

SEGMENTAÇÃO MORFOLÓGICA DE IMAGENS UTILIZANDO O GRADIENTE MORFOLÓGICO MULTI-ESCALA

**Nilcilene das Graças Medeiros
Erivaldo Antonio da Silva
José Roberto Nogueira**

**Universidade Estadual Paulista
Faculdade de Ciências e Tecnologia**
R: Roberto Simonsen 305, CEP: 19060-900, Presidente
email: medeiros@prudente.unesp.br

RESUMO

A segmentação de imagens é um processo muito utilizado e relevante em diversas áreas, inclusive para a área de cartografia. O processo de extração de feições não é uma tarefa fácil e necessita do uso de técnicas mais complexas e de dados com boa qualidade para o sucesso dos resultados. Este trabalho teve por objetivo utilizar a Morfologia Matemática, em conjunto com imagens de Sensoriamento Remoto, na realização da segmentação de imagens, utilizando o operador gradiente morfológico multi-escala. Na etapa de segmentação, foram usados alguns operadores de pré-processamento contidos na *toolbox* de morfologia matemática, e a implementação da abordagem do gradiente multi-escala usada para a geração da imagem de marcadores. A imagem original utilizada foi a imagem orbital do satélite Landsat, dos sensores TM. O *software* MATLAB (versão 5.4) foi utilizado na implementação das rotinas. Com a realização dos testes foi verificado o desempenho dos operadores implementados e realizada a análise dos resultados. A extração de feições lineares podem contribuir em aplicações cartográficas, como a identificação de feições ou a atualização de produtos cartográficos.

Palavras chaves: Morfologia Matemática, Extração de feições, Sensoriamento Remoto.

ABSTRACT

Image segmentation is a process often used in several different areas including Cartography. Feature extraction is a very troublesome task, and successful results require more complex techniques and good quality data. The aim of this work is to study Digital Image Processing techniques, with emphasis in Mathematical Morphology, to use Remote Sensing imagery, making image segmentation, using the operator morphological gradient multi-scales. In the segmentation process were used pre-processing operators of Mathematical Morphology toolbox, and the implementation of the gradient multi-scales was used to create of the marker image. Orbital image of the Landsat satellite, sensor TM was used. Software MATLAB (version 5.4) was used in the implementation of the routines. With the accomplishment of the tests the performance of the implemented operators was verified and carried through the analysis of the results. The extration of linear feições can contribute in cartographic applications, as the feature identification or products cartographic updating.

Key-words: Mathematical Morfology, Features exctraton, Remote Sensing.

1. INTRODUÇÃO

A segmentação de imagens necessita de procedimentos eficazes para a extração de feições, os quais são de grande interesse na automação de processos, podendo ser utilizados em diversas áreas,

como Reconhecimento Automático, Visão de Máquina, Controle de Qualidade, etc. A Segmentação é uma etapa fundamental no processo de extração de feições, pois dela depende o eventual sucesso ou fracasso do mesmo.

Para a área de Cartografia a extração de feições pode ser usada no processo de identificação ou na atualização de produtos cartográficos.

O uso integrado de tecnologias pode reunir estruturas e ferramentas essenciais na determinação de processos de segmentação de imagens e extração de feições.

Neste trabalho esse uso se dá com a integração de dados de Sensoriamento Remoto e técnicas de Processamento Digital de Imagens (PDI), em especial a ferramenta Morfologia Matemática, que tem como princípio descrever quantitativamente as estruturas geométricas e funciona como uma técnica na concepção de algoritmos na área de PDI, dispondo de ferramentas básicas, como detectores de bordas e filtros morfológicos.

O processo de extração de feições utilizado para este trabalho é realizado com o uso de operadores morfológicos voltados à segmentação de imagens. A principal ferramenta de segmentação morfológica é baseada na transformação que define a linha divisora de águas (LDA) ou *watershed* de uma função (Meyer et al.1993; Soille et al., 1991).

Dentre as técnicas de PDI, a extração de feições pode ser muito útil no que diz respeito à interpretação e análise de dados. Nesse sentido, o operador gradiente é comumente utilizado para detecção de contornos, e pode contribuir na etapa da segmentação de imagens.

De forma geral, a resposta do gradiente é a informação diferencial dos dados. Os gradientes de imagens discretas podem ser calculados a partir dos operadores lineares de convolução, tais como operadores de Sobel, Prewitt ou Kirsch, entre outros.

Outra abordagem do gradiente é determinada com a utilização da Morfologia Matemática. Os operadores básicos da morfologia são a erosão e dilatação, e quando aplicados isoladamente, são transformações que nem sempre evidenciam características das imagens. De qualquer forma, permitem construir algumas funções muito interessantes, como por exemplo, o gradiente morfológico.

O gradiente morfológico gera bons resultados e é bastante utilizado como passo intermediário para subseqüentes aplicações, como no caso da segmentação de imagens. Entretanto, em alguns casos o gradiente pode produzir resultados insatisfatórios, principalmente quando os dados de entrada não possuem um bom contraste entre os alvos.

