PROPOSIÇÃO DE ROTINA MORFOLÓGICA PARA EXTRAÇÃO DE AEROPORTO EM IMAGENS ORBITAIS

FERNANDA PUGA SANTOS
RODRIGO FRIGATO
ERIVALDO ANTÔNIO DA SILVA

Universidade Estadual Paulista - Unesp
Faculdade de Ciências e Tecnologia - FCT
Departamento de Cartografia, Presidente Prudente - SP
ferpuga@gmail.com
ro_frigato@hotmail.com
silva.erivaldo@gmail.com

RESUMO - Um dos grandes problemas da cartografia brasileira é a deficiência de produtos cartográficos, o que prejudica em muito a utilização de bases cartográficas. No entanto, imagens de sensoriamento remoto aliadas a técnicas de Processamento Digital de Imagens - PDI têm contribuído de forma significativa para solução desses problemas. A Morfologia Matemática - MM é uma técnica de processamento de imagens que consiste em descrever quantitativamente estruturas geométricas presentes na imagem, também dispõem de ferramentas como detectores de borda e filtros morfológicos. Em trabalhos anteriores a MM tem mostrado uma potencialidade significativa referente à detecção de feições cartográficas. Sendo assim, baseando-se nesses trabalhos, foi proposta uma rotina de operadores morfológicos para a extração de feições cartográfica do tipo Aeroporto. O *software* utilizado para o processamento foi o Matlab. Além disso, visando verificar se as posições das feições extraídas correspondiam às mesmas na imagem original, fez-se a sobreposição do resultado obtido via Morfologia com a carta topográfica da região. Os resultados obtidos foram promissores e evidenciaram que técnicas de morfologia matemática podem ser empregadas em cartografia com vista à extração de feições, incluindo pré-processamento e processamento das imagens. As feições detectadas podem ser utilizadas em processos convencionais de atualização de produtos cartográficos.

ABSTRACT - One of the great problems of the Brazilian cartography is the deficiency of cartographic products, what harms a lot the use of cartographic bases. However, techniques of Remote Sensing allied to tools of Digital Processing of Images (DPI), have been contributing in a decisive way to aid this problem. The Mathematical Morphology - MM is a technique of image's processing that consists of describing geometric structures presents quantitatively in the image, they also have tools as border detectors and morphologic filters. In previous works the MM has been showing a significant potentiality regarding the detection of cartographic features. Basing on those works, was proposed a routine of morphologic operators for the feature`s extraction of the type Airport. The software used for the processing was Matlab. Besides, seeking to verify the positions of the detected features corresponded to the same ones in the original image, was made the overlapping of the Mathematical Morphology`s result with the topographical map. The obtained results were satisfactory, assisting to the purpose in showing the viability of the use of Mathematical Morphology tools in remote sensing images, with this intention to extract interest cartographic features and cartographic products.

1 INTRODUÇÃO

A Cartografia brasileira apresenta muitos problemas relacionados ao mapeamento e sua desatualização. Desta forma, visando buscar alternativas que minimizem o problema de desatualização, este trabalho propôs o uso conjunto de produtos de sensoriamento remoto e técnicas de Processamento Digital de Imagens – PDI.

Dentre as diversas ferramentas de PDI a escolhida para a extração das feições cartográficas foi a Morfologia Matemática, elaborada inicialmente por MATHERON (1975) e SERRA (1982).

De acordo com Serra (1982) a Morfologia Matemática tem por objetivo descrever quantitativamente

as estruturas geométricas e funcionar como uma técnica na concepção de algoritmos na área de PDI, dispondo de ferramentas básicas como os detectores de borda e filtros morfológicos.

Deste modo, este trabalho teve por objetivo principal propor uma rotina para a extração de feições cartográficas do tipo Aeroporto através do uso da teoria de Morfologia Matemática. Pretende-se, na rotina a ser proposta, aplicar pré-processamentos, processamentos e pós-processamento sobre os alvos cartográficos de interesse (Aeroporto).

Os resultados obtidos serão utilizados em processos convencionais de atualização de produtos cartográficos. No caso brasileiro, é de suma importância o desenvolvimento de rotinas que possam ser aplicadas à Cartografia, uma vez que o país possui produtos cartográficos desatualizados, o que dificulta o planejamento por parte dos órgãos que possuem o poder na tomada de decisões.

