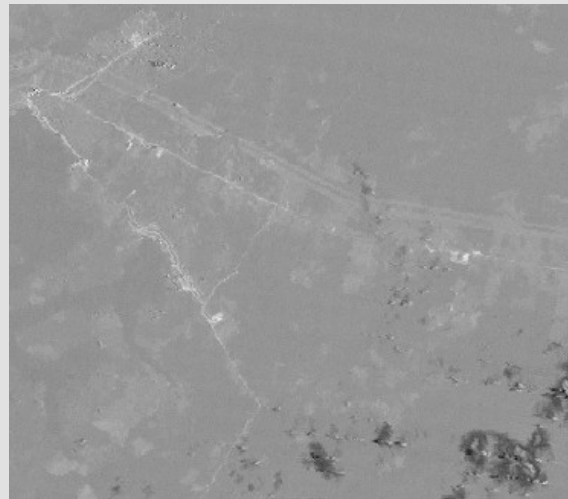


Banda 3

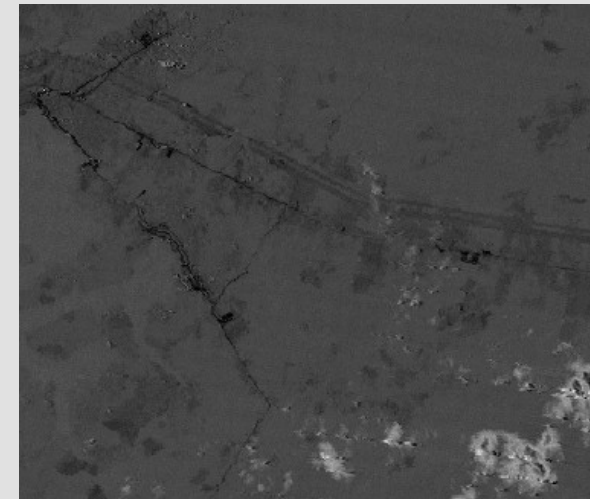
Diferença entre bandas 3 e 1
realça solos ricos em
material ferruginoso



1-3

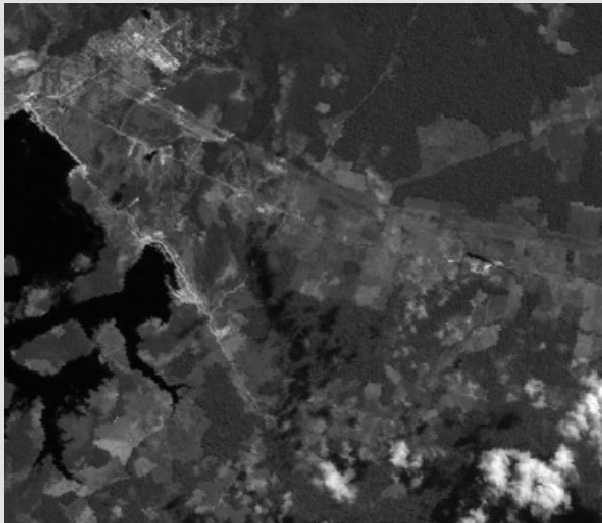


3-1

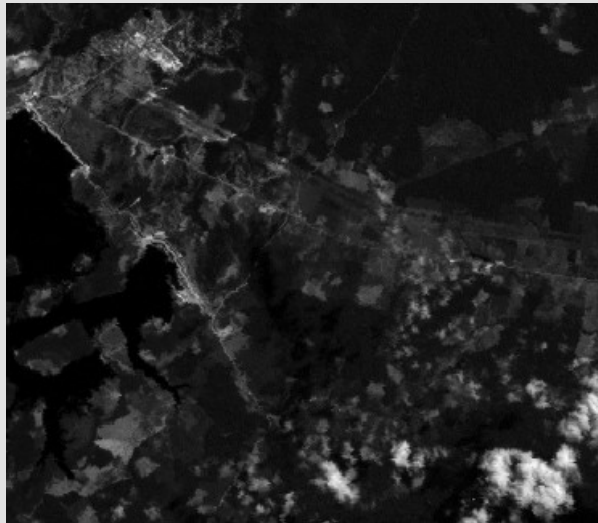


|3-1|

- Similar à operação lógica ***E***
- Requer cuidadosa normalização do resultado: inadequado para interpretação visual



