

# Análise de Imagens Infravermelhas utilizando Técnicas Morfológicas

Sergio Rodrigues Neves, D. Sc.

Instituto de Pesquisas da Marinha, Grupo de Guerra Eletrônica, Rua Ipiru, 2- CEP: 21930-090 - Rio de Janeiro- RJ-Brasil

**Resumo** — Imagens infravermelhas adquiridas por sistemas ópticos navais possuem, importância tática relevante no combate de ameaças, tais como mísseis com guiagem a infravermelho, em que a detecção, através de equipamentos MAGE, não é possível.

As técnicas de processamento de imagens são usadas, basicamente, para melhorar a aparência de uma imagem para a visão humana e preparar a imagem antes de se fazerem medições de suas características. As medições e extração de características que permitam o acompanhamento e identificação de um alvo numa imagem infravermelha tem uma poderosa ferramenta na morfologia matemática.

Este trabalho tem como objetivo demonstrar o uso de técnicas da morfologia matemática aplicáveis a imagens infravermelhas.

**Palavras-chaves** — Infravermelho, processamento de imagens, morfologia matemática.

## I. INTRODUÇÃO

A morfologia matemática pode ser definida como uma teoria para a análise da forma e da estrutura [1] [2] [3] [4] sendo, assim, uma poderosa ferramenta para a análise de imagens. A morfologia é matemática no sentido em que é baseada em teoria dos conjuntos, geometria integral e álgebra de reticulados. Sua origem se remonta a meados dos anos 60 e a G. Matheron. Em seu trabalho pioneiro (*Eléments pour une théorie des milieux poreux – 1967*) Matheron propôs as primeiras transformações morfológicas. Em 1972, o desenvolvimento e a comercialização de um “hardware” especialista por J. C. Klein e J. Serra permitiu o uso dessas transformações para a solução de problemas práticos de análise de imagem. A partir dessas primeiras definições e formalizações de operações morfológicas para a investigação da geometria de objetos em uma imagem binária foi idealizada toda uma teoria por G. Matheron e J. Serra [4]. Podem ser considerados dois tipos básicos de imagens às quais se aplicam as operações morfológicas: imagens binárias e em tons de cinza.

Na morfologia aplicada a imagens binárias (os únicos valores de pixel possíveis são 0 ou 1 - branco e preto), na vizinhança de cada pixel da imagem original é testada uma configuração de pontos pretos e brancos (o elemento estruturante), de acordo com uma proposição específica (por exemplo: o elemento cabe no objeto ou toca o objeto). Na morfologia aplicada em imagens em tons de cinza, que é o caso das imagens em infravermelho, além do procedimento descrito para as operações binárias é importante o conhecimento do valor dos pixels envolvidos tanto na imagem original, quanto no elemento estruturante, para a execução das operações de mínimo ou ínfimo ( $\wedge$ ) e máximo ou supremo ( $\vee$ ). Essas

$$(f \vee g)(x) = \max_e [f(x), g(x)]$$

$$(f \wedge g)(x) = \min_e [f(x), g(x)]$$

operações podem ser definidas para cada ponto x de duas imagens f e g de domínios idênticos como:



Figura 1: Da esquerda para a direita: (a) imagem de entrada f, (b) imagem de entrada g, (c) operação de máximo ou supremo e (d) mínimo ou ínfimo. Note que na operação de máximo, o vídeo sintético que se encontra perto do branco (valor mais alto na escala de cinza), é conservado enquanto na operação de mínimo este se perde.

## II – OPERAÇÕES BÁSICAS DA MORFOLOGIA

As operações morfológicas são, basicamente, comparações com um elemento estruturante escolhido de acordo com um conhecimento a priori das estruturas geométricas a serem analisadas e cuja finalidade é retirar ou alterar a forma dos objetos que estão relacionados (maiores, menores ou iguais) de alguma maneira a estes elementos estruturantes. Podemos classificar as operações morfológicas em três grandes grupos: filtragem, segmentação ou medidas de imagens. Todas essas operações são construídas através de dois operadores fundamentais da morfologia: a erosão e a dilatação.