Quando o gradiente utiliza elemento estruturante elementar com dimensão 3x3, ele captura um grande número de informações, no entanto, quando elementos estruturantes maiores são usados, os mesmos geram resultados com menos informações, visto que não capturam feições com tamanhos menores que a dimensão da máscara (elemento estruturante). O uso do gradiente com esses elementos, geram menos informações, porém, dois problemas ocorrem com o uso dos mesmos. O primeiro deles é a perda de

localização das bordas, visto que eles geram bordas mais espessas; o segundo problema que ocorre é a fusão de bordas onde as mesmas apresentam-se próximas geometricamente. Com o intuito de tratar destes problemas, uma abordagem multi-escala do gradiente morfológico foi proposta em Soille (1999) para a detecção de contornos.

No Brasil existe uma grande deficiência cartográfica, causada principalmente pela falta de uma política cartográfica nacional, e em razão desse fato, os produtos cartográficos disponíveis são desatualizados. Tal desatualização dificulta o uso de produtos cartográficos, uma vez que para se ter o melhor proveito, esses produtos devem conter o maior número de informações possíveis e atuais da área que abrangem.

Neste sentido, todos os estudos voltados à contribuição da minimização dessa deficiência são fundamentais.

As imagens de Sensoriamento Remoto podem ser consideradas como fonte de dados no auxílio da atualização juntamente com bases cartográficas convencionais e técnicas de Processamento Digital de Imagens - PDI, como um meio alternativo e de baixo custo, se comparado aos processos convencionais de mapeamento e/ou remapeamento. Assim, a etapa de extração de feições é fundamental na tarefa de atualização.

2. MORFOLOGIA MATEMÁTICA

Segundo Banon et al. (1994), a base da Morfologia Matemática está no estudo de decomposições de operadores entre reticulados completos em termos de quatro classes de operadores elementares conhecidos por erosão, dilatação, anti-erosão e anti-dilatação. Muitos resultados já foram obtidos e validaram a teoria da Morfologia Matemática. Tais resultados caracterizam propriedades importantes de várias classes de operadores entre reticulados completos, como filtros morfológicos e esqueletos. Do ponto de vista prático o uso de operadores morfológicos auxilia à área de processamento digital de imagens, como por exemplo em restauração e segmentação de imagens.

Toda a teoria se fundamenta no uso de elementos estruturantes, os quais são caracterizados como conjuntos definidos e conhecidos (forma e tamanho), que são comparados ao conjunto desconhecido da imagem. Alguns exemplos de elementos estruturantes (3x3), com origem no centro do elemento, são apresentados nas figuras 1a, 1b e 1c.

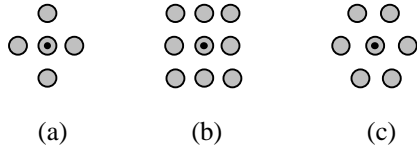


Fig. 1 - Elemento estruturante - (a) cruz, (b) quadrado, (c) hexagonal.

A morfologia matemática é constituída a partir de dois operadores básicos, a erosão e a dilatação.

Definição 1. De acordo com Soille (1999), a erosão de f por um elemento estruturante B é definida como:

$$[e_B(f)](x) = \min_{b \in B} \{f(x+b) - B(b)\} \quad (1)$$

O resultado visual da imagem erodida em níveis de cinza se apresenta com uma redução dos padrões claros e o alargamento das regiões escuras. Esses efeitos podem ser observados nas figuras 2a e 2b, que ilustram respectivamente a imagem original e a aplicação do operador erosão em níveis de cinza com elemento estruturante de tamanho 3x3, máscara cheia.

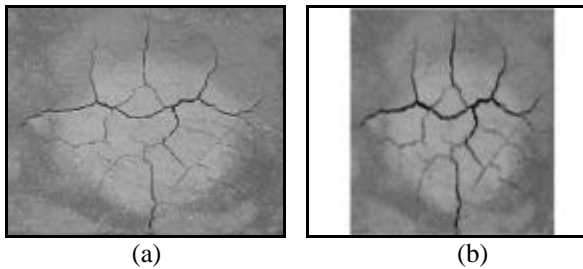


Fig. 2 – Imagem original (a), imagem resultante da erosão em níveis de cinza (b).

Definição 2. De acordo com Soille (1999), a dilatação de uma imagem em tons de cinza por um elemento estruturante é definida como:

$$[d_B(f)](x) = \max_{b \in B} f(x+b) \quad (2)$$

O resultado visual da imagem dilatada em níveis de cinza apresenta-se com diminuições dos padrões escuros e alargamento nas regiões claras. As figuras 3a e 3b ilustram a imagem original e a aplicação do operador dilatação em níveis de cinza com elemento estruturante de tamanho 3x3, máscara cheia, respectivamente.