2 OBJETIVOS

Este trabalho tem por objetivo propor uma rotina para a extração de feições cartográficas do tipo Aeroporto através do uso da teoria de Morfologia Matemática.

Após a extração da feição, o trabalho também objetiva realizar uma análise visual do resultado obtido através da sobreposição do mesmo à carta topográfica da região.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Morfologia Matemática

A Morfologia Matemática teve origem a partir das pesquisas conjuntas de G. Matheron e J. Serra, em 1964. As primeiras noções teóricas foram estabelecidas no período de 1964 e 1968, juntamente na época em que foi criado o Centro de Morfologia Matemática na Escola de Minas de Paris localizada em Fontainebleau (França).

Segundo Soille (1999), a Morfologia Matemática (MM) pode ser definida como uma teoria para análise de estruturas espaciais. É chamada de morfologia porque visa analisar a forma dos objetos. É matemática no sentido que a análise baseia-se na teoria de conjuntos, integrais geométricas e álgebra boleana. Porém, a MM não é apenas uma teoria, mas também uma poderosa técnica de análise de imagens.

O método de análise de imagens por Morfologia Matemática tem como objetivo principal analisar a estrutura geométrica das imagens a partir de uma malha retangular definida e conhecida, denominada elemento estruturante.

3.2 Elemento Estruturante

Segundo Facon (1996), o elemento estruturante é um conjunto completamente definido e conhecido (forma, tamanho), o qual é comparado, a partir de uma transformação, ao conjunto desconhecido da imagem. O resultado desta transformação permite avaliar o conjunto desconhecido. Essa ferramenta também dispõe de algumas vantagens como a simplicidade de implementação. Neste trabalho foram utilizados os elementos estruturantes nas formas de máscara cheia (*box*) e em cruz (*cross*). As Figuras 1 e 2 apresentam os elementos estruturantes utilizados.

0	1	0
1	1.	1
0	1	0

Figura 1 - Máscara em forma de cruz

1	1	1
1	1.	1
1	1	1

Figura 2 - Máscara cheia

3.3 Operadores morfológicos utilizados

3.3.1 Erosão

A erosão binária de um conjunto *X* por um elemento estruturante *B* é denotada por $\varepsilon_B(X)$ e é definido como a posição dos pontos, *x*, tal que *B* está incluído em *X* quando sua origem está localizada em x (SOILLE, 1999):

$$\varepsilon_B(X) = \{x \mid B_x \subseteq X\} \tag{1}$$

O elemento estruturante *Bx* corresponde ao elemento estruturante *B* centrado no pixel *x*. Segundo a equação (1), o elemento estruturante B desliza sobre a imagem *X*, comparando cada pixel com a vizinhança de *x*. Se o pixel de *B* corresponder a mesma posição na vizinhança de *x* preserva-se os pixels onde as vizinhanças coincidem.

Em geral, a erosão binária apresenta os seguintes efeitos em seus resultados: diminuição de partículas, eliminação dos grãos de tamanho inferior ao tamanho do elemento estruturante, aumento dos buracos e permite a separação de grãos próximos (FACON, 1996).

3.3.2 Dilatação

A dilatação binária de um conjunto *X* pelo elemento estruturante *B* é denotada por $\varepsilon_B(X)$ e é definida como a posição dos pontos *x* tal que *B* toca *X* quando sua origem coincide com *x* (SOILLE, 1999):

$$\delta_B(X) = \{x \mid B_x \cap X \neq \varnothing\} \tag{2}$$

Por esta definição, segundo Facon (1996), o elemento estruturante *Bx*, posicionado e centrado em cada pixel *x* de *X*, verifica uma possível interseção com a

vizinhança de *x*. Caso seja verdadeiro, o ponto central na imagem resultante será um pixel relevante (1), caso contrário será irrelevante.

A aplicação desse operador produz os seguintes efeitos: aumenta os objetos da imagem, preenche pequenos buracos e conecta objetos próximos (FACON, 1996).

