



# Realce Radiométrico



Natural Resources Canada  
Ressources naturelles Canada

Canada

# Realce Radiométrico

## -Tópicos-

### ❖ Filtros

- ◆ Redução do “Speckle”
  - Definição; Por quê filtrar “speckle”; Qual é o filtro ideal para reduzir o “speckle”.
  - Filtros não-adaptativos (filtros FFT);
  - Filtros adaptativos (filtros Frost, Lee, MAP Gama).
- ◆ Filtragem para Realce Espacial
  - Baixa frequência (filtros de média, gaussianos, mediana);
  - Alta frequência (filtros Gradient, Sobel, detector de razão de bordas, textura, FFT).

# Realce Radiométrico (cont.)

## -Tópicos-

### ❖ Realce visual

- ◆ Realce de contraste
- ◆ Realce linear
- ◆ Realce não-linear
  - Histograma, Exponencial, Logarítmico, Extensão da Lei da Potência.

# Realce Radiométrico

## - Introdução -

- ❖ Esta seção revisa os métodos de realce da radiometria de uma imagem mediante a utilização de filtros de redução do “speckle”, filtros de realce espacial e realces visuais.
- ❖ O entendimento do “speckle” é crucial para compreender o SAR e os realces radiométricos do SAR.
- ❖ Geralmente, a redução do “speckle” é desejada para melhorar a classificação e/ou o realce.
- ❖ Para reduzir o “speckle”, deve-se usar filtros adaptativos (ex: filtro map gama) ao invés de filtros não-adaptativos (ex: filtro FFT) em imagens de radar.
- ❖ Ao contrário dos filtros não-adaptativos, os adaptativos consideram as propriedades locais do retroespalhamento do terreno ou a natureza do sensor.

# Introdução ao “Speckle”

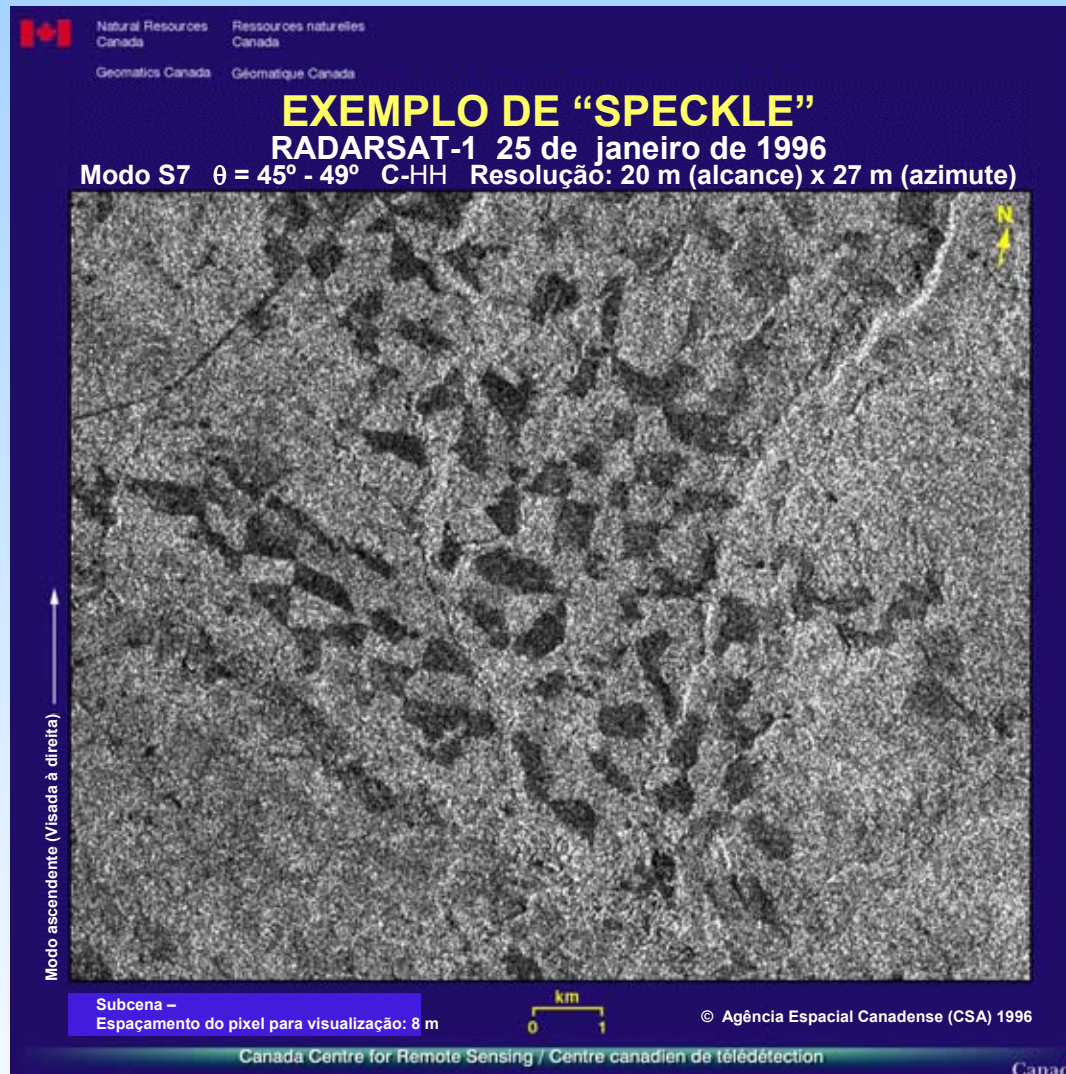
- ❖ Variância da imagem ou “speckle” é um ruído granular que existe de forma inerente nas imagens de SAR (Figura 5.1).
- ❖ O “speckle” provoca nas imagens de visada simples, uma aparência granular e salpicada, e é o fator dominante em imagens de radar.
- ❖ A variação dinâmica do “speckle” é maior do que o próprio conteúdo da cena.
- ❖ As imagens processadas com um número pequeno de visadas terão distribuições de intensidade bastante assimétricas devido ao “speckle”.
- ❖ A criação de um histograma simétrico pode não ser o melhor procedimento. É melhor dispor os pixels nos limites extremos da distribuição da intensidade dos dados (ex: valores digitais entre 0 a 255, para dados de 8 bits).
- ❖ Para uma revisão detalhada sobre “speckle”, veja Raney (1998).



# O que é “Speckle”?

- ❖ Ruído é uma interferência coerente de ondas espalhadas pelos elementos do terreno, observada em cada célula de resolução.
  - ◆ Uma onda de radar incidente interage com cada elemento da superfície e da cobertura da superfície, gerando ondas espalhadas que se propagam em todas as direções.
  - ◆ As ondas espalhadas que alcançam a antena receptora são somadas em direção e fase para formar o sinal recebido. Os componentes da fase relativa contêm as trajetórias diferenciais de propagação.
  - ◆ A operação de focalização do SAR combina os sinais recebidos de forma coerente para formar a imagem.
  - ◆ A soma das fases das ondas espalhadas resulta tanto em interferência construtiva como destrutiva dos retornos individuais das ondas espalhadas e modula aleatoriamente a intensidade do sinal em cada célula de resolução.

# Figura 5.1 - Exemplo de “Speckle”



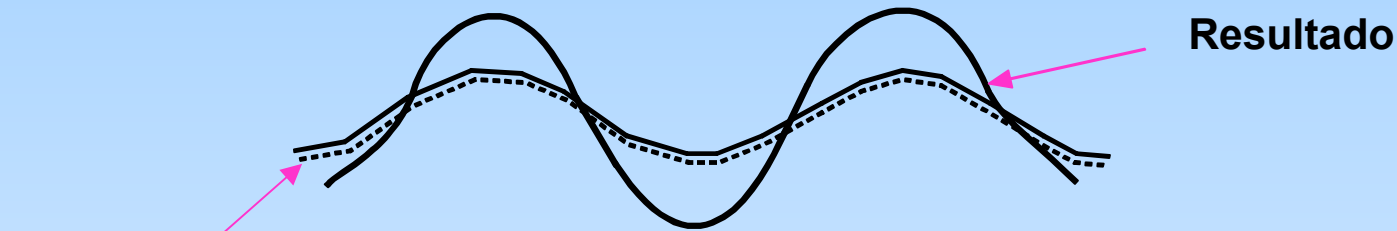
# O que é “Speckle”? (cont.)

- ❖ A adição de retroespalhamentos a partir de um conjunto de dispersores produz interferências construtiva e destrutiva aleatórias (ver Figura 5.2).
  - ◆ Interferência construtiva corresponde a um aumento da intensidade média e produz pixels brilhantes.
  - ◆ Interferência destrutiva corresponde a uma diminuição da intensidade média e produz pixels escuros.
- ❖ Estas flutuações aleatórias causam o surgimento do “speckle”.
- ❖ A redução destes efeitos melhora a resolução radiométrica às custas da resolução espacial.

