



Detecção de estruturas geocartográficas em imagens de satélites através do uso de operadores da Morfologia Matemática Binária

Carlos Eduardo Guerra /UFPA/Matemática
Nayara Safira da Silva Caldas UFPA/Matemática

Copyright 2009, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, August 24-28, 2009.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGF, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract

The goal of this work is the patterns or geocartograficas structures detection, in remote sensing images. These structures are related to deforestation, areas with low vegetation cover, roads, drainage basins of, among others. This detection is done by means of binary morphological operators. (Gonzales, 2003). The proposed methodology is implemented through a sequence of procedures: 1 - reading and choice of pictures, cuttings and structures to be detected; 2-spectral characterization of targets and threshold; 3-erosion and dilatation; 4-edge detection and composition of the final image with the targets defined. The method is efficient and can be applied to any image, where the cloud cover is negligible.

Resumo

O objetivo deste trabalho é a detecção, em imagens de sensoriamento remoto, de padrões ou estruturas geocartográficas relacionados com desmatamentos, zonas com baixa cobertura vegetal, estradas, bacias de drenagens, dentre outras. Essa detecção é feita por meio de operadores morfológicos binários. (Gonzales, 2003). A metodologia proposta é implementada através de uma sequência de procedimentos operacionais: 1- leitura e escolha das imagens, recortes e estruturas a serem delimitadas; 2-caracterização espectral dos alvos e limiarização; 3-erosão e dilatação; 4-deteção de bordas e composição da imagem final com os alvos delimitados. A metodologia é eficiente e pode ser aplicada em qualquer imagem, onde a cobertura de nuvem é inexpressiva.

Introdução

Em trabalhos e estudos cartográficos e ambientais é muito comum o uso de imagens de sensoriamento remoto, particularmente a fotogrametria e as imagens de satélites (Florenzano, 2002). Na Amazônia em particular, estes estudos tem se direcionado na caracterização da ocupação humana, no uso do solo e nas mudanças de cobertura vegetal. Para um pesquisador interessado em avaliar a extensão de zonas com baixa ou nenhuma

cobertura vegetal (cidades, áreas desmatadas, savanas,...) as imagens de satélites são fontes valiosas de informações, pois possibilitam uma visão sinóptica do ambiente considerado, além de permitir o cálculo aproximado de extensões de áreas de interesse.

Para facilitar o estudo das imagens existe uma coleção de programas e pacotes de software, desde simples aplicativos de processamento de imagens até os complexos sistemas de geoprocessamento e os SIG's (sistema de informações geográficas). No caso do processamento de imagens digitais, a idéia principal é construir uma série de procedimentos (computacionais) para análise de dados obtidos por sensores orbitais, agilizando as tarefas manuais realizadas durante o processo de interpretação. Tais processos incluem a delimitação de áreas, confecção de mapas, dentre outros (Gonzalez, 1987 e Silva, 1999).

Uma das técnicas de processamento de imagens que podem ser aplicadas trata-se dos operadores morfológicos obtidos da Morfologia Matemática. A origem da Morfologia Matemática teve início em 1964, com trabalhos de Matheron e Serra na Escola Superior de Minas de Paris (Serra, 1986 e Banon & Barrera, 1988). O objetivo da Morfologia Matemática é descrever quantitativamente as estruturas geométricas e funcionar como uma técnica de processamento de imagens, dispondo de ferramentas básicas como os detectores de borda e os filtros morfológicos.

Atualmente, a Morfologia Matemática é amplamente estudada e, aplicada em universidades e centros de pesquisas e o principal objetivo é o estudo topológico de sinais e imagens, permitindo identificar e quantificar forma e tamanho de estruturas (Ishikawa at all, 2004 e Lucia at all, 2004), daí a sua vasta aplicabilidade na medicina, engenharia, cartografia e estudos ambientais.

Objetivos

O objetivo deste trabalho é a detecção de objetos geocartográficos em imagens de satélites, valendo-se do uso de operadores morfológicos, i. é; utilizando a morfologia matemática como técnica de processamento de imagens.

