

**UM SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DE BACIAS DE DRENAGEM  
BASEADO NA MODELAGEM CARTOGRÁFICA DO POTENCIAL DE RETENÇÃO  
DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL, A PARTIR DE DADOS ORBITAIS DE  
ÍNDICE DE VEGETAÇÃO E ÍNDICES MORFOMÉTRICOS FLUVIAIS**

M. C. Ferreira  
Depto. de Cartografia e Análise da Informação Geográfica  
Universidade Estadual Paulista - UNESP  
Caixa Postal 178  
13.500 - Rio Claro - SP  
BRASIL

H. J. Kux  
Instituto de Pesquisas Espaciais  
Caixa Postal 515  
12.201 - São José dos Campos - SP  
BRASIL

RESUMO

Este trabalho descreve uma metodologia para avaliação hidrológica indireta de bacias de drenagem, baseada em dados de imagens digitais do TM-LANDSAT, propriedades hidrológicas das unidades de paisagem e parâmetros morfométricos ou hidromorfológicos das sub-bacias de drenagem. A classificação da bacia de drenagem é feita através da integração do Índice de Vegetação, resultante de uma transformação linear entre as bandas TM3 e TM4, propriedades de permeabilidade das unidades morfopedológicas e parâmetros morfométricos coletados em cartas topográficas. A integração posterior dos dados é feita em um Sistema de Informação Geográfica, no formato vetorial.

ABSTRACT

This paper describes a methodology for hydrologic evaluation of drainage basins, based on digital image data, hydrologic properties of landscape units and hydromorphological parameters of catchments. The classification of a drainage basin is made by integration of vegetation Index resulting of a linear transformation with TM3 and TM4 bands, permeability properties of soil-geomorphology units and morphometric parameters collected on topographic maps. The integration is made in a GIS on vector format.

1. INTRODUÇÃO

A reconhecida deficiência de dados hidrológicos relativos a bacias de drenagem situadas em áreas tropicais, tem sido um fator limitante para o avanço das pesquisas voltadas a previsão de cheias excepcionais. Por outro lado, a implantação de uma rede de estações hidrométricas e pluviométricas em determinadas regiões do país, encontra uma série de restrições técnico-financeiras, impossibilitando desta forma a utilização de modelos hidrológicos tradicionais.

Dada esta configuração estrutural do território brasileiro, no que concerne a dificuldade do emprego de métodos convencionais de previsão de picos de vazão em canais fluviais, procurou-se desenvolver um modelo de classificação hidrológica de bacias de drenagem fundamentado na interação entre variáveis espaciais de importância hidrológica, pos-

síveis de serem obtidas a partir de imagens orbitais TM-LANDSAT, cartas topográficas e temáticas disponíveis sobre a bacia a ser estudada.

Espera-se com o desenvolvimento desta metodologia, a obtenção de meios capazes de preencher a lacuna existente nos estudos hidrológicos realizados em regiões tropicais, decorrente da dificuldade de acesso a métodos convencionais e de alto custo.

2. REVISÃO DA LITERATURA

O emprego de imagens orbitais na previsão de picos de cheias de canais fluviais foi proposto inicialmente por Salomonson et alii (1975). Este autor verificou a possibilidade da utilização de dados do MSS-LANDSAT em modelos hidrológicos de bacias de drenagem, a partir da classificação digital de dados de cobertura do terreno. Algazi e Minsoo

(1978) afirmaram que a densidade de cobertura vegetal no terreno é a variável fundamental para a estimativa do escoamento fluvial de uma bacia a partir de imagens orbitais. Regan e Salomonson (1978), constataram que os erros inerentes a classificação digital da cobertura do terreno não afetam a estimativa de escoamento fluvial máximo de uma bacia, visto que a margem de erro aceita para os modelos hidrológicos é superior àquelas aceitas nas classificações digitais. Sasso et alii (1978) compararam três técnicas de levantamento da cobertura do terreno (fotointerpretação, classificação digital MAXVER e observações em campo), para a classificação hidrológica de bacias de drenagem pelo modelo SCS (Soil Conservation Service, EUA). Os resultados mostraram que as três técnicas produzem um erro inferior a 7% na predição do escoamento fluvial máximo.

O uso de Índices de Vegetação (IV) para a estimativa de parâmetros da cobertura vegetal tais como densidade de biomassa, porcentagem de cobertura do solo ou altura das plantas, é amplamente relatado na bibliografia. Tucker (1979), Perry e Lautenslager (1984), relatam a correlação entre diferentes tipos de Índices de Vegetação e a quantidade de vegetação sobre o terreno. Pereira e Batista (1985) verificaram a existência de coeficientes de correlação linear significativos entre os valores de IV obtidos por tratamento de imagens orbitais e os valores da biomassa foliar coletada no terreno. Batista et alii (1988) mostraram que o IV do tipo razão entre bandas é altamente correlacionado com parâmetros agrônômicos como biomassa verde e porcentagem de cobertura do solo.

