

O SPRING E A HIDROLOGIA: INÍCIO DE UMA CAMINHADA

SERGIO ROSIM¹

SERGIO ROBERTO MATIELLO PELLEGRINO²

¹INPE—Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Caixa Postal 515, 12201 São José dos Campos, SP, Brasil

sergio@dpi.inpe.br

²ITA—Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 12228-901 São José dos Campos, SP, Brasil

pell@comp.ita.br

Abstract. This paper shows three methods to extract important informations to develop applications in the hydrology area. One method will be selected and it will be insert in the GIS SPRING with part of a future SPRING hydrologic model.

1 Motivação

O bem social e limitado água precisa ser preservado. Sem gerenciamento adequado no futuro próximo se fará sentir sua falta, dizem os especialistas. Interessante, portanto, seria criar e incrementar ferramentas para facilitar e aumentar o campo de atuação desses especialistas, que da água fazem seu motivo de viver profissional.

Uma ferramenta a ser considerada é o conjunto formado pelos Sistemas de Informação Geográficas, do qual o SPRING é um legítimo representante não possuindo, porém, qualquer funcionalidade para simulação e tratamento de processos hidrológicos.

Para sanar tal lacuna parte-se do início, ou seja, dotar o SPRING com funcionalidade para entender o comportamento d'água em termos de transporte (redes de drenagem) e acumulação (bacias).

Neste trabalho são apresentados três métodos para extração de redes de drenagem que são: Método da Esqueletização por Multi Níveis - MLS, e Método da Triangulação – MTR e o Método D8-Soille – D8S e as conclusões que nortearam a escolha de um particular método. Os dois primeiros foram implementados e testados por Rosim [1].

Na escolha desses métodos procurou-se analisar diferentes modelos de extração de redes de drenagem bem como incorporar métodos para as duas estruturas de representação de modelos numéricos um para a grade regular e outro para triangulação.

Além disso, fez-se uma junção entre o método mais empregado D8 e o resultado de uma avaliação deste método, que é utilizado no ArcInfo, e o MLS Zhou, Wang and Pilesjö [2]. O resultado dessa comparação demonstrou que para os dados de teste, duas meias esferas uma côncava e outra convexa, o método MLS apresentou melhores resultados.

2 Descrição dos métodos

Foram implementados dois métodos que utilizam a grade regular retangular e um método baseado em redes triangulares irregulares ou, simplesmente, triangulação.

A região utilizada neste trabalho situa-se na Serra da Bocaina, Estado de São Paulo, entre as latitudes 23° 00' 00'' sul e 22° 45' 00'' sul e longitudes 44° 45' 00'' oeste e 44° 30' 01'' oeste. A projeção cartográfica usada foi a UTM Hayford/CórregoAlegre e a escala do projeto foi de 1/25000.

2.1 Método da Esqueletização por Multi Níveis – MLS

A idéia central deste método é procurar os fluxos de escoamento pelo grau de curvatura de cada linha de contorno Meisels, Raizman and Karnieli [3].

O método MLS é composto por um núcleo principal de extração da rede, um algoritmo de enumeração para eliminação de “loops”, resultantes da esqueletização, e de processamento auxiliar para eliminação de depressões que, normalmente, aparecem em um modelo digital mas não existem no terreno.

Um aspecto de destaque deste método é o fato de não necessitar de parâmetros fornecidos pelo usuário, como na maioria dos métodos de extração de redes usando grade regular. O usuário deve fornecer somente um valor de patamar Kt , para definir o nível de detalhamento da rede. Quanto menor o valor de Kt , mais fina, detalhada é a rede. A seguir, são descritos os principais elementos deste método.

O algoritmo do núcleo principal extrai a rede de drenagem percorrendo a grade toda, repetidamente, para cada valor de elevação nela existente. Existe uma ligação entre a curvatura de uma linha de contorno com a existência de escoamento d'água.

Inicialmente, a cada ponto, com valor de elevação máximo, atribui-se o valor de elevação de fundo ou

“background” Dalazari [4], iniciando a busca a partir da elevação imediatamente inferior. Esse valor de fundo é usado para determinação dos pontos da grade que pertencem à rede.