Fundamentos Teóricos

Segundo Facon (1996), defini-se os operadores de Minkowski (Minkowski, 1903) como:

$$A \oplus B = \{x \in \mathcal{E} / \exists a \in A \ \exists b \in B / x = a + b\} = \bigcup_{b \in B} A_b, \quad (1)$$

$$A \ominus B = \{x \in \mathcal{E} / \forall b \in B, \exists a \in A / x = a - b\} = \bigcap_{b \in B} A_b$$

onde A e B são dois subconjuntos de um conjunto \mathcal{E} , com a e b sendo elementos de A e B respectivamente. Seguindo esta notação, podemos definir os operadores morfológicos erosão e dilatação da seguinte forma:

$$\text{ero}^B(A) = A \ominus \tilde{B} = \bigcap_{b \in \tilde{B}} A_b$$

$$\text{dil}^B(A) = A \oplus \tilde{B} = \bigcup_{b \in \tilde{B}} A_b, \quad (2)$$

Onde \tilde{B} é o transposto do conjunto B . Na notação, lê-se A erodido por B e A dilatado por B . Em processamento de imagem, o conjunto A é uma imagem binária qualquer e B é um conjunto conhecido como elemento estruturante, que nada mais é do que um conjunto de pixels totalmente conhecido em sua forma geométrica. Ainda segundo Falcon (1996), os efeitos obtidos pela erosão são: a diminuição de partículas, a eliminação de feições de tamanho inferior ao tamanho do elemento estruturante, a separação de feições próximas e o aumento de buracos. Já para a dilatação os efeitos são opostos, i.é, as partículas crescem em tamanho, buracos são preenchidos e feições próximas são conectadas.

Uma aplicação interessante da erosão é a detecção de bordas. Esta operação é uma das mais importantes em processamento de imagens, pois nos remete a um conceito fundamental, i.é, "o conceito de contorno". Neste caso, a detecção de borda funciona como um processo de segmentação de imagens binárias. Podemos definir a operação de detecção de bordas como:

$$\text{borda}(A) = A - \bigcap_{\tilde{B}_{\text{borda}}} A. \quad (3)$$

Na equação (3) \tilde{B}_{borda} é o elemento estruturante utilizado na detecção de borda. Um detector simples e comumente utilizado é o elemento "diamon" com cinco vizinhanças, também chamado de elemento cruz,

$$B_{\text{borda}} = \begin{Bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{Bmatrix}. \quad (4)$$

Metodologia

A metodologia proposta consiste de quatro etapas:

1. Seleção de Imagens, áreas e alvos de estudos:

Nesta primeira etapa, escolhe-se as imagens, os alvos a serem delimitados e as áreas de estudo. Na **Figura 1** temos um recorte de uma composição TM, das bandas 3(vermelho), 4 (infravermelho próximo) e 5 (infravermelho médio). Ainda nesta etapa escolhe-se a

banda que evidencia melhor a estrutura a ser delimitada. Na **Figura 2**, nota-se que as áreas mais escuras representam zonas de baixa ou nenhuma cobertura vegetal (savanas e desmatamento por exemplo), enquanto que as áreas claras estão associadas à vegetação densa (floresta). A escolha destes recortes está diretamente ligada ao tipo de objeto a ser estudado; neste caso, as zonas de savanas.



Figura 1: Composição colorida TM (banda 3,4 e 5) da região de Savanas (Região do Eixo-Forte em Santarém) com baixa cobertura Vegetal.

Banda 4 (Infravermelho próximo)

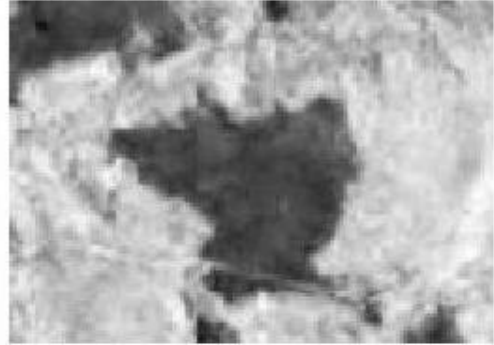


Figura 2: Imagem TM na banda 4 (infravermelho próximo), relativo à região de estudo. Observa-se que as regiões claras representam zonas de alta cobertura vegetal enquanto que as regiões escuras representam as de baixa cobertura vegetal.