3.3.3 Definição de Esqueletização

A definição de Esqueletização segundo Facon (1996) consiste em: Sejam um conjunto *X* e sua fronteira *δX*, um ponto de *X* pertence ao esqueleto *esq(X)* se a distância euclidiana de *x* até *δX* é atingida no mínimo até dois pontos de *X*.

$$x \in esq(X) \Rightarrow \exists y1, y2 \in \delta X, y1 \neq y2$$
$$d(x, \delta X) = d(x, y1) = d(x, y2) \quad (3)$$

Segundo este mesmo autor, o esqueleto pode ser igualmente definido a partir do conceito de discos máximos contidos em *X*. Para um ponto pertencente à imagem, existem vários discos centrados nesse ponto. Entretanto, existe um único disco de raio máximo contido na imagem e centrado nesse ponto. Qualquer disco que satisfaça essa condição é chamado de disco máximo. O conjunto dos centros de todos os discos máximos constitui o esqueleto da imagem. Um segundo teorema permite expressar o esqueleto em termos de erosão e de dilatação, dado pela expressão:

$$esq^{(\lambda B, \mu B)}(X) = \cup_{\lambda > 0} \cap_{\mu > 0} \left[ero^{\lambda B}(X) / abe^{\mu B}\left(ero^{\lambda B}(X)\right)\right] \quad (4)$$

3.3.4 Afinamento

De acordo com Facon (1996), uma operação de afinamento (*afi*) de um conjunto *X* consiste em retirar dele pontos que correspondem a uma dada configuração.

Afinar um conjunto *X* a partir da transformação *Hit–miss* consiste em:

$$afi \vee (X) = Xafi \vee = X / (\text{hom} \vee (X) =$$
$$= X / (ero^{Bi}(X) \cap ero^{Be}(X^{C})) \quad (5)$$

Sendo:

hom – transformação *Hit-miss*;
ero – operador erosão;
X^{C} – conjunto complementar de *X*;
Bi – elemento estruturante.

3.3.5 *Pruning*

Segundo Facon (1996) os processos de afinamento fazem aparecer muitas vezes nas imagens finais, as linhas genéricas procuradas para permitir uma futura pesquisa, mas também segmentos de tamanho reduzido, resultado do processo sobre extremidades da feição. Quando esta feição é relativamente espessa, pode-se afiná-la através do processo de abertura. Esta operação consiste em eliminar feições indesejáveis sem modificar o tamanho das outras entidades através de uma erosão e de uma subseqüente dilatação da área teste, a partir de um elemento estruturante adequado do tipo quadrado 3x3. Caso a feição seja fina, um processo de abertura não pode ser utilizado sob pena de destruição das feições de interesse. Neste caso, utiliza-se uma variante do afinamento, o *pruning*.

O objetivo desse processo, *pruning*, é retirar a partir de uma imagem já afinada, os pontos extremos que configuram feições que não são de interesse. (Facon, 1996).

Ao contrário do afinamento, o *pruning* não é um processo idempotente. A continuidade do processo pode resultar em uma redução ou em uma destruição parcial da imagem afinada. O *pruning* é obtido da composição de dois outros operadores morfológicos que são o afinamento e a detecção de pontos finais de bordas.

4 MATERIAIS E MÉTODO

4.1 Materiais

Os materiais utilizados foram:

- Imagem *Quickbird*;
- *Software* Matlab;
- Toolbox de Morfologia Matemática da *SDC Information Systems;*
- *Software* MicroStation;
- *Scanner*.

.

4.2 Método

O presente trabalho consistiu na proposição de uma rotina morfológica para a extração de feições do tipo Aeroporto em imagens orbitais, bem como a avaliação do resultado obtido através da sobreposição do mesmo a carta topográfica da área correspondente. Com a finalidade de testar a eficiência dos operadores morfológicos foi utilizada a "*toolbox*" de Morfologia Matemática acoplada ao *software* Matlab 7.0. Espera-se através dos resultados obtidos, que o uso dos operadores morfológicos em imagens seja encarado como um método aplicável em atividades de Cartografia de forma corrente. Para a realização deste trabalho, as etapas desenvolvidas estão descritas a seguir.