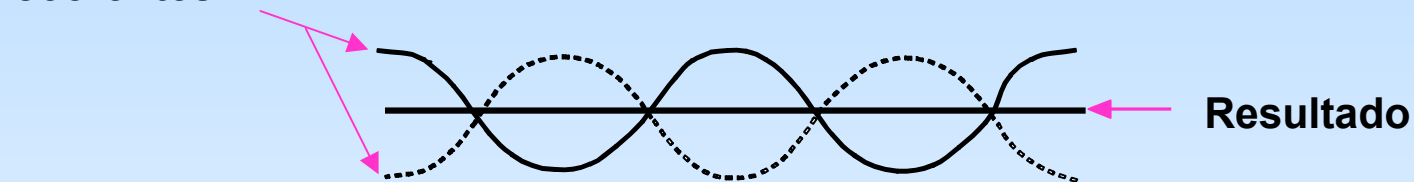


# Figura 5.2 - “Speckle”

Interferência construtiva



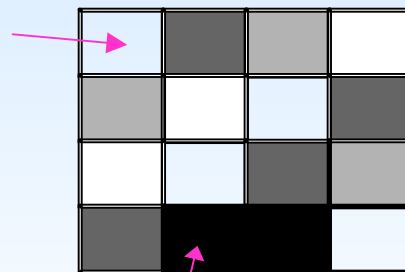
Interferência destrutiva



Exemplo de alvo homogêneo

Interferência construtiva

Interferência destrutiva

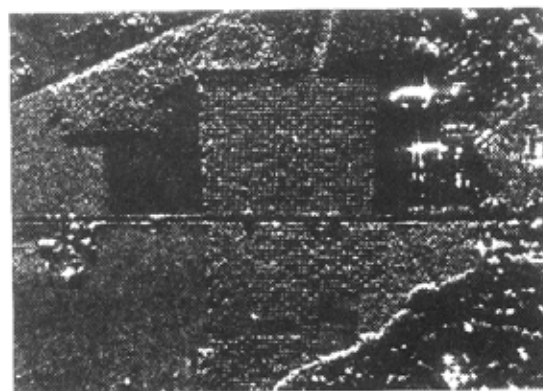
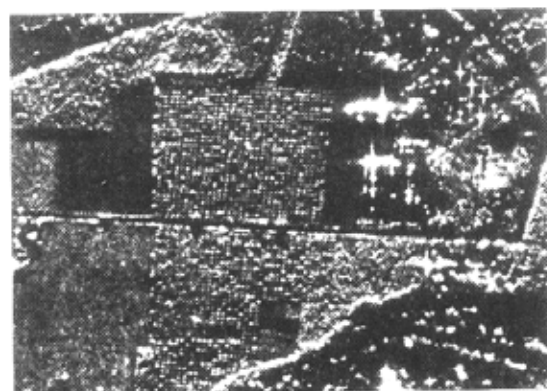
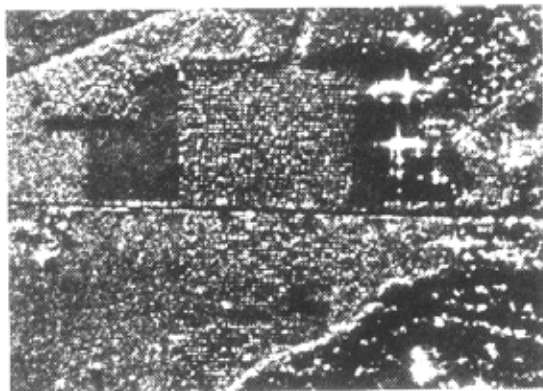
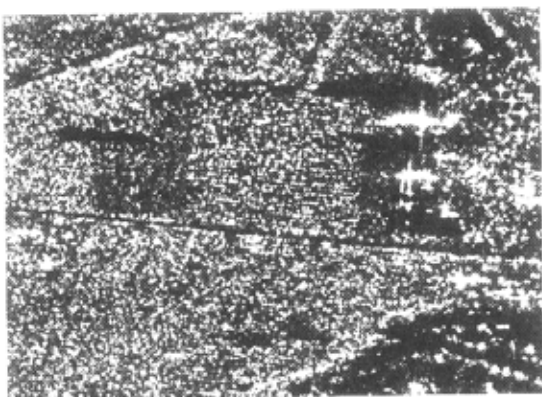


Graus variados de interferência  
(entre construtiva e destrutiva)

# Supressão do “Speckle”

- ❖ O “speckle” resulta de um processo coerente (incluindo-se a fase).
- ❖ O “speckle” pode ser reduzido através de processos incoerentes (amplitude ou potência).
  - ◆ A redução do “speckle” (ou suavização) necessariamente reduz a resolução (aumenta o tamanho da célula de resolução) de dados de SAR de uma única frequência.
  - ◆ Dois processos lineares básicos:
    - Múltipla visada – divide o sinal em faixas de frequência com sobreposição mínima, processa cada uma delas para uma imagem de resolução reduzida, registra-as, detecta e adiciona as imagens detectadas. Exemplos de processamento de imagens com múltipla visada são mostrados na Figura 5.3.
    - Cálculo da média – detecta a imagem com resolução plena, efetua os processos de cálculo da média local e de reamostragem para criar uma resolução reduzida e imagens com “speckle” reduzido.
    - Para alvos distribuídos, ambos os processos são equivalentes.

# Figura 5.3 – Processamento de Múltipla Visada



**A** 6.1 m x 6.1 m  
N = 1  
 $Q_{SAR} = 0.027$

**C** 6.1 m x 6.1 m  
N = 16  
 $Q_{SAR} = 0.43$

Cortesia d R.  
Shuchman e E.  
Kasischke,  
ERIM.

**B** 6.1 m x 6.1 m  
N = 4  
 $Q_{SAR} = 0.11$

**D** 1.5 m x 2.13 m  
N = 1  
 $Q_{SAR} = 0.31$

Exemplos de processamento de múltiplas visadas. Note que os "chips" das imagens A, B, e C têm todos a mesma resolução, mas os "chips" das imagens C e D têm fatores comparáveis de qualidade de imagem (dados correspondem à banda X de 1972, aerotransportada e processada opticamente). (Fonte: Raney, "Principles & Applications of Imaging Radar, Manual of Remote Sensing", 1998, Capítulo 2, pág. 75).

# Por que Filtrar o “Speckle”?

- ❖ A presença do “speckle” deve ser considerada quando se selecionam as metodologias de análise.
- ❖ A filtragem do “speckle” permitirá:
  - ◆ melhor discriminação de alvos na cena;
  - ◆ segmentação automatizada de imagens facilitada;
  - ◆ a aplicação de ferramentas clássicas de realce desenvolvidas para imagens de sensores óticos, tais como: detectores de bordas, “per-pixel” e classificadores texturais.

# O Filtro Ideal para Redução do “Speckle”

## ❖ Redução do “speckle” com perda mínima de informação

Em áreas homogêneas, o filtro deverá preservar:

- ◆ informação radiométrica
- ◆ bordas entre diferentes áreas

Em áreas com textura, o filtro deverá preservar:

- ◆ informação radiométrica
- ◆ variabilidade espacial do sinal: informação textural



# Famílias de Filtros de Redução do “Speckle”

## ❖ Filtros não-adaptativos

- ◆ Consideram-se os parâmetros do sinal de toda a imagem
- ◆ Não se consideram as propriedades locais do retroespalhamento do terreno ou a natureza do sensor.
- ◆ Não são apropriados para filtragens de sinais provenientes de alvos não estacionários.
- ◆ Exemplo deste filtro é a FFT.

## ❖ Filtros adaptativos

- ◆ Acomodam alterações nas propriedades locais do retroespalhamento de terreno.
  - O “speckle” é modelado como sendo estacionário.
  - O sinal do alvo pode não ser estacionário, pois o retroespalhamento médio muda de acordo com o tipo de alvo.
- ◆ Exemplos destes filtros são os de Frost, Lee, Map Gama, média local e mediana local.

## ❖ A Figura 5.4 mostram exemplos de filtros adaptativos.

# Figura 5.4 – Filtros gama vs. Mediana

Tapajós, Brasil

20 de maio de 1996    Modo F2

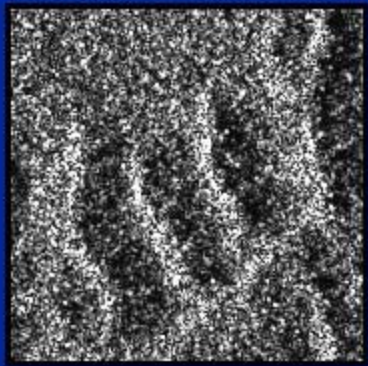
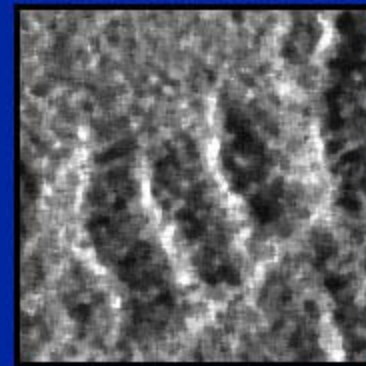
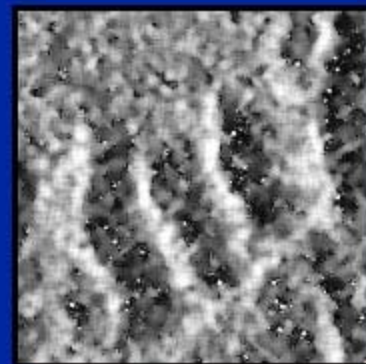


Imagem original



Mediana  
5x5



Map Gama  
5x5

# Tamanho da Janela

- ❖ A Figura 5.5 mostra exemplos de janelas dos filtros de Média, Mediana e Modo.
- ❖ Filtros são uma matriz de  $X$  por  $Y$  pixels, que se desloca através da imagem.
- ❖ Os três filtros mostrados na Figura 5.5 são filtros de janela quadrada, cujo tamanho é de 3 por 3 pixels.
- ❖ O grau de suavização é uma função do tamanho da janela.
- ❖ A suavização aumenta à medida que o tamanho da janela aumenta.

