

# IMPLEMENTAÇÃO DE UM FILTRO DE ORDEM E SUAS APLICAÇÕES EM IMAGENS DE RADAR (SAR) \*

Sueli Pissarra Castellari  
Luciano Vieira Dutra

Ministério da Ciência e Tecnologia  
Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE  
Departamento de Processamento de Imagens - DPI  
Caixa Postal 515 - 12201 - São José dos Campos - SP

## RESUMO

O trabalho descreve o desenvolvimento de um filtro de ordem, em suas versões recursiva e não-recursiva, onde é selecionado o k-ésimo elemento, ordenado por valor de nível de cinza, em uma vizinhança especificada pelo usuário. Pode-se combinar o resultado da aplicação do filtro de duas maneiras: média ponderada simples com pesos estabelecidos pelo usuário ou média ponderada do logaritmo dos resultados do filtro seguido de exponenciação (combinação homomórfica).

O filtro de ordem tem aplicação em problemas de extração de atributos, tais como bordas e formas, e aplicação geral em redução de ruídos de imagens de sensoriamento remoto. Em particular, para imagens de radar, a combinação homomórfica tem aplicação devido à característica, que se supõe multiplicativa, do ruído dessas imagens.

Apresentamos neste trabalho uma avaliação desse filtro e suas combinações para redução de ruído "speckle" em imagens de radar (SAR) e detecção de bordas nestas imagens.

## ABSTRACT

This paper describes the development of an order statistics filter, which selects the kth element in a sorted list of pixels derived from a pixel neighbourhood. It is possible to combine this filter in two ways: by a weighted mean of pixels values or by a weighted mean of log pixels values followed by a exponentiation operation (homomorphic combination).

The order filter has application in feature extraction, mathematical morphology and noise reduction. In particular, for radar images, the homomorphic combination has a suitable application due to the multiplicative nature of the "speckle" noise of these images.

In this work the results of "speckle" noise reduction are presented with recursive and non-recursive median filtering (a particular case of order filter), using a SAR580 image.

Also, we present a method for border detection in radar images using recursive filtering followed by a linear combination of filter outputs.

\* Suporte financeiro : FAPESP e SID Informática

## 1 - INTRODUÇÃO

Alguns problemas ocorridos em imagens de sensoriamento remoto, como o ruído, prejudicam a interpretação visual da imagem. A eliminação do ruído assume maior importância quando se utiliza imagens de radar, que tem um aspecto granulado, devido a presença de um ruído de natureza complexa chamado "speckle". A presença desse tipo de ruído prejudica também a detecção automática de fronteiras entre regiões da imagem de radar.

A literatura apresenta a formulação de diversos filtros que se propõe a diminuir o efeito do ruído, entre os quais o chamado filtro da mediana (Mac Farlane et al, 1984).

Neste trabalho apresenta-se a utilização dos filtros de ordem em uma imagem de radar da missão SAR580, em especial a aplicação do filtro da mediana. São apresentadas também as combinações lineares e homomórficas desses filtros, nas implementações recursivas e não-recursivas, para atenuar o ruído "speckle" das imagens de radar e para detecção de fronteiras entre regiões.

## 2 - FILTRO DE ORDEM

Filtragem de ordem é uma técnica não linear de processamento de sinais, onde os pontos da vizinhança  $v(x)$  são ordenados e obtido como novo valor para  $x$  o valor do  $k$ -ésimo elemento desta ordenação (Bovik et al, 1983).

O  $k$ -ésimo elemento ordenado na vizinhança pode ser o valor de mínima ordem (operação denominada erosão), o valor de máxima ordem (denominada dilatação), ou outro valor qualquer. Quando o número  $N$  de pontos na vizinhança é ímpar o elemento central ( $(N+1)/2$ ) da ordenação dos valores dos pontos é denominado de valor mediano.

Utilizou-se no trabalho a filtragem bi-dimensional, onde o elemento de imagem ("pixel") na posição  $(x,y)$  é substituído pelo  $k$ -ésimo elemento de uma vizinhança (região de suporte) de tamanho  $N \times M$ , ordenada.

Ex: Suponha uma região  $3 \times 3$ , cujos elementos são :

44	43	52
56	55	57
57	72	72

Teríamos a seguinte ordenação:

43 44 52 55 56 57 57 72 72

Para uma erosão substituiríamos o valor central por 43, 72 para uma dilatação e 56 para uma mediana.