1. Proposição de uma rotina para a extração de feições do tipo Aeroporto.
2. *Scanerização*, vetorização e edição da carta topográfica correspondente à área;
3. Registro entre os resultados morfológicos e a base cartográfica;
4. Análise dos resultados obtidos;
5. Conclusões;

Primeiramente com a finalidade de propor uma rotina morfológica que melhor se adéqüe à extração de

feições do tipo Aeroporto, utilizou-se como área teste, uma sub-imagem obtida a partir do satélite *Quickbird* da cidade de Presidente Prudente – SP. Baseando-se nos resultados dos testes realizados com foi proposta a rotina morfológica. A seguir, a Figura 3 ilustra a rotina morfológica proposta para a extração de Aeroporto em imagens *Quickbird*.

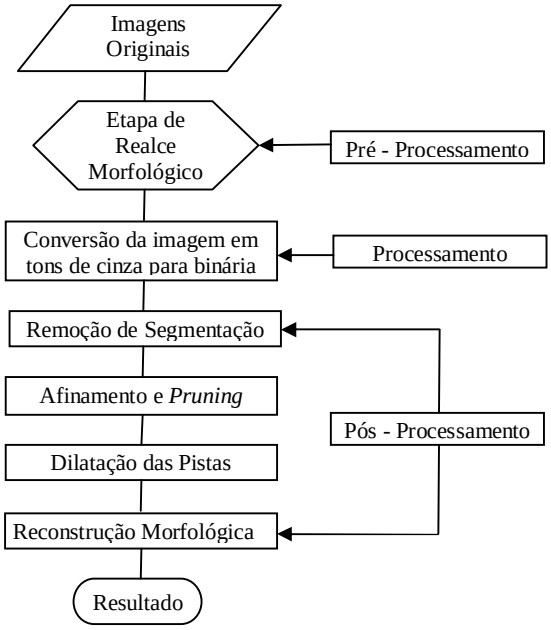

Figura 3 – Fluxograma da rotina morfológica proposta.

Primeiramente, com o intuito de realçar a feição de interesse a imagem original da área teste passou por uma etapa de pré-processamento morfológico. Nesta etapa foram aplicados os operadores *hbasin* e *hdome*. Considerando que alguns operadores morfológicos atuam apenas em imagens binárias, a imagem realçada foi binarizada através do operador *threshad*.

Neste trabalho dois termos foram considerados. Um é *segmentação* que são componentes que não fazem parte da feição de interesse e não estão conectados a este. O outro é *ruído* que são componentes conectados à feição de interesse.

Para a remoção da *segmentação* ao redor da feição de interesse foi aplicado o operador *areaopen*. E para a remoção dos *ruídos* presentes nas bordas das pistas a imagem foi afinada, viabilizando a aplicação do operador *pruning*. Os *ruídos* presentes no interior das pistas, ocasionados principalmente pela variação de níveis de cinza, foram removidos com a dilatação da imagem. Na seqüência, para que as pistas voltassem ao tamanho original a imagem foi erodida através do operador *ero*, obtendo as pistas com sua espessura original.

Em paralelo, a carta topográfica em formato analógico, da região do Aeroporto foi *scanerizada*, vetorizada e editada. O registro entre os resultados morfológicos e a carta digital foi feito utilizando pontos de controle da própria feição como pontos de interseção. Por fim, fez- se uma análise visual da sobreposição do resultado à carta topográfica, observando se a posição das feições detectadas corresponde à original.

Na área de Cartografia, esta informação é imprescindível quando se pensa em utilizar o resultado obtido em processos de atualização cartográfica. Após as etapas citadas, o projeto foi analisado e constatou-se a viabilidade do uso das ferramentas de Morfologia matemática, elaborando assim, o relatório final da pesquisa.

5 DESENVOLVIMENTO

5.1 Imagem Utilizada

Como já citado anteriormente a rotina morfológica foi proposta baseando-se em testes realizados em uma sub-imagem obtida a partir do satélite *Quickbird* contendo o Aeroporto da cidade de Presidente Prudente (Figura 4).