### A – Elemento Estruturante

O elemento estruturante é um conjunto plenamente conhecido e definido (forma e tamanho) usado para ser comparado ou medido na imagem a ser estudada a partir de uma transformação. Seu formato e o tamanho permitem o teste e a quantização da maneira em que este está ou não contido na imagem. O elemento estruturante é referenciado como plano quando ele é bidimensional e é normalmente utilizado para operações com imagens bidimensionais; e como não plano, volumétrico ou de escala de cinza, quando se refere a elementos estruturantes compostos por pequenas imagens em tons de cinza, aplicáveis a operações em imagens em tons de cinza. Os operadores morfológicos fundamentais necessitam da especificação de uma origem para cada elemento estruturante. O formato e o tamanho dos elementos estruturantes devem ser adaptados às propriedades geométricas dos objetos das imagens a serem processadas. Na maioria dos casos os elementos estruturantes devem ser o mais simples possível.

Apesar de ser possível estabelecer diversos tipos de elementos estruturantes, somente um número limitado destes é usado em aplicações práticas. Alguns são:

- Segmentos de linhas – usados para extrair estruturas alongadas de imagens.

<sup>1</sup> Sergio R. Neves, sergio@ipqm.mar.mil.br

- Aproximação digital de discos – devido a sua isotropia, discos são elementos estruturantes muito utilizados. Várias aproximações de discos são possíveis como a cruz elementar e o quadrado elementar vistos na figura 2.

- Par de pontos – a erosão pelo par de pontos permite caracterizar o estado de dispersão de uma estrutura [2].

- Elementos estruturantes compostos – compreendem dois elementos estruturantes disjuntos que possuem a mesma origem.

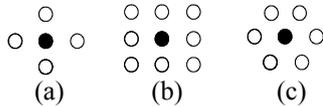


Figura 2: Elementos estruturantes planos isotrópicos para grade retangular e hexagonal. (a) cruz elementar, (b) quadrado elementar e (c) hexágono. A origem destes elementos estruturantes é o seu centro.

**B - Erosão**

Uma das primeiras perguntas que podem ser feitas para a comparação entre um elemento estruturante e um objeto é: “o elemento estruturante está totalmente dentro do objeto?”. O objeto erodido é o lugar geométrico dos centros dos elementos estruturantes onde esta resposta é afirmativa (figura 3). Os efeitos da erosão binária são [2]: diminuir os objetos; eliminar objetos menores que o elemento estruturante; aumentar os buracos; permitir a separação de objetos próximos.

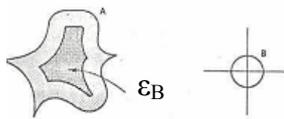


Figura 3: Erosão do objeto A pelo elemento estruturante B

Considerando  $X$  como o conjunto a ser erodido e  $B$  como o objeto estruturante escolhido, a erosão ( $\varepsilon_B$ ) pode ser definida como o lugar geométrico dos pontos  $x$  nos quais  $B$  é incluído em  $X$ , quando sua origem está posicionada em  $x$  [1]:  $\varepsilon_B(X) = \{x | B_x \subseteq X\}$ . Essa equação pode ser reescrita como uma interseção de translações do objeto, com essas translações sendo determinadas pelo elemento estruturante [1]:  $\varepsilon_B(X) = \bigcap_{b \in B} X_{-b}$ . A translação de uma imagem  $f$  por um vetor  $b$  ( $f_b$ ) é definida por  $f_b(x) = f(x-b)$ .

Para tons de cinza: a erosão de uma imagem  $f$  por um elemento estruturante  $B$  é definida como o mínimo ou ínfimo das translações de  $f$  pelos vetores  $-b$  de  $B$ . Considerando ponto a ponto [1]:  $\varepsilon_B(f) = \bigwedge_{b \in B} f_{-b}$ . Assim, o valor da erosão em um pixel  $x$  é o valor mínimo da imagem na janela definida pelo elemento estruturante quando sua origem está em  $x$  [1]:  $[\varepsilon_B(f)](x) = \min_{b \in B} f(x+b)$

Os efeitos da erosão em tons de cinza são [2]: escurecer a imagem; alargar e dilatar os vales (padrões escuros); conectar vales próximos; reduzir e às vezes eliminar picos (padrões claros); separar picos próximos.

**C - Dilatação**

A dilatação é o operador dual da erosão e está baseada na seguinte pergunta: “O elemento estruturante toca o objeto em análise?”. Onde a resposta é afirmativa o objeto é acrescido do elemento estruturante, compondo assim o objeto dilatado (figura 4). Os efeitos da dilatação binária são [2]: dilatar o objeto; preencher pequenos buracos; conectar objetos próximos.