Lull e Reinhart (1987), e Bush e Hewlett (1982), entre outros, constataram que a densidade de fitomassa de uma cobertura vegetal é diretamente proporcional a interceptação da precipitação e consequentemente à redução do escoamento superficial no terreno e do escoamento fluvial de cheia nos canais de drenagem da bacia.

Schumm (1977) mostrou que uma das principais aplicações da geomorfologia a hidrologia é a previsão dos picos de cheias e das características do escoamento fluvial de bacias onde não há a disponibilidade de dados hidrológicos. Esta previsão pode ser feita a partir de parâmetros morfométricos da bacia que têm alta correlação com a amplitude da curva de vazão do canal principal da bacia. Estes parâmetros exprimem as características morfológicas da bacia que interferem na intensidade e velocidade do escoamento superficial. Segundo Gregory e Walling (1973), Patton e Baker (1976) e Schumm (1977), os parâ-

metros morfométricos de importância hidrológica são: área da bacia, densidade de drenagem, declividade do canal principal, taxa de relevo e forma da bacia.

### 3. METODOLOGIA E MATERIAL UTILIZADOS NO DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO HIDROLÓGICA DE BACIAS DE DRENAGEM

A metodologia geral empregada na construção deste sistema de classificação está baseada na integração de três tipos de dados espaciais que possuem relação direta com a dinâmica hidrológica superficial de uma bacia hidrográfica: densidade de cobertura vegetal no terreno, morfometria fluvial e características hidrológicas das unidades pedológicas.

Este sistema se constitui em um modelo integrado da bacia, uma vez que considera a interdependência espacial e temporal entre as variáveis espaciais. Cada uma destas variáveis espaciais que compõe este modelo de classificação hidrológica é considerada como um mapa temático classificado de forma ponderada, segundo uma avaliação qualitativa, ordenada e empírica de seu papel na retenção do escoamento superficial em um evento de precipitação.

Com base nestes pressupostos, são consideradas neste sistema três variáveis espaciais independentes na bacia:

Variável 1 - Mapa do Índice de Vegetação (Mapa I).

Variável 2 - Mapa da Permeabilidade Relativa das Unidades Pedológicas (Mapa II).

Variável 3 - Mapa Morfométrico das Sub-Bacias (Mapa III).

O Mapa I é obtido a partir de imagens orbitais do sistema Sensor TM-LANDSAT, através do cálculo do Índice de Vegetação. Este índice (IV) é o resultado da transformação linear entre as bandas 3 (0.63 m-0.69 m) e 4 (0.76 m-0.90 m), efetuada com o uso de algoritmos do SITIM-150. A transformação linear utilizada para a estimativa da densidade de vegetação no terreno é a Diferença Normalizada, definida por Rouse et alii (1973) como:

$$IV = (TM4 - TM3)/(TM4 + TM3) \quad (1)$$

Posteriormente, a imagem IV resultante é classificada em 5 faixas de biomassa foliar com base em pontos de controle observados no campo segundo classes de cobertura do terreno. Esta classificação é feita a partir do uso dos algoritmos MAXVER e FATIAMENTO de níveis de cinza. A imagem temática resultante da classificação é registrada sobre uma carta topográfica na escala 1:50.000, também através do uso do SITIM-150, resultando desta forma em um mapa temático da densi-

sidade de cobertura vegetal no terreno.

O Mapa II é obtido a partir de coletas de dados em cartas topográficas 1:50.000 e fotointerpretação na escala 1:60.000. Os dados coletados se referem a área da bacia, densidade de drenagem, taxa de relevo e índice de forma. Estes parâmetros são integrados em um Índice Hidromorfológico, o qual é calculado para todas as sub-bacias que compõem a bacia de drenagem a ser classificada.

O Mapa III é resultado da reclassificação das unidades pedológicas de mapas semi-detalhados de solos (1:100.000), segundo as características que afetam a resposta hidrológica dos solos (Dugan, 1984). Esta classificação é efetuada com base na associação entre unidades pedológicas e unidades de paisagem, o que propicia uma análise da resposta hídrica do solo a partir da granulometria do embasamento litológico e da morfologia das unidades de relevo.

Após a obtenção destes três mapas, os mesmos são inseridos no Sistema de Informação Geográfica SGI/INPE,

se constituindo então em uma base de dados espaciais da bacia sobre a qual se quer efetuar uma avaliação hidrológica do escoamento superficial.

O uso das funções de mapeamento existentes no SGI, proporciona a possibilidade de se construir modelos cartográficos preditivos sobre alterações futuras na dinâmica do escoamento superficial da bacia, com base em prognósticos feitos a partir do cenário atual obtido através do levantamento dos dados de densidade de cobertura vegetal na bacia, provenientes de imagens orbitais TM-LANDSAT.