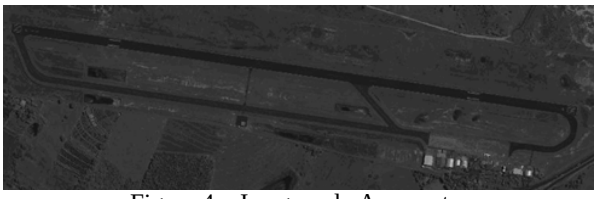

Figura 4 – Imagem do Aeroporto

A imagem foi definida de acordo com a disponibilidade no banco de dados da FCT - Unesp, bem como, a viabilidade de uso para a extração das feições pretendidas.

5.2 Extração da Feição Cartográfica

Na etapa de pré-processamento morfológico foram aplicados sobre as imagem original (Figura 4) os operadores *hbasin* e *hdome*. Estes operadores agiram com o intuito de realçar os valores de brilho e contraste, realçando as feições do restante da cena. Os limiares utilizados foram, respectivamente 2 e 50. O resultado obtido está ilustrado na Figuras 5.

Figura 5- Aeroporto após o pré-processamento

Após a etapa de pré-processamento, a imagem foi binarizada utilizando o operador *threshad*. Este operador converteu a imagem em tons de cinza para binária, usando dois valores de limiares, um de máximo e outro de mínimo, os quais foram definidos com base na análise do histograma. Os limiares utilizados foram 20 e 40. Os

pixels que estavam fora do intervalo definido assumiram o valor 0 (preto) e os que estavam contidos receberam valor 1 (branco). O resultado obtido está ilustrado na Figura 6.

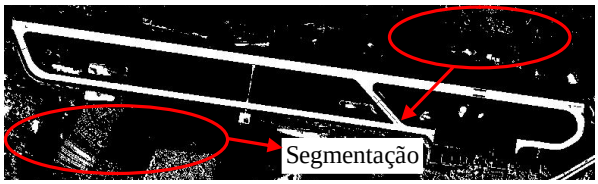

Figura 6 - Imagem do Aeroporto após a binarização

Nota-se na Figura 6, que regiões indicadas pelas setas apresentam *segmentação* em torno da feição de interesse. Para minimizar esta *segmentação* aplicou-se o operador *areaopen*. Este operador removeu os componentes com área menor que 80000. No entanto, para a eliminação dos *ruídos* presentes nas bordas da pista, a imagem foi *afinada* para viabilizar a aplicação do operador *pruning*. A eliminação dos *ruídos* presentes no interior da pista, ocasionados devido à variação de tons cinza, foi realizada utilizando o operador *dil*. Este operador dilatou a imagem com quatro iterações utilizando o elemento estruturante em forma de cruz. Em seguida, para que a pista do Aeroporto retornasse à espessura original utilizou-se o operador *ero*, o qual erodiu a imagem com duas iterações utilizando o elemento estruturante em forma de cruz. A Figura 7 apresenta a imagem após o processo de pós-processamento.

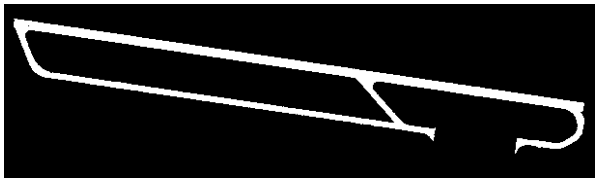

Figura 7- Aeroporto após o pós-processamento

Ao analisar a Figura 7 é possível observar que a pista do Aeroporto está com traços bem definidos e praticamente isentas de *segmentação* e *ruídos*.

Com intuito de verificar a qualidade do resultado obtido, primeiramente fez-se a sobreposição entre o resultado morfológico e sua correspondente imagem original. Esta análise foi importante para confirmar que não houve deslocamento entre a feição e se há diferença de espessura entre as pistas. A Figura 8 apresenta o resultado obtido com a sobreposição.

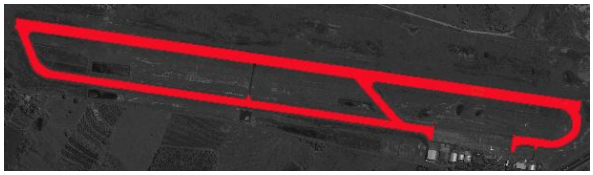

Figura 8 - Resultado da extração do Aeroporto sobreposta a imagem original

Ao analisar a Figura 8 observa-se que não houve variação na posição e na espessura da pista. Contudo, para uma melhor análise foi necessário sobrepor a feição detectada à carta topográfica da região. A seguir estão descritos os processos realizados.