# Figura 5.5 – Filtragem por Janela

## MÉDIA

5	7	4
9	8	6
5	5	8

$$5+7+4+9+8+6+5+5+8= 57$$

$$57 \div 9 =$$

$$\text{MÉDIA} = 6$$

## MEDIANA

5	7	4
9	8	6
5	5	8

4,5,5,5,6,7,8,8,9

$$\text{MEDIANA} = 6$$

## MODA

5	7	4
9	8	6
5	5	8

4

555

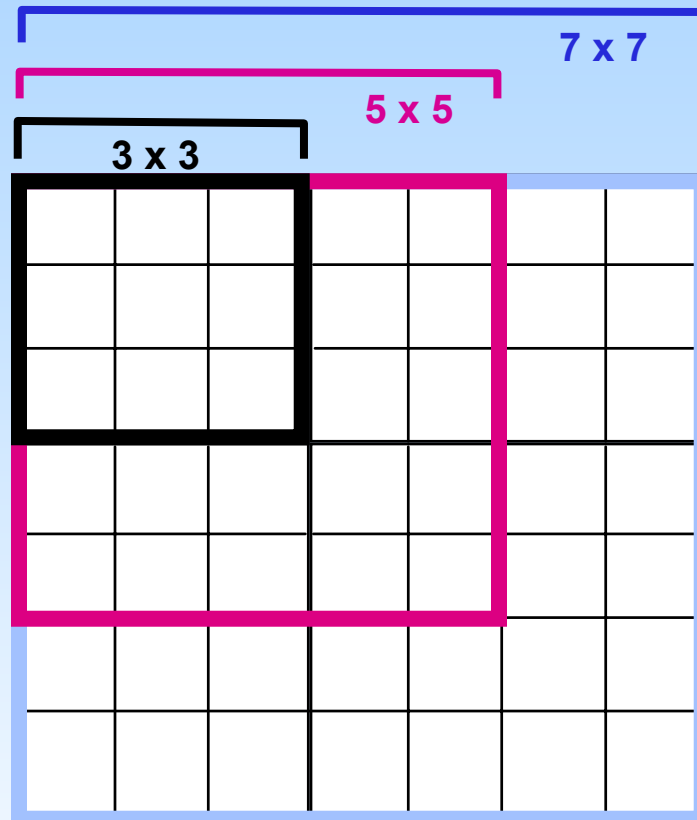
6

7

88

9

$$\text{MODA} = 5$$



Fonte: Centro Canadense de Sensoriamento Remoto

# Filtros de Média e Mediana

## ❖ Princípio

- ◆ A intensidade em cada intervalo de amostragem na imagem é substituída por valores médios do pixel em uma janela móvel que circunda a amostra.
- ❖ O filtro de caixa ou de média conserva bem a radiometria, mas embaralha as áreas com textura.
- ❖ O filtro de mediana atribui o valor da mediana da janela à cada amostra.
  - ◆ Conserva melhor a informação de textura.
  - ◆ Altera a informação radiométrica de áreas homogêneas e não conserva a assinatura dos alvos pontuais.
- ❖ Não são recomendados para imagens de radar.
- ❖ Para exemplos de ambos os filtros, veja a Figura 5.6.



# Figura 5.6 – Filtros de Mediana e Média

Tapajós, Brasil

20 de maio de 1996    Modo F2

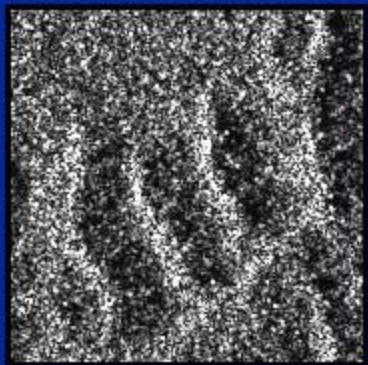
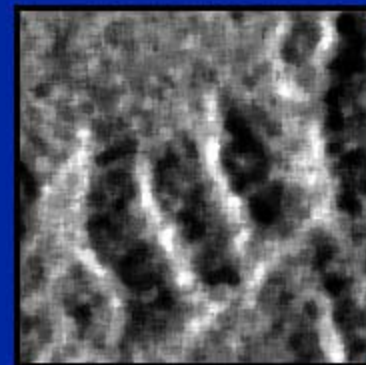
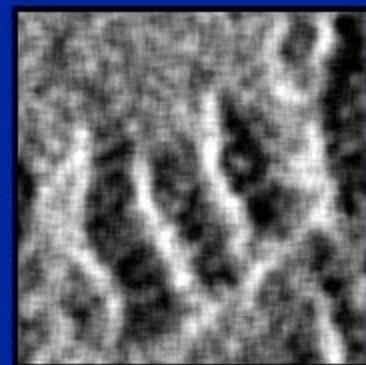


Imagem original



Mediana 7x7



Média 7x7

# Filtros Adaptativos

- ❖ Filtros adaptativos (ex: Map gama) reduzem o “speckle” e conservam as bordas (variação bruscas de contraste).
- ❖ Filtros adaptativos alteram a imagem com base nas estatísticas extraídas do ambiente local de cada pixel.
- ❖ Tamanhos maiores da janela (ex: 11x 11), resultam em um importante aumento do efeito de suavização na imagem resultante (Figura 5.7).

# Figura 5.7 – Filtro Map gama

Tapajós, Brasil

20 de maio de 1996    Modo F2

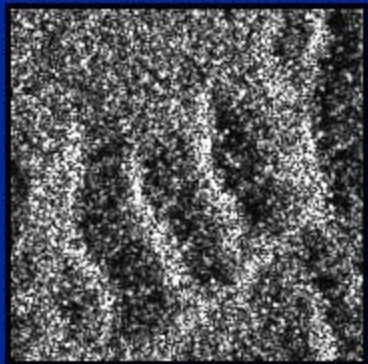
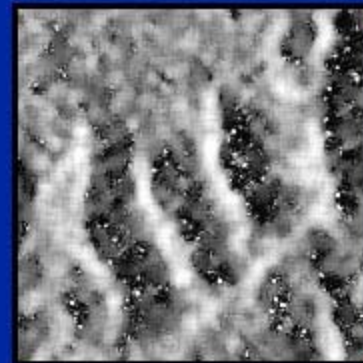
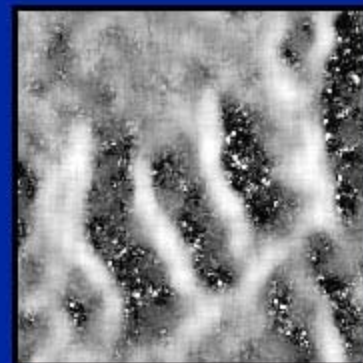


Imagem original



Map gama  
7x7



Map gama  
11x11

# Vantagens dos Filtros Adaptativos

- ❖ A maioria dos filtros adaptativos tradicionais requerem o cálculo de médias locais e seus respectivos desvios-padrões (coeficiente de variação).
- ❖ Os filtros adaptativos produzem uma estimativa precisa do coeficiente de retroespalhamento em áreas homogêneas (estacionárias), além de preservar as bordas e as estruturas texturais em cenas não-estacionárias.

# Os Filtros Mais Conhecidos:

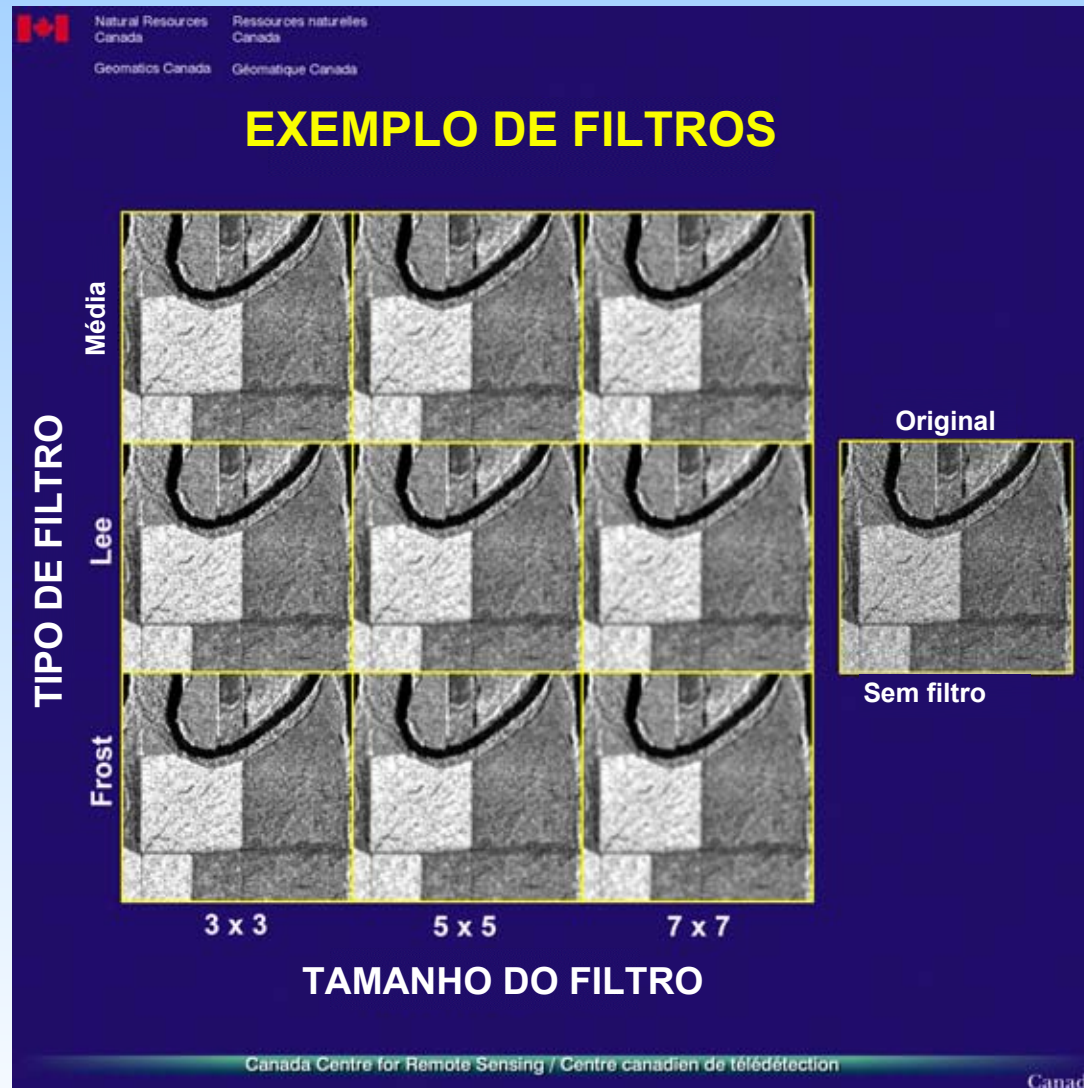
## O Filtro de Frost

### ❖ Princípio

- ◆ O valor de um pixel sem “speckle” é estimado utilizando uma subjanela da janela de processamento.
- ◆ O tamanho da subjanela varia em função da heterogeneidade local do alvo, medida através do coeficiente de variação:
  - quanto maior for o coeficiente de variação, menor será a subjanela de processamento.
- ❖ O Filtro Realçado de Frost (Lopes, Touzi e Nezri, IEEE, 1990) minimiza a perda de informações radiométricas e texturais (Figura 5.8).



