

# **Delineamento automático de bacias hidrográficas através de operadores morfológicos**

Greice Martins de Freitas<sup>1,2</sup>  
Ana Maria Heuminski de Ávila<sup>2</sup>  
Hilton Silveira Pinto<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação – FEEC/UNICAMP  
CP 6101 – CEP 13083-970 – Campinas – SP, Brasil  
greice@dca.fee.unicamp.br

<sup>2</sup> Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura –  
CEPAGRI/UNICAMP  
CEP 13083-886 – Campinas – SP, Brasil  
greice, avila, hilton@cpa.unicamp.br

**Abstract.** This paper describes the application of Watershed transform preceded by morphological filters for automatic delineation of watersheds through images of Digital Land Model (DLM). The technique was applied to DLM images from metropolitan region of Campinas, aiming to delineate the basins that contribute to points of flooding in the region. The studies showed that applying the closing morphological operator enhanced the desired basins contour and the structuring element size controls its area since that filtering removes any noise and local minimum, allowing the reproducibility of results and application for other goals.

**Keywords:** Watershed, image processing, hydrology bacias hidrográficas, processamento de imagens, hidrologia.

## **1. Introdução**

O crescente interesse por estudos hidrológicos vem da necessidade de compreender o funcionamento dos processos que controlam o movimento da água e os impactos de mudança do uso da terra sobre a quantidade e qualidade da água (WHITEHEAD; ROBINSON, 1993). A expansão dos aglomerados urbanos nas últimas décadas tem ocasionado a impermeabilização do solo, diminuindo significativamente sua capacidade de infiltração, sobrecarregando o sistema de drenagem e produzindo inundações mais frequentes no perímetro urbano (TUCCI, 2003).

A região metropolitana de Campinas-SP é uma das regiões metropolitanas que sofrem com os efeitos de fenômenos adversos do tempo como, por exemplo, a ocorrência de um tornado intensidade F3 (FUJITA, 1971) na cidade de Indaiatuba, o qual causou um prejuízo estimado em 42 milhões de dólares (HELD; GOMES; NASCIMENTO, 2006) em Maio de 2005. Vale ressaltar que o mesmo foi um dos mais intensos já registrados no Brasil.

Com a finalidade de auxiliar a Defesa Civil do município, têm sido desenvolvido um sistema de alerta diante a eminência de enchentes baseado em um Sistema de Informação Geográfica (ÁVILA et al., 2007; FREITAS et al., 2008). Com este sistema pretende-se catalogar os locais propícios a alagamentos e as suas respectivas bacias de drenagens. Estas regiões serão automaticamente identificadas nas imagens do radar, identificando possíveis áreas de inundação na região metropolitana permitindo o envio de alertas a Defesa Civil do município em tempo hábil para que medidas mitigatórias aos danos possam ser tomadas.

Entretanto, catalogar as bacias de drenagem, traçando manualmente seus limites é um processo custoso e sujeito a subjetividade. Desta forma, o objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia para automatizar o traçado de bacias hidrográficas através da utilização de filtragens morfológicas e da transformada Watershed, garantindo maior eficiência e confiabilidade dos processos e reproduzibilidade dos resultados.

## 2. Material e Métodos

### 2.1. Área de Estudo

O presente trabalho utilizou a região metropolitana de Campinas, a qual é constituída por 19 municípios e possui uma área territorial de  $3.467 \text{ km}^2$  (IBGE,2005), contígua à região metropolitana de São Paulo. Campinas está localizada na região central do Estado de São Paulo nas coordenadas  $22^{\circ}56'15''$  de Latitude Sul e  $47^{\circ}03'45''$  de Longitude Oeste.

### 2.2. Morfologia Matemática

A morfologia matemática (MATHERON, 1975; STERNBERG, 1986; SERRA, 1983) refere-se a processamento não linear e análise de estruturas geométricas de imagens. A morfologia é baseada no estudo de decomposições de operadores entre reticulados completos em termos de duas classes de operadores elementares conhecidos por erosão e dilatação (BANON; BARRERA, 1994).

A linguagem da morfologia matemática é a teoria de conjuntos, onde os conjuntos representam as formas em uma imagem (HARALICK; STERNBERG; ZHUANG, 1987). Toda a teoria fundamenta-se no uso de elementos estruturantes, que são conjuntos pré-definidos e conhecidos. Em poucas palavras, a morfologia quantifica o quanto este elemento "encaixa"(ou não) na imagem.