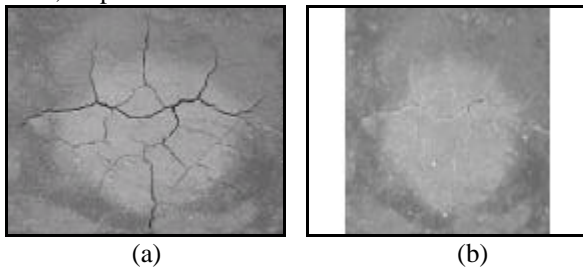


Fig. 3 – Imagem original (a), imagem resultante da dilatação em níveis de cinza (b).

Como já mencionado, os operadores dilatação e erosão morfológicos, aplicados isoladamente, são transformações que nem sempre evidenciam características das imagens. De qualquer forma, permitem construir algumas funções muito interessantes, como por exemplo, o gradiente morfológico, fechamento, abertura, segmentação, etc.

2.1 Gradiente Morfológico

A partir dos operadores básicos da Morfologia Matemática (erosão e dilatação), Soille (1999), define o Gradiente Morfológico por dilatação e erosão como a diferença aritmética entre a dilatação e erosão de uma imagem f por um elemento estruturante B :

$$r(f) = d_B(f) - e_B(f) \quad (3)$$

onde: r representa o gradiente por dilatação e erosão;

d_B é a dilatação pelo elemento estruturante B ;

e_B é a erosão pelo elemento estruturante B .

O gradiente morfológico é invariante à operação de complementação, sendo, portanto uma transformação auto-complementar.

2.2 Abertura e Fechamento Morfológicos

A abertura γ de uma imagem f por um elemento estruturante B , é definida pela operação de erosão de f por B , seguido pela operação de dilatação com elemento estruturante transposto \tilde{B} , a qual é determinada pela expressão 4:

$$g_B(f) = d_{\tilde{B}}[e_B(f)], \quad (4)$$

O fechamento ϕ de uma imagem f por um elemento estruturante B , é definido pela operação de dilatação de f por B , seguido pela operação de erosão com elemento estruturante transposto \tilde{B} , o qual é determinado pela expressão 5:

$$f_B(f) = e_{\tilde{B}}[d_B(f)], \quad (5)$$

2.3 Transformação Tophat

Os filtros clássicos, como gradientes, limiarização, etc., de forma geral, tem dificuldades para recuperar a informação relevante e ao mesmo tempo eliminar a heterogeneidade e o ruído (Facon, 1996).

Uma maneira de considerar a detecção de bordas, consiste em usar uma combinação entre uma

imagem original e a imagem correspondente aberta (operação de *abertura*), ou usar a imagem fechada (operação de *fechamento*) e a imagem original. Dessas combinações são elaborados os top-hats.

O top-hat por abertura segundo Soille (1999), de uma imagem f é definido como a diferença aritmética entre a imagem original f e a imagem aberta γ , e é determinado pela expressão 6.

$$WTH(f) = f - g(f), \quad (6)$$

Como a abertura é um processo anti-extensivo, o seu resultado é menor do que o sinal original, portanto, a transformação WTH é sempre positiva.

De acordo com Soille (1999), o top-hat por fechamento de uma imagem f é definido pela diferença aritmética entre o fechamento ϕ da imagem original e a imagem original f :

$$BTH(f) = \phi(f) - f, \quad (7)$$

Como o fechamento é um processo extensivo, o resultado da transformação BTH é sempre positivo.

2.4 Gradiente Multi-Escala Morfológico

De acordo com Soille (1999), se o tamanho do elemento estruturante for maior que 1 (máscara 3x3), os gradientes morfológicos são referenciados como gradientes espessos, os quais podem ser expressos pela equação 8:

$$\mathbf{r}_{nB} = \mathbf{d}_{nB} - \mathbf{e}_{nB} \quad (8)$$

onde, δ_{nB} representa o operador dilatação, com elemento estruturante de tamanho n .

ϵ_{nB} representa o operador erosão, com elemento estruturante de tamanho n .

Os gradientes espessos são recomendados quando as transições entre objetos são suaves. Entretanto, esses gradientes determinam bordas grossas, e perdem assim a localização original dessas bordas.

Além disso, quando a distância que separa duas bordas de uma região é menor do que a largura do elemento estruturante, as bordas resultantes se fundem numa só. Ambos problemas podem ser evitados com a utilização do gradiente multi-escala morfológico.

O espessamento de bordas obtidas a partir de um gradiente espesso de tamanho n , pode ser reduzido por uma erosão com elemento de tamanho " $n - 1$ ".

Segundo Soille (1999), quando gradientes espessos são originados de duas bordas distintas unidas, a espessura resultante é maior que a largura do elemento estruturante considerado. Essas regiões podem ser removidas pela aplicação do operador tophat por abertura de tamanho n o qual é, então,

seguido por uma erosão de tamanho $n - 1$ para obter uma borda afinada na escala n .