Justifica-se a troca inicial pois elevações maiores definem, potencialmente, fluxo passando por seus vizinhos. Neste método, o fluxo será definido em relação ao número de vizinhos que tenham elevação maior que o ponto pesquisado, em relação a duas condições: grau de curvatura e conectividade.

O grau de curvatura da vizinhança de um ponto é estimado de acordo com o número de valores de fundo (de elevação maior) contíguos necessários, com o patamar K_t , considerando os seus oito vizinhos. A Figura 1 Meisels, Raizman and Karnieli [3] mostra esta regra para todos os valores de K_t utilizados neste método, com elipses brancas como “background”.

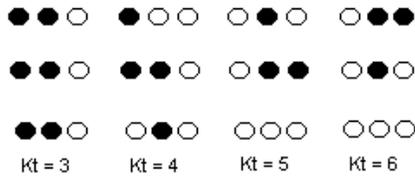


Figura 1 Possíveis valores assumidos pelo fator K_t .

A conectividade pesquisa o número de vezes que ocorre a alternância entre valor de fundo e valores menores que o do ponto central, em sua vizinhança. O encontro de dois ou mais cruzamentos na sua vizinhança implica em fluxo passando pelo ponto. Para que se defina um ponto da grade como pertencente a um fluxo da rede de drenagem, basta que uma das condições anteriores seja verdadeira. O algoritmo, para determinação da extração da rede de drenagem, apresenta os passos para determinar a rede de drenagem, sendo dividido em duas fases.

A primeira faz uma busca de acordo com o critério de grau de curvatura das linhas de contorno. A segunda fase usa o critério de conectividade para determinar a continuidade de toda rede, a partir dos pontos extraídos na fase anterior. A Figura 2 mostra o resultado do algoritmo de extração da rede de drenagem, onde se pode observar que alguns artefatos, não pertencentes à rede (loops e pontos terminais), foram também gerados.

Para resolver esses problemas efetua-se uma fase de pós-processamento em que se empregam, em seqüência, dois algoritmos conhecidos como algoritmo de Enumeração e o algoritmo Traverse Flow.

O algoritmo de enumeração atua sobre todos os valores de elevação da grade, enumerando os pontos

pertencentes ao fluxo, partindo do menor valor de elevação até atingir o maior. O algoritmo seguinte finaliza a rede percorrendo-a de cima para baixo eliminando os artefatos anteriormente citados. O resultado é apresentado na Figura 3.

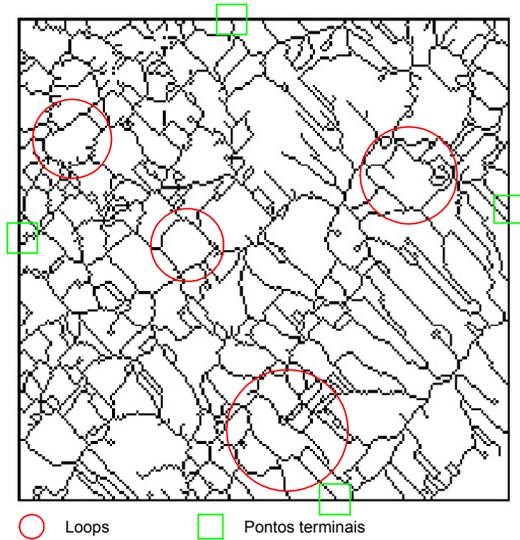


Figura 2 Estágio de rede com “loops” e pontos terminais.

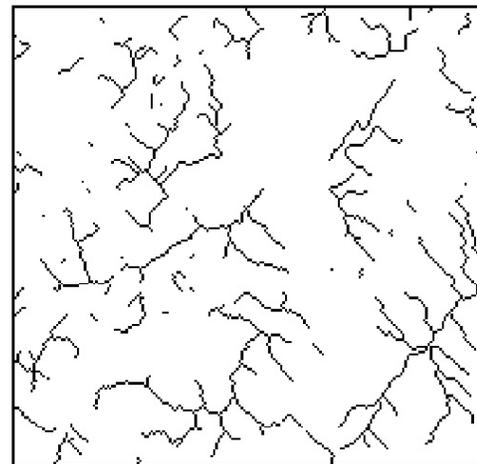


Figura 3 Processo de enumeração aplicado à rede.