5.4 Sobreposição do Resultado morfológico com a carta topográfica

A sobreposição entre o resultado morfológico e a carta topográfica foi realizada seguindo as seguintes etapas:

1. Digitalização da carta topográfica da região do Aeroporto;
2. Registro entre o resultado morfológico e a carta topográfica digitalizada;
3. Vetorização do resultado morfológico sobre a imagem georreferenciada;
4. Análise dos resultados obtidos.

A digitalização da carta de escala 1:10000 da região do Aeroporto foi realizada com resolução de 1200 dpi. Em seguida, a carta foi georreferenciada no *software* MicroStation utilizando as coordenadas UTM dos cantos das quadriculas como pontos de referência. O registro entre o resultado morfológico e a base cartográfica foi realizado utilizando como pontos de controle os pontos das próprias feições. Concluído o registro fez-se então a vetorização do resultado morfológico. A Figura 9 ilustra a imagem do resultado morfológico georreferenciada e vetorizada.

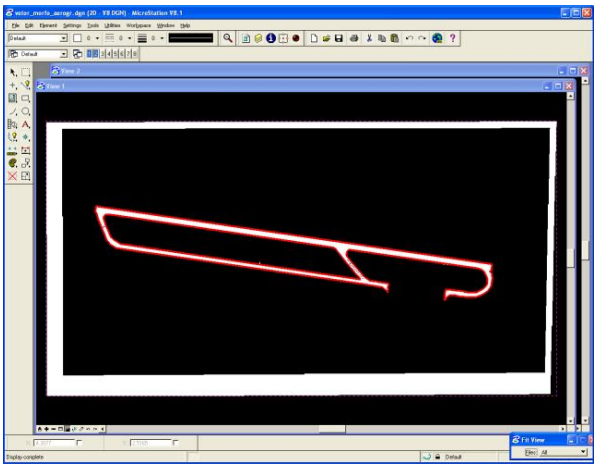

Figura 9 - Vetorização do resultado morfológico

Em seguida, os arquivos vetoriais dos resultados morfológicos foram sobrepostos a carta Topográfica digitalizada. A Figura 10 apresenta o vetor sobreposto a carta topográfica.

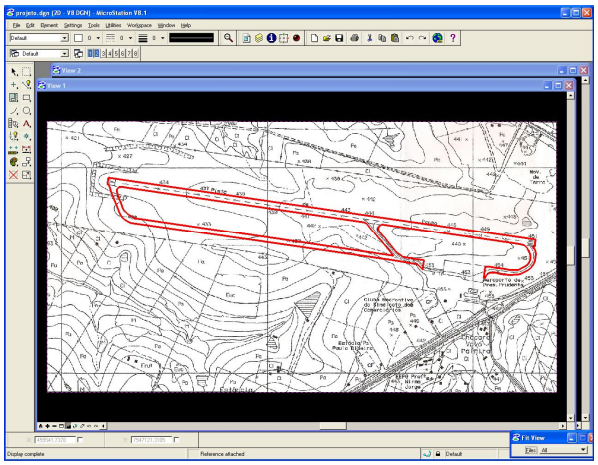

Figura 10 – Sobreposição do Vetor Aeroporto

Da análise da Figura 10 nota-se que não houve deslocamento no instante da extração das feições e que há uma boa correspondência entre os pontos homólogos da carta e da imagem. Isto comprova a eficiência da aplicação desta teoria na área de Cartografia.

6 CONCLUSÕES

As experiências realizadas com as ferramentas da Morfologia Matemática com intuito de reafirmar seu potencial na área de Cartografia, úteis no Processamento Digital de Imagens (PDI) foram bem sucedidas. Observa-se que o produto obtido, atende aos objetivos propostos.