A magnitude da borda resultante é menor do que a magnitude correspondente ao gradiente morfológico do tamanho da borda. A solução consiste em ajustar pixels diferentes de zero do tophat erodido para seus valores originais na imagem do gradiente espesso. Isso define o gradiente morfológico para escala n , o qual denota-se por \mathbf{r}_{nB}^* (Soille, 1999), dado pela expressão 9:

$$\mathbf{r}_{nB}^* = \mathbf{r}_{nB} * T_{[1, t_{max}]} \mathbf{e}_{(n-1)B} WTH_{nB} \mathbf{r}_{nB} \quad (9)$$

onde $T_{[1, t_{max}]}$ é o limiar de 1 ao valor máximo (t_{max})

O gradiente morfológico para uma dada escala é mostrado na figura 4.

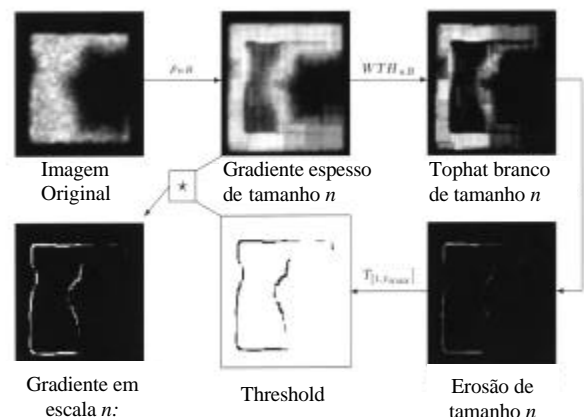


Fig. 4 - Gradiente multi-escala morfológico parametrizado: etapas sucessivas para obter o gradiente na escala n .

Fonte: Soille (1999).

O mapa de bordas para todas as escalas é obtido calculando o máximo entre \mathbf{r}_{nB}^* para todos n , o qual é expresso pela equação 10.

$$\mathbf{r}^* = \bigvee_{nB} \mathbf{r}_{nB}^* \quad (10)$$

Considera-se ρ^* como o gradiente morfológico multi-escala não paramétrico. A figura 5, ilustra o exemplo do gradiente multi-escala.

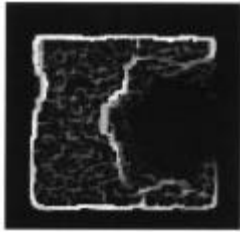


Fig. 5 - Gradiente multi-escala morfológico, obtido pelo cálculo do máximo de todos os gradientes morfológicos multi-escala r^*_{nB} .

O gradiente multi-escala permite realçar as bordas existentes em cada escala, comparando bordas que estão presentes apenas em uma determinada escala, ou seja, essa ferramenta evidencia as bordas contidas na imagem original. Assim, a informação de interesse é melhor evidenciada.

2.5 Segmentação Morfológica

Geralmente o primeiro passo em análise de imagens é a segmentação da imagem. Depois que a imagem é segmentada, os agrupamentos resultantes de pixels segmentados são usualmente representados e descritos em um formato apropriado para o processamento subsequente.

A segmentação subdivide uma imagem em suas partes ou objetos constituintes. O nível dessa subdivisão deve ser realizado dependendo do objetivo que se quer alcançar. Ou seja, a segmentação deve parar quando os objetos de interesse forem isolados (Gonzalez e Woods, 2000).

Os métodos existentes para segmentar uma imagem utilizam basicamente duas idéias. Uma delas é achar os contornos dos objetos na imagem. A outra, é agrupar pontos que tenham características semelhantes até que o objeto de interesse seja reconstruído. O problema de identificação de contornos pode ser resolvido utilizando o operador *watershed*, que é a principal ferramenta de segmentação morfológica, também conhecida como divisor de águas.

Uma idéia intuitiva da noção *watershed* pode ser constituída considerando uma imagem em níveis de cinza representada por uma superfície topográfica. Os níveis, neste caso, indicam a altitude do ponto no relevo. Suponha, que os mínimos em cada uma das bacias (mínimos regionais) constituindo a superfície sejam perfurados e que, a imersão das bacias ocorra com velocidade vertical constante. A água que penetra regularmente pelos orifícios preenche a superfície topográfica. Durante o preenchimento, dois ou mais fluxos vindos de mínimos diferentes podem se unir. Os diques construídos na superfície para evitar que tal junção de águas ocorra constituem as linhas *watersheds* (Unicamp, 2002).

De acordo com Préteux (1993) o *watershed* associado ao conjunto dos mínimos regionais $M = \bigcup_{i \in \mathfrak{R}} m_i$ de uma imagem S pode ser definido como o

complemento da união de todas as bacias de retenção $C_f(m_i)$, e é expresso pela seguinte expressão:

$$WL(f) = [\bigcup_{i \in \mathfrak{R}} C_f(m_i)]^c \quad (11)$$

onde, m_i : mínimo regional;
 $C_f(m_i)$: bacia de retenção.

3. METODOLOGIA

Para realizar a implementação do operador gradiente multi-escala morfológico foram efetuadas inicialmente as implementações dos operadores básicos dilatação e erosão.