Banda 5

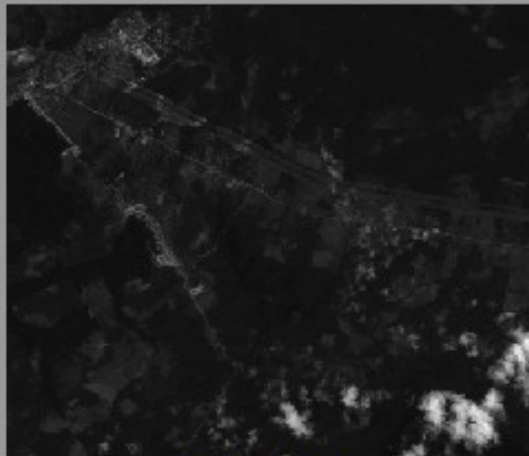


Banda 7



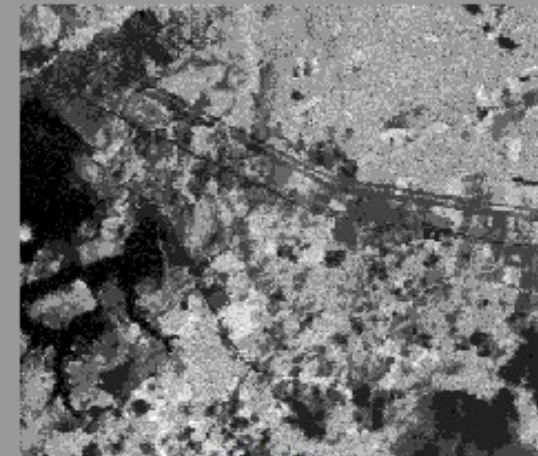
Banda 5 * Banda 7

- Razão entre bandas
 - Exemplo mais comum: índice de vegetação

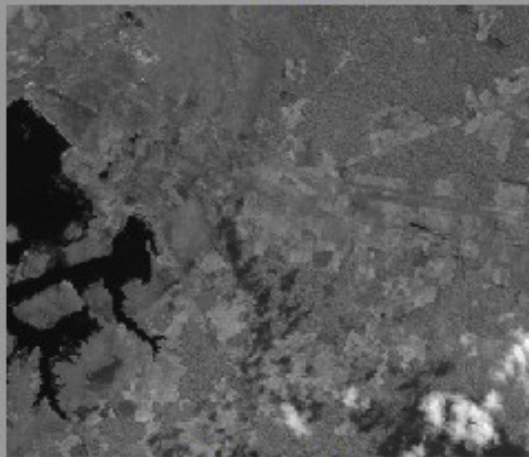


Banda 3

$$RVI = \frac{P_{NIR}}{P_{RED}}$$

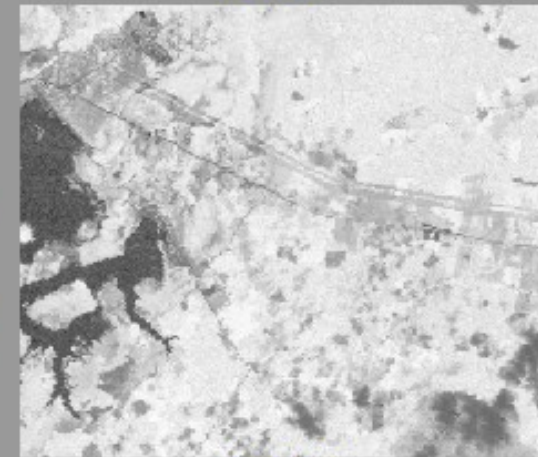


RVI



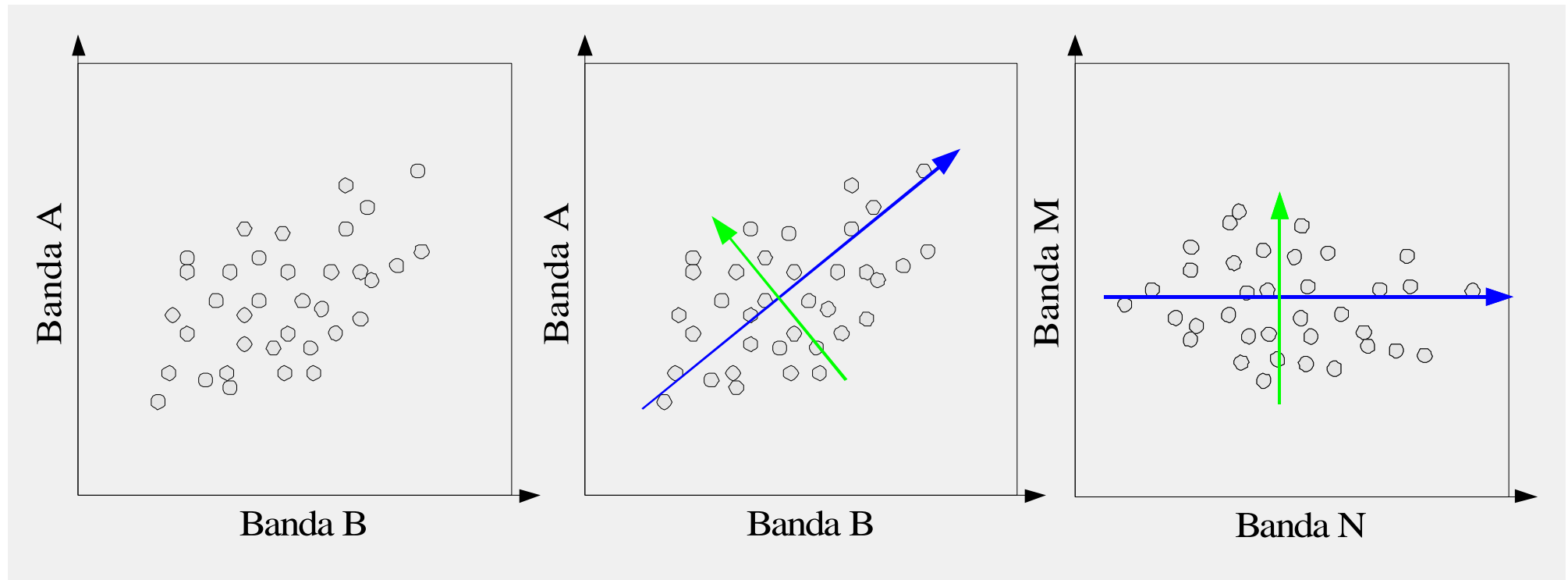
Banda 4

$$NDVI = \frac{P_{NIR} - P_{RED}}{P_{NIR} + P_{RED}}$$

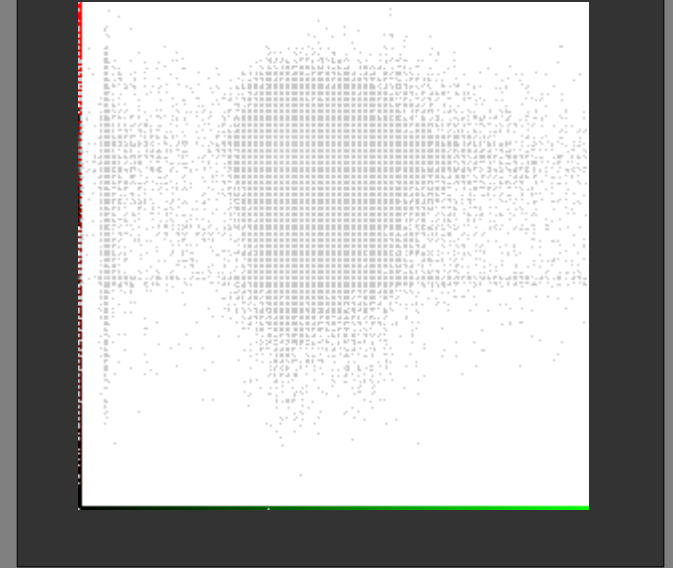
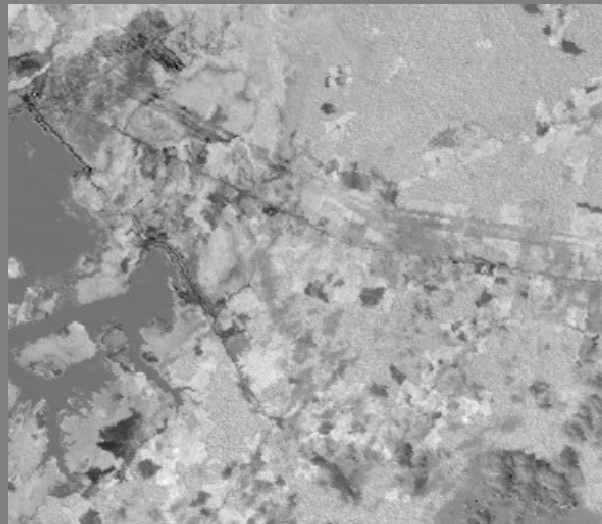
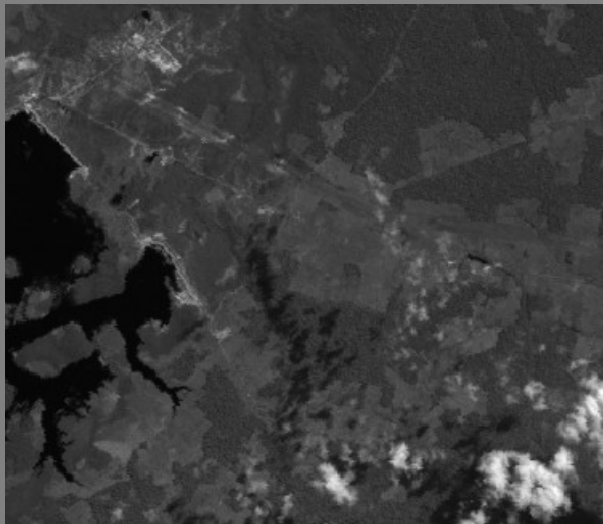
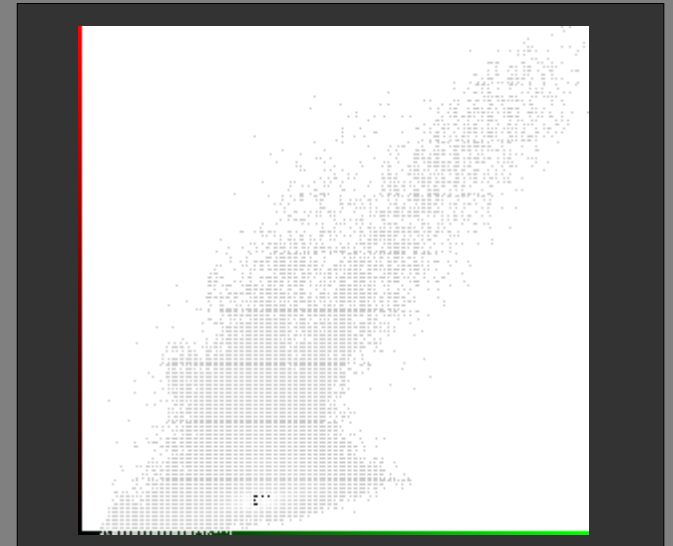
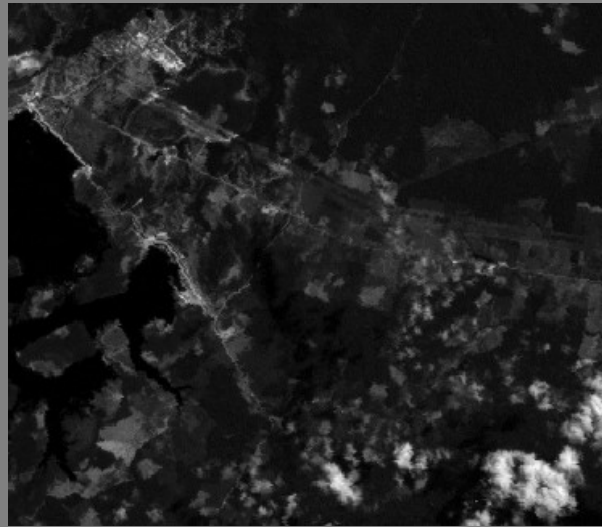
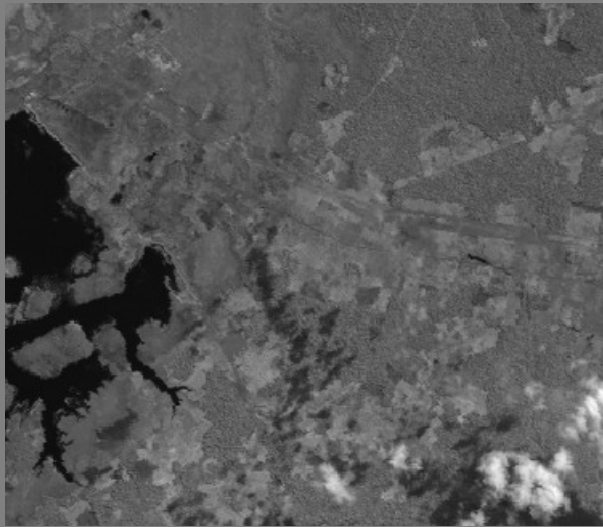


NDVI

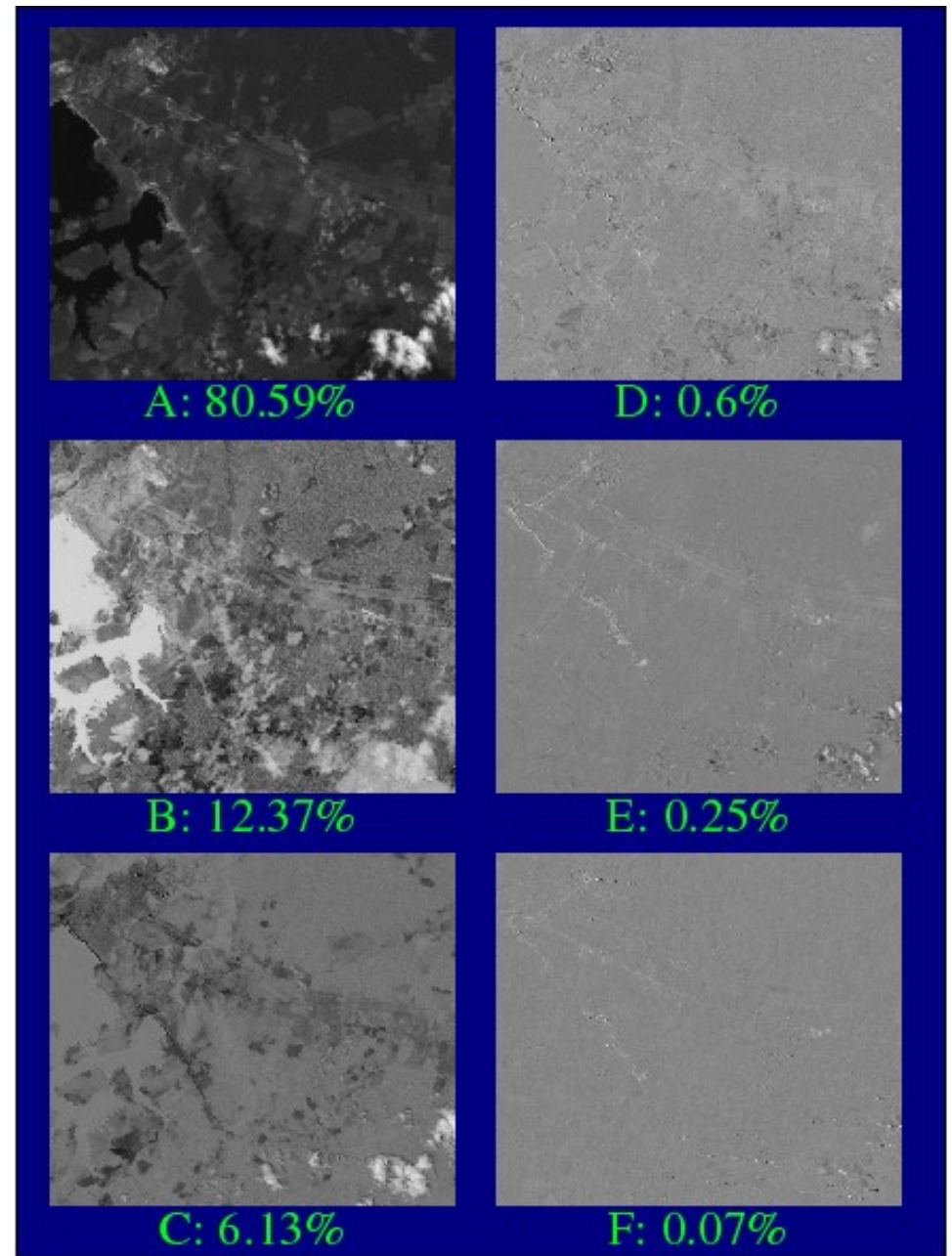
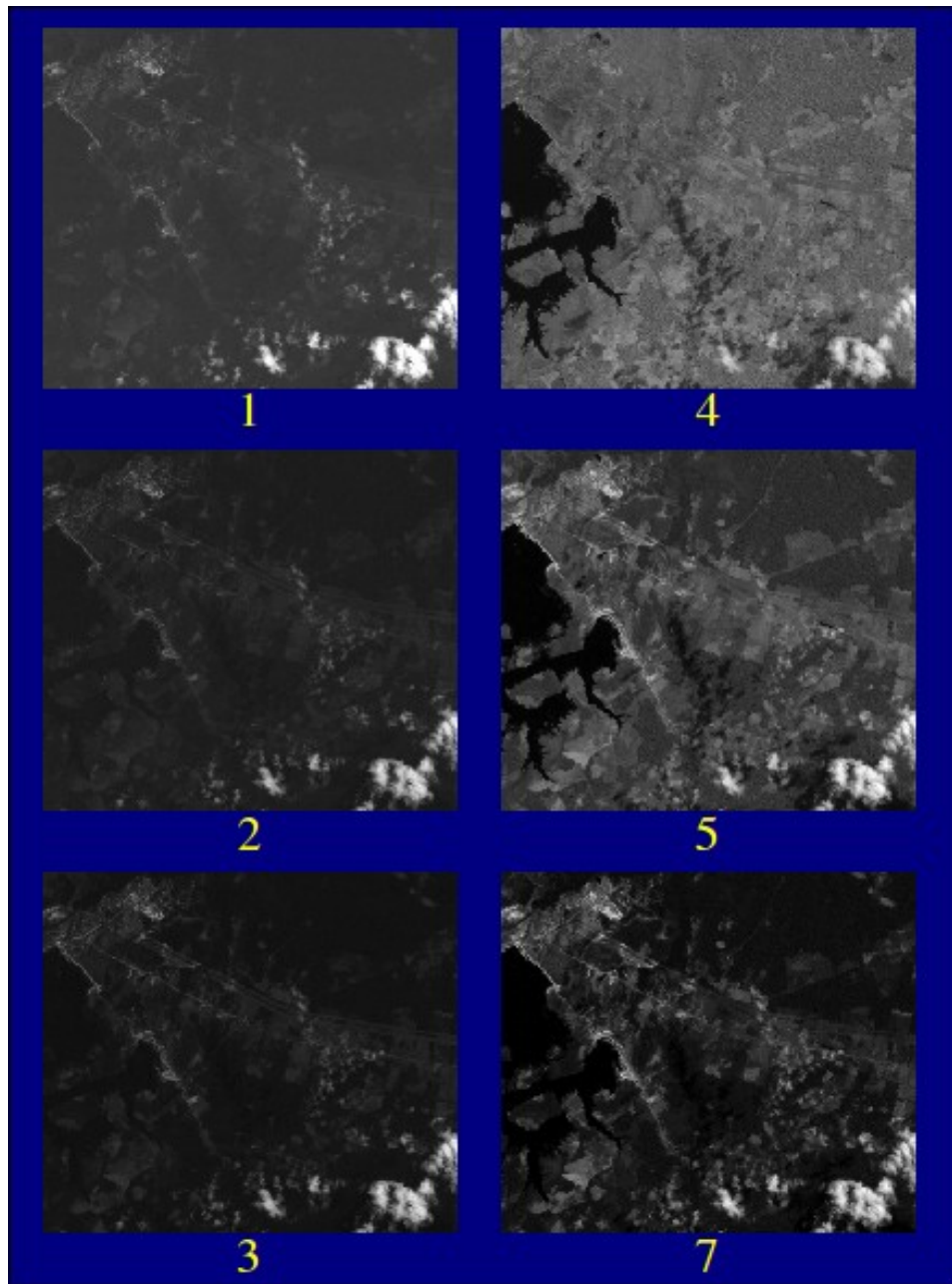
- Usa a correlação entre bandas
- Determina novo sistema de coordenadas que maximize variância



Componentes Principais – Exemplo



Componentes Principais – Exemplo



- Cálculo de um valor qualquer sobre os pixels de uma imagem
- Usando regiões em volta de um pixel
- Pode ser usado para
 - Eliminar ruído
 - Realçar características
 - Obter informações espaciais locais
- Resultado é uma imagem de características ou imagem filtrada que pode ser usada como nova banda