2. Limiarização:

A seguir, a imagem-banda selecionada é convertida para a forma binária, uma vez que serão utilizados operadores morfológicos binários. Esta conversão é realizada através de uma transformação do tipo

$$A_{ij} \rightarrow B_{ij}, \text{ onde } A_{ij} \in \mathbb{I}Z, \mathbb{I}Z \subset \mathbb{Z}_+ \quad (5)$$

$$\text{e } B_{ij} \in \{0, 1\} \text{ com } i, j \in N_*$$

Em (5), $\mathbb{I}Z$ com seus elementos A_{ij} representa uma imagem com resolução radiométrica de n-bits. No caso

das imagens TM, \mathbf{I} é o conjunto de níveis de cinza variando entre 0 a 255; o que equivale a uma resolução de 8 bits. B_{ij} são os elementos da imagem após a limiarização. A transformação vista em (5) é realizada através da regra abaixo:

$$\begin{cases} B_{ij} = 1, & \text{se } A_{ij} \in [L_i, L_j]. \\ B_{ij} = 0, & \text{caso contrário.} \end{cases} \quad (6)$$

Na relação (6), L_i e L_j representam os limiares da transformação, i. é, o intervalo de níveis de cinzas que representam e/ou caracterizam melhor o alvo na imagem. Para a obtenção destes limiares, recorremos ao estudo do histograma da imagem-banda escolhida. A **Figura 3** mostra o histograma da imagem-banda da **Figura 2**. O eixo das abscissas representa os níveis de cinza e a ordenada, a quantidade de pixels com estes níveis de cinzas.

Observa-se, também, dois grupos distintos situados nos intervalos de níveis de cinza [40, 120] e [150,240]. O primeiro corresponde, na banda do infravermelho próximo, às feições associadas à baixa presença de vegetação e o segundo, as zonas de matas, florestas e vegetação densa. Os histogramas são extremamente úteis para uma avaliação imediata e rápida do comportamento espectral dos alvos a serem estudados.

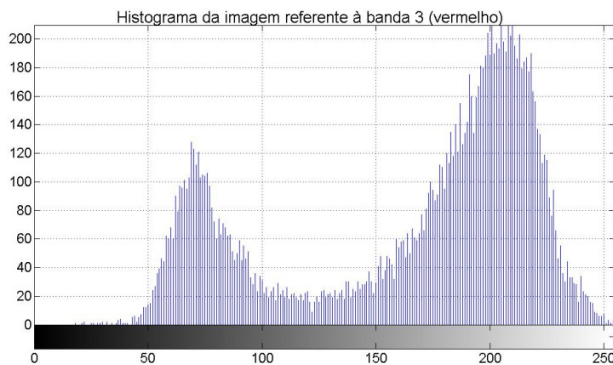


Figura 3: Histograma da imagem referente à banda 4 (infravermelho próximo). Nota-se dois agrupamentos de pixels, referente às zonas de savanas e floresta densa.

Para a limiarização da imagem da **Figura 2** teríamos a seguinte relação de transformação:

$$\begin{cases} B_{ij} = 1, & \text{se } A_{ij} \in [40, 120]. \\ B_{ij} = 0, & \text{caso contrário.} \end{cases} \quad (7)$$

O resultado do processo de Limiarização pode ser observado na **Figura 4**. Os pontos em brancos representam os pixels ativos que foram mapeados segundo a transformação com a regra (7). Esses pixels contêm as zonas com baixa cobertura vegetal

3. Aplica-se os operadores morfológicos para limpar a imagem limiarizada:

Nesta etapa, aplica-se um operador de erosão sobre a imagem (banda 4) limiarizada. O elemento escolhido, no exemplo, foi o elemento estruturante diamond com 13 vizinhanças; veja a equação 8.

$$ES = \begin{Bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{Bmatrix} \quad (8)$$

Este elemento mostrou-se eficiente para eliminar as pequenas zonas brancas não contíguas, que não estão associadas às feições de baixa cobertura vegetal; além de preservar a maior parte das grandes zonas contíguas em branco. Deve-se ressaltar que a escolha do tipo e o tamanho do elemento estruturante influencia o resultado final do processo.