A imagem utilizada nos experimentos foi uma porção da imagem orbital correspondente à região do Aeroporto Maestro Antônio Carlos Jobim (Galeão) no Rio de Janeiro, do satélite Landsat/TM, banda 3, datada de 01/08/87, órbita ponto 271/076.

Além dos operadores erosão e dilatação, os operadores gradiente por dilatação e erosão, tophat por abertura e threshold foram utilizados na elaboração do gradiente multi-escala, sendo também implementados. As funções correspondentes a esses operadores foram elaboradas na linguagem do ambiente MATLAB. Os elementos estruturantes criados foram: cruz, máscara cheia, diagonal +45°, diagonal -45°, triangular inferior e triangular superior. A dimensão das máscaras foi estabelecida em ordem ímpar, como 3x3, 5x5 e 7x7, e pode ser selecionada pelo usuário no tamanho desejado.

Os operadores gradiente clássico, tophat por abertura e threshold, são utilizados para gerar a imagem resultante de cada escala processada. O conceito de escala neste caso, está relacionado com a dimensão do elemento estruturante utilizado durante o processo.

O processo de operação do gradiente multi-escala para cada escala específica é realizado primeiramente com a aplicação do gradiente clássico na imagem original "bruta". O elemento estruturante é definido pela forma e pelo tamanho, sendo o último estabelecido pela dimensão da escala processada. O segundo passo é realizar a aplicação do operador tophat por abertura na imagem gerada pelo gradiente, com o mesmo elemento estruturante usado no passo anterior. Em seguida, é realizada a aplicação de uma erosão na imagem gerada a partir do tophat por abertura, com o elemento estruturante de mesma forma, mas com a dimensão menor (sempre com a diferença de uma dimensão, ou seja, $n-1$), para que o efeito da erosão não seja tão efetivo, podendo ocasionar até mesmo no desaparecimento de algumas feições. Em seguida um limiar é aplicado à imagem erodida, e então é realizada a multiplicação da imagem limiarizada com o gradiente inicial, para atribuir aos valores de brilho das bordas erodidas, a mesma tonalidade inicial do gradiente.

O último passo é realizar a operação de máximo entre as imagens de cada escala gerada, ou seja, o valor máximo contido em cada escala. A

seqüência de operações foi determinada a partir de funções criadas com a linguagem MATLAB.

Para realização dos testes com o operador gradiente multi-escala implementado, foi utilizada a imagem orbital, que contém feições lineares de interesse, como pista de aeroportos, rodovias, etc.

A função de segmentação *watershed* utilizada neste trabalho tem como parâmetros de aplicação, a imagem original, a imagem de marcadores e o elemento estruturante escolhido. As imagens de marcadores foram estabelecidas a partir da abordagem do gradiente morfológico multi-escala.

Assim, a *toolbox* de morfologia matemática acoplada ao MATLAB foi utilizada inicialmente para realizar a etapa de pré-processamento e após as implementações, para realizar a aplicação da segmentação *watershed*.

4. RESULTADOS

Os primeiros testes realizados neste trabalho foram feitos a partir dos operadores básicos, erosão e dilatação implementados, e utilizaram uma parte da imagem do aeroporto Galeão. Testes com os operadores básicos existentes na *toolbox* de morfologia também foram realizados, com o intuito de verificar as diferenças ocorridas entre os resultados da implementação e os resultados dos operadores da *toolbox*. A implementação dos operadores erosão e dilatação foi realizada no sentido de dar subsídios à implementação do gradiente morfológico multi-escala.

A figura 6 ilustra uma porção da imagem correspondente a região do aeroporto Galeão utilizada como imagem de entrada (imagem original). As figuras 7 e 8, apresentam, respectivamente, o resultado do teste feito com o operador erosão implementado, e o resultado da aplicação com o operador erosão da *toolbox*. A figura 9 ilustra o ambiente MATLAB com a aplicação das rotinas relacionadas às operações de erosão citadas anteriormente e a imagem diferença entre as imagens resultantes. A imagem diferença é apresentada tanto visualmente como numericamente. O elemento estruturante utilizado foi de dimensão 3x3 máscara cheia.

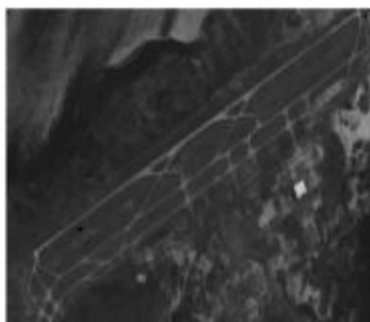


Fig. 6 - Imagem original correspondente a uma parte do aeroporto Galeão.



Fig.7 - Imagem resultante da erosão implementada.