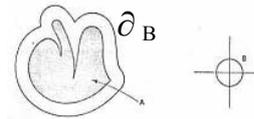


Figura 4: Dilatação do objeto A pelo elemento estruturante B

Considerando  $X$  como o conjunto a ser dilatado,  $B$  o elemento estruturante escolhido, a dilatação ( $\partial_B$ ) pode ser definida como o local dos pontos  $x$  onde  $B$  toca  $X$  quando sua origem coincide com  $x$  [1]:  $\partial_B(X) = \{x | B_x \cap X \neq \emptyset\}$ . Essa equação pode ser reescrita em termos de uma união de translações do objeto, com essas translações sendo definidas pelo elemento estruturante [1]:  $\partial_B(X) = \bigcup_{b \in B} X_{-b}$

Para imagens em tons de cinza: a dilatação de uma imagem  $f$  por um elemento estruturante  $B$  é definida como o máximo ou supremo das translações de  $f$  pelos vetores  $-b$  de  $B$ . Considerando ponto a ponto:  $\partial_B(f) = \bigvee_{b \in B} f_{-b}$ . Em outras palavras, o valor da dilatação em um ponto  $x$  é o valor máximo da imagem na janela definida pelo elemento estruturante quando sua origem está em  $x$ .  $[\partial_B(f)](x) = \max_{b \in B} f(x+b)$

Os efeitos da dilatação em níveis de cinza são [2]: clarear a imagem; alargar e dilatar os picos; conectar picos próximos; reduzir e às vezes eliminar vales, separar vales próximos.

**D - Gradiente Morfológico**

Numa análise de imagem, os objetos estão, via de regra, contidos em regiões de níveis de cinza mais ou menos homogêneos. Os limites desses objetos estão localizados em regiões de grandes variações de níveis de cinza. Os operadores gradiente são normalmente usados para enfatizar essas variações. No entanto, alguns cuidados devem ser tomados, como uma filtragem preliminar, no caso de imagens infravermelhas sujeitas a ruído, para não potencializar o componente de ruído. Variações de combinações entre esses operadores elementares conduzem a diferentes resultados. As combinações mais usadas são [1]:

*Gradiente morfológico básico ou gradiente de Beucher* – é definido pela diferença entre a dilatação e a erosão pelo elemento estruturante elementar  $B$  para a imagem considerada (figura 5):  $\rho_B = \partial_B - \varepsilon_B$ .



Figura 5: Da esquerda para a direita: imagem original e gradiente básico ou de Beucher

*Gradientes metade* – usados para a detecção da fronteira interna ou externa de uma borda podem ser (figura 6):

- *Gradiente metade por erosão ou gradiente interno* – é definido pela diferença entre a imagem original e a imagem erodida:  $\rho_B^- = I - \varepsilon_B$ .

- *Gradiente metade por dilatação ou gradiente externo* – é definido pela diferença entre a imagem dilatada e a imagem original:  $\rho_B^+ = \partial_B - I$ .



Figure 6: Da esquerda para a direita: imagem original, gradiente interno e gradiente externo.

**Gradiente espesso** – se o elemento estruturante aplicado no processo do gradiente básico é maior que elemento estruturante elementar, o gradiente morfológico é conhecido como gradiente espesso, predominando bordas dilatadas (figura 7). Sua representação ( $nB$ ) significa que o elemento estruturante elementar terá seu tamanho aumentado  $n$  vezes. Temos então que:  $\rho_{nB} = \partial_{nB} - \varepsilon_{nB}$ .



Figure 7: Da esquerda para direita: imagem original e gradiente espesso.

**Gradientes direcionais** – são definidos pela substituição de um elemento estruturante isotrópico por um segmento de linha  $L$  numa direção  $\alpha$ .  $\rho_{L\alpha} = \partial_{L\alpha} - \varepsilon_{L\alpha}$ . Com estes é possível a filtragem de elementos em determinada direção (figura 8).

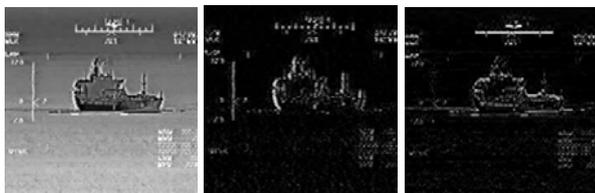


Figure 8: Gradiente direcional. Da esquerda para a direita: imagem original, gradiente horizontal (com um elemento estruturante horizontal) e gradiente vertical (com um elemento estruturante vertical).