Os resultados apresentados a seguir mostram o nível de detalhes obtido para valores de $K_t = 3$, Figura 4 e $K_t = 6$, na Figura 5. Pode-se observar que há uma perda de acentuada de detalhes entre as duas representações. Além disso, com $K_t = 6$ aumenta muito a quantidade de fluxos descontínuos, a grosso modo dificulta a análise macroscópica do relevo de uma região.

2.2 Método D8-Soille – D8S

Este é um método conhecido como D8 com particularidades introduzidas por Soille. Para cada ponto da grade procura pelo vizinho (vizinhança 8) que tenha o menor valor de elevação e que seja menor que a elevação do ponto central. Caso mais que um vizinho satisfaça tal condição apenas um será aleatoriamente escolhido Soille and Gratin [5].

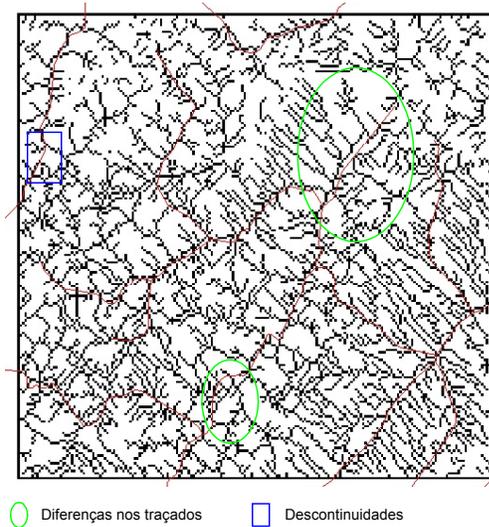


Figura 4 Resultado para $Kt = 3$.

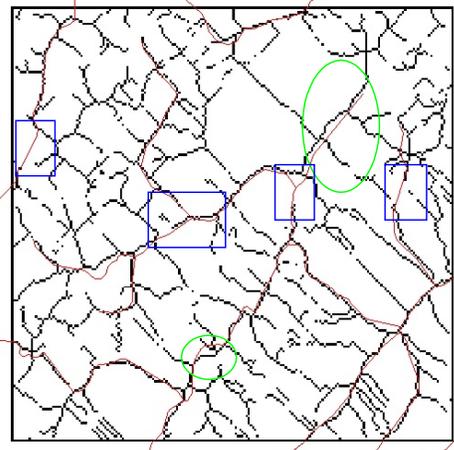


Figura 5 Resultado para $Kt = 6$.

Antes de executar o procedimento acima é necessário que se realize uma etapa de pré-processamento que consiste em eliminar artefatos que,

normalmente não existem no relevo real, mas que aparecem na geração da grade. Os artefatos mais importantes são as regiões de mínimos locais ou fossos e as regiões horizontalmente planas, ou simplesmente regiões planas.

Os fossos são eliminados por meio de uma transformação de morfologia matemática. A ideia é preencher o fosso até que um ponto da grade com valor de elevação maior que o maior valor de elevação do fosso seja encontrado, conforme mostra a Figura 6. Esse fosso se torna uma área plana.

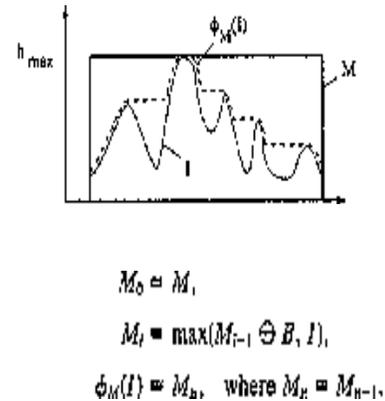


Figura 6 Preenchimento de depressões.

A eliminação de uma área plana é feita pela criação de uma rampa de distância geodésica, partindo-se do(s) ponto(s) de borda da área plana vizinho(s) ao ponto de menor valor de elevação que se encontra fora dela. A Figura 7 ilustra este procedimento.