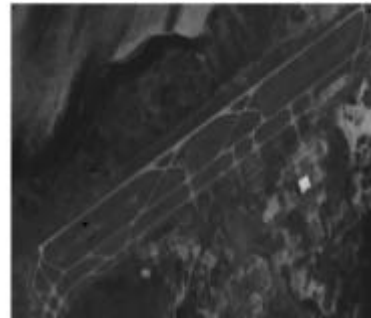


Fig.8 - Imagem resultante da erosão da *toolbox*.

```
>> b = mmero(a,mmsebox);
>> c = ero(a,'mcheia', 3);
>> d = mmsubm(c,d);
>> mmshow(d);
```

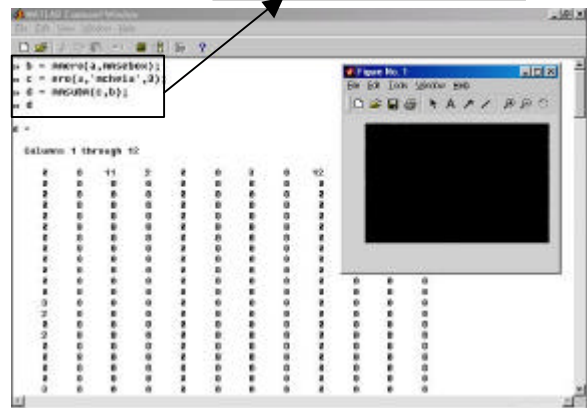


Fig. 9 - Tela do ambiente MATLAB com a função de erosão resultante da implementação, a função da erosão resultante da *toolbox* e a operação de diferença entre esses resultados.

Percebe-se a partir das figuras 7 e 8, que os resultados das imagens apresentam-se iguais visualmente. Tal fato pode ser observado na cena com relação ao tamanho e a forma dos objetos, e de modo geral pelos valores de brilho da cena. No entanto, esse fato não pode ser garantido apenas através de uma análise visual, sendo necessário utilizar outros critérios de análise. A forma adotada para realizar tal comparação foi através de dados numéricos, e os resultados estão apresentados na figura 9.

A figura 9 ilustra o ambiente MATLAB com as linhas de comando da aplicação da função de erosão morfológica da *toolbox*, com dois parâmetros de

entrada, a imagem original (“a”), e o elemento estruturante máscara cheia 3x3, denominado por *mmsebox*, tendo como imagem resultante final a imagem erodida “b”, a aplicação da operação de erosão implementada, com três parâmetros de entrada, a imagem original “a”, a forma do elemento estruturante máscara cheia “mcheia” e seu tamanho especificado “3”, que representa a máscara de tamanho 3x3, resultando na imagem final erodida “c”. Na terceira linha de comando é realizada a operação de subtração das imagens resultantes “b” e “c”, representada pela imagem diferença “d”. O comando *mmshow(d)* foi utilizado para mostrar a imagem “d”, a qual aparece ilustrada no lado direito da imagem. Por fim foi digitada a letra “d” correspondente à imagem diferença, para mostrar na tela sua representação numérica.

Observando a imagem “d”, a mesma parece ser nula, pois apresenta níveis de cinza escuros, apenas nas bordas da imagem existem alguns pixels com valores de brilho diferentes de zero. Como no caso das figuras 7 e 8, esse fato não pode ser garantido apenas através da análise visual, visto que pode existir informações com níveis de cinza muito baixos mas diferentes de zero, não sendo distinguíveis pelo olho humano. Porém com os dados numéricos da imagem diferença “d” ilustrados na figura 9 com valores zeros, pode-se afirmar que a imagem “d” é realmente nula, exceto nas bordas da imagem. Logo, as imagens resultantes “b” e “c” são iguais, com exceção dos limites.

A diferença observada nos limites da imagem “d” pode estar relacionada ao algoritmo de reconstrução de contorno das imagens, que neste trabalho utilizou o critério de repetição dos valores de brilho das últimas linhas e colunas da cena. Como não se sabe qual o critério foi usado na implementação das rotinas contidas na *toolbox*, acredita-se que esse pode ser o motivo na diferença encontrada.

Contudo, além das diferenças encontradas nas bordas da imagem, os resultados mostraram que o operador implementado forneceu resultados satisfatórios no que concerne ao seu desempenho de implementação com relação ao operador da *toolbox*.

De forma análoga, outros testes foram realizados com relação ao operador dilatação e gradiente por dilatação e erosão, com elementos de formas e tamanhos diferentes, e como no caso da erosão os resultados apresentaram-se iguais aos operadores correspondentes da *toolbox*.

Os testes utilizando a função do operador gradiente multi-escala morfológico, foram realizados a partir da imagem orbital adotada e foram estabelecidos com o intuito de analisar e verificar o potencial desse operador, bem como compará-lo a partir dos resultados obtidos com o gradiente morfológico por dilatação e erosão.

O primeiro teste realizado consistiu em aplicar a função do operador gradiente morfológico adotado, utilizando como imagem de entrada uma porção da

imagem do Aeroporto Antônio Carlos Jobim (Galeão). Em seguida, a função do operador gradiente multi-escala foi aplicada, utilizando a mesma imagem de entrada, com 10 escalas e limiar 5. Em ambos os testes, o elemento estruturante utilizado foi o 3x3 em cruz.