Figura 4: Nesta figura, mostra-se a imagem TM binarizada (banda 4) de uma região de Savanas, com baixa cobertura Vegetal. Nota-se o efeito da limiarização isolando, neste caso, as regiões espectralmente menos ativas na imagem-banda.

Como podemos observar na **Figura 5**, as grandes zonas brancas, associadas a regiões pobres em vegetação e indicadas nas figuras anteriores, aparecem agora praticamente isoladas e parcialmente erodidas em suas fronteiras. Para corrigir o excesso de erosão, aplica-se o operador de dilatação binária, utilizando o mesmo elemento estruturante ES , em (8). Uma erosão seguida por uma dilatação, com o mesmo elemento estruturante, é denominada abertura. O efeito da abertura é recompor as fronteiras das regiões de pixels ativos, "tampando" eventuais buracos contidos nestas regiões. A **Figura 6** mostra o resultado da abertura aplicada a imagem limiarizada da **Figura 4**.

Imagem erodida



Figura 5: Imagem TM (banda 4) na forma binária e erodida. Nota-se na figura que o efeito da erosão foi eliminar pequenos pontos na imagem limiarizada, que não estão associados ao tipo de estrutura procurada.

Erosão seguida por dilatação (Abertura)



Figura 6: Imagem TM (Banda 4) na forma binária e erodida sofre uma dilatação pelo mesmo elemento estruturante. Nota-se na figura que o efeito da abertura (erosão seguida por dilatação) foi aumentar as fronteiras, das regiões de interesses, que sofreram erosão

4. Detecção de bordas e composição da imagem final:

Finalmente, o processo se completa aplicando-se o operador de detecção de borda sobre a imagem resultante da aplicação do operador abertura. Na **Figura 7** observa-se que os contornos obtidos fecham as zonas contíguas isoladas pelo processo de abertura binária (**Figura 6**). Observe que além das zonas de baixa cobertura vegetal, aparecem, delimitadas também, algumas zonas não representativas das estruturas alvos (exemplo: sombras). Este efeito deve-se à escolha da banda 4 (infravermelho próximo). Para estas regiões, o sensor TM, nesta banda, registra baixos níveis de reflectâncias, devido ao sombreamento provocado por nuvens. Em ambientes aquático ocorre efeito semelhante, só que através do fenômeno de absorção.

Composição final com estrutas delimitadas

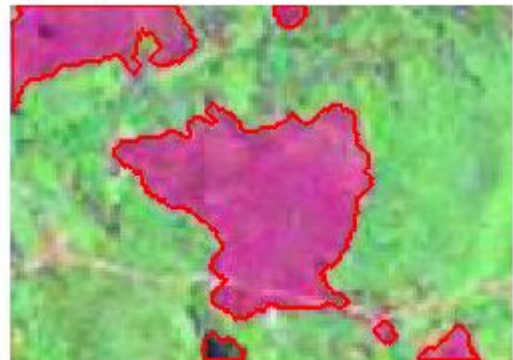


Figura 7: Contornos obtidos pela aplicação do detector de borda sobre a imagem na TM (banda 4) limiarizada e submetida à abertura.