# Figura 5.8 - Exemplos de Filtros



# Os Filtros Mais Conhecidos:

## O Filtro de Lee

### ❖ Princípio

- ◆ O valor de um pixel sem “speckle”, é a soma ponderada do valor do pixel observado (central) e do valor da média.
  - ◆ O coeficiente de ponderação é uma função da heterogeneidade local do alvo, medido através do coeficiente de variação.
- ❖ O Filtro Realçado de Lee (Lopes, Touzi e Nezri, IEEE, 1990) minimiza a perda de informações radiométricas e texturais (Figura 5.8).
- ❖ Os filtros realçados de Lee e Frost funcionam de forma semelhante.

# Os Filtros Mais Conhecidos: O Filtro de Map Gama

## ❖ História

- ◆ Os filtros de Frost e Lee são baseados em modelos que não se utilizam de propriedades estatísticas da cena subjacente.
- ◆ Num estudo conjunto com CESR (Toulouse, França), CCRS participou no desenvolvimento do filtro Map gama (Lopes, Touzi, Nezri e Low, JRS, 1993).

# Os Filtros Mais Conhecidos:

## O Filtro de Map Gama (cont.)

### ❖ Princípio

- ❖ O filtro se baseia na premissa de que a intensidade (sem “speckle”) da cena subjacente obedece à distribuição Gama.
- ❖ O filtro minimiza a perda de informação textural melhor que os filtros de Frost e de Lee, dentro de cenas com distribuição Gama.
- ❖ É apropriado para uma grande variedade de cenas com distribuição Gama, tais como áreas florestadas, agrícolas e oceanos.
- ❖ O filtro preserva o valor do pixel observado em cenas sem distribuição Gama.
- ❖ Para um exemplo deste filtro, veja Figura 5.9.

# Figura 5.9 - O Filtro Map Gama

Tapajós, Brasil

20 de maio de 1996    Feixe F2

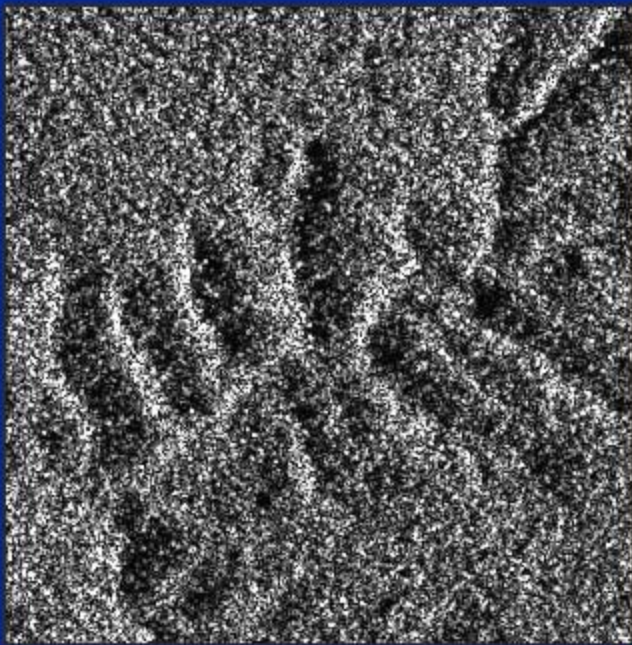
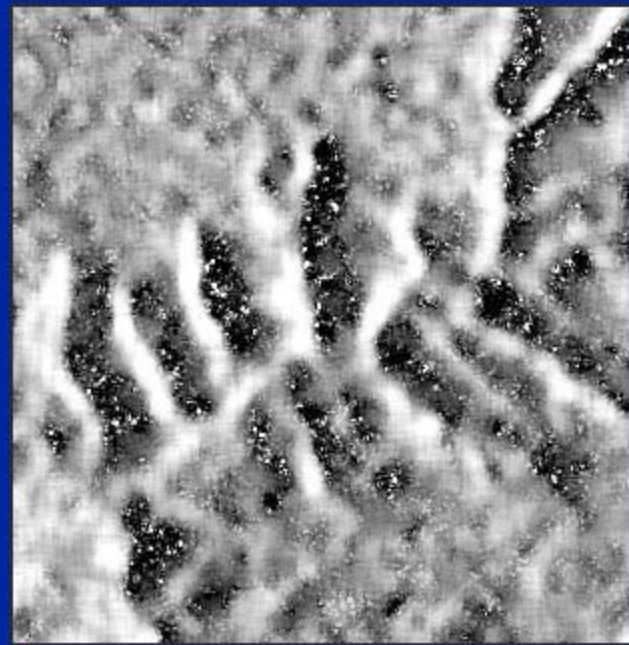