O resultado da aplicação do gradiente convencional e a aplicação com o operador implementado apresentam-se ilustrados nas figuras 10 e 11.

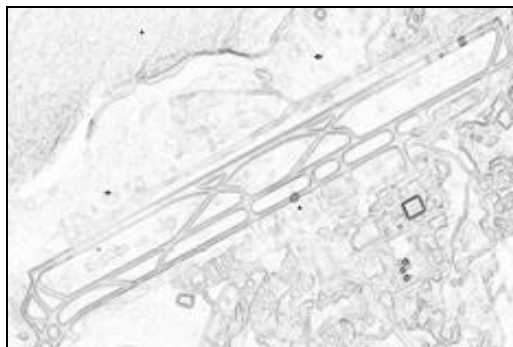


Fig. 10- Imagem resultante da aplicação do operador gradiente convencional.

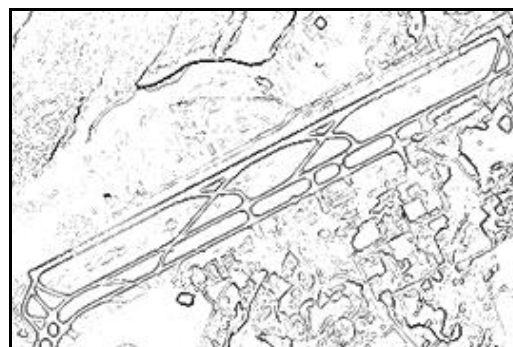


Fig. 11 - Imagem resultante da aplicação do operador gradiente multi-escala implementado, com 10 escalas e limiar 5.

Percebe-se a partir da figura 11, que o realce das feições melhorou se comparado com o resultado originado pelo gradiente (figura 10), principalmente nas feições de interesse, correspondentes às pistas do aeroporto. Esse resultado mostra que apesar das feições ficarem mais nítidas, muitas informações que não são de interesse também são realçadas, prejudicando os resultados no processo de segmentação posterior. Porém alguns tratamentos podem ser realizados nesta imagem com o intuito de minimizar a presença de informações ruidosas e manter as feições de interesse isoladas na maior parte da imagem.

Os parâmetros de entrada na função do operador gradiente multi-escala podem produzir bons resultados se escolhidos adequadamente, ou seja, o uso das escalas e o valor do limiar podem ser escolhidos de modo a melhorar os resultados, como no caso da figura 11, que apresenta um resultado satisfatório.

Em sequência, foi realizado o teste utilizando o resultado da figura 11 na função de segmentação *watershed*, como imagem de marcadores.

O teste correspondente a operação da função *watershed* utilizou a imagem do gradiente multi-escala com 10 escalas e limiar 2 e a imagem orbital do aeroporto Galeão tratadas, sendo realizado em duas etapas. Na primeira etapa a função *watershed* foi aplicada com os seguintes parâmetros: imagem original tratada, imagem gradiente multi-escala tratada e elemento estruturante *line* horizontal 3x3. Na segunda etapa os parâmetros utilizados foram: imagem original tratada, imagem gradiente multi-escala tratada e elemento estruturante *line* vertical 3x3. Com as duas aplicações realizadas foi feita a união desses resultados.

O tratamento nas imagens foi realizado através dos operadores de pré-processamento morfológicos contidos na *toolbox* de morfologia matemática, como abertura, fechamento, remoção de objetos com tamanho especificado, etc.

Um teste com a imagem resultante do gradiente convencional foi feito de forma análoga ao teste anterior realizado com o operador gradiente multi-escala para comparar os resultados.

Os elementos estruturantes *line* horizontal e vertical apresentam-se ilustrados nas figuras 12a e 12b. As operações da função *watershed* e a operação de união, sendo que o parâmetro “a” representa a imagem original tratada e o parâmetro “b” a imagem marcadora resultante da técnica do gradiente multi-escala, apresentam-se na figura 13. O resultado dessa união é ilustrado na figura 14, e a figura 15, ilustra o resultado do teste feito com o gradiente convencional utilizando os mesmos operadores de tratamento nas imagens de entrada e na marcadora.

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

(a)

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

(b)

```
f = mmwatershed(a,b,line_horizontal,'lines')
f1 = mmwatershed(a,b,line_vertical,'lines');
f2 = mmunion(f,f1);
```

Fig. 12 - Elemento estruturante *line* horizontal (a) e elemento estruturante *line* vertical (b).

Fig. 13 - Operações correspondente à função *watershed*, e a operação de união dos resultados.