**E - Abertura**

A erosão de uma imagem “encolhe” todas as estruturas da imagem. A procura por um operador capaz de recuperar a maioria das estruturas perdidas pela erosão levou a definição do operador morfológico abertura. A idéia por trás do operador abertura é dilatar a imagem erodida de maneira a recuperar o máximo possível da imagem original. A abertura de uma imagem  $f$  por um elemento estruturante  $B$  é definida em termos de erosão e dilatação [1]:  $\gamma_B(f) = \partial_B[\varepsilon_B(f)]$ .

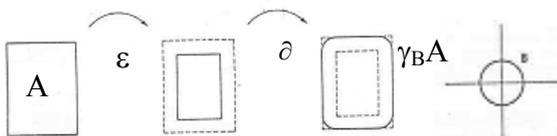


Figure 9: Abertura em termos de dilatação e erosão

Outra formulação para a abertura é possível em termos geométricos, conservando a mesma pergunta utilizada para a erosão: “O elemento estruturante cabe no objeto?” É mantido, se a resposta for afirmativa, o elemento estruturante completo (no caso da erosão só a origem é mantida). Assim o objeto submetido ao operador abertura é aquele que representa a união de todos os elementos estruturantes que cabem no objeto [1]:  $\gamma_B(x) = \cup\{B|B \subseteq X\}$ .

A abertura tem a propriedade de retirar pequenas estruturas (menores que o elemento estruturante), mas modificando também todos os objetos da imagem em cujo operador abertura foi aplicada.

**F- Fechamento**

A idéia por trás do fechamento morfológico é a recuperação do formato inicial de estruturas que tenham sido dilatadas. Essa operação é realizada através da erosão do objeto dilatado. O fechamento de uma imagem  $f$  por um elemento estruturante  $B$  pode ser escrito em termos de erosão e dilatação como [1]:  $\phi_B(f) = \varepsilon_B[\partial_B(f)]$ .

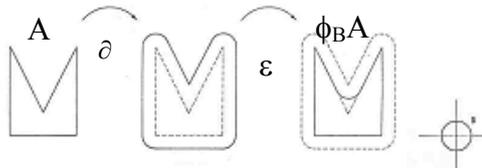


Figure 10: Fechamento em termos de dilatação e erosão.

A questão “O elemento estruturante cabe no fundo da imagem?” pode ser aplicada para definição do fechamento. Se a resposta for afirmativa, todos os pontos do elemento estruturante pertencentes ao complemento do fechamento do objeto serão considerados [1]:  $\phi_B(x) = [\cup\{B|B \subseteq X^c\}]^c$ .

Todas as estruturas do fundo da imagem que não contém o elemento estruturante são preenchidas pelo fechamento.

**F - Transformação “hit or miss”**

A idéia básica da transformação “hit or miss” consiste em se testar a parte interna e externa de um conjunto. Para isso são necessários dois elementos estruturantes, que formarão um elemento estruturante composto e que, obrigatoriamente, possuam uma única origem. A transformação “hit or miss” também pode ser definida em termos de uma interseção de duas erosões [1]:  $HMT_B(X) = \varepsilon_{B_1}(X) \cap \varepsilon_{B_2}(X^c)$ . Por definição  $B_1$  e  $B_2$  devem possuir a mesma origem. Estes precisam também ser disjuntos [1]:  $B_1 \cap B_2 = 0$ .

A transformação “hit or. miss” é usada, geralmente, para encontrar configurações específicas de pixels em imagens.

**G - Afinamento**

O afinamento consiste em remover os pixels que pertencem a objetos que tem uma dada configuração. Em outras palavras, a transformada “hit or. miss” da imagem é subtraída da imagem original.

**H - Espessamento**

O espessamento consiste em adicionar pixels de fundo com uma configuração específica para o conjunto de pixels do objeto. Pode, então, ser definido como a união da transformação “hit or. miss” da imagem com a imagem original [1] (figura 11):



Figure 11: Afinamento e Espessamento. Da esquerda para a direita: imagem original, imagem afinada e imagem após o espessamento.

**I - Esqueleto**

Uma abordagem possível para extração das características de um objeto consiste em afinar o objeto com a intenção de formar um conjunto de linhas que condensem a informação do objeto original preservando sua homotopia: é o chamado esqueleto do objeto. A partir deste a detecção de pontos

finais, pontos múltiplos e malhas fechadas a partir do esqueleto são algumas das ações importantes para as tarefas de reconhecimento de formato. Várias definições para o esqueleto de um conjunto euclidiano estão disponíveis, mas conduzem sempre a um mesmo esqueleto. Por exemplo, o esqueleto de um disco é o seu centro.

A extensão da definição de esqueleto para imagens discretas conduz a uma variedade de esqueletos. A adaptação das definições existentes para o caso contínuo conduz a uma grande variedade de esqueletos que não compartilham das mesmas propriedades, sendo dependentes do elemento estruturante escolhido. Além disso, muitas adaptações dos processos conduzem a esqueletos não conectados, que são úteis em processos de compressão, mas para a descrição de formato são de pouca utilidade. Alguns procedimentos para a extração do esqueleto discreto são:

a) *por abertura* – Esse processo utiliza quadrados como aproximação dos discos como elemento estruturante e pode ser definido como [1]:  $SK(X) = \bigcup_{\lambda \geq 0} \{\varepsilon_{\lambda B}(X) - \gamma_B[\varepsilon_{\lambda B}(X)]\}$

Onde  $X$  é a imagem,  $B$  é o quadrado elementar de tamanho três e  $\lambda_B$  é um quadrado de comprimento  $2\lambda + 1$ . Na figura 12 pode ser observado que o esqueleto resultante não é conectado nem possui espessura de um pixel.



Figura 12 : Esqueleto por abertura. Da esquerda para a direita: imagem original e esqueleto por abertura.

b) *afinamento homotópico* – Um esqueleto não conectado como o da figura 12 é de pouca utilidade para aplicações de descrição de formatos de objetos porque a homotopia não é preservada e pontos característicos, como pontos de extremo, não são preservados. Um esqueleto de uma imagem discreta pode preservar estas propriedades importantes se o processo for executado com elementos estruturantes que preservem sua homotopia. O esqueleto é obtido através do afinamento da imagem de entrada por um ou uma série de elementos estruturantes homotópicos e sua rotação até a estabilidade. Esse processo é chamado de afinamento seqüencial [1]. A fórmula para o afinamento seqüencial  $(X \underline{Q} B)$  de  $X$  por  $n$  rotações de um elemento estruturante  $B$  ( $\theta_1 B, \theta_2 B, \dots, \theta_n B$ ) é:  $X \underline{Q} B = (\dots ((X \circ \theta_1 B) \circ \theta_2 B) \dots) \circ \theta_n B$

O afinamento seqüencial é repetido até a estabilidade, isto é, até que a entrada tenha sido reduzida a um conjunto de linhas afinadas conectadas. Cada elemento estruturante homotópico define um tipo diferente de esqueleto.



Figura 13: Esqueleto por afinamento homotópico. Da esquerda para a direita: imagem original e esqueleto por afinamento homotópico.

#### J – Transformações geodésicas

As transformações geodésicas utilizam duas imagens de entrada. Esse tipo de operação é útil quando é necessário alterar apenas algumas estruturas da imagem deixando outras intactas. Um operador morfológico é aplicado à primeira imagem e o resultado é forçado a permanecer maior ou menor do que a segunda imagem, dependendo da operação realizada. Serão descritas algumas transformações geodésicas: a dilatação geodésica, a erosão geodésica e a reconstrução morfológica.

#### a) Dilatação geodésica

A dilatação geodésica envolve uma imagem marcadora e uma imagem máscara. Ambas as imagens devem possuir o mesmo domínio, e a imagem máscara deve ser maior ou igual à imagem marcadora. A imagem marcadora é dilatada, primeiramente, por um elemento estruturante elementar. A imagem resultante é forçada a permanecer menor que a imagem máscara. A imagem máscara age como se fosse um limite para a dilatação da imagem marcadora. Considerando  $f$  como a imagem marcadora e  $g$  a imagem máscara a dilatação geodésica ( $\partial_g^{(1)}$ ) pode ser definida como [1]:

$$\partial_g^{(1)} = \partial^{(1)}(f) \wedge g . \text{ Onde } \partial^{(1)} \text{ é a dilatação elementar e } f \leq g .$$

#### b) – Erosão geodésica

A erosão geodésica ( $\varepsilon_g^{(1)}$ ) é a transformação dual da dilatação geodésica com respeito ao complemento da imagem. Pode ser definida como [1]:  $\varepsilon_g^{(1)}(f) = \varepsilon^{(1)}(f) \vee g$ . Onde  $\varepsilon^{(1)}$  é a erosão elementar e  $f \geq g$ .

#### c) Reconstrução Morfológica

As dilatações e erosões geodésicas de um tamanho determinado são raramente usadas na prática [1]. Sua iteração até a estabilidade, no entanto, possibilita a definição de poderosos algoritmos de reconstrução morfológica. Dilatações e erosões geodésicas sempre convergem depois de um número finito de iterações em que o espessamento ou afinamento da imagem marcadora é controlado pela imagem máscara.

#### c.1) Reconstrução Morfológica por Dilatação

A reconstrução morfológica por dilatação [1] pode ser compreendida como uma dilatação condicional. A partir de uma “semente” definida entre os objetos de uma cena, na imagem marcadora, é realizada uma dilatação a partir de um elemento estruturante elementar. O resultado dessa operação será comparado com uma máscara, e o resultado a ser considerado será a interseção dessas duas imagens. O processo é repetido até o equilíbrio, ou seja, até que o resultado seguinte seja igual ao anterior. Com essa operação é possível a extração ou a recuperação de elementos, desde que se saiba sua posição (figura 14). A reconstrução morfológica por dilatação ( $R_g(f)$ ) de uma imagem  $f$  com imagem máscara  $g$  pode ser definida como:  $R_g(f) = \partial_g^i(f)$ . Onde  $i$  é tal que:  $\partial_g^i(f) = \partial_g^{i+1}(f)$

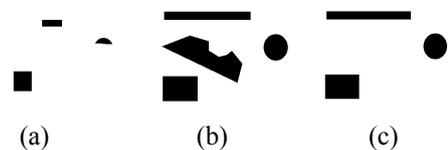


Figura 14: Reconstrução morfológica por dilatação: (a) Imagem marcadora (b) Imagem máscara (c) Reconstrução morfológica por dilatação. Repare que só os elementos que possuem “sementes” na imagem marcadora são recuperados.

#### c.2) Reconstrução morfológica por erosão

Na reconstrução morfológica por erosão, a erosão geodésica é que realiza a iteração até a estabilidade. Como, nesse caso, a imagem  $f$  é menor que a imagem máscara  $g$ , os objetos contidos na imagem são encolhidos até o limite imposto por  $g$  (figura 15). A reconstrução morfológica por erosão ( $R_g^*(f)$ ) de uma imagem  $f$  com uma imagem máscara  $g$ :  $R_g^*(f) = \varepsilon_g^i(f)$ . Onde  $i$  é tal que:  $\varepsilon_g^i(f) = \varepsilon_g^{i+1}(f)$

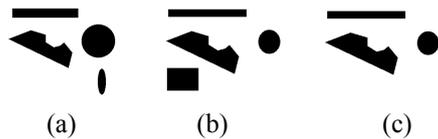


Figura 15: Reconstrução morfológica por erosão. (a) Imagem marcadora (b) Imagem máscara (c) Reconstrução morfológica por erosão. Repare que só os elementos que possuem limites na imagem máscara e “sementes” na imagem marcadora permanecem.

*H – Filtragem Morfológica*

Em processamento de sinais a filtragem linear geralmente é usada, por exemplo, para as tarefas de remover ou extrair frequências altas ou baixas de imagens ou, genericamente falando, resolver problemas ligados a fenômenos lineares. Filtros morfológicos são filtros não lineares que são adequados, principalmente, a dois tipos de tarefas: a restauração de imagens corrompidas por algum tipo de ruído e a remoção seletiva de objetos ou estruturas de imagens conservando todas as outras intactas.

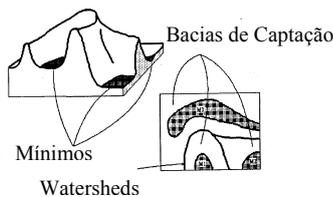
*I – Segmentação Morfológica e Transformação Watershed*

A principal ferramenta da morfologia matemática para as técnicas de segmentação é a transformação watershed.

*a) Transformação Watershed*

Figura 16: Mínimos, bacias de segmentação e Watersheds.

O conjunto de todos os pontos  $\{x, f(x)\}$  pertencentes a uma imagem pode ser considerado como uma superfície topográfica  $S$ . Quanto mais claro é o tom de cinza  $f$  no ponto  $x$ , maior é a altitude do ponto correspondente. Partindo disso, o conceito de watersheds é relativamente simples: a imagem vista topograficamente possuirá “vales” e “picos” de diversas alturas. Se for considerado que água escorre por esses “vales” até atingirem seus pontos mais baixos, e essa água continua a escorrer até que esses “vales” sejam inundados um a um com diques em suas linhas divisórias, para impedir que a inundação de um vale invada outro, essas linhas divisórias resultantes dessas múltiplas inundações são as watersheds (vide figura 16).



**III – APLICAÇÕES**

Muitos são os exemplos de aplicações das técnicas baseadas em morfologia matemática. Podem ser citados artigos sobre filtragem de imagens [5] e extração de informação em imagens SAR [6].

Em imagens infravermelhas, em que os contornos dos objetos representam os principais elementos para as tarefas de extração de características e classificação as técnicas morfológicas representam uma ferramenta poderosa. Sua versatilidade para filtragem de imagens pode ser confirmada através das figuras 17 e 18.

Na figura 17 é realizada uma filtragem de uma imagem infravermelha impregnada de ruído do tipo “salt and pepper” através de um operador abertura seguido por um operador fechamento. O efeito conseguido se aproxima de uma filtragem passa-baixas.



Figura 17: Da esquerda para a direita: imagem original, imagem com ruído e imagem filtrada.

Na figura 18, após uma segmentação inicial, a imagem apresenta, o contorno de objetos pequenos, que não são relevantes e podem incluir a marcação de um alvo falso para um processo de classificação. A partir de uma abertura por área, que é uma operação morfológica baseada em reconstrução morfológica e que mantém objetos acima de um tamanho estabelecido, só é mantido o alvo considerado relevante.

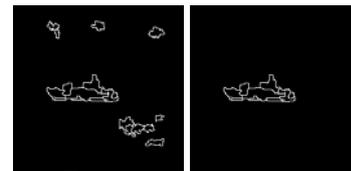


Figura 18: Segmentação inicial e filtragem de pequenos alvos falsos.

Assim, através do uso de técnicas morfológicas é possível realizar uma filtragem linear ou não-linear numa imagem infravermelha.

Como outro exemplo de aplicação de técnicas morfológicas em imagens infravermelhas, podemos citar o método de segmentação apresentado em [7] onde são unidos operadores morfológicos e transformada wavelet.

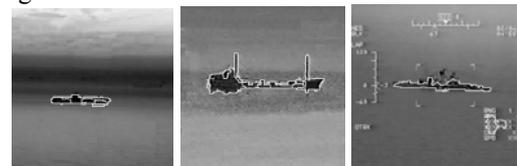


Figura 19: Segmentação utilizando o método descrito em [7]

**IV – CONCLUSÃO**

Neste artigo foram apresentados exemplos de utilização da morfologia matemática em processamento de imagens. Em especial, foram apresentados dois tipos de filtragem, utilizando técnicas morfológicas: uma delas com efeito próximo a uma filtragem convencional e outra que atua de maneira não linear, na retirada de elementos da imagem.

**REFERÊNCIAS**

- [1] SOILLE, P., “Morphological Image Analysis - Principle and Applications”, Springer, 1999.
- [2] FACON, J., “Morfologia Matemática: Teoria e Exemplos”, Editor Jacques Facon, 1996.
- [3] GIARDINA, C. R. e DOUGHERTY E. R., “Morphological Methods in Image and Signal Processing”, Prentice-Hall, 1988.
- [4] SERRA J., “Image Analysis and Mathematical Morphology”, New York: Academic Press, 1983.
- [5] GUO-BAO XU, ZHI-BIN SU, JI WANG, YI-XIN YIN, YU-LI SHEN, "An Adaptive Morphological Filter Based on Multiple Structure and Multi-Scale Elements," iita, vol. 2, pp.399-403, 2008 Second International Symposium on Intelligent Information Technology Application, 2008
- [6] CHANUSSOT, J. e LAMBERT, P. “An application of mathematical morphology to road extraction on SAR images” em Mathematical morphology and its applications to image and signal processing – Heijmans, H e Roednick, J; Kluwer Academic Publishers, pp. 399-406, 1998.
- [7] NEVES, S. R.; SILVA E. A. B. and VIEIRA G. V., “Wavelet-Watershed Automatic Infrared Image Segmentation Method”, Electronic Letters, Vol. 39, Issue 12, pp. 903-904, June 2003.