Imagem original



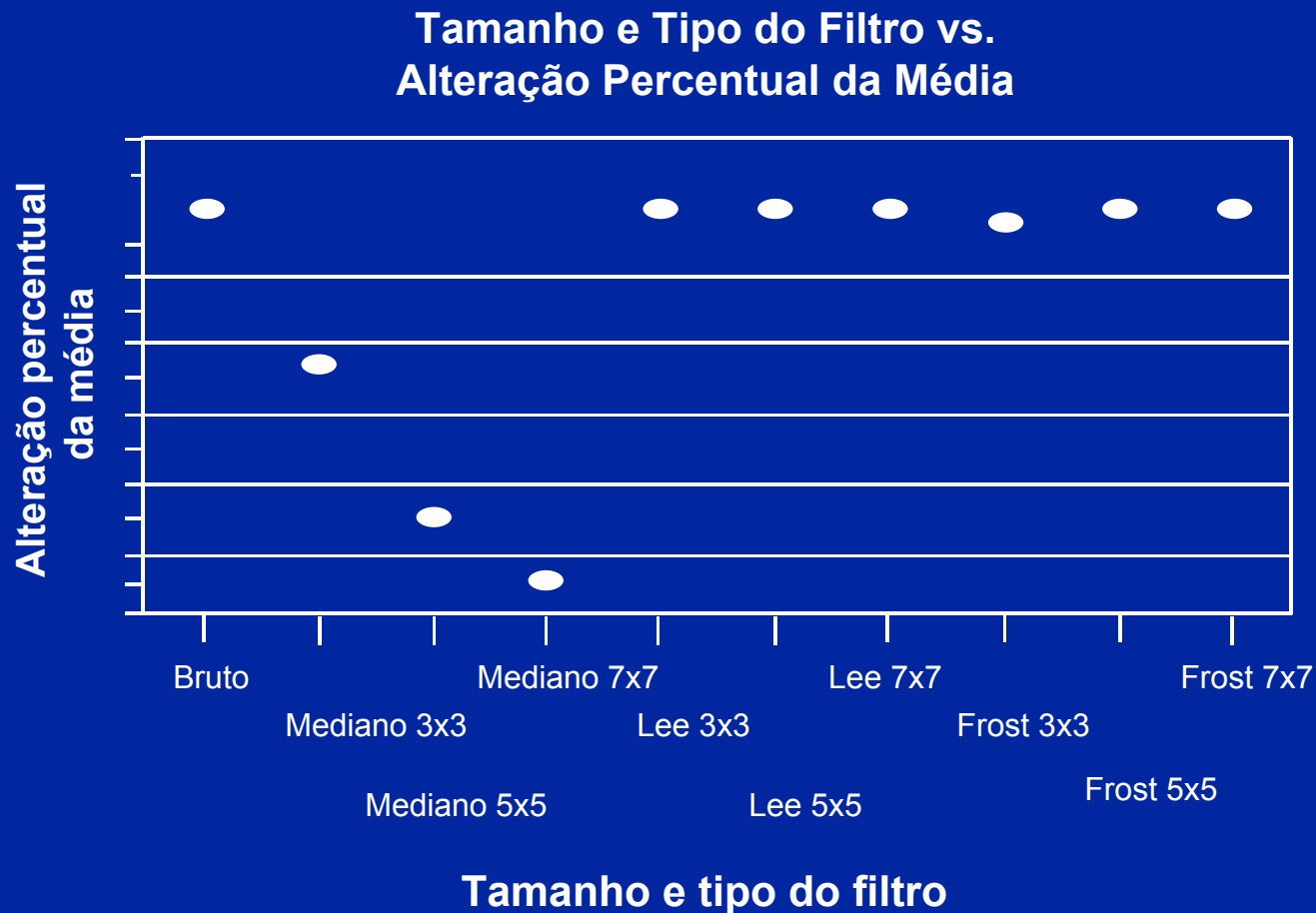
Map Gama  
11x11



# Efeitos da Filtragem

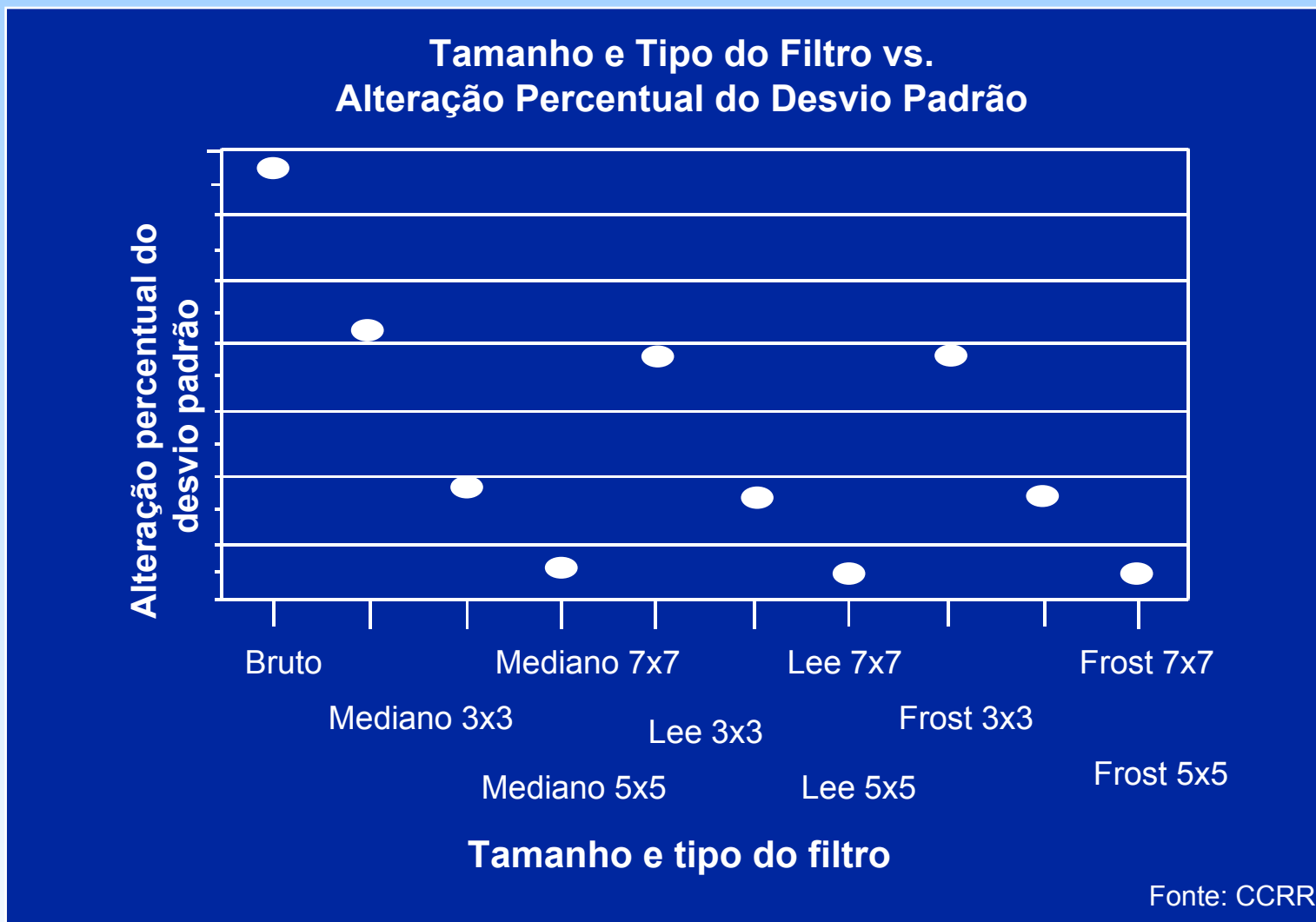
- ❖ Os filtros adaptativos (Lee, Frost e Gama) preservam o valor médio e, conseqüentemente, são preferíveis para imagens de SAR.
- ❖ A Figura 5.11 mostra que, quando o tamanho da janela do filtro aumenta, a porcentagem de mudança no desvio padrão também aumenta.
- ❖ A Figura 5.12 mostra um exemplo quantitativo destes efeitos em dados reais.

# Figura 5.10 - Efeitos da Filtragem



Fonte: CCRR

# Figura 5.11 - Efeitos da Filtragem



# Figura 5.12 - Efeitos da Filtragem

## Efeitos da Filtragem nas Estatísticas de uma Área Amostrada de Trigo, ERS-1 SAR

	Média	Desvio padrão (ou SD)	% de Alteração da Média	% de Alteração do SD	-- Média / SD
Bruto	41.7	18	0	0	2.31
Mediana 3x3	40.8	13.2	-2.26	-26.85	3.09
Mediana 5x5	39.9	8.8	-4.41	-51.08	4.52
Mediana 7x7	39.4	6.4	-5.45	-64.27	6.12
Lee 3x3	41.7	12.5	0	-30.88	3.35
Lee 5x5	41.7	8.5	-0.01	-53.03	4.92
Lee 7x7	41.7	6.2	-0.03	-65.75	6.75
Frost 3x3	41.7	12.4	-0.14	-31.23	3.36
Frost 5x5	41.7	8.5	-0.16	-52.87	4.9
Frost 7x7	41.7	6.3	-0.1	-64.86	6.58

Fonte: Centro Canadense de Sensoriamento Remoto, Brown et al., 1993.

# Detecção de Bordas em Imagens de SAR

- ❖ Aplicação: Segmentação de imagens para separar entidades, classificação
- ❖ Tipos de filtros de detecção de bordas:
  - ◆ Direcional, Gradiente, Laplaciano, Sobel, Prewitt e detector de razão de bordas.
- ❖ Advertências
  - ◆ Os detectores de bordas clássicos (ex: Gradiente e Sobel), desenvolvidos para imagens de sensores óticos, não são apropriados para imagens de SAR.
  - ◆ Antes de utilizar os detectores de bordas clássicos, devem-se filtrar as imagens (Gama).
  - ◆ Dada a natureza multiplicativa do “speckle”, estes filtros detectam um maior número de bordas falsas em áreas de maior brilho.

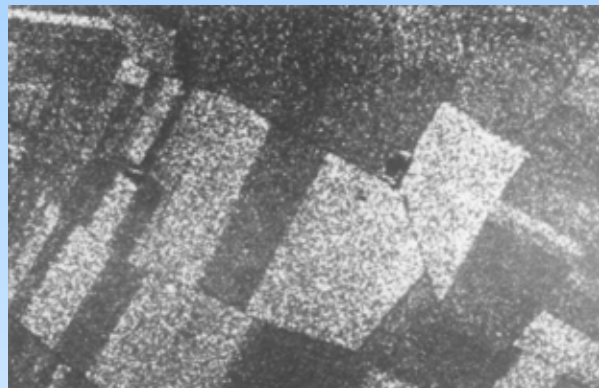
# Detecção de Bordas em Imagens de SAR (cont.)

## ❖ Alternativas potenciais

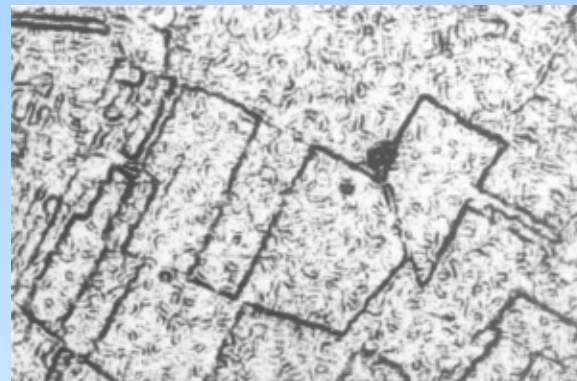
- ◆ O detector de razão de bordas (R. Touzi et al., 1988) é apropriado para imagens de SAR e não exige pré-filtragem.
- ◆ O desempenho do detector de razão de bordas é melhor em relação aos detectores de bordas clássicos, pois, nestes últimos, as informações são perdidas durante a pré-filtragem..



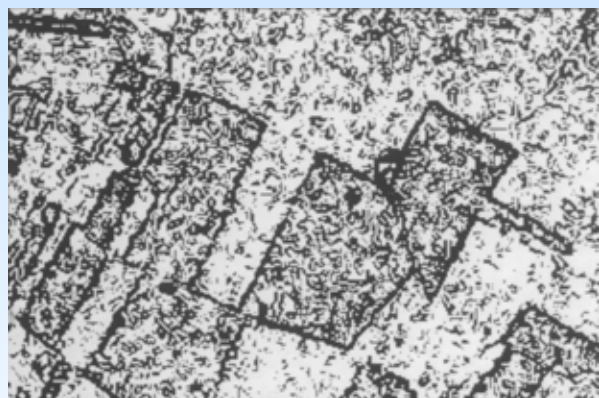
# Filtros de Detector de Razão de Bordas



**Imagem de SAR Original**



**Detector de Razão de Bordas  
(5x5)**



**Imagem Gradiente (5x5)**

- Para o detector de gradiente, a probabilidade de um pixel de uma área homogênea ser atribuído a bordas ( $P_{fa}$ ), depende da potência média, devido à natureza multiplicativa do ruído.
- O operador detecta mais bordas falsas em áreas mais brilhantes.
- O detector de razão de bordas é a razão da média dos valores dos pixels de duas vizinhanças não sobrepostas, em lados opostos do ponto.
- O  $P_{fa}$  não depende da potência média.
- O desempenho do detector de razão de bordas é uma função do tamanho das vizinhanças, do número de visadas e da razão das potências médias.

Fonte: Touzi, et. al., 1988.

# Filtragem Espacial de Múltipla Resolução (Filtro Touzi)

- ❖ Todos os filtros adaptativos bem conhecidos foram desenvolvidos sob a premissa de que o sinal é estacionário dentro de uma janela móvel de processamento com tamanho fixo (isto é, a média e a variância não variam com o tempo de observação).
- ❖ Os filtros basicamente não funcionam efetivamente quando aplicados a estruturas finas como as estradas e trilhas, as quais são geralmente suavizadas pelos filtros.
- ❖ Um filtro novo de múltipla resolução (filtro Touzi, Figuras 5.13 e 5.14) foi desenvolvido pelo CCRS (parte do pacote PCI, versão 2002).
  - ◆ O tamanho e a forma da janela de processamento do filtro são adaptados ao sinal não-estacionário.
  - ◆ Uma razão de detecção de bordas do filtro Touzi de múltipla resolução é usada para filtrar melhor os contornos e as bordas (Touzi et al., IEEE TGRS 1988).
  - ↓ Isto permite uma redução mais eficiente do “speckle” e uma melhor preservação das variações espaciais da cena (textura, bordas, alvos pontuais).

Fonte: R. Touzi, CEOS Workshop, 1999.

# Figura 5.13 - Filtro Touzi

Tapajós, Brasil

20 de maio de 1996    Feixe F2

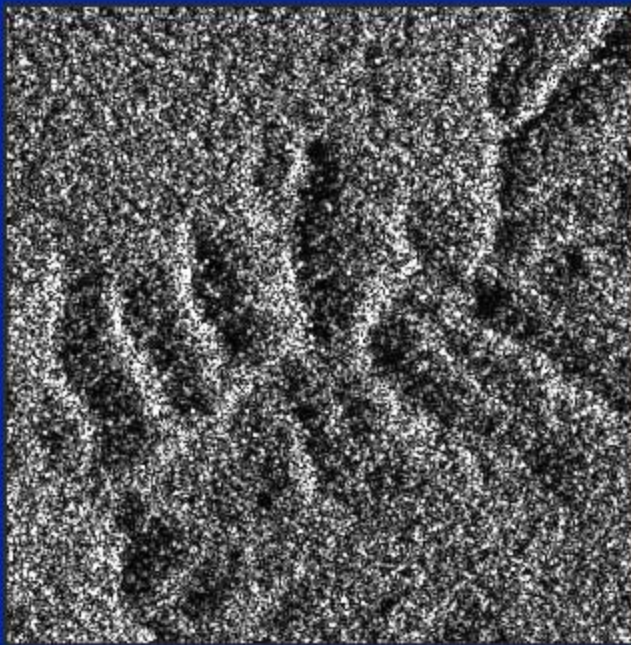
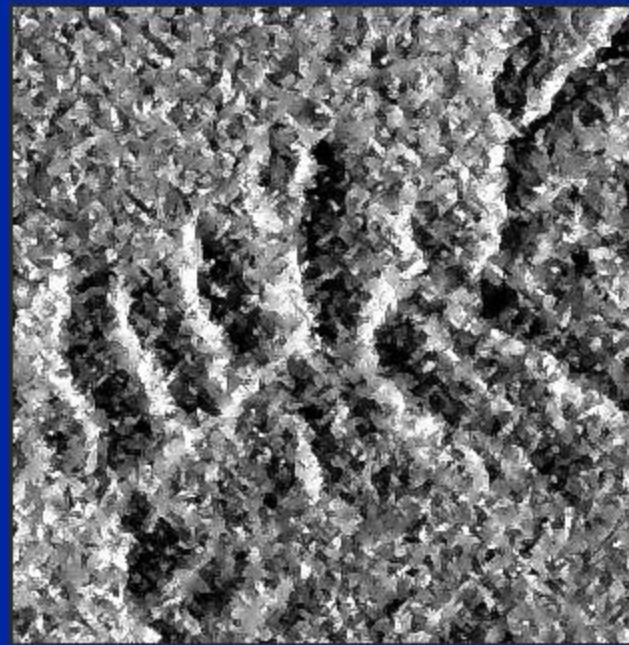


Imagem original



Filtro Touzi



# Figura 5.14 - Filtro Touzi

**Imagem do RADARSAT-1  
Modo Fino**

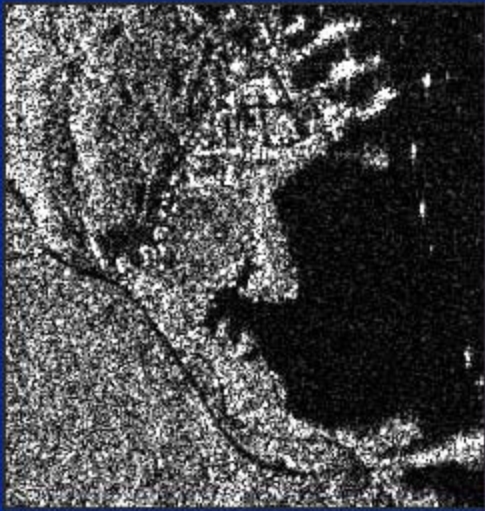
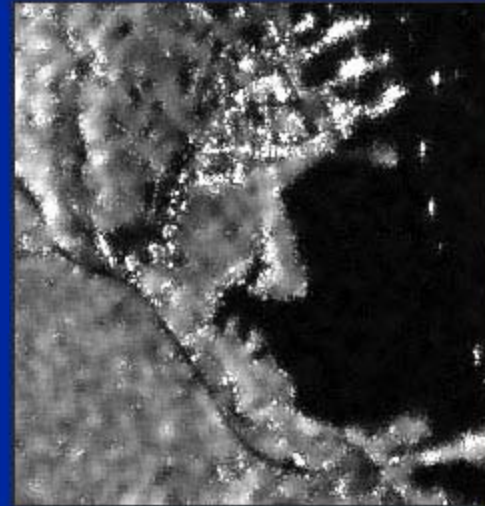
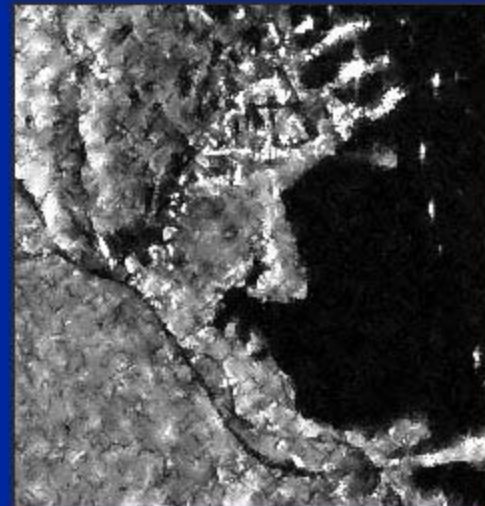


Imagem original

Filtro Lee  
7X7



Filtro Touzi  
15X15



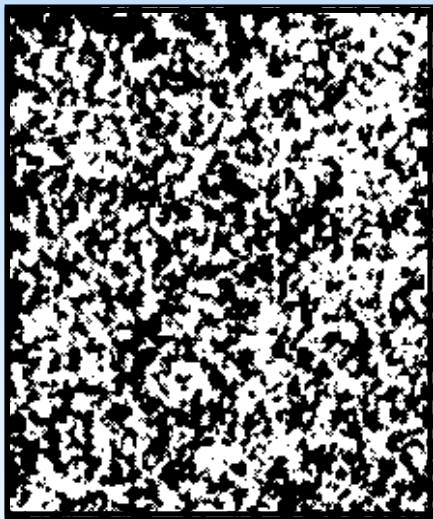
# Introdução à Textura

- ❖ Textura é a variação espacial da tonalidade em uma imagem.
- ❖ A textura de uma imagem pode ser descrita qualitativamente através de propriedades como a: finura, rugosidade, suavidade, granulação, aleatoriedade, lineação, variegado, irregular, ondulado (Figura 5.15)
- ❖ Em uma imagem de SAR, a textura possui duas componentes: (1) variabilidade espacial das propriedades de espalhamento da cena; e (2) “speckle”.

# Figura 5.15 – Textura da Imagem

## Plantação de milho

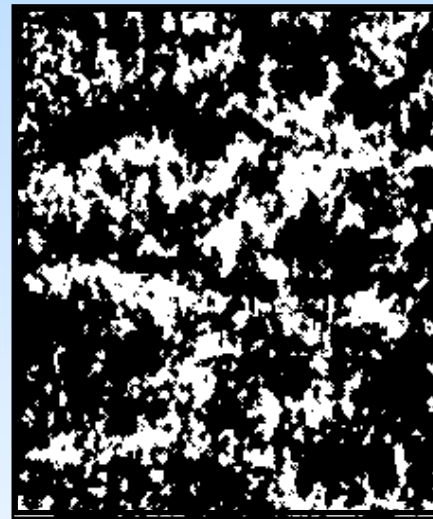
Alvo Espacialmente Homogênea  
Textura Fina



300 m

## Floresta

Alvo Espacialmente Heterogênea  
Textura Rugosa



300 m



# Análise da Textura

## Textura

- ❖ As feições texturais contêm informações sobre a distribuição espacial ou variações tonais.
- ❖ Métodos disponíveis:
  - ◆ Matriz de co-ocorrência (GLCM)
  - ◆ Vetor diferença dos níveis de cinza (GLVD)
  - ◆ Lacunaridade (análise de lacuna)
  - ◆ Matriz de dependência dos níveis de cinza vizinhos (NGLDM)
  - ◆ Função de correlação espacial
  - ◆ Abordagens baseados em modelos

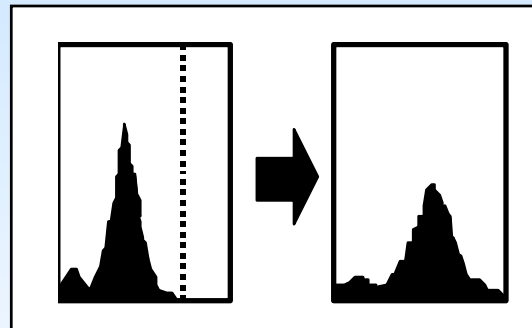
# Análise da Textura (cont.)