#### 2.2.1. Filtros Morfológicos

As duas operações básicas da morfologia são erosão e dilatação. A definição da erosão de uma imagem  $f$  em nível de cinza por um elemento estruturante  $g$  é definida por:

$$(A \ominus b)(x) = \max\{y : g_x + y \leq f\} \quad (1)$$

Onde  $g_x$  é a notação para  $g$  transladado por  $x$ .

O resultado visual da imagem erodida em níveis de cinza se apresenta com uma redução dos padrões claros e o alargamento das regiões escuras.

A dilatação é o operador "dual"da erosão e é definido por:

$$(A \oplus b)(x) = \min\{y : -\check{g}_x + y \geq f\} \quad (2)$$

O resultado visual da imagem dilatada em níveis de cinza apresenta-se com diminuições dos padrões escuros e alargamento nas regiões claras.

Além das operações primárias de dilatação e erosão, existem dois operadores secundários em processamento de imagens chamados de abertura definida por:

$$(A \circ b)(x) = (A \ominus b) \oplus b \quad (3)$$

e seu dual, fechamento:

$$(A \bullet b)(x) = (A \oplus b) \ominus b \quad (4)$$

O resultado da aplicação da abertura numa imagem é a remoção de áreas mais claras, enquanto o fechamento remove áreas mais escuras.

### 2.2.2. Watershed

No campo de processamento de imagens, especialmente em morfologia matemática, a imagem em tons de cinza é interpretada como um relevo, onde os pixels mais escuros são as regiões mais baixas e os mais claros as regiões mais altas, desta forma a abertura remove picos e cristas e o fechamento remove os vales. Esta forma de interpretar a imagem em tons de cinza permite a definição de bacias de captação e divisores de água (watersheds) (VINCENT; SOILLE, 1991).

A transformada Watershed aplicada sobre uma imagem em tons de cinza é uma ferramenta de segmentação morfológica baseada na simulação de uma inundação. Considerando a imagem como uma superfície topográfica, podemos imaginar que a topografia é lentamente inundada através da água que entra uniformemente pelos mínimos locais da imagem. Quando as águas provenientes de diferentes mínimos locais se encontram é traçada uma linha divisora no local chamada linhas de Watershed e a região que estas linhas separam é denominada bacia de captação. A figura 2.2.2 ilustra o processo de segmentação.

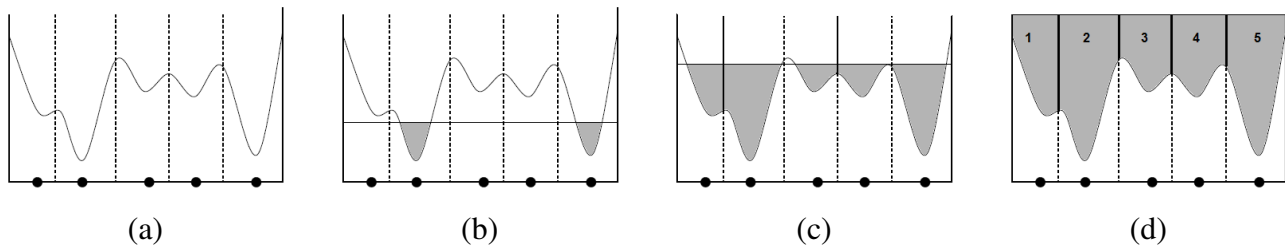


Figura 1: (a) Superfície de entrada, (b) inundação através dos pontos mínimos, (c) quando águas de diferentes mínimos se encontram é traçada uma linha de Watershed, (d) inundação final, com cinco bacias de captação e quatro linhas de Watershed

### 2.3. Delineamento das Bacias Hidrográficas

A imagem de altitude do terreno utilizada neste estudo foi montada a partir de duas cenas das bandas 3N e 3B do sensor remoto ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), as quais possuem um deslocamento de pixel na direção do vôo do satélite proporcional a elevação do pixel. O *software* AsterDTM, utilizado para compor a imagem, faz uso deste deslocamento para compor o um Modelo Digital de Terreno (MDT). O MDT é uma imagem em tons de cinza onde cada valor de *pixel* corresponde a uma altitude.

Assim como outras imagens digitais, o MDT possui um grande número de mínimos locais fazendo com que a aplicação do Watershed sem o pré processamento da imagem resulte em uma segmentação indesejada, com um grande número de bacias de captação, fenômeno chamado "Watershed oversegmentation"(DOUGHERTY; LOTUFO, 2003). Para evitar este tipo de comportamento, foram realizados testes de pré filtragem na imagem, utilizando filtros de fechamento com diferentes tamanhos de elemento estruturante na forma de disco.