A rotina desenvolvida apresentou boa combinação entre os operadores morfológicos e elementos estruturantes, o que permitiu que a detecção do Aeroporto fosse realizada com êxito. Deve-se ressaltar que os limiares adotados basearam-se na análise dos histogramas da de cada imagem envolvida. A escolha adequada destes limiares é uma das chaves para que os resultados obtidos sejam os melhores possíveis.

Ao analisar o resultado obtido com a sobreposição nota-se que não houve deslocamento posicional entre as feições. Esta característica é imprescindível quando se pensa em atualização cartográfica.

O propósito inicial deste trabalho era propor uma rotina para extração de feições do tipo Aeroporto em imagens *Quickbird*. Todavia ainda faz-se necessário testar a eficiência da rotina proposta em outras imagens contendo feições do tipo Aeroportos.

A rotina proposta para a extração de Aeroportos em imagens *Quickbird* contém os seguintes processamentos:

1. Realce Morfológico da feição de interesse;
2. Binarização;
3. Remoção de Segmentação e Ruídos;
4. *Afinamento* e *Pruning*;
5. Dilatação;
6. Reconstrução Morfológica;
7. Resultado final.

Conclui-se que a pesquisa atendeu aos objetivos iniciais de detectar feições do tipo Aeroporto em imagens *Quickbird* por meio de operadores morfológicos. Desta forma, verifica-se que a utilização da ferramenta morfológica na área de Cartografia como meio alternativo para a extração de feições cartográficas de interesse é totalmente viável.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos imensamente à FAPESP pelo apoio financeiro, através da bolsa de iniciação científica, sem o qual o andamento desta pesquisa seria prejudicado.

REFERÊNCIAS

FACON, J. **Morfologia Matemática:** Teorias e Exemplos. Editora Universitária Champagnat da Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Curitiba. 1996. xii. 320p: il.

HARLEY, J. B. **A nova história da Cartografia.** O Correio da UNESP, Rio de Janeiro, v. 19, n. 08, p. 3-9, ago. 1991.

SANTOS, F. P., FRIGATO, R., SILVA, E. A. Aplicação de técnicas de Morfologia Matemática na detecção semi-automática de rodovias em imagens de alta resolução In: II Simpósio Brasileiro de Geomática e V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, 2007, Presidente Prudente. **Anais do II Sinpósio Bresileiro de Geomética e V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas**, 2007.

SANTOS, F. P., FRIGATO, R., SILVA, E. A. Morfologia Matemática: Alicações em Cartografia In: XXIII Congresso Brasileiro de Cartografia - I Congresso Brasileiro de Geoprocessamento, 2007, Rio de janeiro. **Anais do XXIII Congresso Brasileiro de Cartografia - I Congresso Brasileiro de Geoprocessamento**. Rio de Janeiro - RJ: 2007.

SDC MORFHOLOGY "TOOLBOX" FOR MATLAB 5, SDC "Information Systems", June 28, 1999

SERRA, J. **Image analysis and mathematical morphology**. London: Academic Press, 1982. 610p.

SILVA, E. A. Extração de feições cartográficas de imagens multiespectrais fundidas. São Paulo:USP, 1995. 114p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica da USP, 1995.

SILVA, E. A., SANTOS, F. P., LEONARDI, F., GONÇALVES, T. R. Aplicação de técnicas de morfologia matemática e PDI na detecção semi-automática de feições cartográficas em imagens digitais In: VII Congresso de Cadastro Técnico Multifinalitário e Gestão Territorial, 2006, Florianópolis. **Anais do VII**

Congresso de Cadastro Técnico Multifinalitário e Gestão Territorial. Florianópolis: Editora da Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

SOILLE, P. **Morphological image analysis:** principles and applications. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1999

PINHEIRO, E. da S. **Avaliação de imagens QUICKBIRD na análise Geográfica de um setor da mata atlântica do rio Grande do sul.** 2003. 183 f. Dissertação (Mestrado do Curso da Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, São José dos Campos.

EMBRAPA. Satélites de Monitoramento. Disponível em: <http://www.sat.cnpm.embrapa.br/satelite/quickbird.html >. Acesso em: 15/02/2007.

EURIMAGE. **Eurimage Products and Services: QUICKBIRD**. Disponível em: <http:www.eurimage.com/Products/qb.shtml> Acesso em: 15/02/2007.