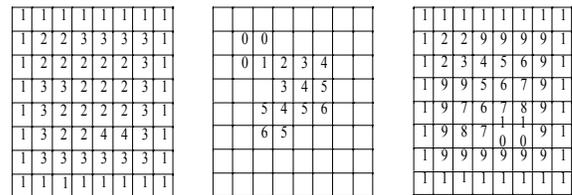


Figura 7 Determinação de rampa por distância geodésica.

Após essa fase de pré-processamento, uma grade de direções de fluxo é criada. Para cada ponto dessa grade aplica-se o procedimento D8. Em seguida, cria-se uma grade atribuindo-se para cada ponto o valor de fluxo acumulado. O valor acumulado de um ponto x da grade corresponde ao número de pontos (a montante de

x) da grade que contribuem para formar o fluxo que o atinge.

A rede de drenagem será obtida a partir da grade acumulada. Um limiar será fornecido pelo usuário determinando que todo ponto da grade acumulada com valor maior ou igual ao limiar fornecido fará parte da rede de drenagem. A Figura 8 ilustra o procedimento deste método para uma imagem teste formada por uma função sinc.

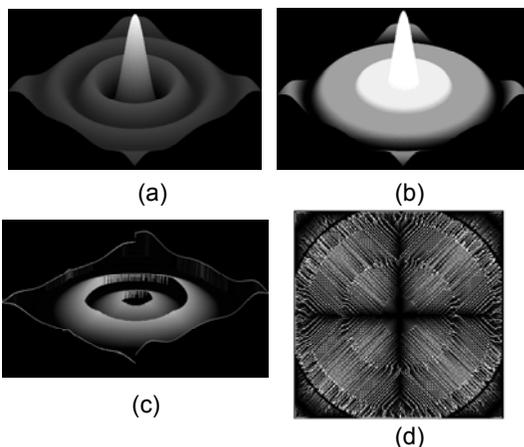


Figura 8 (a) Imagem original; (b) Preenchimento de áreas planas; (c) Criação de rampas; (d) Redes de drenagem.

O resultado deste método aplicado à região de estudo pode ser visualizado na Figura 9.

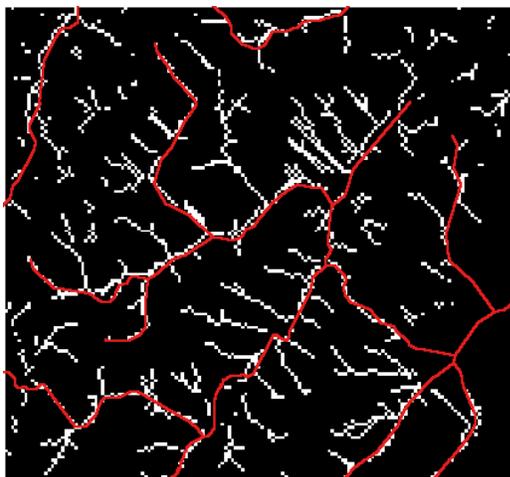


Figura 9 Drenagem pelo método D8.

2.3 Método da Triangulação – MTR

O fluxo caminha pelas arestas dos triângulos. Para definir que arestas são de fluxo deve-se observar o comportamento da água nos dois triângulos em relação à aresta por eles compartilhadas. A Figura 10 mostra as arestas com fluxo, ou seja, pertencentes à rede de drenagem Wood [6].

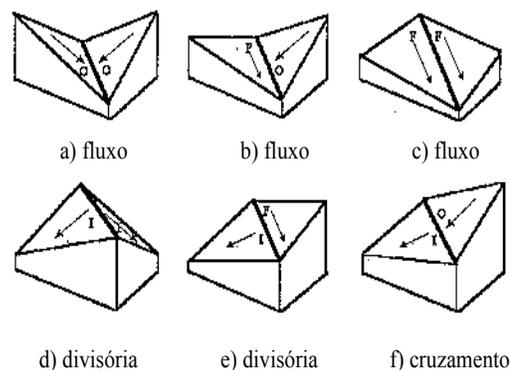


Figura 10 Tipos de escoamento por aresta.

As figuras abaixo mostram, respectivamente, a rede de drenagem extraída para a região de estudo (Figura 11) e o maior problema encontrado que são as áreas planas (Figura 12), formadas na criação da triangulação e que devem ser eliminadas pois não se pode definir fluxo de dados em seu interior.