Análise dos Resultados

No Exemplo mostrado anteriormente (**Figura 1**), podemos observar uma composição colorida de imagens TM (canais 3,4 e 5) da região de Santarém no eixo forte. Observa-se que a metodologia conseguiu separar com sucesso as savanas, além detectar uma pequena região de sombras **Figura 7**. Como já foi anteriormente mencionado, estes contornos foram obtidos em zonas sombreadas por nuvens, sendo que estas zonas também possuem baixos valores de reflectância (e por esta razão, baixos valores de níveis de cinza) na banda 4. Assim, as sombras aparecem como regiões contíguas na imagem limiarizada, como podemos observar nas (**Figuras 4, 5 e 6**). Enquanto que a erosão eliminou a maior parte das pequenas e indesejáveis estruturas, a dilatação fez a recomposição das fronteiras das zonas de interesse. Tais efeitos foram obtidos devido à aplicação do elemento estruturante no processo de erosão e dilatação.

Conforme mostra Facon (1996) e Banon (1988), a aplicação da erosão binária ocasiona a separação e/ou desaparecimento de estruturas, se a conexão ou a dimensão delas forem menores que o elemento estruturante. Por outro lado as zonas de interesses também sofrem erosão, ocasionando um contorno menor, i.é, interno à zona de interesse. Para tentar minimizar estes efeitos, aplicou-se um operador de dilatação com o mesmo elemento estruturante, i.é, uma abertura. O resultado obtido foi a expansão do contorno nas regiões de pixel's ativos (zonas com baixa ou nenhuma cobertura vegetal), como podemos observar na (**Figuras 6 e 7**). Por outro lado nota-se também um aumento dos contornos inconsistentes (sombras).

Na **Figura 8** temos outro exemplo da aplicação da metodologia para a detecção de bacias de drenagens. Para este caso, foi utilizado uma imagem CBERS (sensor CCD) na banda infravermelho próximo. As regiões em negro representam os corpos d'água, enquanto que as zonas claras representam a vegetação.

Detecção da Bacia de Drenagem

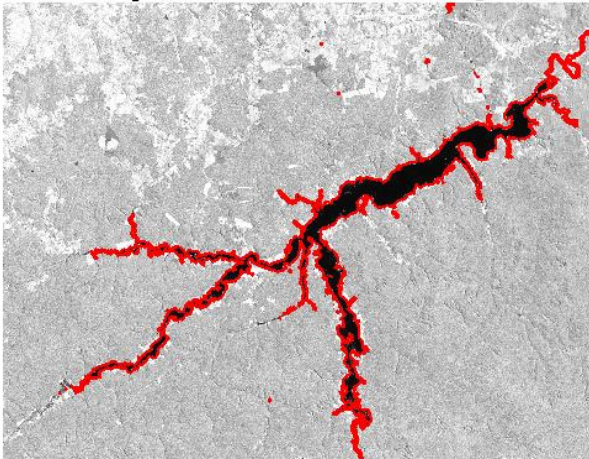


Figura 8: Imagem CBERS (Banda Infravermelha) Juntamente com os contornos obtidos pela aplicação da metodologia proposta.

Novamente, como observado no primeiro exemplo, a metodologia funcionou perfeitamente. Nota-se o aparecimento de alguns contornos pequenos, aparentemente não correlacionados com a bacia de drenagem. Possivelmente, estes pequenos contornos se referem a pequenas regiões com baixa ou nenhuma cobertura vegetal. Tais regiões estão associados também a pixel's com baixos níveis de cinza, assim, foram incluídos como regiões ativas no processo de limiarização.

Detecção de Estradas

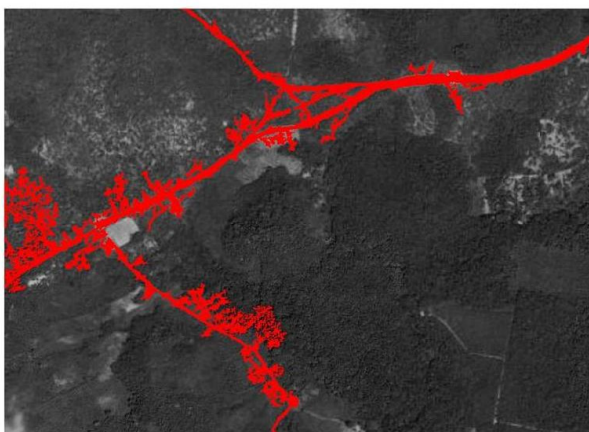


Figura 9: Resultado da delimitação morfológica de estruturas associadas a estradas. Além da rodovia principal, o algoritmo foi capaz de detectar também pequenos arruamentos e trilhas.