Filtro da Média

- O valor de cada pixel na imagem de saída será calculado como a média de sua vizinhança na imagem de entrada
 - Elimina ruído, suaviza imagem e histograma
 - Introduz novos valores para os pixels



Vizinhança 3x3



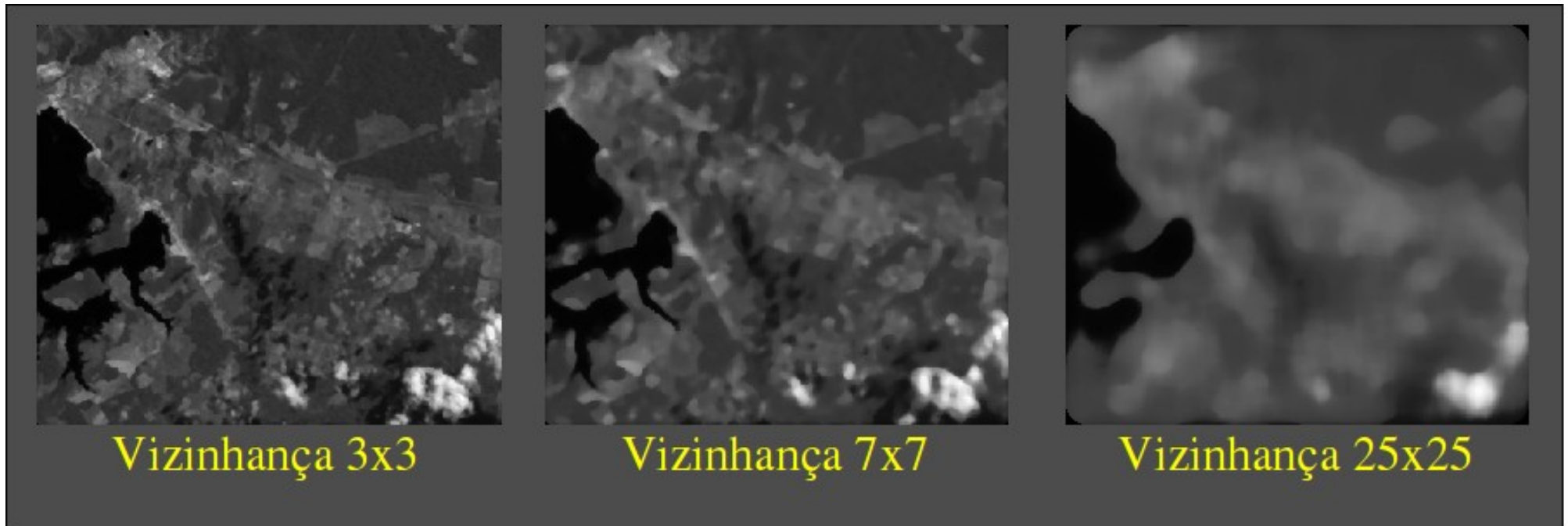
Vizinhança 7x7



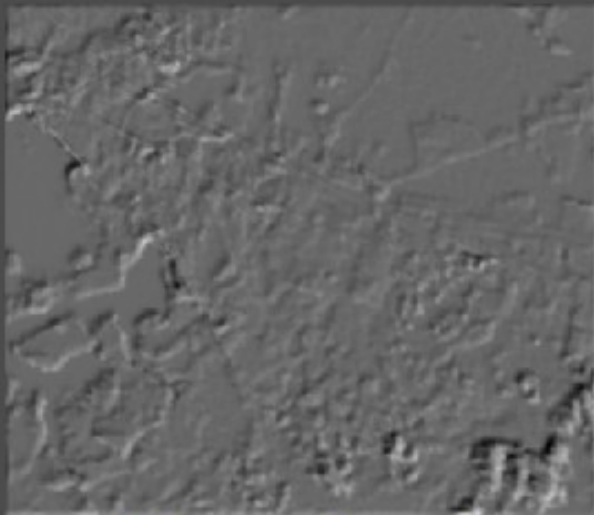
Vizinhança 7x7, 5 vezes

Filtro da Mediana

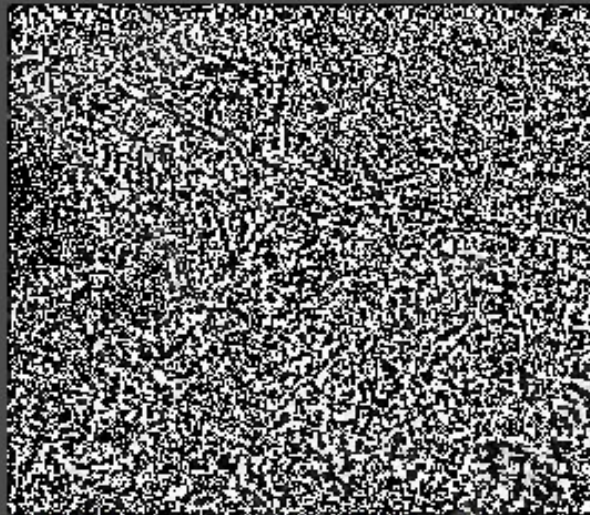
- O valor de cada pixel na imagem de saída será calculado como a mediana de sua vizinhança na imagem de entrada
 - Elimina ruído sem introduzir novos valores para os pixels



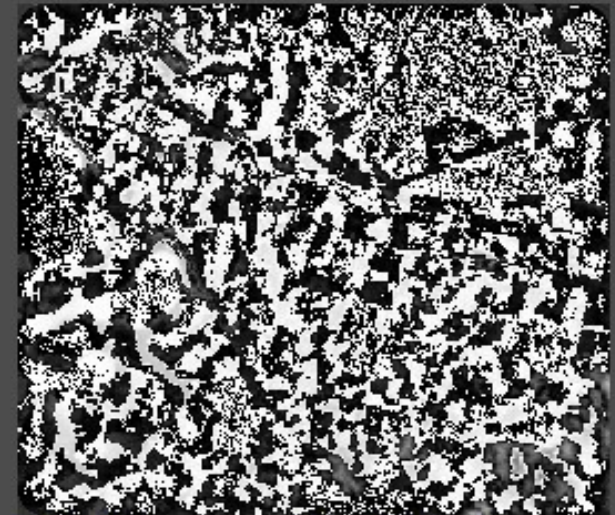
- Medida de rugosidade ou outra característica espacial local
 - Difícil de quantificar e comparar



Textura Local
(DOG)



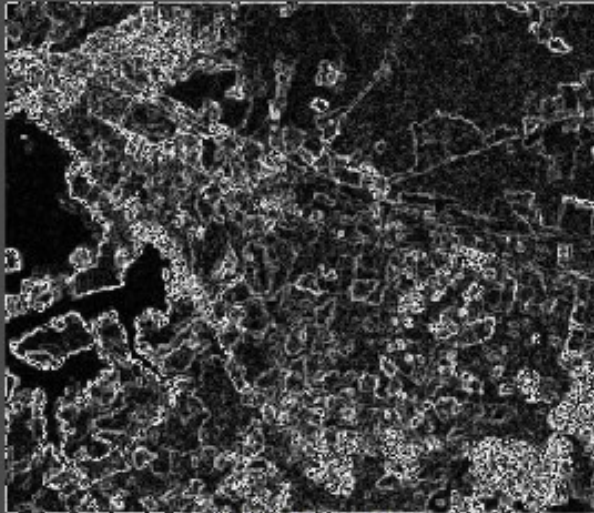
Diferença da Mediana
Vizinhança 7x7



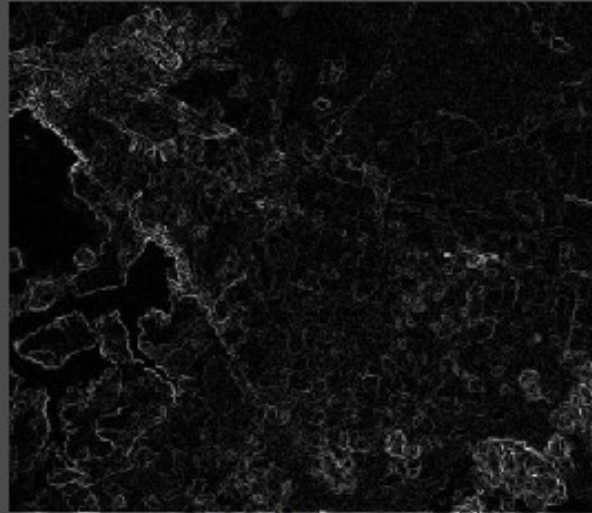
Diferença da Mediana
Vizinhança 25x25

Característica: Bordas

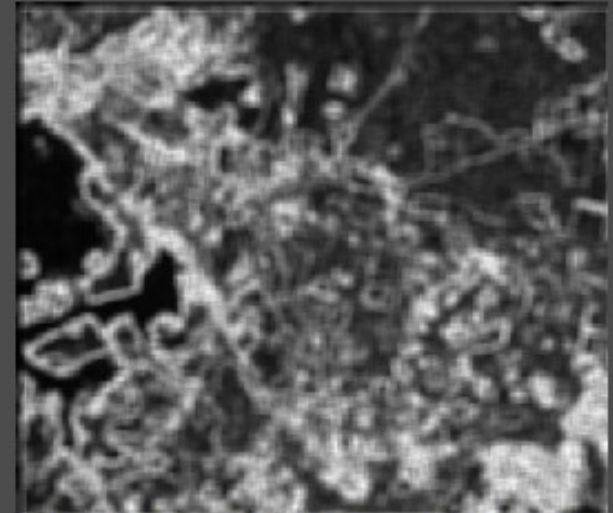
- Indicam transição de um alvo (média de níveis de cinza) para outro
- Proporcionais à diferença dos níveis de cinza



Sobel



Roberts



Média do Sobel (7x7)

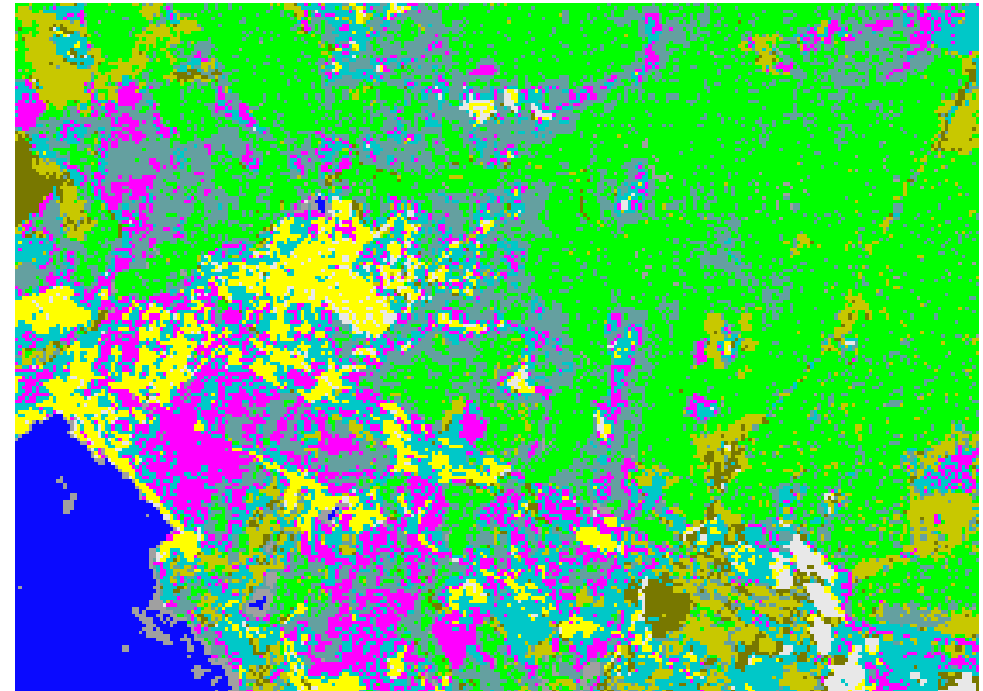
Classificação de Imagens



- Objetivo: Redução (Simplificação) Espectral:
 - Muitos possíveis valores de pixels sem classes (rótulos) → Poucos valores de pixels (opcionalmente com classes/rótulos)