Erosão	Dilatação	Mediana
44 43 52	44 43 52	44 43 52
56 43 57	56 72 57	56 56 57
57 72 72	57 72 72	57 72 72

Utilizou-se uma máscara  $N \times M$ , que desliza sequencialmente sobre a imagem, e substitui o valor central da região de suporte  $N \times M$  pelo  $k$ -ésimo elemento ordenado na região.

A máscara que define a vizinhança é binária (0's e 1's) e só é considerado o elemento da imagem cujo correspondente na máscara for 1. A dimensão da máscara é variável, os valores para  $N$  e  $M$  podem ser 3 ou 5 ou 7.

Ex.: Aplicação de uma máscara  $3 \times 3$  sobre uma dada região da imagem :

máscara $3 \times 3$	região da imagem
0 1 0	44 43 52
1 1 1	56 55 57
0 1 0	57 72 72

Para obtenção do elemento central nesta região da imagem, somente serão considerados os elementos 43, 56, 55, 57 e 72, cujos valores correspondentes na máscara são iguais a 1.

Mais formalmente, seja :

$[a_{ij}]$  - imagem de entrada

$[f_{xy}]$  - imagem de saída

$V(x,y) = \{ a_{ij} \mid a_{ij} \text{ é vizinho de } a_{xy} \}$

- vizinhança de  $a_{xy}$

$n$  - número de pontos em  $V(x,y)$

$O(x,y) = \{ a_t \mid 1 \leq t \leq N \}$

$a_t = \text{algum } a_{ij} \in V(x,y) \text{ e}$

$a_t \geq a_p \quad p = 1 \dots t-1$

$a_t \leq a_q \quad q = t+1 \dots N$

- vizinhança ordenada

Então, por definição, filtro de ordem  $k$  é:

$f_{xy} = F_{O_{xy}}(K) = a_k ; a_k \in O(x,y)$

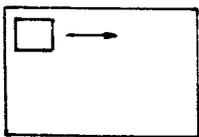
## 2.1 - FILTRAGEM RECURSIVA

Filtragem recursiva significa não apenas substituir o elemento (x,y) pelo k-ésimo elemento ordenado em uma janela, mas utilizá-lo na obtenção dos próximos elementos da imagem.

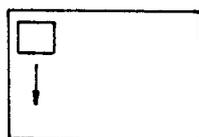
A grande vantagem é que com esse processo a imagem se reduz a uma raiz em um só passo, ou seja, não muda mais por subseqüentes operações de mesmo tipo (Arce et al, 1986).

O processamento da filtragem recursiva pode ser realizado deslizando-se a máscara na imagem, na direção horizontal (por linha) ou vertical (por coluna).

horizontal

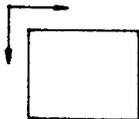


vertical

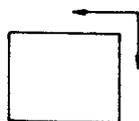


No trabalho implementou-se somente o deslizamento na direção horizontal em quatro sentidos distintos :

1 - de cima pra baixo e da esquerda pra direita



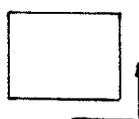
2 - de cima pra baixo e da direita pra esquerda



3 - de baixo pra cima e da esquerda pra direita



4 - de baixo pra cima e da direita pra esquerda



## 3 - OPERAÇÕES MORFOLÓGICAS

Duas operações básicas podem ser definidas utilizando-se dos filtros de ordem, tal como conhecidos em morfologia matemática (Maragos et al, 1985).

1 - Erosão : No filtro de valor mínimo o elemento central (x,y) é substituído pelo valor mínimo da vizinhança NxM.

$$f_{xy} = FO_{xy}(1) = \min V(x,y)$$

2 - Dilatação : No filtro de valor máximo o elemento central (x,y) é substituído pelo valor máximo da vizinhança NxM

$$f_{xy} = FO_{xy}(N) = \max V(x,y)$$

Dessas duas operações definem-se também as seguintes operações derivadas :

Fechamento : - que corresponde a uma dilatação seguida de erosão - tem o efeito de fechar regiões escuras na imagem de tamanho da ordem da região de suporte.

Abertura : - que corresponde à uma erosão seguida de dilatação - tem o efeito de eliminar pequenas regiões claras na imagem.

Deteção de bordas : Na deteção de bordas o elemento central (x,y) é substituído pela diferença entre o valor máximo e o valor mínimo em uma vizinhança NxM, ou seja, corresponde a diferença entre a dilatação e a erosão da imagem.

$$f_{xy} = FO_{xy}(N) - FO_{xy}(1)$$

## 4 - FILTRO DA MEDIANA

No filtro da mediana simples o elemento central (x,y) de uma região de suporte NxM é substituído pelo valor central da lista ordenada, obtida com os pontos da vizinhança. Portanto o valor mediano é aquele cujos (NxM-1)/2 elementos são menores ou iguais em valor e (NxM-1)/2 elementos são maiores ou iguais em valor na lista ordenada.

$$f_{xy} = FO_{xy} \left( \frac{N+1}{2} \right)$$

A filtragem da mediana provoca um amaciamento do sinal, ao descartar pontos muito altos ou muito baixos com relação a média do sinal, sem no entanto borrar as bordas das regiões como no caso do filtro passa-baixa.

## 5 - COMBINAÇÃO DE FILTROS DE ORDEM

### 5.1 - COMBINAÇÃO LINEAR

Na filtragem por combinação linear de filtros de ordem o elemento central (x,y) é substituído pela média ponderada simples das saídas de filtros de ordem.

Para obtenção do novo valor de (x,y) é calculado o somatório da multiplicação dos elementos da vizinhança NxM, ordenados, pelos coeficientes pré estabelecidos. O resultado deste somatório é dividido pelo peso (somatório dos coeficientes).

Assim o valor do filtro combinação é dado por :

$$f_{xy} = CLFO(\underline{\alpha}) = \sum_{i=1}^N \alpha_i FO_{xy}(i)$$

onde:

$$\underline{\alpha} = \{ \alpha_i ; i = 1 \dots N \mid \sum \alpha_i = 1 \}$$

### 5.2 - COMBINAÇÃO HOMOMÓRFICA

Na filtragem por combinação homomórfica o elemento central (x,y) é substituído pela média ponderada do logaritmo seguida de exponenciação.

Para obtenção do novo valor de (x,y) é calculado o somatório do logaritmo dos elementos da vizinhança NxM ordenados multiplicados por coeficientes pré estabelecidos. O resultado deste somatório é dividido pelo peso (somatório dos coeficientes) e feita a exponenciação deste último resultado.

$$f_{xy} = CHFO(\underline{\alpha}) = \text{Exp} \left( \frac{\sum_{i=1}^N \alpha_i \text{Ln}(FO_{xy}(i))}{\sum_{i=1}^N \alpha_i} \right)$$

onde:

$$\underline{\alpha} = \{ \alpha_i ; i = 1 \dots N \mid \sum \alpha_i = 1 \}$$

## 6 - RESULTADOS

O filtro da mediana suaviza imagens ruidosas e em alguns casos elimina completamente o ruído.

Para os testes foi utilizada uma imagem de radar da missão SAR580 de uma região da Alemanha (figura 1). A imagem é bem granulada devido ao efeito ruidoso característico nessas imagens.

Aplicando-se o filtro da mediana não-recursiva com uma máscara 3x3 (figura 2) observou-se uma relativa suavização do ruído. A suavização melhorou quando aplicou-se o filtro da mediana recursiva com a mesma máscara (figura 3). Esta, entretanto continuou com sua aparência ruidosa.

Com a aplicação do filtro da mediana recursiva com uma máscara 5x5 processada no sentido de cima pra baixo e da esquerda pra direita (figura 4), a imagem perdeu totalmente a aparência de granulação.

Para realçar bordas, aplicou-se sobre a região já processada da figura 4 (sem ruído) duas técnicas de detecção de fronteiras. O detetor morfológico de bordas gerou o resultado mostrado na figura 5, realçando as bordas da região. A outra técnica utilizada foi aplicando-se uma combinação linear com coeficientes -2 -1 -1 0 0 0 1 1 2, gerando o resultado da figura 6. Observa-se que esta última técnica ressaltou mais bordas que o método anterior.

## 7 - CONCLUSÕES

Os resultados obtidos com a aplicação do filtro de ordem, em especial o filtro da mediana, na versão recursiva e não-recursiva foram satisfatórios.

A aplicação do filtro da mediana não-recursiva suaviza a imagem diminuindo o aspecto ruidoso enquanto que a aplicação do filtro da mediana recursiva para a mesma máscara apresenta uma redução ainda maior do aspecto de granularidade da imagem. Com a aplicação de máscaras maiores consegue-se o efeito da total eliminação do "speckle".