Na **Figura 9** temos outro exemplo para a detecção de rodovias, estradas e trilhas. Para este caso foi utilizada uma imagem SPOT na banda vermelho. O interesse era destacar as zonas com baixa cobertura vegetal associadas a objetos com topologia do tipo linha. Assim, foi utilizado elementos estruturantes do tipo cruz, acompanhado por uma sequência de operações de

erosões e complementos. A idéia principal foi produzir um "afinamento" das estruturas limiarizadas.

Conclusões

A metodologia mostrou-se altamente funcional, mesmo tendo em vista os indesejáveis efeitos de erosão em áreas de interesse e a inclusão de estruturas indesejáveis. As zonas de interesses foram apontadas (savanas, bacias de drenagens, estradas...) corretamente, e desde que as imagens processadas não tenham cobertura de nuvens significativas, a metodologia proposta pode servir de base para obtenção de estimativas razoáveis para o cálculo de áreas desmatadas, inundadas... Por outro lado, podemos aplicar o operador de dilatação para corrigir o efeito da erosão sobre as zonas de interesse. O resultado revela um contorno mais fiel destas zonas. Juntamente com a melhoria dos contornos, nota-se o aparecimento de novos efeitos indesejados, dentre os quais podemos citar o aumento dos contornos inconsistentes. Uma possível forma de se eliminar os contornos inconsistentes seria aplicar a metodologia em varias bandas, obter contornos para os alvos indesejados e depois subtraí-los na composição final. Outro ponto a ser mencionado é a escolha dos valores limiares, que devem caracterizar o comportamento espectral do alvo propriamente dito. A topologia e o tamanho do elemento estruturante deve também refletir o objeto procurado na imagem. Como sugestão para trabalhos futuros, o uso da morfologia em níveis de cinza deve, também, ser testado como forma de delimitação de estruturas mais complexas. Desta forma, pode-se concluir que os objetivos deste trabalho foram alcançados.

Agradecimentos

Agradecemos a UFPA/LASERS-campus Santarém pelo apoio e suporte dado para a realização deste trabalho, e ao INPE pelo fornecimento das imagens.

Referências

- Ishikawa , Aline Sayuri, Paulo Henrique Amorim da Silva e Erivaldo Antônio da Silva.** Extração de Redes de Drenagem em Imagens Orbitais Utilizando a Teoria da Morfologia Matemática. COBRAC 2004 · Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário · UFSC Florianópolis.
- Lucia, Ana; Candeias, Bezerra e Silva, Erivaldo Antônio da .** Extração de Estradas de uma imagem ETM+ Landsat usando Morfologia Matemática. COBRAC 2004 · Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário · UFSC Florianópolis.
- Silva, Ardemirio de Barros.** Sistemas de Informações Geo-referenciadas, conceitos e fundamentos. Universidade Estadual de Campinas, 1999.
- Banon, G. J. F. e J. Barrera:** "Bases da Morfologia Matemática para Análise de Imagens Binárias"; segunda edição. INPE, São José dos Campos 1988.

Facon, Jaques. Morfologia Matemática, Teoria e Exemplos. Editora Universitária Champagnat, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 1996.

Florenzano, Tereza Galloti. Imagens de Satélites para Estudos Ambientais. Oficina de Textos, São Paulo, 2002.

Gonzalez, R. C. E Wints, P. Digital image processing. 2ed., Massachusetts, Addison Wesley, 1987.

Gonzalez, Rafee C.; Woods, **Richard E.** e Eddins, **Steven L.** Digital Image Processing Using MATLAB. Prentice Hall, 2003.

Serra, J. Introduction to mathematical morphology. Computer Vision. Graphics and Image Processing, vol. 35, no. 3, pp. 283–305, 1986.

Minkowski, H. Volumem und oberflache. Math. Annalen, 57:447-495, 1903.