Para validar o resultado da segmentação automática por Watershed, algumas bacias da região de estudo foram traçadas manualmente através da transformação do MDT em curvas de nível com equidistância de 10 metros.

## 3. Resultados e Discussão

A figura 2 mostra um recorte de uma pequena região do MDT utilizado neste estudo com e sem filtragem. Pode-se notar que com a filtragem os pontos mais escuros (ruído) são eliminados da imagem. Tais ruídos podem facilmente ser interpretados como pontos de mínimo local resultando no *Watershed oversegmentation* como observado na figura 3 (a).

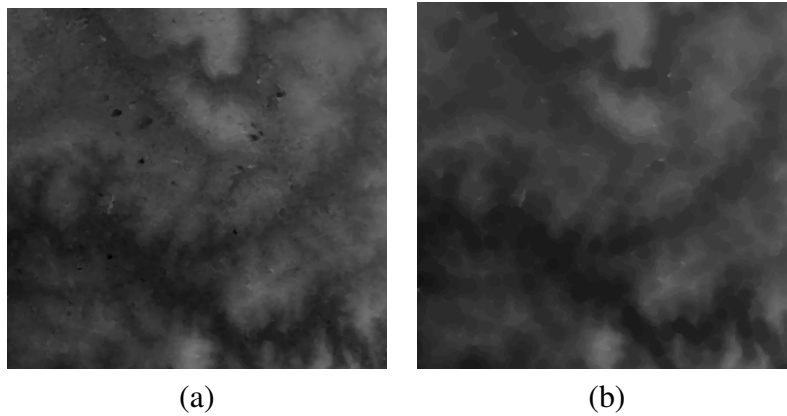


Figura 2: (a) Recorte do MDT original, (b) mesma região processada com fechamento por um disco com 5 pixels de diâmetro

As figuras 3 (b) e (c) mostram o resultado da aplicação da transformada Watershed utilizando como pré-processamento um fechamento com um disco com 3 pixels de diâmetro e um disco com 5 pixels de diâmetro, respectivamente.

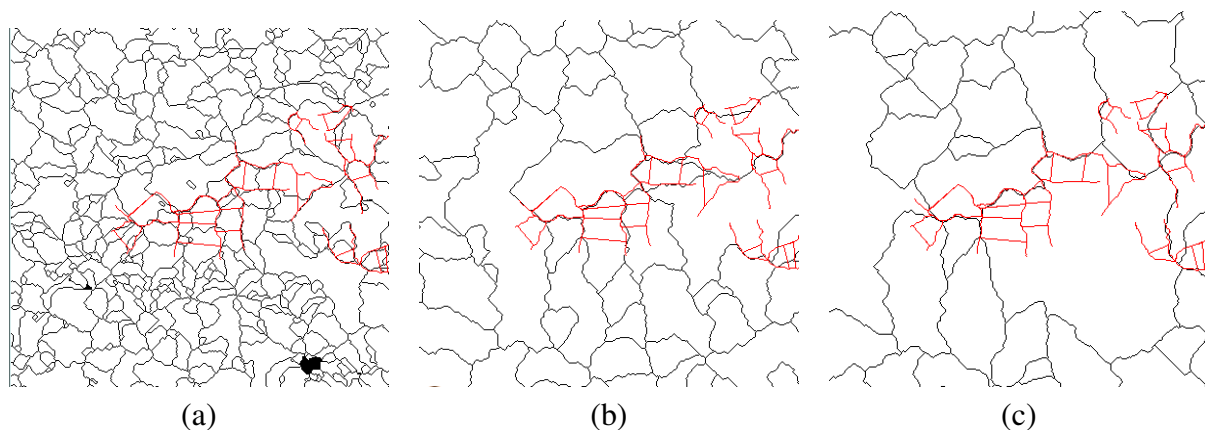


Figura 3: As linhas vermelhas mostram trechos de bacias que foram delimitadas manualmente, em preto o resultado do algoritmo. (a) Watershed sem pré filtragem, (b) pré-filtragem com disco de tamanho 3, (c) pré-filtragem com um disco de tamanho 5

Pode-se observar nos resultados que o tamanho das bacias de captação está diretamente ligado ao tamanho do elemento estruturante utilizado na operação de fechamento. Desta forma, quanto maior o elemento, maior a área de abrangência da bacia, ficando a critério do usuário a escolha da precisão necessária ao estudo e portanto a escolha do tamanho do elemento estruturante.