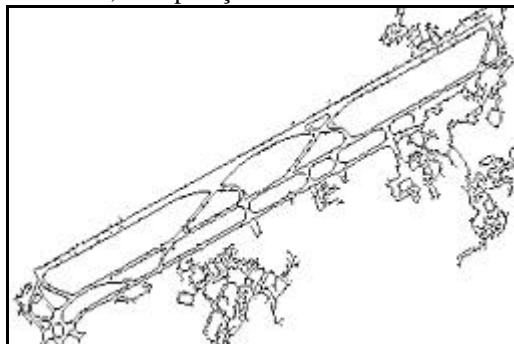


Fig. 14 - Imagem resultante da aplicação do operador *watershed* com imagem marcadora gerada pelo gradiente multi-escala com 10 escalas e limiar 2.



Fig. 15 – Imagem resultante da aplicação do operador *watershed* com imagem marcadora gerado pelo gradiente convencional morfológico (b).

Como pode ser verificado a partir da figura 14 o resultado é interessante, visto que apresenta feições nítidas de interesse da cena (pistas do aeroporto) e a imagem como um todo pode ser considerada pouco segmentada.

De modo geral, este teste apresenta um bom resultado comparado ao resultado da figura 15, que apresenta excesso na segmentação e um grande número de perdas em alguns trechos das pistas.

Os resultados obtidos com o operador *watershed* usando como imagem marcadora o resultado da aplicação do gradiente multi-escala, apresentaram-se bons se comparados aos testes realizados com a imagem de marcadores originada pela aplicação do gradiente convencional. A melhora nos resultados é acarretada também pela utilização dos operadores de pré-processamento, visto que a qualidade visual é fundamental para a obtenção de melhores resultados no processo de segmentação.

5. CONCLUSÕES

A implementação inicial dos operadores erosão e dilatação apresentou resultados similares aos obtidos com o uso dos operadores contidos na *toolbox* de morfologia, sendo este um fator positivo para a implementação dos operadores utilizados na abordagem tratada neste trabalho. Essa comprovação pôde ser verificada através de dados visuais e dados numéricos das imagens.

As pequenas variações nos resultados obtidos, observadas nos limites das imagens, estão relacionadas à diferenças entre os algoritmos utilizados na implementação realizada e os da *toolbox* de morfologia.

O operador gradiente morfológico multi-escala apresentou resultados satisfatórios no sentido que realçaram as feições da cena, apresentando as feições de interesse mais nítidas. Mesmo com o realce também determinado nas informações indesejáveis, as informações de interesse apresentaram-se de forma

mais definida, o que contribuiu para o processo de separação dessas informações.

Com relação ao uso da imagem marcadora na segmentação *watershed* gerada pelo operador gradiente multi-escala, verificou-se que os resultados apresentaram-se satisfatórios, mesmo apresentando em alguns casos o excesso na segmentação.

Comparados com os testes realizados pelo operador gradiente convencional usado na função *watershed*, os resultados mostraram-se melhores, pois conseguiram capturar mais informações de interesse, sem apresentar muitos ruídos. Isso se deu pelo fato das feições terem se apresentado mais definidas com o operador implementado, que foram conseqüentemente, na maioria dos casos capturadas.

É importante ressaltar que, com a melhora da resposta visual da imagem “bruta”, a partir dos operadores de pré-processamento, os resultados foram melhorados.

O potencial do uso das ferramentas da Morfologia Matemática foi confirmado, verificando os resultados obtidos e avaliando o desempenho dos operadores implementados. Com esta confirmação, as feições extraídas, de forma semi-automática através do processo de segmentação morfológica, poderão ser utilizadas em tarefas de identificação de alvos ou atualização de produtos cartográficos.

Com relação ao ambiente Matlab, a linguagem adotada apresenta uma grande facilidade e flexibilidade de uso possuindo muitas funções implementadas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BANON, G.J.F.; BARRERA, J. **Bases da Morfologia Matemática para a Análise de Imagens Binárias**. UFPe. Recife, 1994.

MEYER, F.; BEUCHER, S. **Mathematical Morphology in Image Processing**, chapter 12, Marcel Dekker, Inc, 1993.

PRÉTEUX, F. **Mathematical Morphology in Image Processing, On a Distance Function Approach for Gray-Level Mathematical Morphology**. E. Doughty, Rochester Institute of Technology, New York, 1993.

SOILLE, P.; VINCENT, L. Watersheds in Digital Spaces: An Efficient Algorithm Based on Immersion Simulations. **IEEE Transactions on PAMI**, 13(6):583-598, 1991.

SOILLE, P. **Morphological Image Analysis - Principles and Applications**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1999. 316p.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento de Imagens Digitais**, Editora Edgard Blücher Ltda, 2000.

UNICAMP. **Segmentação Morfológica**. Disponível em: <[www.dcc.unicamp.br/~cpg/material-didatico/mo815/9802/curso/node61.html](http://www.dcc.unicamp.br/~cpg/material/didatico/mo815/9802/curso/node61.html)>. Acesso em: 10 de dezembro de 2002.

7. AGRADECIMENTOS

Agradecemos imensamente à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo auxílio financeiro destinado a este trabalho sob a forma de bolsa de demanda social, e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas.