



AUTORES AUTHORS	PALAVRAS CHAVES/KEY WORDS		AUTORIZADA POR/AUTHORIZED BY	
	PROCESSAMENTO DE IMAGENS DETEÇÃO DE BORDAS MORFOLOGIA MATEMÁTICA		Dr. Marco Antonio Raupp Diretor Geral	
AUTOR RESPONSÁVEL RESPONSIBLE AUTHOR		DISTRIBUIÇÃO/DISTRIBUTION		REVISADA POR / REVISED BY
Erivaldo Antonio da Silva Erivaldo A. da Silva		☐ INTERNA / INTERNAL ☒ EXTERNA / EXTERNAL ☐ RESTRITA / RESTRICTED		
CDU/UDC			DATA / DATE	
621.376.5			Dezembro 1988	
TÍTULO/TITLE	PUBLICAÇÃO Nº PUBLICATION NO		ORIGEM ORIGIN	
	INPE-4777-PRE/1446		DPI	
O USO DE DETETORES DE BORDA BASEADOS EM MORFOLOGIA MATEMÁTICA EM IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO		PROJETO PROJECT		
		PREPRO		
		Nº DE PAG. NO OF PAGES	ULTIMA PAG. LAST PAGE	
		10	09	
AUTORES/AUTHORSHIP	VERSÃO VERSION		Nº DE MAPAS NO OF MAPS	
RESUMO - NOTAS / ABSTRACT - NOTES				
O problema de detecção de bordas é de grande importância em processamento de imagens. Um grande número de tais detetores têm sido propostos na literatura. Recentemente a teoria de morfologia matemática foi utilizada como base para a proposição de novos detetores de borda. Este trabalho testa o uso de um desses detetores em imagens do sensor Landsat TM e compara seu desempenho com um detetor baseado numa aproximação digital do gradiente.				
OBSERVAÇÕES / REMARKS				
Trabalho apresentado no V Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, realizado de 11 a 15 de outubro de 1988, Natal, RN				

**O USO DE DETETORES DE BORDA BASEADOS EM MORFOLOGIA MATEMÁTICA EM
IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO ***

Erivaldo A. da Silva

Nelson D. A. Mascarenhas

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

RESUMO

O problema de detecção de bordas é de grande importância em processamento de imagens. Um grande número de tais detetores têm sido propostos na literatura. Recentemente a teoria de morfologia matemática foi utilizada como base para a proposição de novos detetores de borda. Este trabalho testa o uso de um desses detetores em imagens do sensor Landsat TM e compara seu desempenho com um detetor baseado numa aproximação digital do gradiente.

ABSTRACT

The edge detection problem has great importance in digital image processing. A large number of such detectors have been proposed in the literature. Recently, the theory of mathematical morphology was used as the basis for the proposal of new edge detectors. This work tests the use of one of these detectors on Landsat TM satellite images and compares its performance with a detector based on a digital approximation of the gradient.

1 - O PROBLEMA DE DETECÇÃO DE BORDAS

A detecção das bordas de uma imagem constitui um passo importante no pré-processamento dessa imagem. Várias das etapas posteriores de processamento podem ser baseadas na obtenção das bordas significativas da imagem.

Uma abordagem típica de detecção de bordas consiste num realce das frequências espaciais altas seguido de um processo de limiarização.

Uma grande variedade de técnicas de realce têm sido propostas para acentuar as bordas antes da limiarização. As técnicas mais simples consistem em aproximações digitais do operador gradiente. A diferenciação discreta bidimensional pode também ter características direcionais (Pratt, 1978), podendo ser efetuada através da convolução da imagem original com máscaras apropriadas. O realce de bordas independente da direção pode ser obtido por aproximações digitais do operador laplaciano.

Dentre os operadores não-lineares de realce de bordas a serem utilizados antes da limiarização podem ser mencionados os de Roberts (1965), Sobel (Duda and Hart, 1973) e Kirsch (1971).

Um certo número de detetores envolvem a operação de aproximar a superfície bidimensional que representa a imagem por uma função. Um dos primeiros exemplos deste método é o detetor de Hueckel (1971). Um outro exemplo de um método deste tipo foi proposto por Haralick (1980). Ele consiste em aproximar a imagem por pequenas superfícies planas ou "facetas". As bordas são marcadas em "pixels" que pertencem a duas facetas quando os parâmetros das duas superfícies não são consistentes.

Marr e Hildreth (1980) propuseram um detetor de bordas baseado num modelo de percepção visual humana. O operador consiste numa suavização da imagem por uma função gaussiana seguida do operador laplaciano.

É possível colocar o problema de detecção de bordas na perspectiva da teoria estatística de detecção de sinais, levando em conta explicitamente o caráter aleatório do sinal presente, bem como do ruído.

Como exemplos desses métodos podem ser mencionados os trabalhos de Modestino e Fries (1977) e Mascarenhas e Prado (1980).

2 - A ABORDAGEM DE MORFOLOGIA MATEMÁTICA

A teoria de Morfologia Matemática começou a ser desenvolvida por G. Matheron (1975) e J. Serra (1982) e seus colaboradores da École Supérieure des Mines de Paris. Nos Estados Unidos, contribuições têm sido feitas pelo Environmental Research Institute of Michigan (Sternberg, 1980) e, mais recentemente, por pesquisadores de várias instituições.

A Morfologia Matemática é uma abordagem ao processamento de imagens baseada em conceitos de forma derivados da teoria de conjuntos, topologia, geometria integral etc. Inicialmente, a teoria foi formulada para lidar com imagens binárias e posteriormente tais conceitos foram estendidos para imagens em tons de cinza (Sternberg, 1986).

As operações de morfologia matemática operam com a imagem original a ser analisada e um elemento estruturante, com alguma analogia com a máscara que realiza a convolução bidimensional de uma imagem.

No caso de imagens binárias, seja A o conjunto de pontos que representam os "pixels" unitários da imagem e B o conjunto dos "pixels" unitários do elemento estruturante. Pode-se definir a dilatação de A por B, denotada por $A \oplus B$, por:

$$A \oplus B = \{ c / c = a + b \text{ para algum } a \in A \text{ e } b \in B \} \quad (1)$$

A interpretação geométrica da dilatação pode ser dada em termos do conjunto de pontos tal que a reflexão do elemento estruturante em relação à origem toca o conjunto original.

Define-se a erosão de A por B, denotada por $A \ominus B$, por

$$A \ominus B = \{ x / x + b \in A \text{ para qualquer } b \in B \} \quad (2)$$

A interpretação geométrica da erosão pode ser dada em termos do conjunto de pontos tal que o elemento estruturante centralizado nestes

pontos está inteiramente contido no conjunto original.

No caso de imagens em tom de cinza, a dilatação de uma imagem em tom de cinza por um elemento estruturante em tom de cinza b é denotada por d e é definida por (Lee et alii, 1987):

$$d(r,c) = \max_{(i,j)} (f(r-i,c-j) + b(i,j)) \quad (3)$$

onde o máximo é tomado sobre todos os (i,j) no domínio de b tal que $(r-i, c-j)$ está no domínio de f . O domínio da dilatação é a dilatação do domínio de f com o domínio de b .

Deve-se observar a analogia existente entre as operações de convolução e a dilatação em tom de cinza, sendo a multiplicação substituída pela soma e a soma substituída pelo máximo no caso da dilatação.

A erosão de uma imagem em tom de cinza f por um elemento estruturante b é denotada por "e" e é definida por:

$$e(r,c) = \min_{(i,j)} (f(r+i,c+j) - b(i,j)) \quad (4)$$

onde o mínimo é tomado sobre todos os (i,j) no domínio de b . O domínio da erosão é o domínio de f erodido pelo domínio de b .

Nos problemas de detecção de bordas que serão abordados neste artigo o domínio do elemento estruturante será escolhido como a vizinhança -4 do "pixel" no qual serão calculadas as operações de dilatação e erosão. Assim, se esse "pixel" é denotado por $(0,0)$, o domínio do elemento estruturante será dado por

$$D_b = \{(0,-1), (0,1), (-1,0), (1,0)\}$$

Além disso, será abordado apenas o caso em que o valor do elemento estruturante é nulo nesse domínio. Deste modo, as equações (3) e (4) se reduzem a:

$$d(r,c) = \max_{(i,j) \in D_b} (f(r-i,c-j)) \quad (5)$$

$$e(r,c) = \min_{(i,j) \in D_b} (f(r+i,c+j)) \quad (6)$$

As operações de dilatação e erosão em tom de cinza reduzem-se, assim, a se tomar respectivamente o máximo ou o mínimo da função numa vizinhança -4 ao redor do "pixel" considerado.

3 - DETECÇÃO DE BORDAS POR MORFOLOGIA MATEMÁTICA

Em seu trabalho sobre detetores de borda morfológicos, Lee et alii (1987) estudaram o desempenho de vários detetores, entre os quais:

- 1) $Ge(r,c) = f(r,c) - e(r,c)$ (7)
- 2) $Gd(r,c) = d(r,c) - f(r,c)$ (8)
- 3) $\max(Ge(r,c), Gd(r,c))$ (9)
- 4) $Ge(r,c) + Gd(r,c)$ (10)
- 5) $\min(Ge(r,c), Gd(r,c))$ (11)

Foi avaliado o desempenho desses detetores na presença de bordas em várias direções, rampa e ruído. O desempenho desses detetores de modo geral não é satisfatório. Em particular, o detetor dado pela equação (11) tem boa resposta à rampa, é insensível a um único ponto de ruído mas não responde a bordas ideais. Este conjunto de respostas motiva a proposição de um detetor de bordas melhorado que opera na imagem borrada, transformando assim uma borda ideal numa rampa que passará agora a ser detectada.

Assim sendo, um dos detetores de bom desempenho propostos por Lee et alii (1987), consiste na seguinte expressão:

$$I = \min\{I_1 - \text{erosão}(I_1), \text{dilatação}(I_1) - I_1\} \quad (12)$$

onde I_1 representa a imagem de entrada borrada.

Este detetor de bordas foi o objeto de testes neste trabalho quando aplicado a imagens de sensoriamento remoto.

4 - RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Foi utilizada para os testes uma imagem Landsat TM, banda 3, obtida em 11/08/87 sobre o Aeroporto Internacional do Galeão, na cidade do Rio de Janeiro.

A Figura (1) ilustra a imagem original utilizada para os testes.

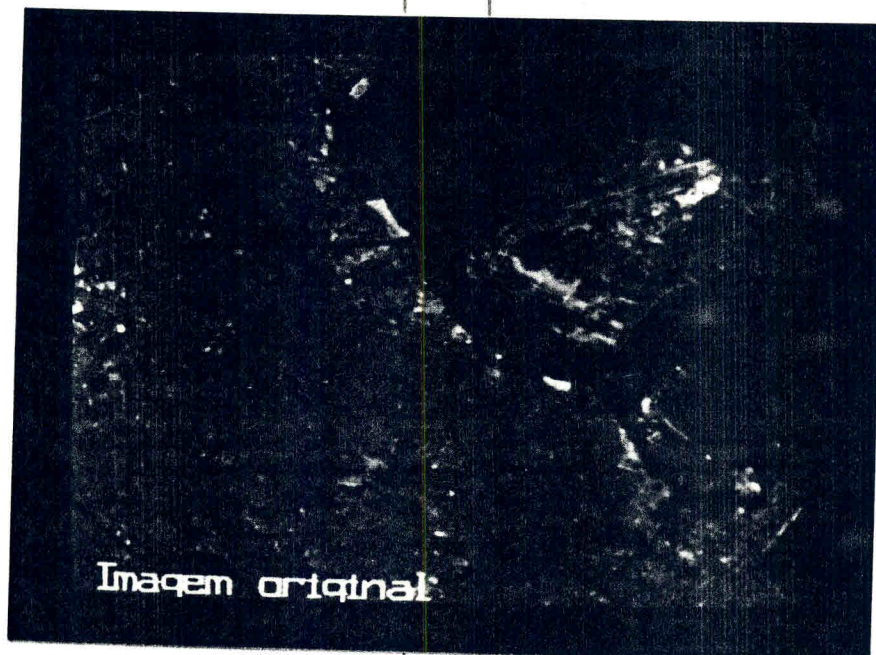


Figura 1



Figura 2

Inicialmente a imagem foi borrada por uma máscara de convolução do tipo

$$\frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

e o resultado está evidenciado na Figura (2).

Em seguida foram obtidas as imagens resultantes da erosão em tom de cinza (Figura (3)) e dilatação em tom de cinza (Figura (4)) utilizando o elemento estruturante mencionado no parágrafo 2.



Figura 3



Figura 4

O resultado da obtenção das bordas morfológicas está mostrado na Figura (5).

O histograma dessa imagem tem um decaimento do tipo exponencial com tons de cinza significativos até aproximadamente o valor 20. Para melhorar a visualização das bordas foi efetuado um realce linear que está mostrado na Figura (6).

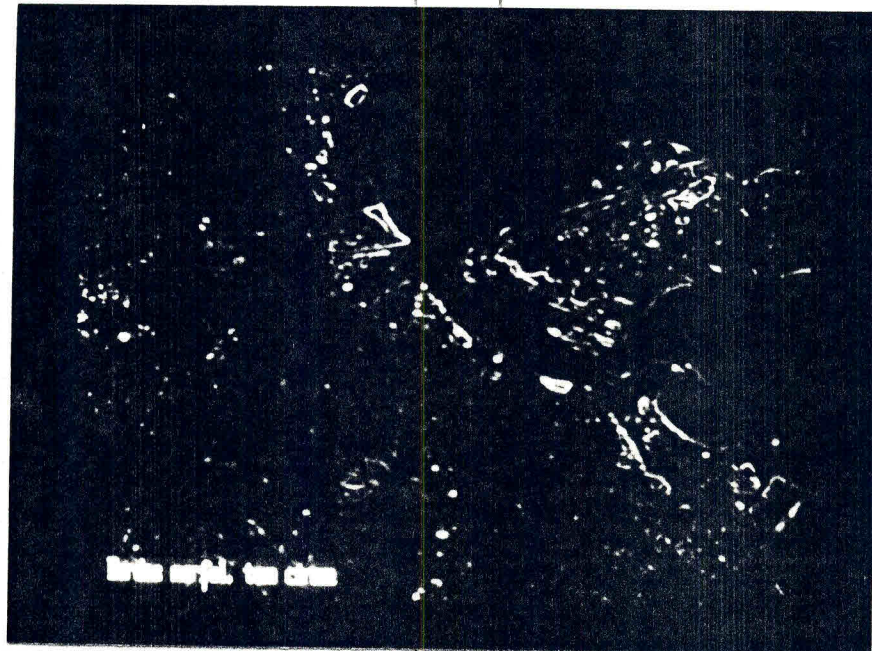


Figura 5



Figura 6

Para se obter uma imagem binária de bordas (Figura (7)) foi escolhido um limiar acima do qual estão contidos 15% do histograma da imagem de bordas morfológicas em tom de cinza.

Os resultados obtidos podem ser comparados com aqueles fornecidos pela aplicação de uma aproximação digital do gradiente, segundo o seguinte esquema. Dado um conjunto de 9 "pixels" segundo a convenção

a b c
d e f
g h i

obtém-se a aproximação do gradiente pela expressão

$$e = |a-i| + |c-g| + |d-f| + |b-h| \tag{13}$$

A imagem binária resultante (Figura (8)) foi obtida a partir do histograma de e segundo o mesmo esquema empregado para a imagem de bordas morfológicas, isto é, pelos 15% da cauda da distribuição.

A comparação da Figura (7) com a Figura (8) revela que as bordas morfológicas são menos espessas que as bordas do gradiente. Isso pode ser observado, por exemplo, nas pistas do aeroporto onde a técnica morfológica foi capaz de separar as duas bordas de cada lado da pista, o que não aconteceu com o método do gradiente.

Foi investigada também a utilização da vizinhança-8 para as operações dilatação e erosão nas bordas morfológicas, com um resultado substancialmente igual ao da vizinhança-4.

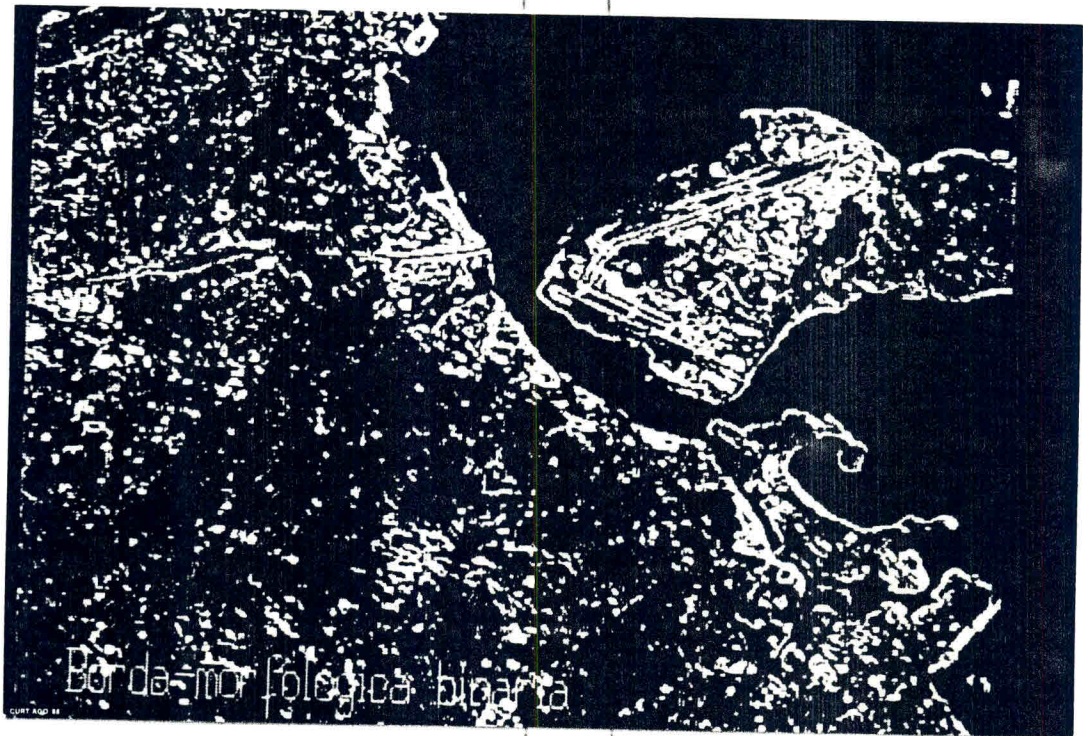


Figura 7

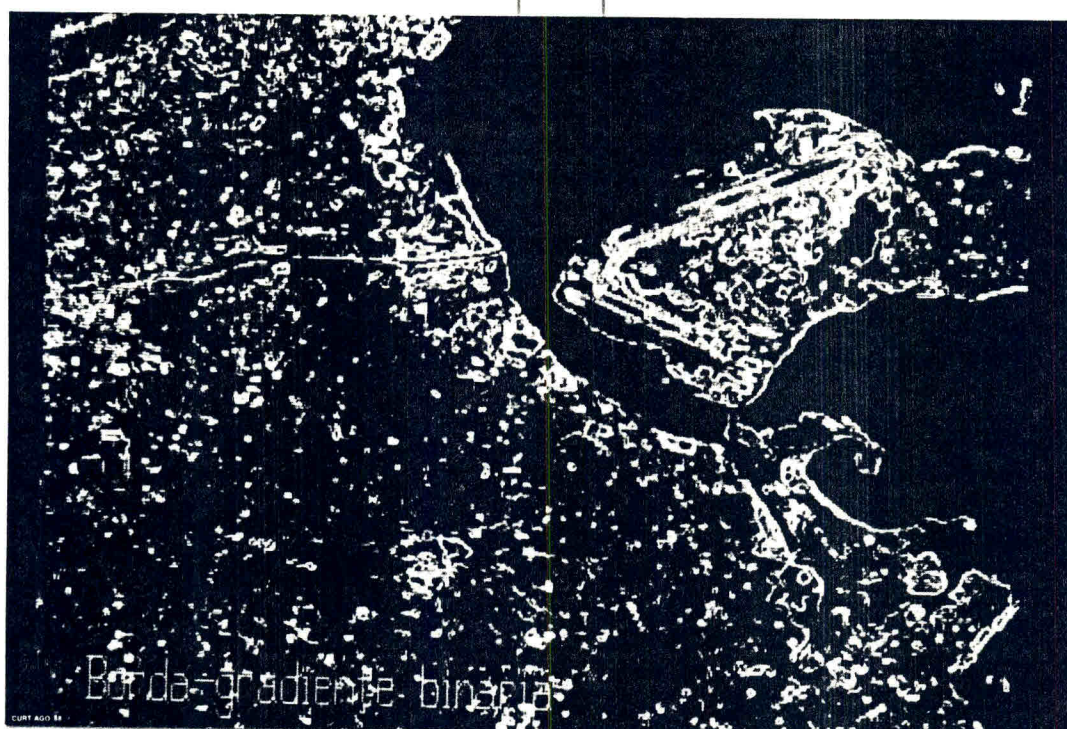


Figura 8

5 - CONCLUSÕES

A aplicação de detetores morfológicos foi testada numa imagem de sensoriamento remoto e seu desempenho foi comparado a uma técnica convencional de detecção de bordas.

O trabalho pode ser estendido em algumas direções. Pode-se, por exemplo, comparar o desempenho do método aqui testado com o de detetores de bordas baseados em filtragem estatística de ordem (Pitas e Venetsanopoulos (1986)) que estão intimamente ligados, em sua formulação, à morfologia matemática. Deve-se salientar ainda que seria de grande interesse extrair as bordas retilíneas que caracterizam as pistas do aeroporto, o que poderia ser efetuado através do uso da Transformada de Hough.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DUDA, R. O.; HART, P.E. Pattern Classification and Scene Analysis, Wiley, New York, 1973

HARALICK, R.M. Edge and Region Analysis for Digital Image Data, Computer Graphics and Image Processing, 12(1):60-73, 1980.

HUECKEL, M. An Operator which Locates Edges in Digitized Pictures", J. Assoc. Comput. Mach. 18(1):113-125, 1971.

KIRSCH, R. Computer Determination of the Constituent Structure of Biological Images, Computers and Biomedical Research, 4(3):315-328, 1971.

LEE, J.S.J.; HARALICK, R.M.; SHAPIRO, L.G. Morphologic Edge Detection, IEEE Journal of Robotics and Automation, RA-3(2):142-156, 1987.

MARR, D.; HILDRETH, E. Theory of Edge Detection, Proc. Roy. Soc. London, B, 207:187-217, 1980.

MASCARENHAS, N.D.A.; PRADO, L.O.C. A Bayesian Approach to Edge Detection in Images, IEEE Trans. Autom. Control, AC-25(1): 36-43, 1980

MATHERON, G. Random Sets and Integral Geometry, New York, Wiley, 1975.

MODESTINO, J.W.; FRIES, R.W. Edge Detection in Noisy Images Using Recursive Digital Filtering, Comput. Graphics Image Processing, 6:409-433, 1977

PITAS, I.; VENETSANOPOULOS, A.N. Nonlinear Order Statistics Filters for Image Filtering and Edge Detection, Signal Processing, 10:395-413, 1986.

PRATT, W.K. Digital Image Processing, New York, Wiley, 1978.

ROBERTS, L.G. Machine Perception of Three-Dimensional Solids, in Optical and Electro-Optical Information Processing, J. T. Tippet et al, Eds., Cambridge, M.I.T., Press, 159-197, 1965.

SERRA, J. Image Analysis and Mathematical Morphology, London, Academic, 1982.

STERNBERG, S.R. Cellular Computers and Biomedical Image Processing, in Lecture Notes in Medical Informatics, vol. 17: Biomedical Images and Computers, Proceedings, 1980, J. Sklansky and J.C. Biscante, Eds., Berlin, Springer Verlag, 294-319, 1980.

STERNBERG, S.R. Gray-scale Morphology Comput. Vision, Graphics and Image Processing, 35:333-355, 1986.