Para o estudo das áreas de alagamento da região metropolitana de Campinas, a pré-filtragem com o elemento estruturante em forma de disco com 3 pixels de diâmetro (figura 3 (b)) foi suficiente para que a aplicação do Watershed resultasse nas bacias desejadas uma vez que, utilizando discos maiores como na figura 3 (c), as bacias traçadas pelo Watershed ficam maiores que o necessário e com discos menores ocorre *oversegmentation*.

#### 4. Conclusão

Com a crescente demanda por trabalhos envolvendo sensoriamento remoto e, conseqüentemente com um maior número de imagens digitais sendo analisadas, ferramentas

tecnológicas capazes de automatizar processos, diminuir o custo de processamento e estabelecer critérios bem definidos na interpretação de imagens são cada vez mais requisitadas. Neste contexto, a morfologia matemática, embora ainda não muito difundida no meio acadêmico, têm-se mostrado uma ferramenta poderosa no processamento de imagens.

O presente trabalho mostra um estudo da aplicação da transformada Watershed precedida de filtragens morfológicas para o delineamento automático de bacias hidrográficas numa imagem de MDT da região metropolitana de Campinas-SP.

Para o caso de estudo, utilizando um filtro morfológico de fechamento com um elemento estruturante em forma de disco com 3 *pixels* de diâmetro seguido da transformada Watershed, resultou no delineamento de bacias com tamanho e forma esperados. Esta automatização permite expandir o sistema de alerta de enchentes para outras regiões sem o processo custoso e demorado de delimitar as bacias hidrográficas influentes sobre pontos de alagamento.

Observou-se ainda que o processo de delineação das bacias hidrográficas está atrelado à filtragem realizada no pré-processamento, permitindo delinea-las em diferentes níveis de detalhamento sem perder a criteriosidade e apenas variando o tamanho do elemento estruturante.

## Referências

- BANON, G.; BARRERA, J. *Bases da Morfologia Matemática para a Análise de Imagens Binárias*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, 1994.
- DOUGHERTY, E. R.; LOTUFO, R. A. *Hands-on Morphological Image Processing*. Spie tutorial texts in optical engineering. [S.l.]: SPIE Publications, 2003.
- FREITAS, G. M. et al. Modelo de previsão de enchentes através de dados de radar meteorológico e modelos de terreno: resultados preliminares. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 15., 2008, São Paulo. *Anais...* São Paulo, 2008.
- FUJITA, T. *Proposed characterization of tornadoes and hurricanes by area and intensity*. Satellite mesometeorology research program research. [S.l.]: University of Chicago, 1971.
- HARALICK, R. M.; STERNBERG, S. R.; ZHUANG, X. Image analysis using mathematical morphology. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, IEEE Computer Society, Washington, DC, USA, v. 9, n. 4, p. 532–550, 1987. ISSN 0162-8828.
- HELD, G.; GOMES, J. L.; NASCIMENTO, E. Forecasting a severe weather occurrence in the State of São Paulo, Brazil, on 24 May 2005: The Indaiatuba Tornado. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOUTHERN HEMISPHERE METEOROLOGY AND OCEANOGRAPHY, 8., 2006, Foz do Iguaçu. *Anais...* [S.l.], 2006. p. 24–28.
- MATHERON, M. *Random Sets and Integral Geometry*. [S.l.]: Wiley, 1975.
- SERRA, J. *Image Analysis and Mathematical Morphology*. Orlando, FL, USA: Academic Press, Inc., 1983.
- STERNBERG, S. R. Grayscale morphology. *Comput. Vision Graph. Image Process.*, v. 35, n. 3, p. 333–355, 1986.
- TUCCI, C. E. M. Inundações urbanas na América do Sul. In: \_\_\_\_\_. Porto Alegre: Editora da Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003. cap. Inundações e Drenagem Urbana, p. 45–150.
- ÁVILA, A. M. H. et al. Uso de dados de radar e de satélites meteorológicos em modelos de previsão de chuvas intensas em centros urbanos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSOREAMENTO REMOTO (SBSR), 8., 2007, Florianópolis. *Anais...* [S.l.]: INPE, 2007. p. 4815–4817.

VINCENT, L.; SOILLE, P. Watersheds in digital spaces: An efficient algorithm based on immersion simulations. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, IEEE Computer Society, Los Alamitos, CA, USA, v. 13, n. 6, p. 583–598, 1991.

WHITEHEAD, P.; ROBINSON, M. Experimental basin studies: an international and historic perspective of forest impacts. *Journal of Hydrology*, v. 145, p. 217–230, 1993.