

Uso de Grafo para Representação Unificada de Fluxos de Água em uma Bacia Hidrográfica

Sergio Rosim¹, Antônio Miguel V. Monteiro¹, Camilo Daleles Rennó¹, João Ricardo de F. Oliveira¹

¹Divisão de Processamento de Imagens (DPI) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

Caixa Postal 515 – 12.901-071 – São José dos Campos – SP – Brazil

{sergio,miguel,camilo,joao}@dpi.inpe.br

Abstract. *A new computational representation for dealing with water flow in GIS applications is presented. Local water flows are the basis for most spatially explicit distributed hydrology models. Different computer structures based on regular grids, triangular irregular networks, contour lines and irregular polygons tessellations have been used to extract local flows. 'A priori' data structure chosen impacts strongly the modeler's choices 'a posteriori' on the model development. A new data structure based on Graph theory and maintaining geographical awareness is proposed as a basis for a unified computer local water flow representation independent of the data structures used for representing terrain topography.*

Resumo. *Apresenta-se um novo método computacional para o desenvolvimento de aplicações em GIS envolvendo fluxos locais de água, base para a maioria dos modelos hidrológicos distribuídos. Esses fluxos locais são extraídos de diferentes estruturas que representam o relevo como grade regular, rede triangular irregular, ou linhas de contorno. A estrutura de dados escolhida 'a priori', impacta fortemente 'a posteriori' nas opções do modelador no desenvolvimento do modelo. Um novo modelo de dados baseado na teoria dos Grafos é proposto como base para a unificação da representação dos fluxos locais independentemente das estruturas de dados empregadas na representação do relevo.*

1. Motivação

Atualmente não existe discordância sobre a necessidade de se ter um gerenciamento eficiente e constante dos Recursos Hídricos (RH). Os múltiplos usos da água e sua crescente utilização mostram que a água é um bem finito e que pode faltar, em quantidade e qualidade, se não for usada adequadamente. A bacia hidrográfica foi definida como unidade de manejo dos RH. Importa então saber como é o comportamento da água em movimento dentro da bacia e seu relacionamento com os outros elementos da paisagem ali presentes. Dessa forma, o gerenciamento dos RH, que engloba aspectos econômicos, sociais, e outros, deve ter sempre como base o movimento da água e sua relação com espaço geográfico.

Para determinar os caminhos de fluxo que definem os movimentos da água de uma bacia hidrográfica, faz-se uso do relevo da bacia que é contínuo e deve ser

representado computacionalmente por uma estrutura de dados que, mesmo de forma discreta, deve preservar suas características topográficas. As características de qualquer estrutura de dados são: (1) a divisão da bacia em partições sendo que cada unidade desta partição, aqui chamada de célula, pode ser formada por polígono regular ou irregular; (2) a definição precisa de vizinhança entre células da partição, para que se possa percorrer toda a partição. As duas estruturas de dados mais usadas são a grade retangular regular [Burrough e McDonnell 1998] e a rede triangular irregular (TIN) [Chew 1989].

Os fluxos são definidos entre células vizinhas, sendo chamados de fluxos locais. Conectando-se os fluxos locais tem-se os caminhos de fluxo de toda bacia hidrográfica, ou seja, os caminhos percorridos pela água. A determinação dos fluxos locais é dependente da estrutura de dados empregada. A forma de representação dos fluxos locais também está vinculada a cada estrutura de dados. Assim, o resultado da extração dos fluxos locais na grade regular resulta em uma outra grade contendo a direção do fluxo para cada célula. Na triangulação, os fluxos são armazenados nas estruturas que representam as arestas e os triângulos. Da mesma forma os operadores que possibilitam a simulação com os fluxos locais são dependentes da estrutura utilizada. A implementação dos operadores que usam os fluxos locais extraídos da grade é codificada de forma diferente dos operadores extraídos da triangulação.

Como consequência, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) empregam normalmente somente um tipo de estrutura, em regra a grade regular. Isto elimina a possibilidade do benefício que cada estrutura pode oferecer. A grade regular, por exemplo, exige algoritmos mais simples enquanto a triangulação permite a representação de características específicas do relevo, mas exige o desenvolvimento de algoritmos mais complexos.

Propõe-se, neste trabalho, uma maneira de facilitar o uso de mais de uma estrutura de dados sem a consequente necessidade de duplicação da programação dos operadores que empregam os fluxos locais de uma bacia hidrográfica. A solução proposta é o uso de uma estrutura básica para representar os fluxos locais extraídos de qualquer estrutura de dados de relevo. Dessa forma, os operadores poderiam ser programados apenas uma vez, usando essa estrutura básica. A estrutura escolhida foi o grafo que permite a representação dos fluxos locais de forma conectada.

2. Grafo como Estrutura de Representação de Fluxos Locais

A estrutura de grafo é adequada para representações de fluxos sendo empregada em áreas como transportes, saneamento, saúde, entre outras. O grafo empregado em RH é do tipo direcional e acíclico. Formalmente, um grafo $G(V,E)$ é definido por um conjunto de vértices V e um conjunto de arestas E onde $e \in E, e = (v_i, v_j) | v_i \in V, v_j \in V e i \neq j$ [Ore 1962]. Um grafo direcionado é um grafo com arestas orientadas, o sentido do fluxo na aresta é importante. Se $e \in E, e = (v_i, v_j)$ então v_i é o nó de origem e v_j é o nó destino da aresta e . Um grafo é acíclico quando não permite a existência de “loops”. Além disso, é útil que o grafo seja rotulado, que se atribua valores aos nós e às arestas.

O procedimento para a implementação da solução proposta primeiramente consiste no cálculo dos fluxos locais a partir de estruturas de representações do relevo.

Em seguida cada conjunto de fluxos locais é mapeando para um grafo. Finalmente, o conjunto de operadores é programado usando-se os fluxos locais da estrutura de grafo.

A programação foi feita na linguagem Haskell [Peyton Jones 2002] que é uma linguagem adequada à prototipação de sistemas e útil para comprovação de conceitos formais. Outro recurso utilizado foi a biblioteca de grafos escrita em Haskell chamada Functional Graph Library (FGL) [Erwig 2001]. Os dados empregados neste trabalho estão armazenados na biblioteca Terralib [Câmara et al 2000] podem ser visualizados pelo software TerraView.

A Figura 1 mostra os esquemas sem e com o uso da estrutura de grafo e o resultado de um exemplo de implementação que calcula o escoamento superficial de uma bacia hidrográfica de forma simplificada, a partir de dados de fluxos locais extraídos de uma grade regular, da capacidade de infiltração para cada célula da grade e de uma grade de precipitação. Esses dados foram obtidos pela internet na página do sistema PCRaster.

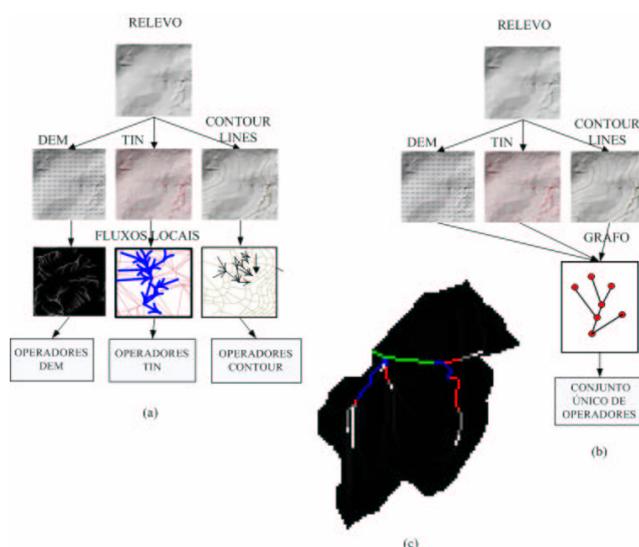


Figure 1. (a) Esquema com operadores para cada tipo de estrutura de dados; (b) Esquema com um único conjunto de operadores; (c) Resultado da aplicação da solução proposta usando grade regular para extração dos fluxos locais.

3. References

- Burrough, P.A. and McDonnell R. (1998) A. Principles of Geographical Information Systems, New York, Oxford University Press, 333p.
- Câmara, G., Souza, R.C.M., Pedrosa, B., Vinhas, L., Monteiro, A.M.V., Paiva, J.A., Carvalho, M.T. and Gattass M. (2000), TerraLib: Technology in Support of GIS Innovation, II Brazilian Symposium on GeoInformatics, *GeoInfo2000*. São Paulo.
- Chew, L.P. (1989) Constrained Delaunay Triangulations. *Algorithmica* 4(1), p. 97–108.
- Erwig, M. (2001) Inductive Graphs and Functional Graph Algorithms, *Journal of Functional Programming*, V. 11, No. 5, p. 467-492
- Ore, O. (1962) Theory of Graph, Michigan, American Mathematical Society.
- Peyton Jones,. S. (2002) Haskell 98 Language and Libraries the Revised Report.