## Textura

- ❖ Estatísticas das feições texturais podem ser extraídas utilizando-se a Matriz de Co-ocorrência de Níveis de Cinza (GLCM).
- ❖ Parâmetros de vizinhança especificados pelo usuário.
- ❖ Exemplos de feições relacionadas com GLCM:
  - Homogeneidade
  - Contraste
  - Dessemelhança
  - Segundo momento angular
  - Média
  - Desvio padrão
  - Entropia
  - Correlação
- ❖ Muitas vezes, as técnicas de supressão do “speckle” não preservam todos os detalhes de textura da cena.

# Ampliação de Contraste

- ❖ A ampliação de contraste realça a interpretação visual (Figura 5.16).
- ❖ Iguala o intervalo dinâmico dos dados com o intervalo dinâmico do monitor.
- ❖ Envolve a construção de um look-up table (LUT).
- ❖ LUT corresponde a um modelo gráfico da função matemática selecionada.



# Figura 5.16 - Ampliação de Contraste

Rosário, Argentina

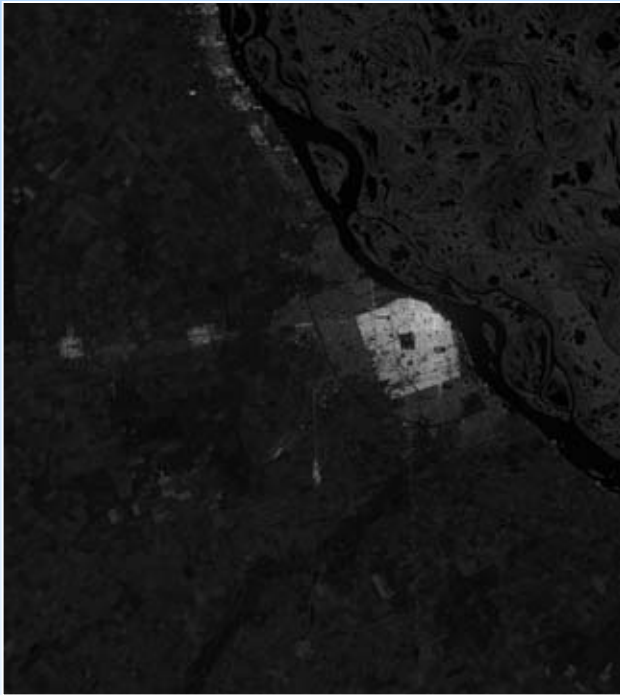
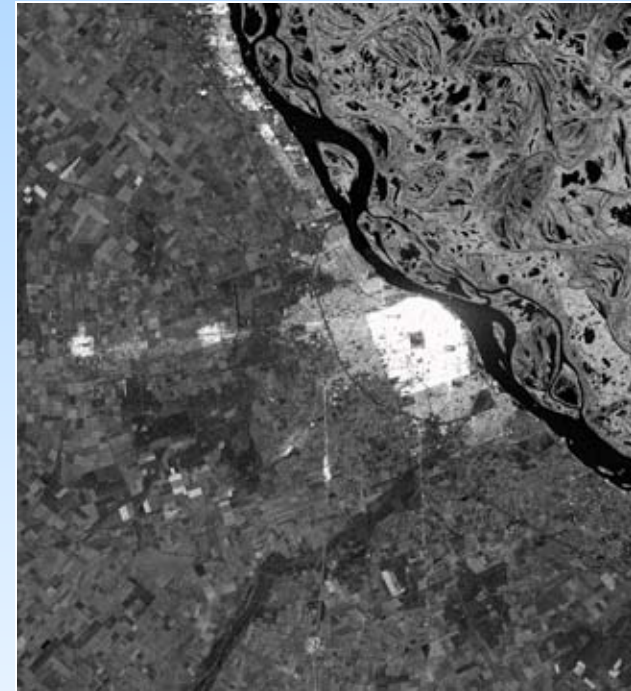


Imagem original

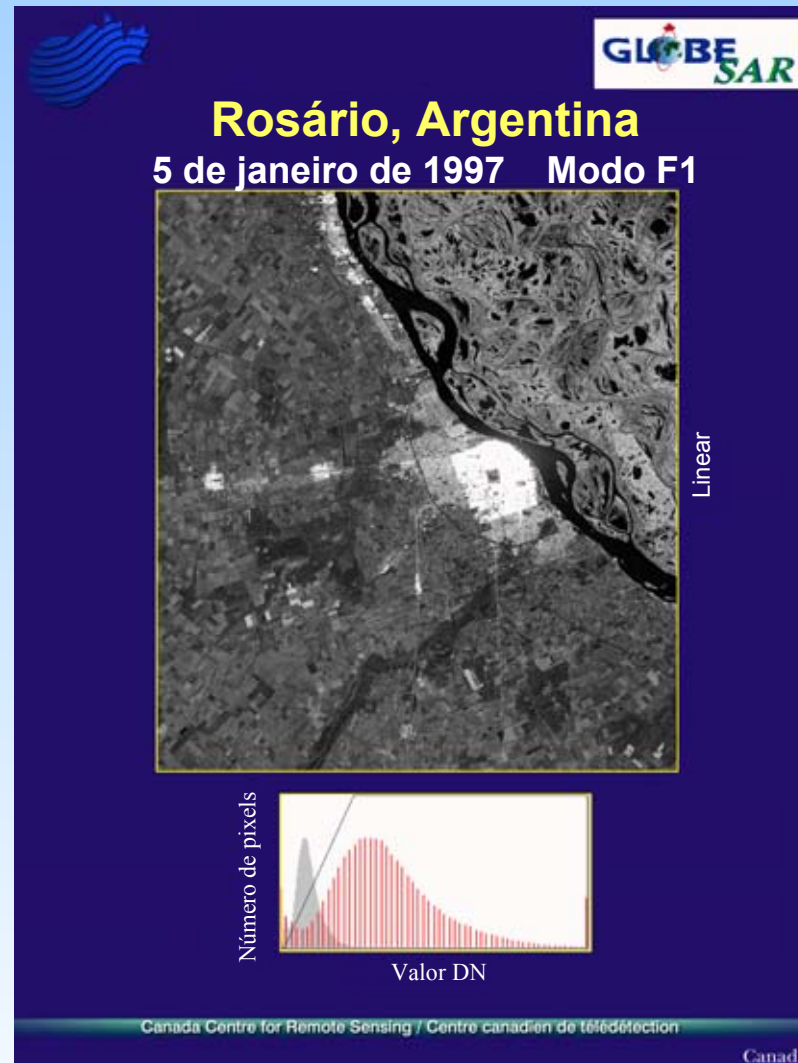


Ampliação linear

# Ampliação Linear

- ❖ São estabelecidos valores de “corte” superior e inferior.
- ❖ Os valores superior e inferior do histograma são definidos para limites máximo e mínimo, respectivamente.
- ❖ Pode-se usar ampliação total ou parcial.
- ❖ Os dados são reescalados linearmente de modo a preencher todo o intervalo de visualização.
- ❖ Ver Figura 5.17.

# Figura 5.17 – Ampliação Linear





# Realces Não-lineares

- ❖ Distorcem a radiometria da imagem.
- ❖ Úteis somente para a interpretação visual.
  - ◆ Pode-se perder informação radiométrica quantitativa.
  - ◆ A informação espacial é preservada.
  - ◆ Resultados podem não ser reproduzíveis de uma cena para outra

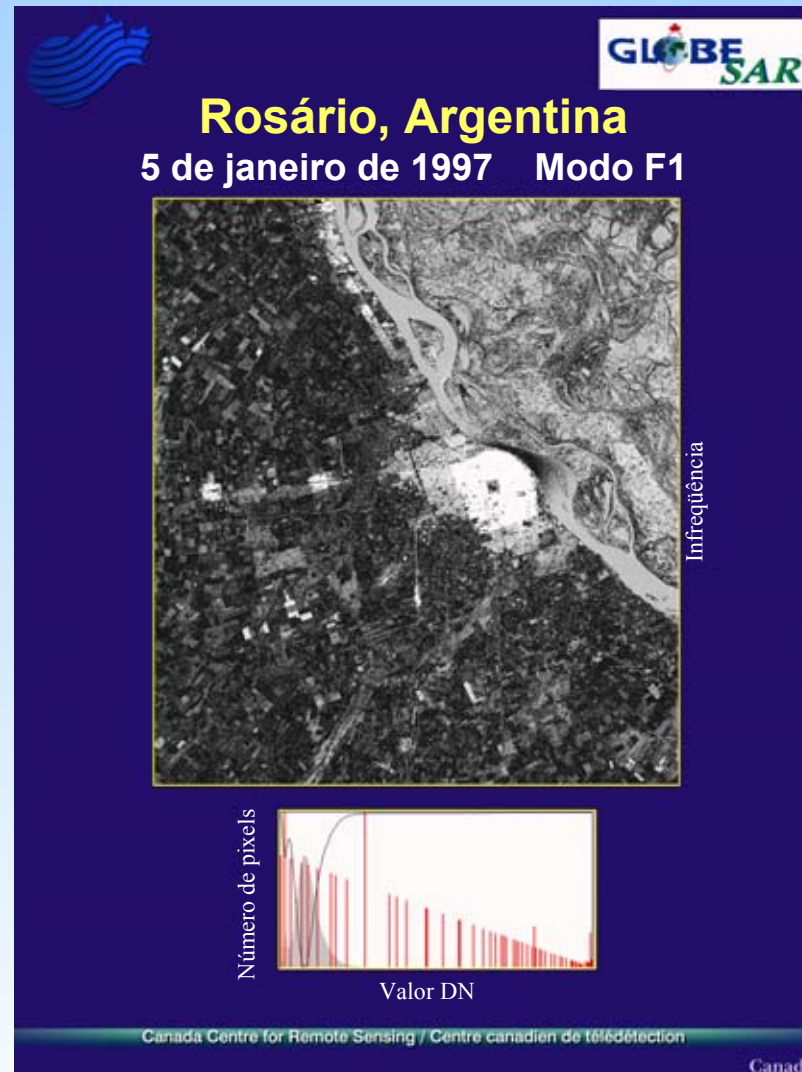
# Ampliação do Histograma

- ❖ O intervalo de visualização de entrada pode não ser totalmente utilizada.
- ❖ O intervalo de visualização de saída faz uso total do intervalo dinâmico.
- ❖ Realça o contraste onde a frequência de ocorrência é maior.
- ❖ As opções incluem:
  - frequência inversa;
  - equalização de frequência ;
  - normalização Gaussiana;
  - casamento de histogramas.

# Frequência Inversa (ou Infrequência)

- ❖ Produz uma imagem em que os pixels de maior brilho representam os níveis cinza que eram infreqüentes na imagem original.
- ❖ A LUT é derivada de um histograma invertido (de cabeça para baixo) dos valores originais da imagem.
- ❖ Útil para realçar feições pequenas ou raras em uma imagem (lineamentos ou bordas).
- ❖ A Figura 5.18 mostra um exemplo de realce de infrequência.

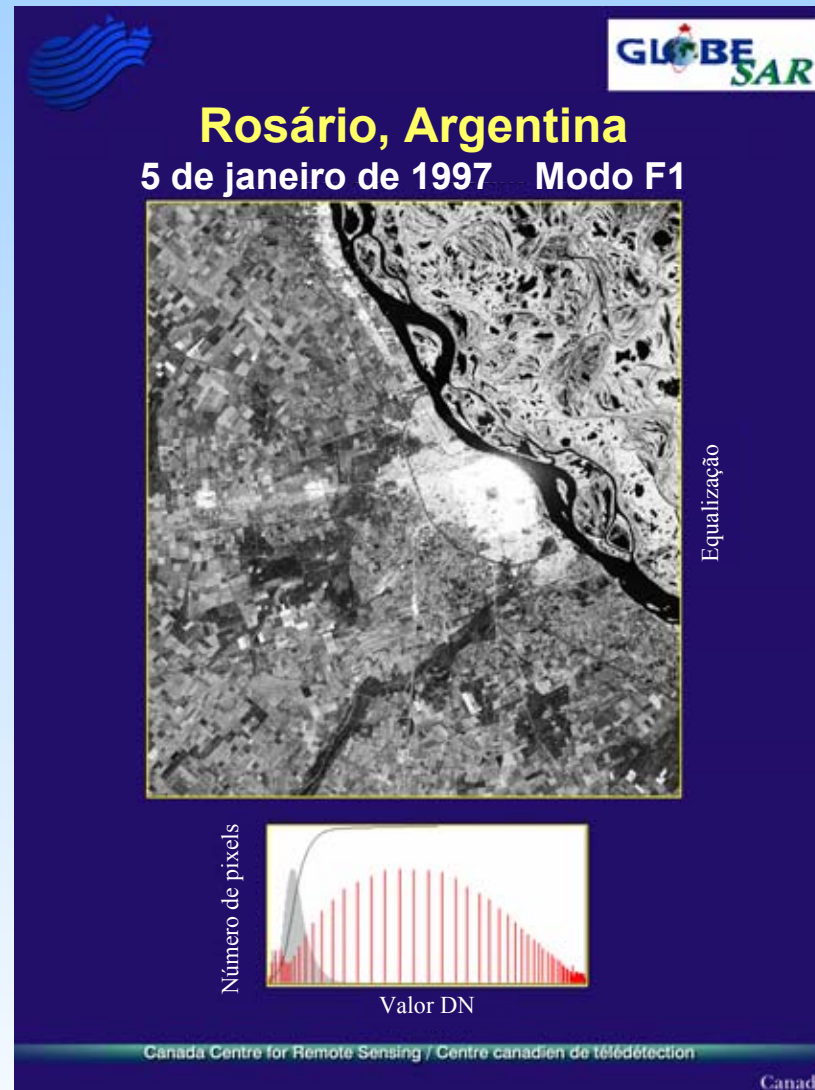
# Figura 5.18 – Realce de Infrequência



# Equalização da Frequência

- ❖ Redistribui os valores dos pixels para que haja aproximadamente o mesmo número de pixels para cada dado disponível.
- ❖ Serve mais para apresentação visual do que para análise de imagens.
- ❖ A Figura 5.19 mostra um exemplo de equalização de frequência.

# Figura 5.19 – Equalização de Frequência





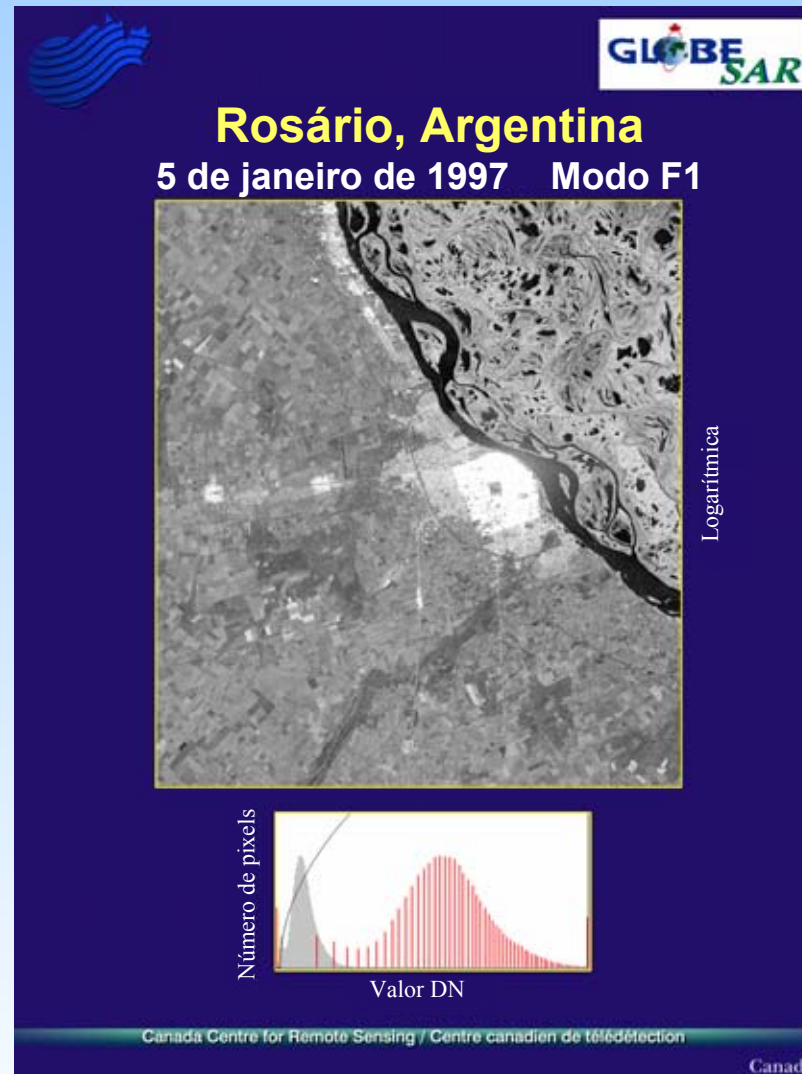
# Ampliação Exponencial

- ❖ O brilho da parte mais alta do intervalo dinâmico é realçado e pode-se corrigir a forte assimetria do histograma.
- ❖ Os detalhes da parte mais alta do intervalo dinâmico são revelados.
- ❖ Um exemplo de um algoritmo para esta ampliação é  $e^x$ .

# Ampliação Logarítmica

- ❖ Realça-se o brilho da parte mais baixa do intervalo dinâmico e pode-se corrigir a assimetria do histograma.
- ❖ A assimetria é comum e pode invalidar alguns algoritmos de análise de imagens que assumem uma distribuição normal de dados.
- ❖ Conhecido também como Realce de Raiz.
- ❖ Raiz ( $\log N$ )  $\rightarrow$  (Root ( $\log N$ ))
- ❖ Tende a produzir uma imagem brilhante (ver Figura 5.20).

# Figura 5.20 – Ampliação Logarítmica



# Ampliação da Lei da Potência

- ❖ Modifica o brilho das imagens,  $S$ , conforme a lei de potência:

$$S_{new} = S^n$$

- ◆  $n > 1$  realça retornos fortes às custas de retornos fracos.
  - ◆  $n < 1$  (n) realça retornos fracos às custas de retornos fortes.
  - ◆ O caso especial  $n = 2$  converte uma imagem de magnitude numa imagem de potência.
- ❖ Altera a distribuição de probabilidade (histograma) de uma imagem e pode invalidar os processos baseados em suposições Gaussianas.

## METODOLOGIA “TÍPICA” DE PROCESAMENTO DE IMAGENS DE SAR

## QUALITATIVA

*QUANTITATIVA*