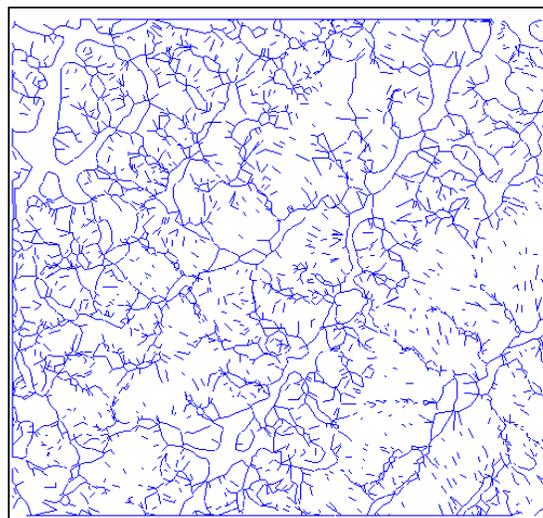


Figura 11 Resultado inicial da extração da rede de drenagem.

Para eliminar as áreas planas foram utilizadas as funções nodais quadráticas.

São funções polinomiais que passam pelo vértice do triângulo e se aproximam dos vértices vizinhos usando o recurso de mínimos quadrados.

Segundo Franke [7] o uso de polinômios do segundo grau tem fornecido bons resultados, sendo que a superfície resultante reproduz variações locais implícitas nos dados amostrados. A equação da função nodal quadrática centrada em um ponto k é dada por:

$$Q_k(x,y) = a_{k1} + a_{k2}(x-x_k) + a_{k3}(y-y_k) + a_{k4}(x-x_k)^2 + a_{k5}(x-x_k)(y-y_k) + a_{k6}(y-y_k)^2$$

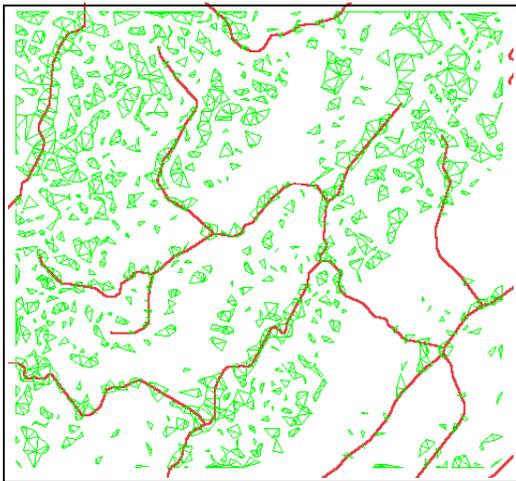


Figura 12 Áreas planas (verde). Sobreposição em a drenagem manual.

Para que as constantes desta função possam ser determinadas há necessidade de se utilizar, pelo menos, seis pontos. Como a função é centrada no ponto k então $a_{k1} = f_k$, com f_k sendo o valor de elevação no ponto k . A equação anterior fica então com a seguinte forma:

$$Q_k(x,y) = f_k + a_{k2}(x-x_k) + a_{k3}(y-y_k) + a_{k4}(x-x_k)^2 + a_{k5}(x-x_k)(y-y_k) + a_{k6}(y-y_k)^2$$

Nessa nova configuração, a equação necessita de, pelo menos, outros cinco pontos para que os seus coeficientes sejam determinados. Eles serão coletados entre os n mais próximos no vértice onde está centrada a função. Para tanto, utiliza a topologia da triangulação coletando os valores (x,y,z) dos n vértices mais próximos do ponto centrado. Este tipo de solução é bastante útil pois permite que sejam usados algum tipo de filtro para privilegiar determinadas regiões, tornando o método interativo e mais flexível.

O valor de n é determinado por escolha livre do usuário, respeitado o limite mínimo de cinco pontos, ou seja, $n \geq 5$ (Neste trabalho utilizou-se $n = 6$). A cada valor Q obtido associa-se um peso. O resultado pode ser

visualizado através da Figura 13, onde a rede é traçada, indicando o caminho do fluxo.