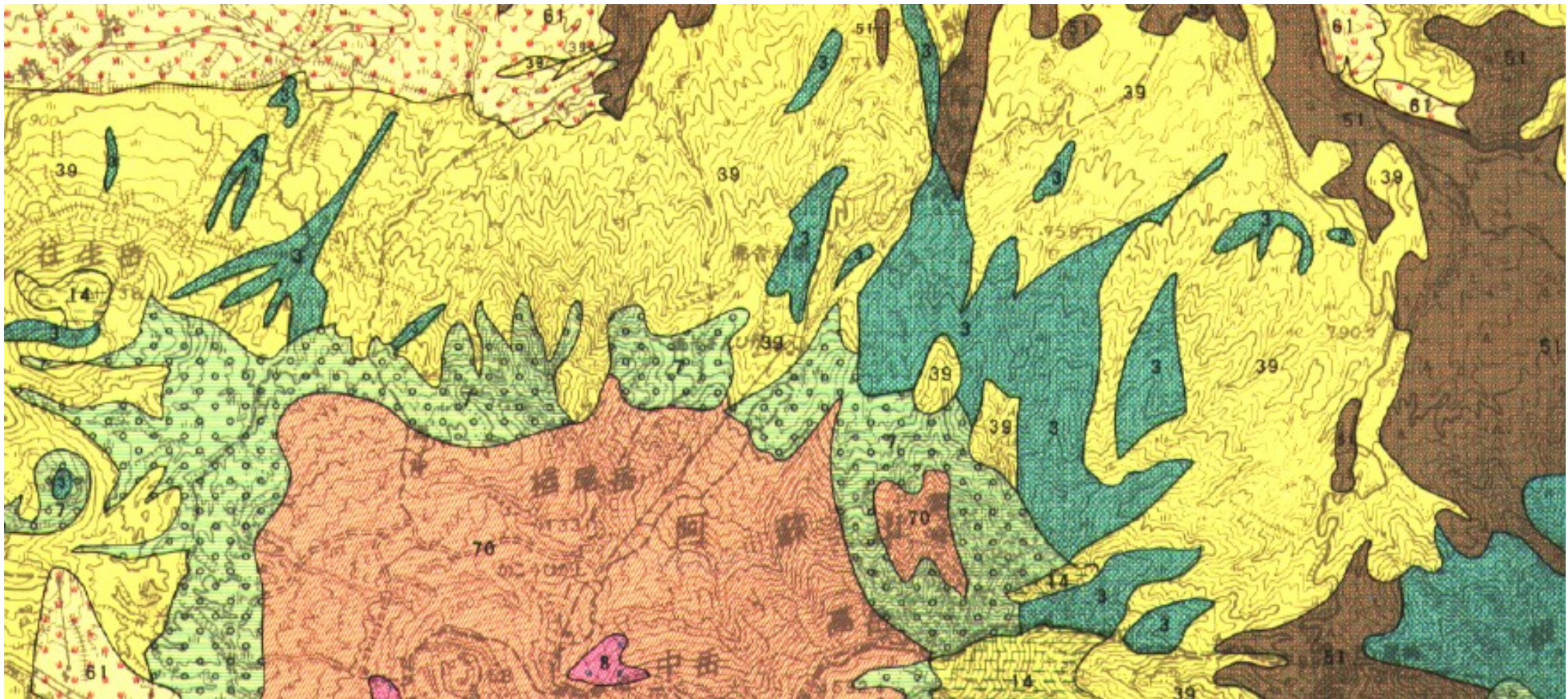
$256^6=280$ trilhões de valores possíveis (em três bandas: $256^3=16$ milhões de valores)



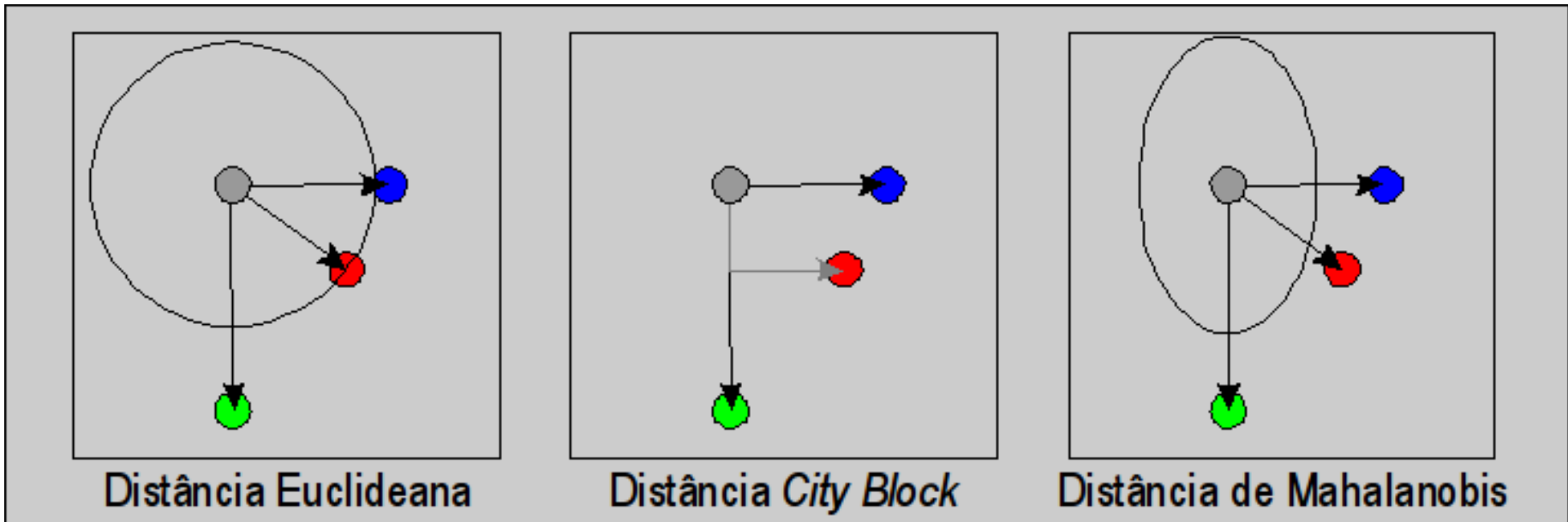
10 valores conhecidos

- Classificação é a localização e identificação dos similares
 - Similaridade espectral
 - Similaridade espacial (coerência)
 - Similaridade morfológica

Atributos usados por interpretadores, nem todos podem ser usados efetivamente por computadores

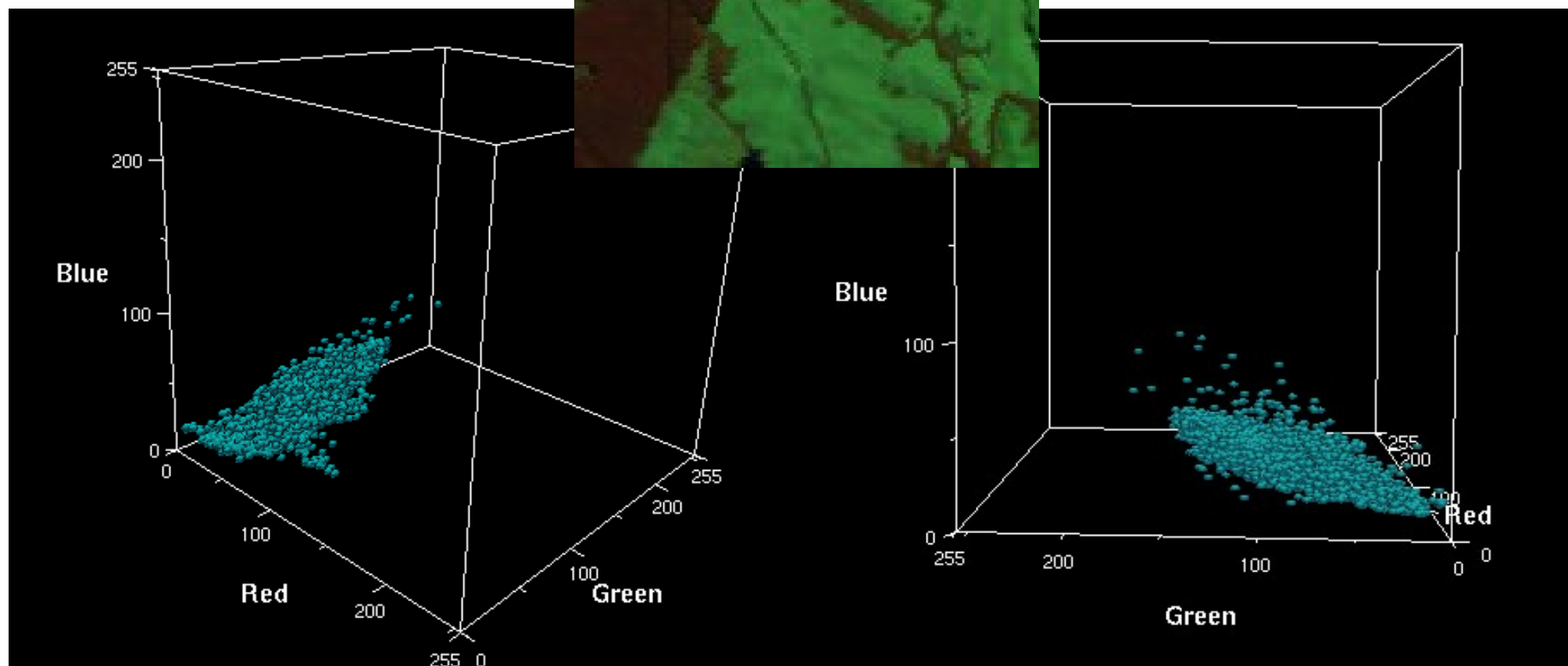
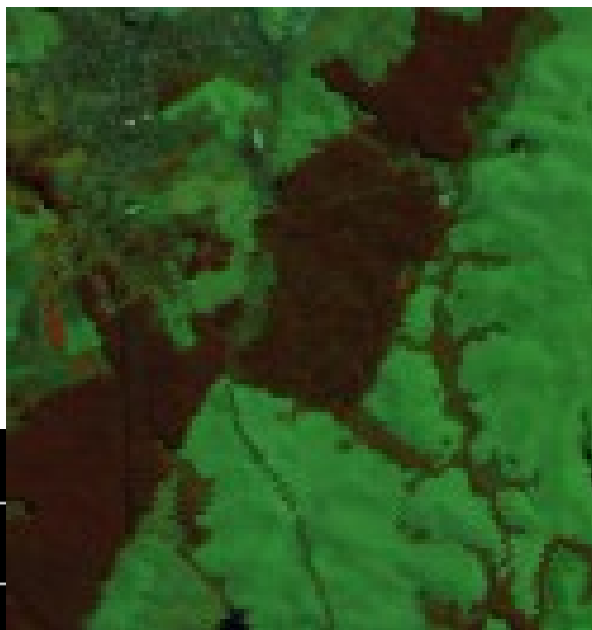


- Similaridade entre pixels: distância no espaço de atributos
- Distância calculada entre vetores (pixels em N dimensões)

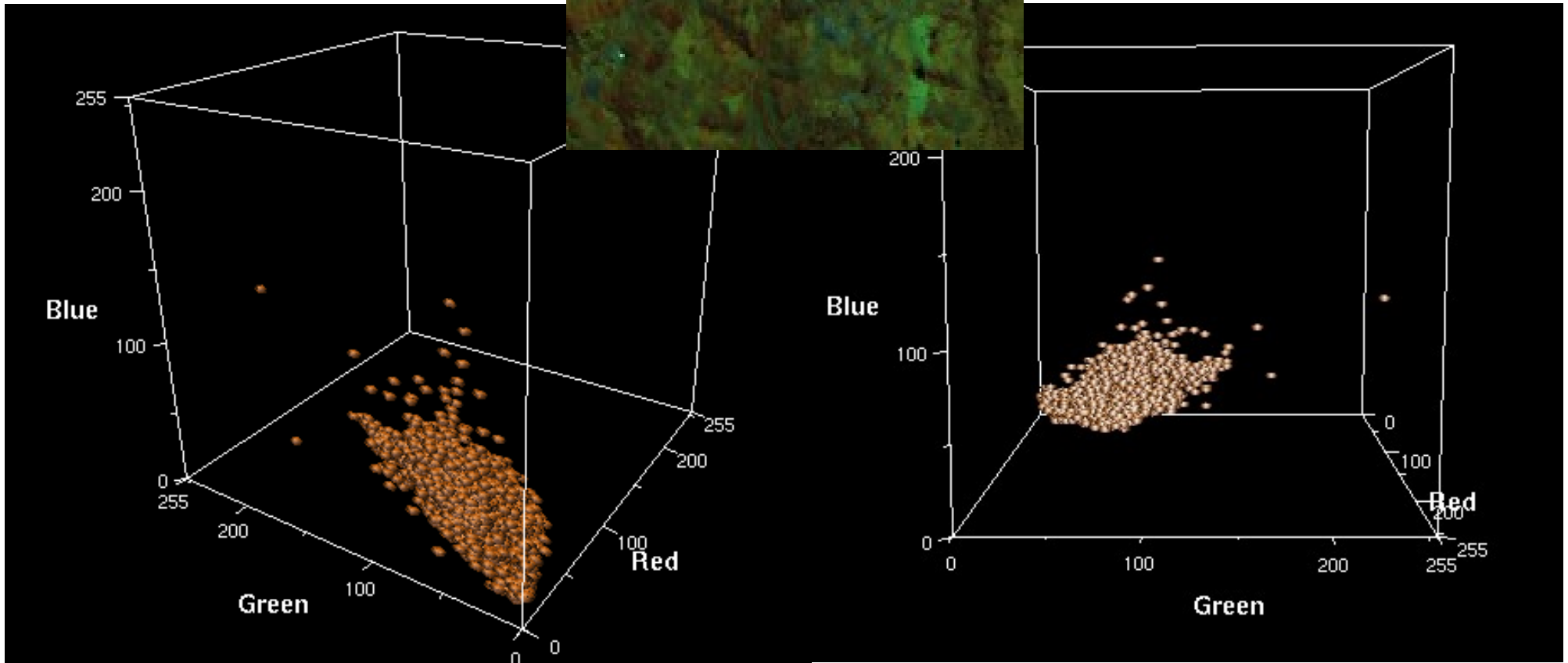
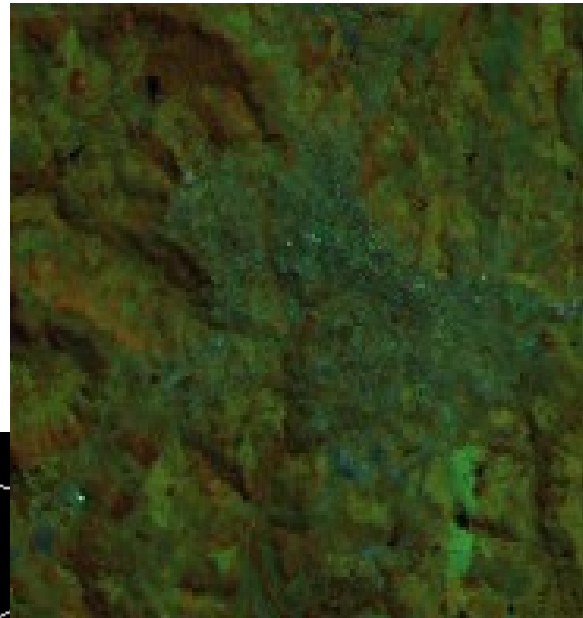


- Diferentes métricas:
 - Diferença na precisão
 - Diferença no tempo de cálculo

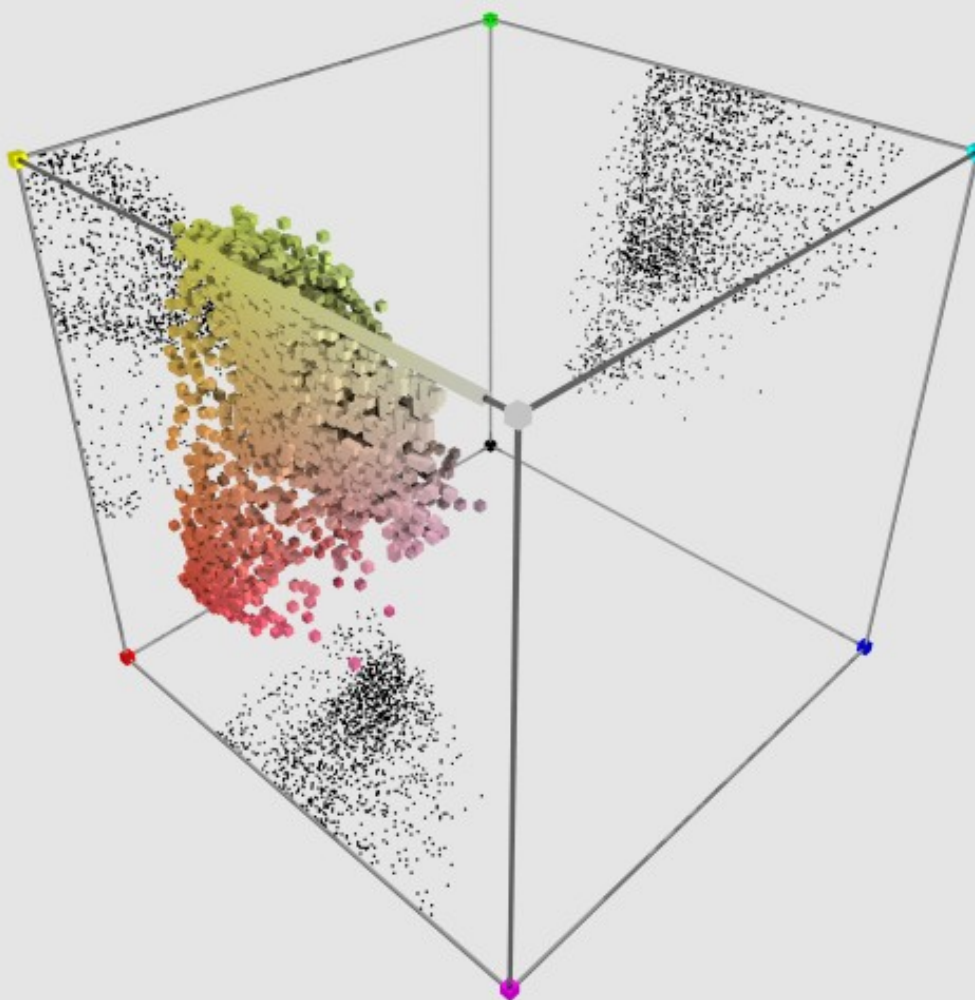
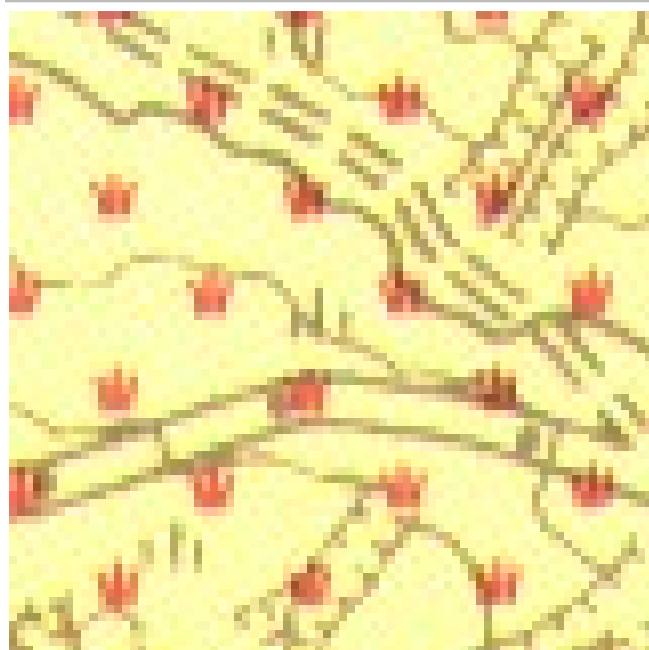
Problema: Separação das Classes



Problema: Separação das Classes

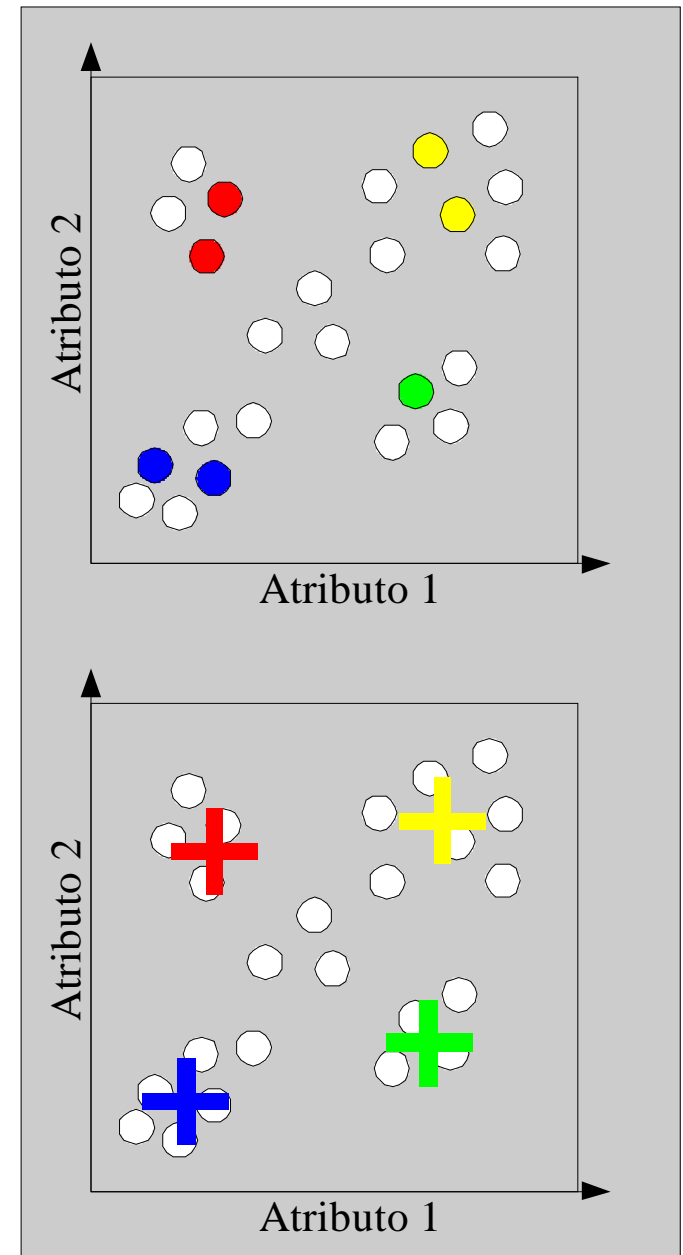


Problema: Separação das Classes

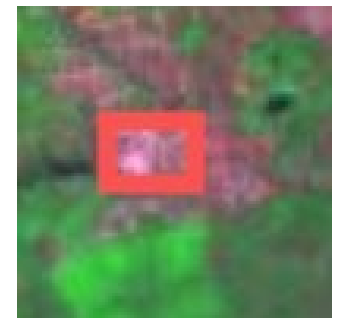
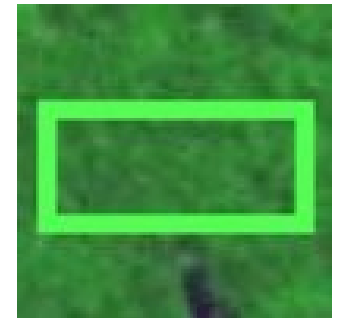
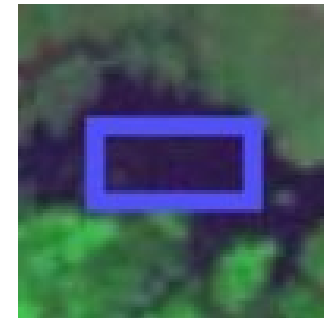
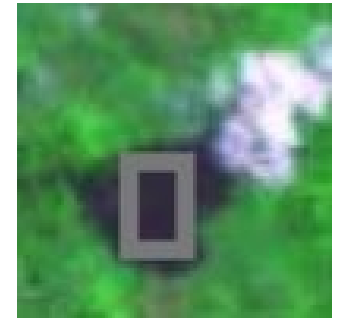
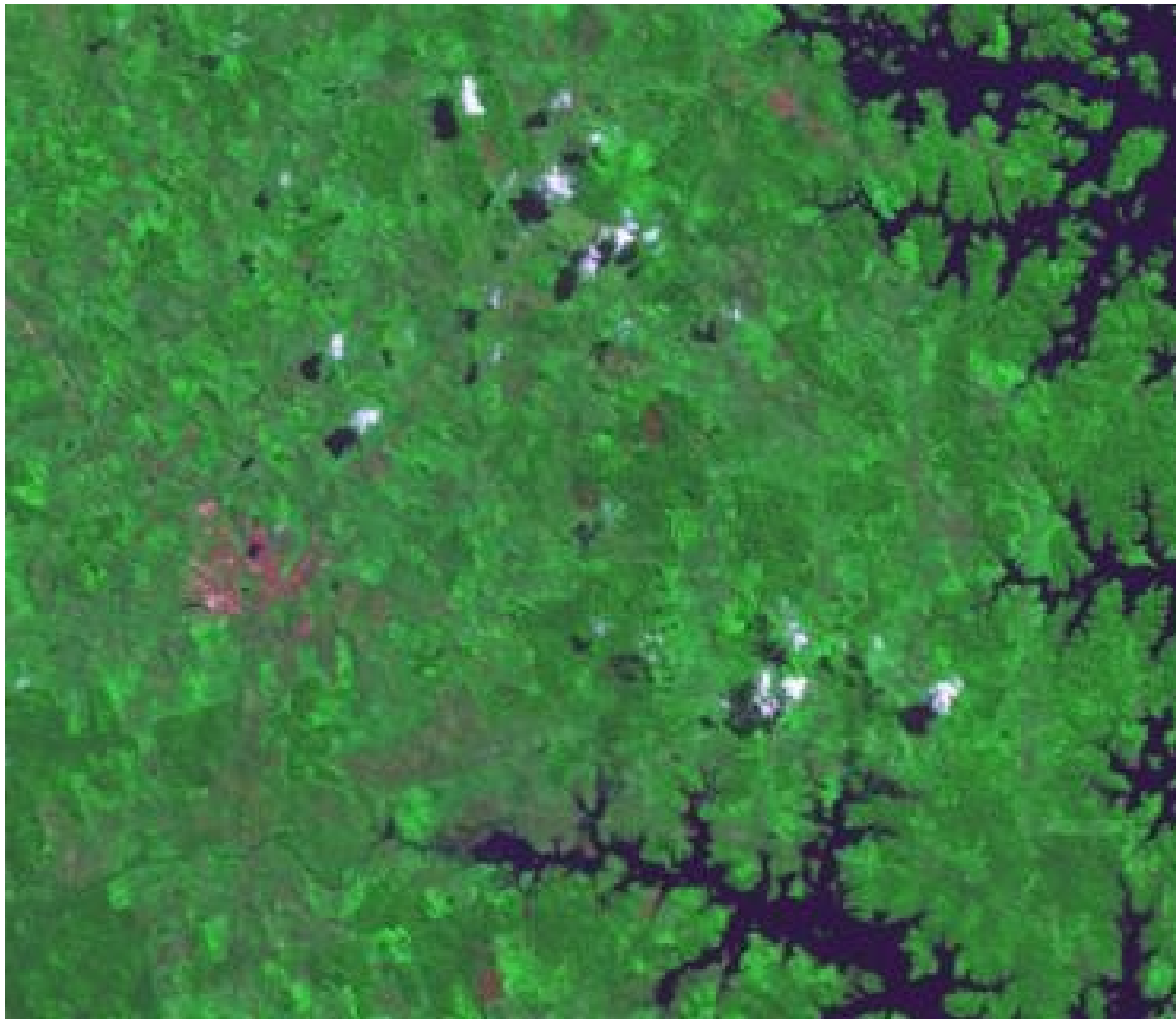


- Supervisionados:
 - Identificam pixels usando similaridade com pixels cujas classes são conhecidas
 - Necessita informações sobre classes (amostras, protótipos)
- Não-supervisionados (Agrupamento ou *Clustering*)
 - Localizam grupos de pixels similares entre si e diferentes dos outros grupos
 - Métodos iterativos
 - É preciso identificar os grupos encontrados !
- Híbridos
 - Usam características mistas (ex.: informações incompletas)

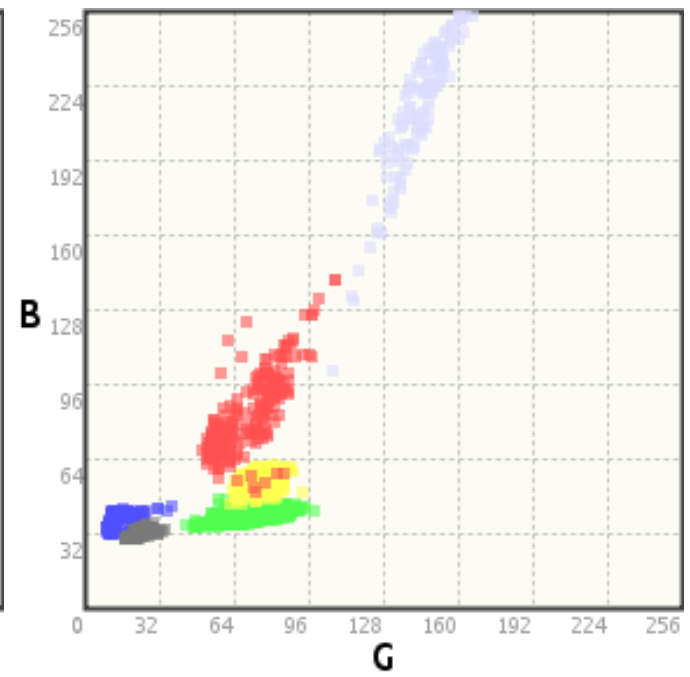
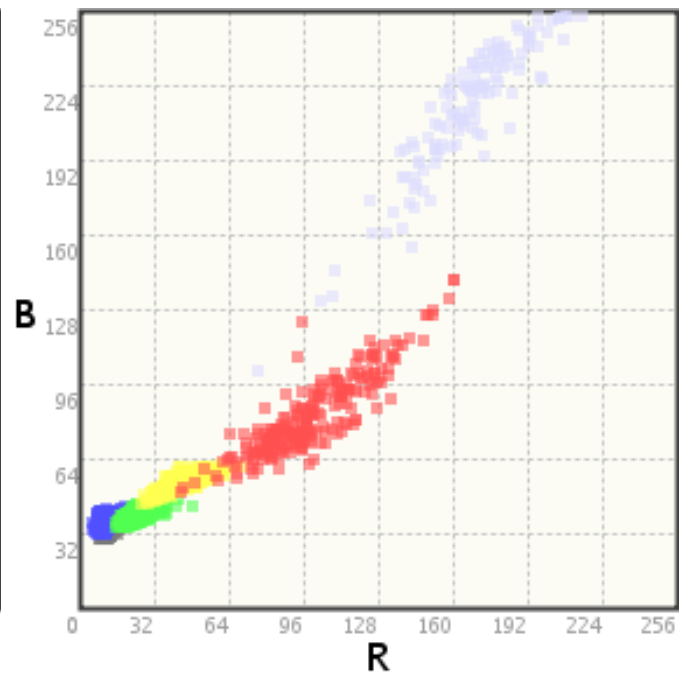
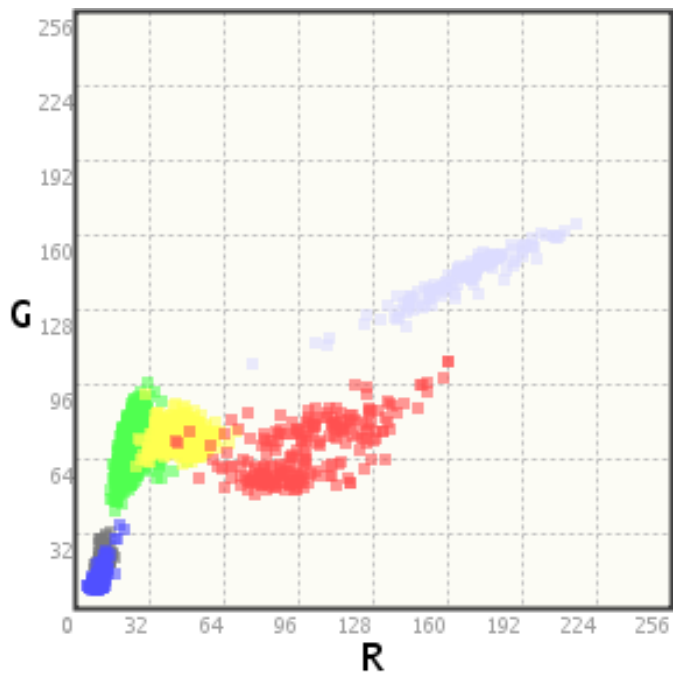
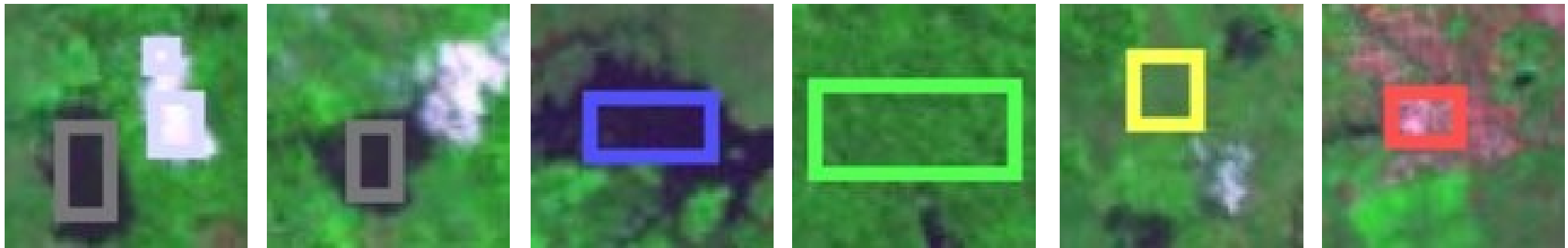
- Amostras:
 - Pixels (vetores) para os quais conhecemos as classes (**rotulados**)
 - Existem na imagem
- Protótipos
 - Pixels (vetores) representativos de amostras ou classes
 - Não necessariamente existem na imagem
 - Podem ser calculados a partir das amostras



Exemplo



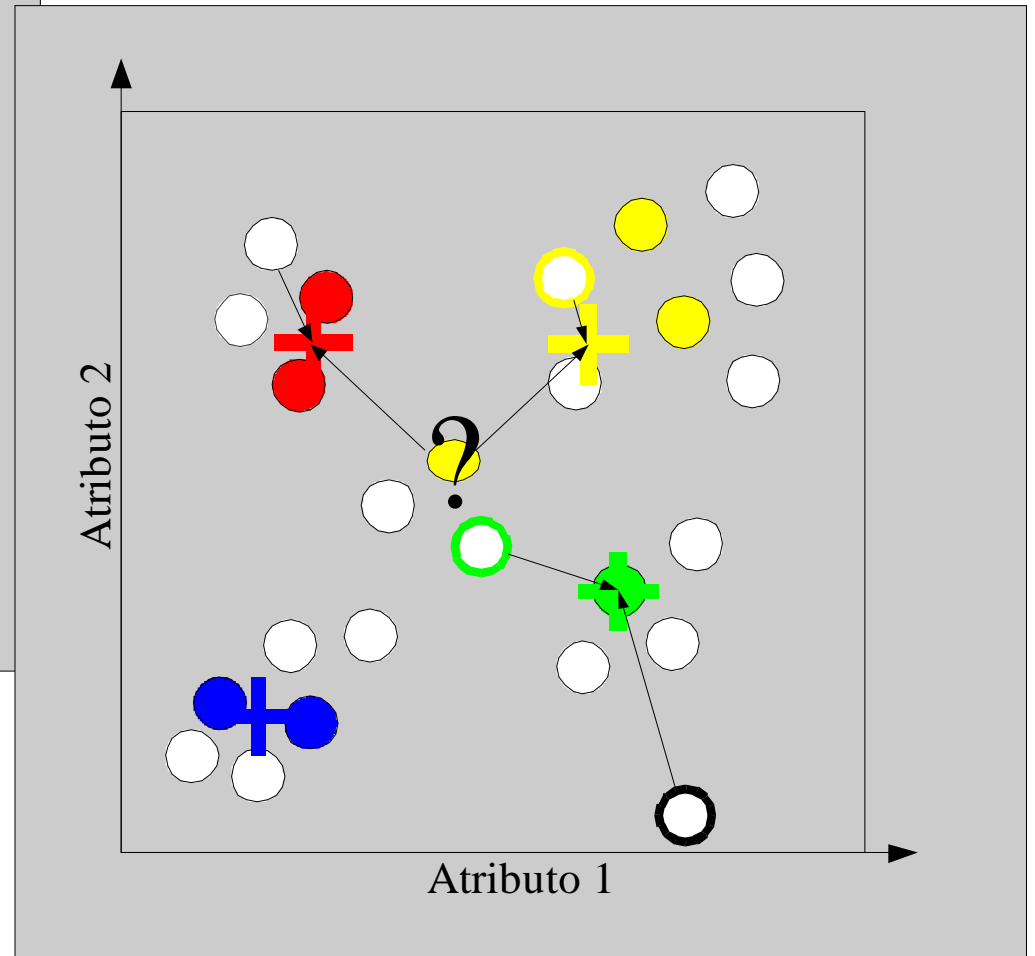
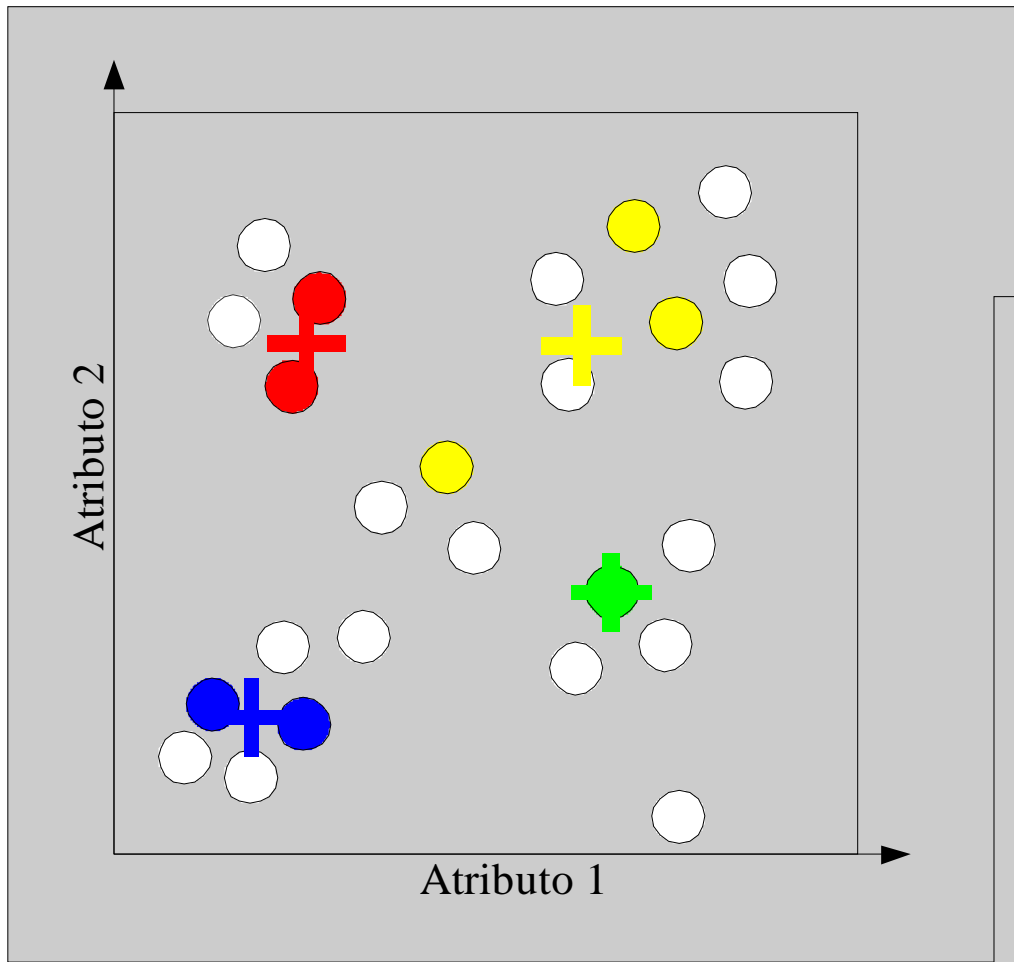
Exemplo



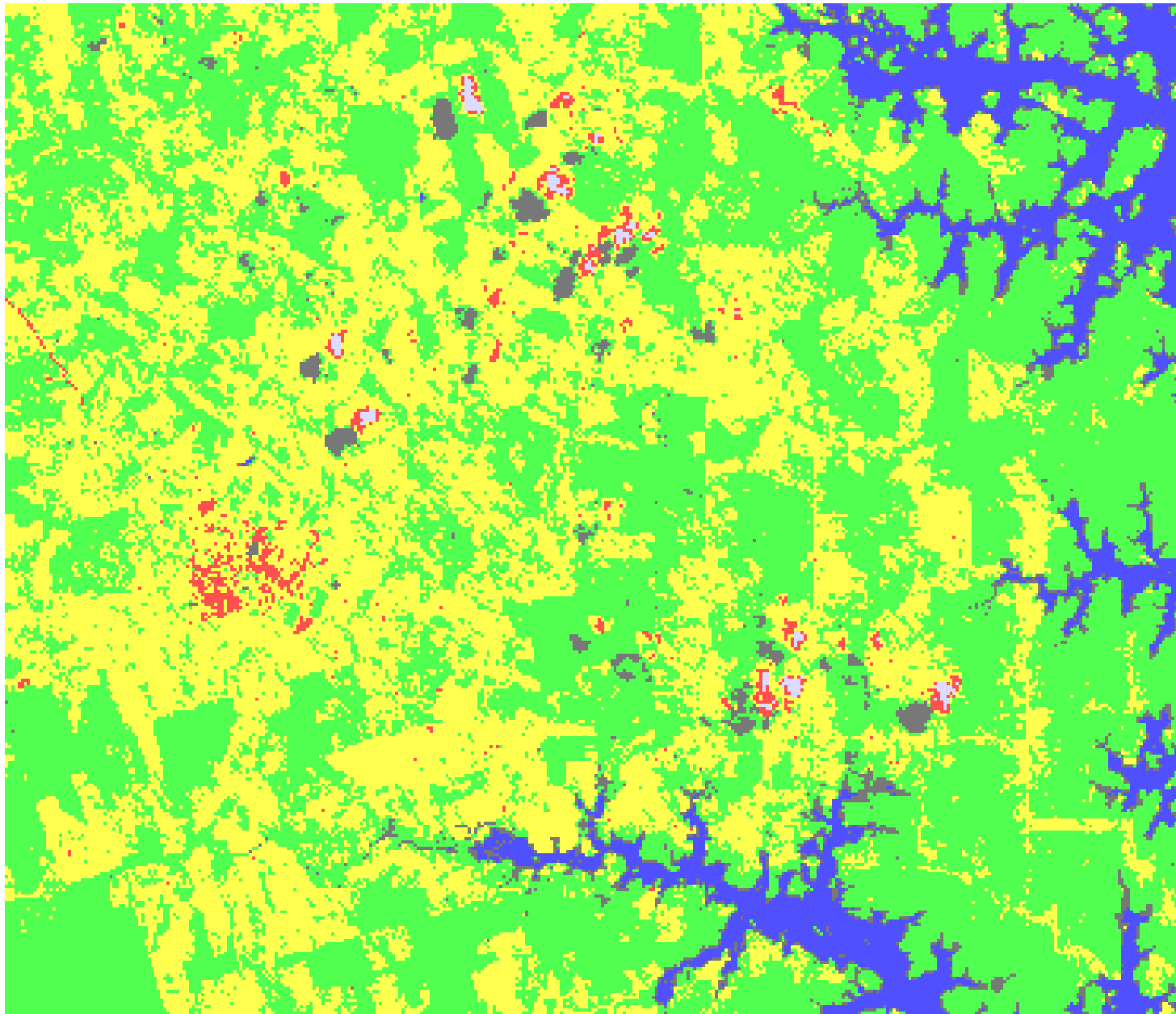
- Amostras (com rótulos) são retiradas da imagem
- Protótipos são os valores médios das amostras, tomados classe a classe (um vetor para cada classe)
- Pixel x é classificado como sendo da classe a se o protótipo com menor distância até x é da classe com rótulo a
- Rápido e simples
- Problemas potenciais:
 - Considera distribuições esféricas - nem sempre é o caso !
- Idéias interessantes:
 - Usar mais de uma amostra por classe



Método da Distância Mínima

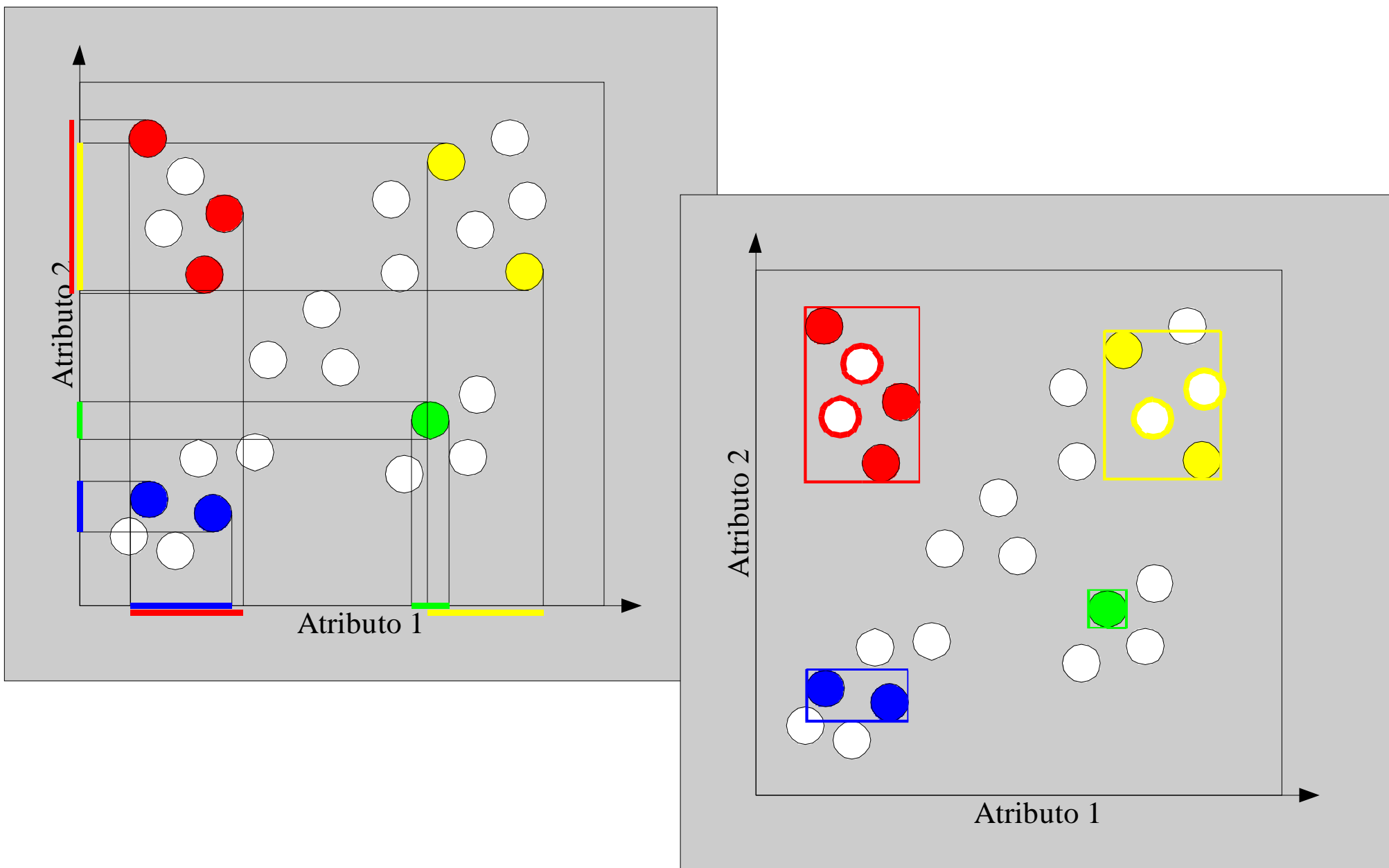


Método da Distância Mínima

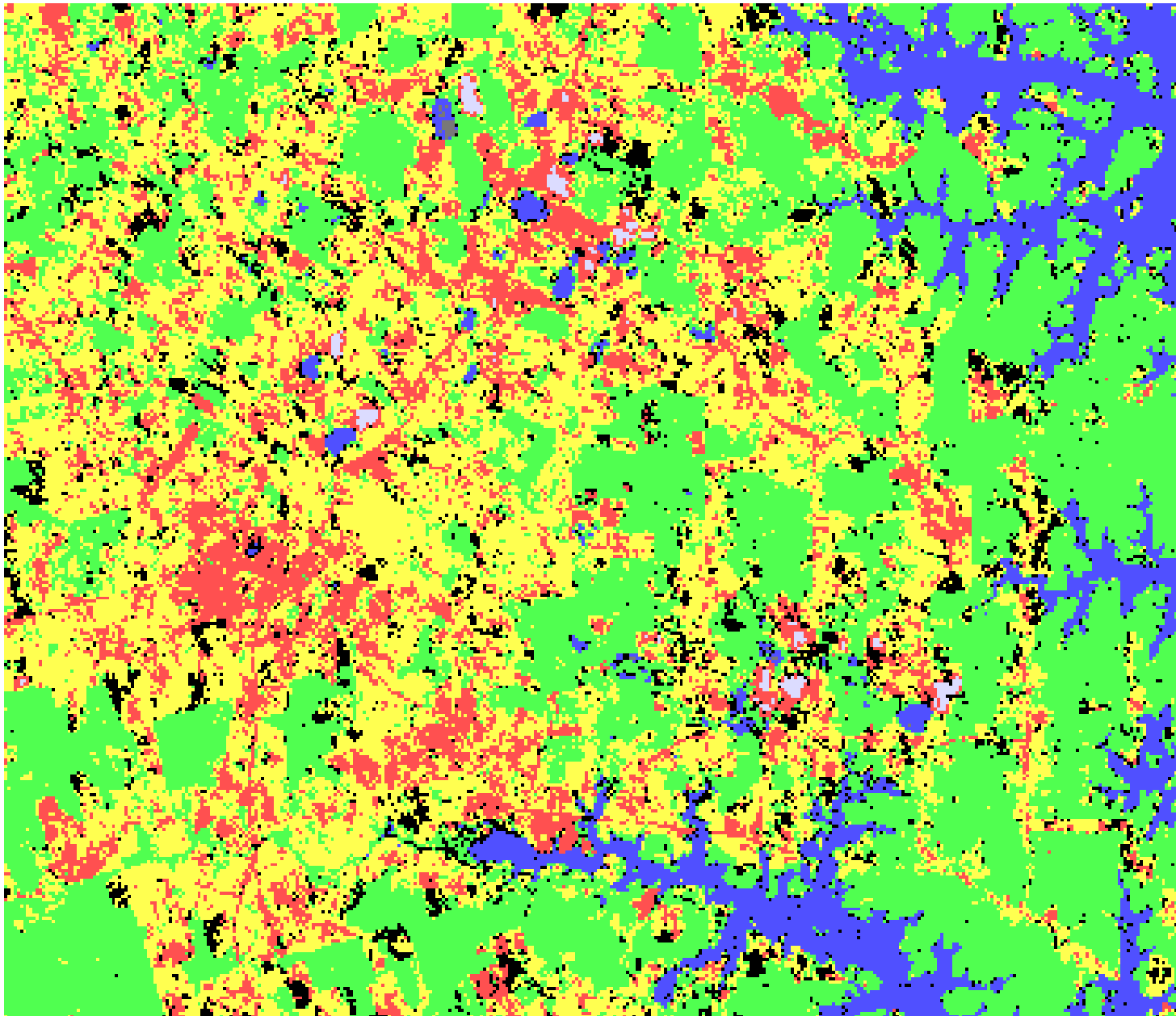


- Amostras (com rótulos) são retiradas da imagem
- Protótipos são calculados como máximos e mínimos dos valores das amostras (para cada banda)
- Pixel x é classificado como sendo da classe a se ele está contido no paralelepípedo definido pelos máximos e mínimos valores para a classe com rótulo a
- Rápido e simples, similar a regras de sistemas especialistas
- Problemas potenciais:
 - Superposição dos paralelepípedos
 - Muitas rejeições, simplificação extrema da distribuição

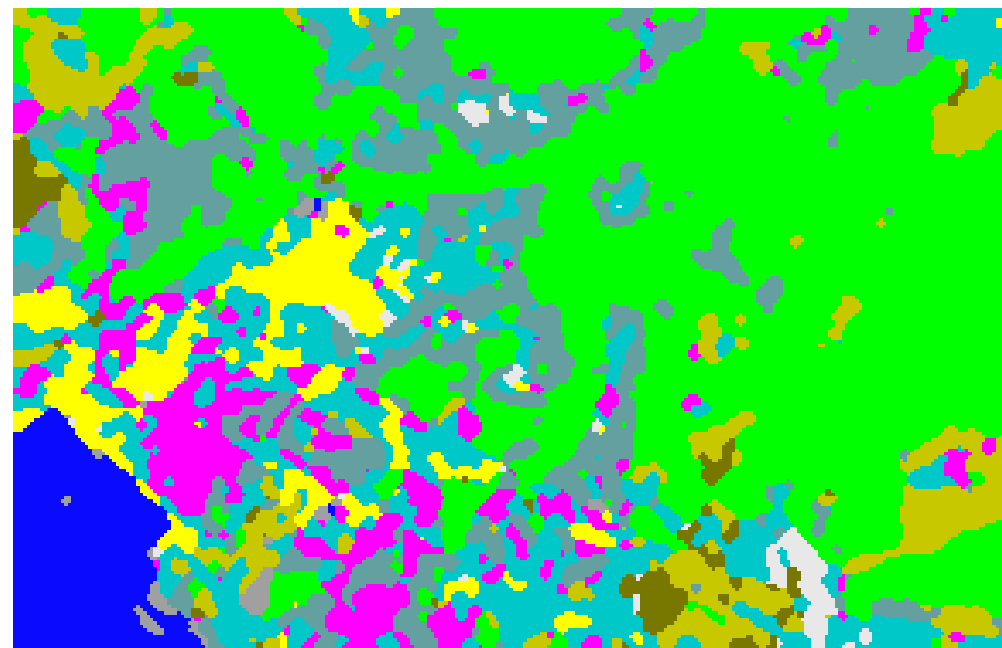
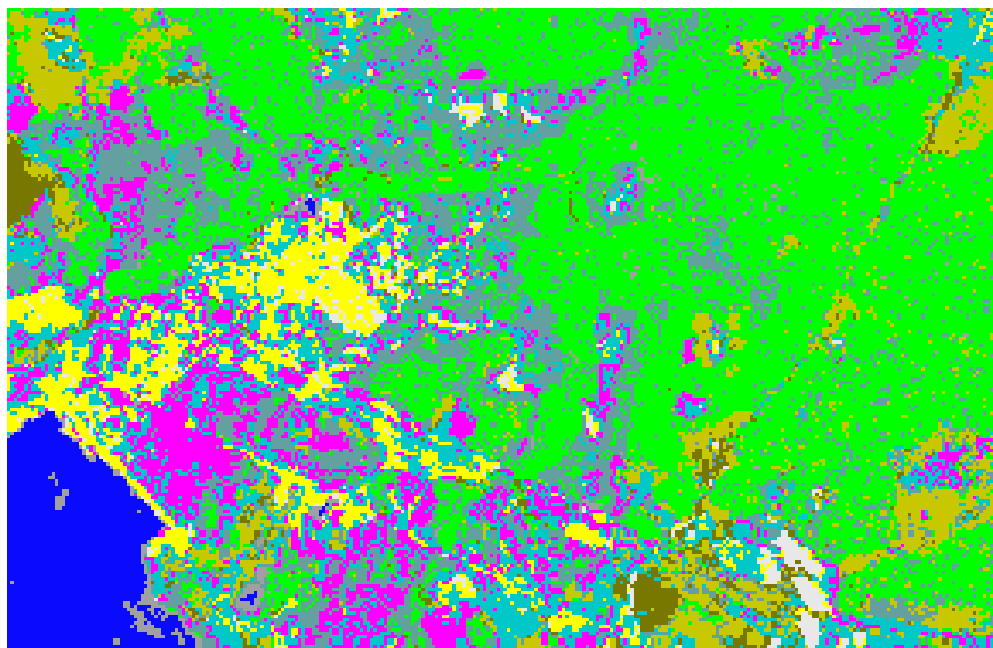
Método do Paralelepípedo



Método do Paralelepípedo



- Filtragem
 - Elimina pequenas regiões (alguns pixels) que podem ter sido classificados incorretamente
- Filtragem modal: considera a moda das regiões
- Exemplo: filtro modal 3x3 aplicado 3 vezes



- Criação de Mapas Temáticos
 - Resultado da classificação supervisionada: pixel contém o índice da classe
 - Baseados em LUTs
- Relatórios
 - Precisão da classificação (matriz de erros)
 - Áreas das diversas classes
- Reavaliação
 - Classificação das amostras e verificação da matriz de erros

- Classificadores Não-supervisionados
- Classificadores Semi-supervisionados
- Lógica Nebulosa
- Redes Neurais
- Sistemas Especialistas
 - Criação automática de regras
- Validação de Agrupamentos

Outros Tópicos



- Processamento por pixels x processamento por regiões
 - Imagens de alta resolução
 - Novos algoritmos de classificação
 - Modelagem de conhecimento
 - Modelos de mistura
 - Inteligência artificial

<http://gras.ku.dk/software/ecognition.htm>



1) Original Image



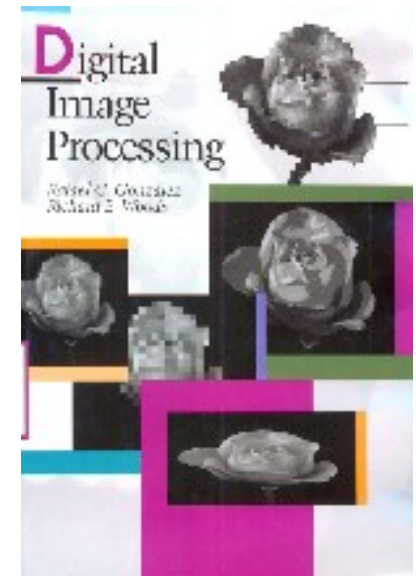
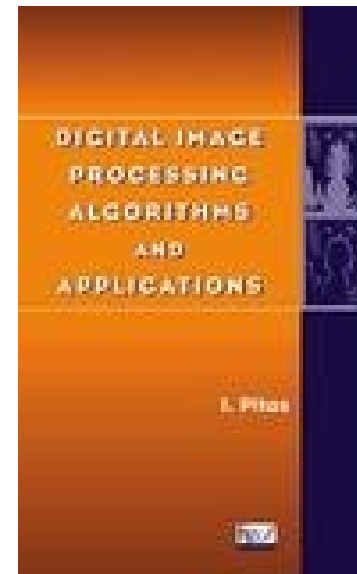
2) Segmented Image



3) Classified Image

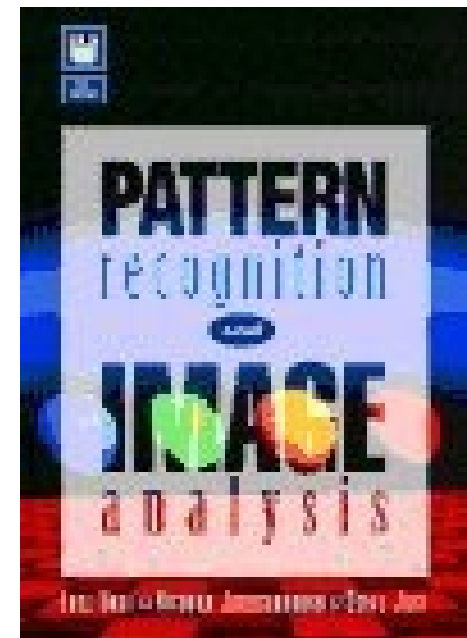
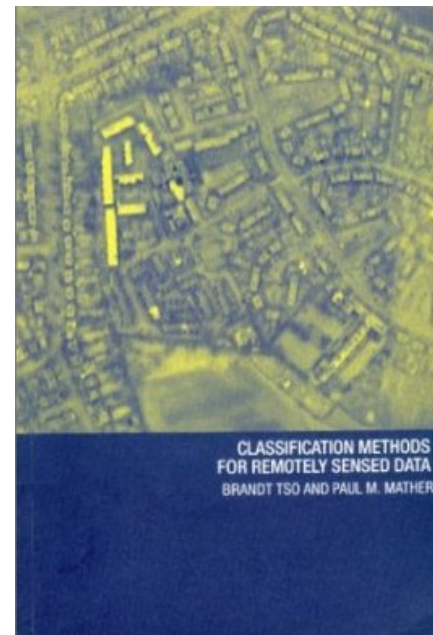
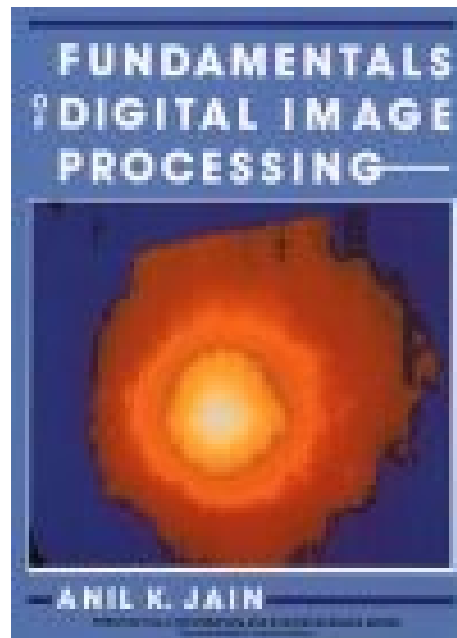
Para saber mais...

- <http://www.lac.inpe.br/~rafael.santos/JIPCookbook>
- Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective (*John R. Jensen*)
- Digital Image Processing Algorithms and Applications (*Ioannis Pitas*)
- Digital Image Processing (*Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods*)



Para saber mais...

- Fundamentals of Digital Image Processing (*Anil K. Jain*)
- Classification Methods for Remotely Sensed Data (*Brandt Tso, Paul M. Mather*)
- Pattern Recognition and Image Analysis (*Earl Gose, Richard Johnsonbaugh, Steve Jost*)



- Fuzzy Algorithms: With Applications to Image Processing and Pattern Recognition (*Zheru Chi, H. Yan, Z.R. Chi, Hong Yan, Tuan Pham*)
- The Pocket Handbook of Image Processing Algorithms In C (*Harley R. Myler, Arthur R. Weeks*)
- Intelligence: The Eye, the Brain, and the Computer (*Martin A. Fischler, Oscar Firschein*)