Com o filtro da mediana recursiva e certa dimensão da máscara, aplicados a imagem, pode-se chegar a eliminação do ruído em apenas um passo. Um resultado excelente, considerando-se que o tempo de processamento desses filtros é grande. Embora a dimensão da máscara tenha grande influência no resultado acima, essa influência é menor em relação ao filtro da mediana não-recursiva.

Os métodos de detecção de bordas, aplicados sobre a imagem amaciada mostraram resultados promissores.

O método de detecção morfológica de bordas realçou as fronteiras entre duas regiões distintas na imagem, no entanto o resultado do método de detecção de bordas utilizando combinação linear foi superior, ressaltando e definindo essas fronteiras.

O trabalho pode continuar no sentido de estabelecer teoricamente um conjunto de pesos para o filtro combinação de maneira a maximizar a detecção de bordas ou a redução de ruído com características definidas. Pode-se comparar também o desempenho do método de detecção de fronteiras com outros definidos na literatura. Pode ser investigada também a utilização das operações de fechamento e abertura como métodos de diminuição de "speckle".

## 8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Mac Farlane, N.; Thomas, M.H.B.; Speckle reduction algorithms and their application. In : Satellite Remote Sensing Review & Preview; Proceedings of a Tenth Anniversary International Conference held at the University of Reading, Sept. 18-21, 1984. Reading, England, Remote Sensing Society, 1984. p.391.
- Bovik, A.C.; Huang T.S.; Munson Jr, D.C.; "A Generalization of Median Filtering Using Linear Combinations of Order Statistics". IEEE Trans on Ac. Speech and Sig. Processing. 31(6):1342-1350 Dec 1983
- Maragos, P.A.; Shafer R.W.; "A unification of linear, median, order statistics and morphological filters under mathematical morphology" Proc of ICASSP'85 March 1985
- Arce, G.R.; Gallager, N.C.; Nades, T.A.; "Median filters: Theory for one and two dimensional filters" In Advances in Computer Vision and Image Processing Huang T.S. (ed.) JAI Press z:89- 166 1986

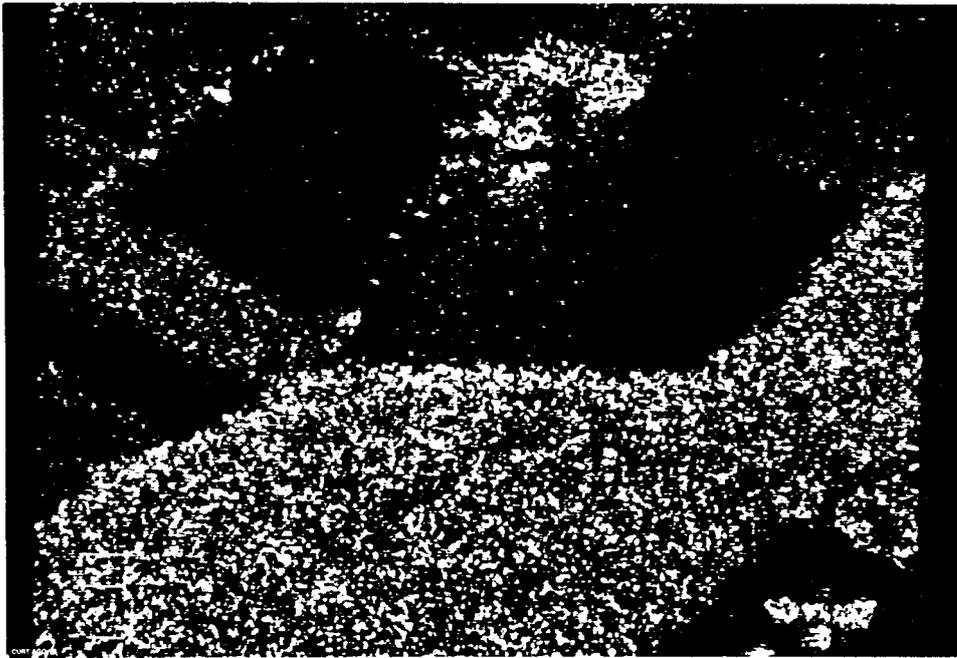


Fig. 1 - Imagem Original



Fig. 2 - Filtragem de ordem mediana, não recursiva, com máscara 3 x 3.