3 Comentários e escolha de um método para o SPRING

O método da triangulação apresenta um bom resultado, mas verifica-se a necessidade de realização de pós-processamento para eliminação de fluxos residuais. Além disso, há uma necessidade clara de se melhorar a triangulação, principalmente em relação e eliminação de áreas planas. Outra característica restritiva deste método é a impossibilidade de alteração do nível de detalhamento da rede de drenagem.

O método MLS dá um bom resultado mas fornece somente a rede de drenagem. Para aplicações em hidrologia é importante ter as grades de fluxo de cada ponto da região, como também da grade acumulada.

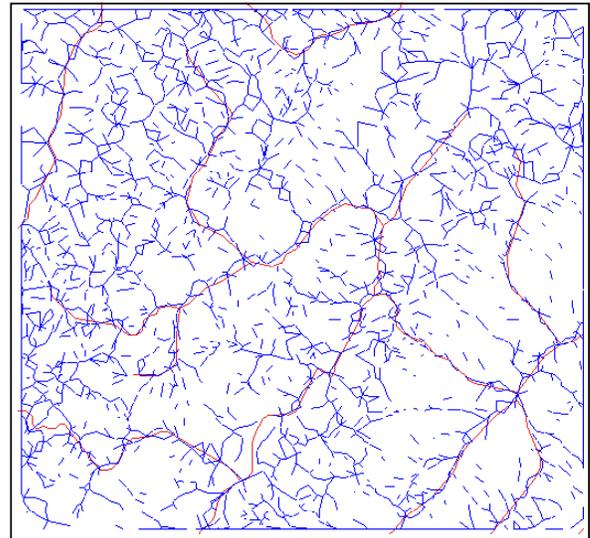


Figura 13 Resultado final da drenagem.

O método D8S também apresenta bom resultado e como, a rede de drenagem é obtida a partir da grade acumulada, conclui-se que todos os elementos básicos desejados para aplicações em processos hidrológicos, utilizando modelagem digital de terrenos, estejam presentes.

Dessa forma, optou-se por implementar primeiramente este método no SPRING para, em curto prazo, dotá-lo de ferramentas fundamentais para desenvolvimento de processos hidrológicos.

4 Conclusões complementares

As redes de drenagem podem ser utilizadas em aplicações relacionadas com geologia para determinação de nível de permeabilidade do solo, na agricultura para estudo no transporte de poluentes, em ecologia no estudo de erosão de solo a partir de cálculo de tamanho de rampas.

A definição da rede de drenagem requer uma representação do relevo sem artefatos (áreas planas e depressões), seja pela grade regular que triangular. Assim, os recursos utilizados para reduzir esses artefatos, quando da extração das redes de drenagem, servem como indicadores para melhorar a representação do relevo para qualquer tipo de aplicação.

5 References

- [1] S. Rosim, "Definição de Redes de Drenagem utilizando Modelagem Numérica de Terrenos", Instituto Tecnológico de Aeronáutica-ITA, 1999, (Dissertação de Mestrado do Curso de Engenharia Eletrônica e Computação, Área de Informática).
- [2] Q. Zhou, P. Wang, P. Pilesjö, "On the Quantitative Measurements of Errors Generated from Hydrological Modelling Algorithms". In: *Proceedings of GIS AM/FM ASIA'97 and Geoinformatics'97 Conference*, 26-29 May, 1997, Taipei, p.811-819.
- [3] A. Meisels, S. Raizman, A. Karnieli, "Skeletonizing a dem into a Drainage Network", *Computers & Geosciences*, v.21, n. 1, p.187-196, 1995.
- [4] L.S. Delazari, "Extração Automática de Redes de Drenagem a partir de Modelos Digitais de Altitude", Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1996 (Dissertação de Mestrado do Curso de Ciências Geodésicas).
- [5] P. Soille, C. Gratin, "An efficient algorithm for drainage network extraction on DEMs", *Journal of Visual Communication and Image Representation*, v. 5, No. 2, June, 181-189, 1994.
- [6] J. Wood, "The Geomorphological Characterization of Digital Elevation Models", *Leicester, UK: University of Leicester, Department of Geography*, (Ph.D. Thesis), 1996.
- [7] R. Franke, "Smooth Interpolation of Large Sets of Scattered Data", *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, v. 15, p.1691-1704, 1980.