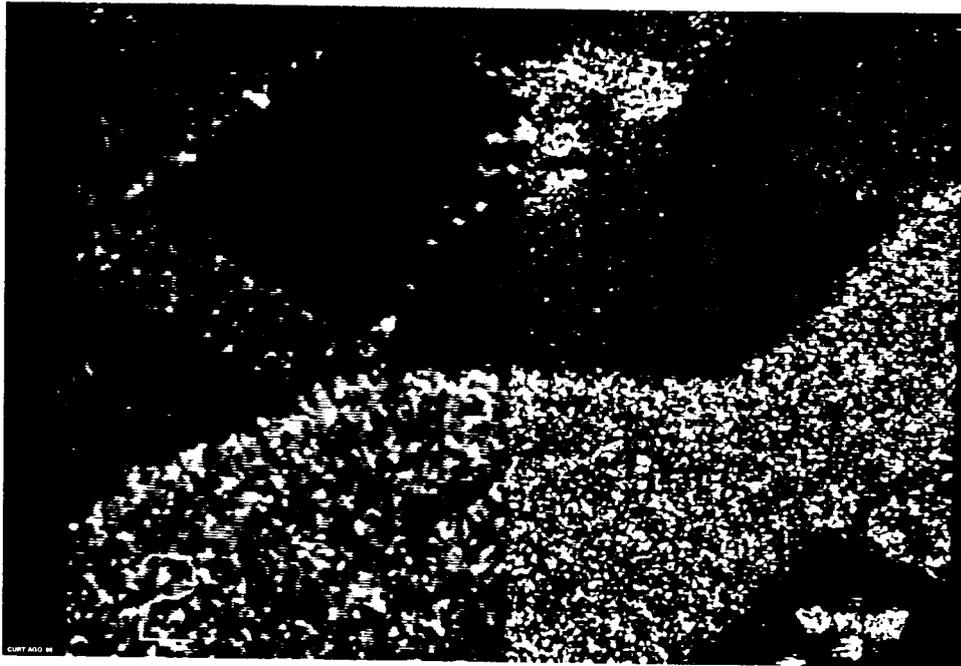


Fig. 3 - Filtragem de ordem mediana, recursiva, processamento de cima pra baixo e da esquerda pra direita, com máscara 3 x 3

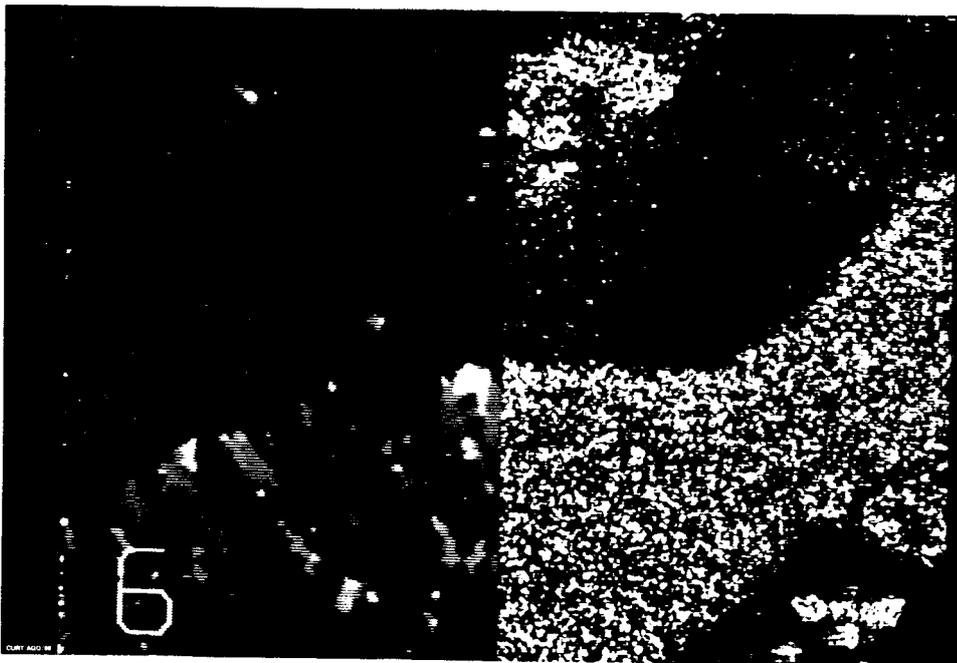


Fig. 4 - Filtragem de ordem mediana, recursiva, processamento de cima pra baixo e da esquerda pra direita, com máscara 5 x 5

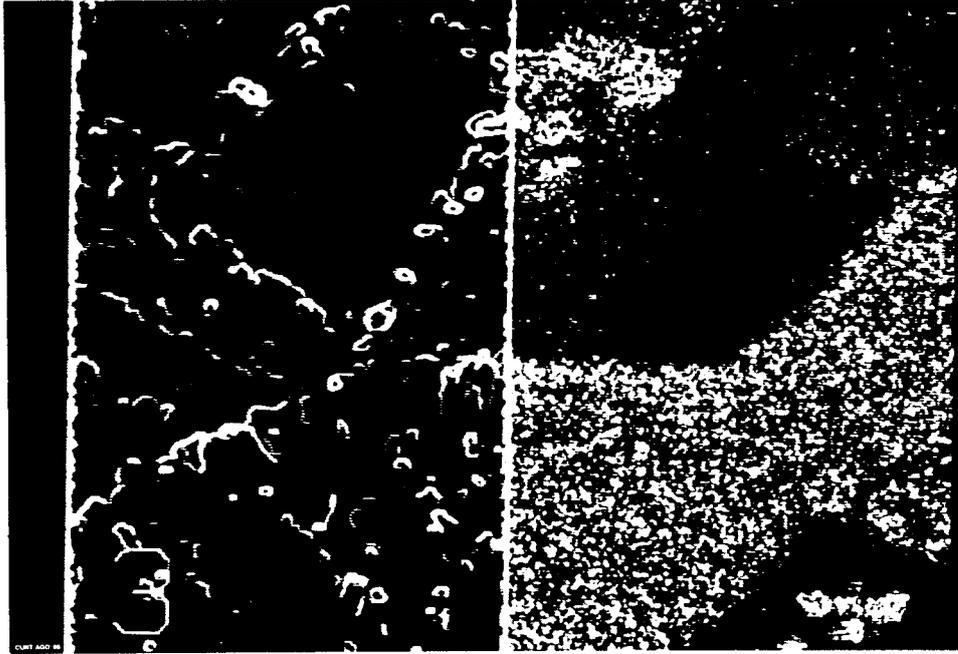


Fig. 5 - Detecção morfológica de bordas, com máscara 3 x 3, sobre a região processada da Fig. 4

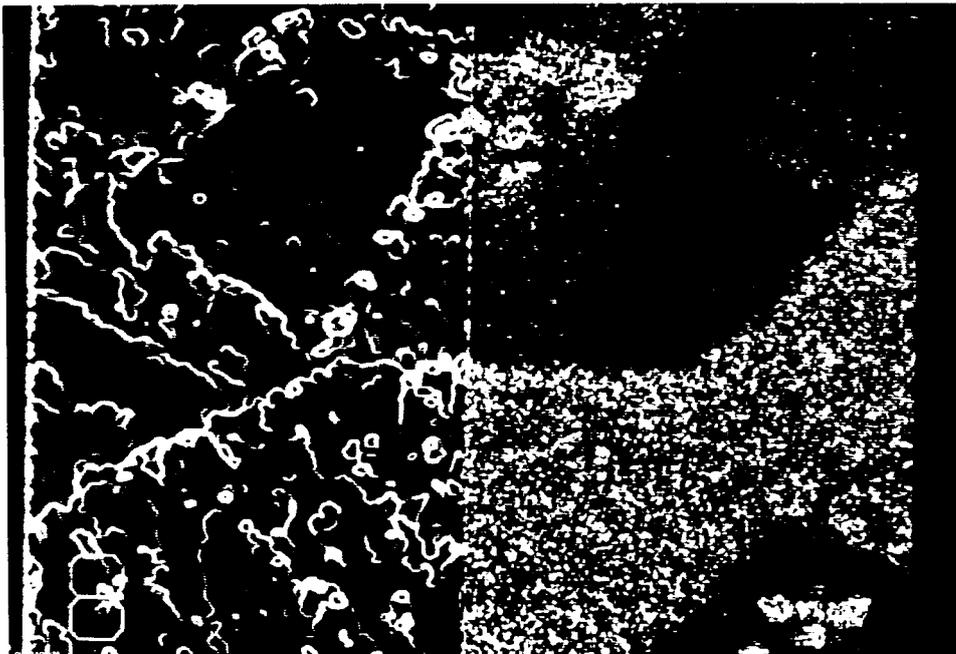


Fig. 6 - Detecção de bordas por combinação linear com coeficientes -2 -1 -1 0 0 0 1 1 2, máscara 3 x 3, sobre a região processada da Fig. 4