#### 4. RESULTADOS A SEREM OBTIDOS

Com o desenvolvimento deste procedimento exposto, espera-se obter além da metodologia propriamente dita, um conjunto de resultados provenientes da aplicação deste sistema de classificação proposto. Tais resultados esperados se constituem em documentos cartográficos úteis em ações de planejamento voltadas ao gerenciamento dos recursos hídricos, e são apresentados a seguir:

- 4.1 - Mapa da Densidade de Cobertura Vegetal na Superfície das Sub-bacias de Drenagem que compõem a bacia avaliada;
- 4.2 - Mapa Morfométrico das Sub-bacias de Drenagem;

4.3 - Mapa da Permeabilidade Relativa dos Solos da Bacia Avaliada;

4.4 - Mapa das Unidades de Resposta Hidrológica da Bacia Avaliada;

4.5 - Mapa do Potencial de Escoamento Superficial da Bacia em um determinado período ou estação do ano;

4.6 - Relatório de medidas a serem tomadas para a reorganização espacial da bacia de drenagem, visando minimizar o escoamento superficial.

#### 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposição metodológica aqui exposta, embora em caráter preliminar, permite uma avaliação do potencial da utilização futura deste sistema de classificação hidrológica de bacias de drenagem. Das três variáveis espaciais independentes, sobre as quais se apoia o método, observa-se que duas delas podem ser consideradas temporalmente constantes, como é o caso das variáveis 2 e 3 (morfometria das sub-bacias e propriedades hidrológicas dos solos). A variável 1, densidade de cobertura vegetal no terreno, devido a sua dinâmica fenológica sazonal e às interferências antrópicas, se mostra como a mais importante para a previsão das alterações mensais ou anuais do escoamento fluvial do canal principal. Os novos valores assumidos pela variável 1 determinarão uma nova classificação para a bacia, podendo influenciar sobre o seu potencial de retenção do escoamento em um determinado período do ano. É neste contexto que as imagens orbitais se tornam ferramentas de extrema importância na avaliação hidrológica de bacias não instrumentalizadas, uma vez que devido à resolução temporal dos dados orbitais, os mesmos possibilitam a atualização periódica do potencial de retenção do escoamento da bacia.

O desenvolvimento desta metodologia está sendo realizada em uma área teste, a Bacia do Ribeirão do Feijão, a qual é responsável pelo fornecimento de água à população da cidade de São Carlos-SP e onde são mantidas estações hidrométricas e pluviométricas a cargo do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada, da Universidade de São Paulo. Os dados provenientes destas estações serão utilizados em uma segunda fase deste trabalho, a qual tratará de estudos voltados a identificar a correlação existente entre a estimativa de pico de vazão fornecida pelo sistema de classificação hidrológica e os valores obtidos de forma convencional.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- ALGAZI, V.R.; MINSOO, S. Satellite and use acquisition and applications to hydrologic planning models. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 11, Manila, Philippines, April 20-26, 1978, pp. 1171-1181.
- BATISTA, G.T.; RUDORFF, B.F.T.; OVIEDO, A.F.P. Resposta espectral de soja e sua relação com parâmetros agrônomicos. PI - INPE-4832-PRE/1462, 1988, 9 p.
- BUSH, J.M.; HEWLETT, J.D. A review of catchment experiments to determine the effects of vegetation changes on water yield and evaporation. Hydrology, 55(sf):3-23, 1982.
- DUGAN, J.T. Hydrologic characteristics of Nebraska soils. USGS Water Supply Paper 2222, 1984, 19 p.
- GREGORY, K.J.; WALLING, D.E. Drainage basin: form and process. A geomorphological approach. London, Edward Arnold, 1973.
- LULL, H.M.; REINHART, N.G. Increasing water yield in the northeast by management of forested watersheds. Pap. NE-66, U.S. Service, 1967.
- PATTON, P.C.; BAKER, V.R. Morphometry and floods in small drainage basin subjects to diverse hydrogeomorphic controls. Water Resources Research, 12(5):941-952, 1976.
- PEREIRA, M.D.B.; BATISTA, G.T. Correlação de fitomassa verde de campo cerrado com dados espectrais obtidos pelo sistema MSS-LANDSAT e por radiometria de campo. PI-INPE-3467. PRE/710, 1985, 13 p.
- PERRY, C.R.; LAUTENSCHLAGER, L.F. Functional equivalence of spectral vegetation indices. Remote Sensing of Environment, 14(sf):169-182, 1984.
- RAGAN, R.M.; SALOMONSON, V. The definition of hydrologic model parameters using remote sensing techniques. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 11, Manila, Philippines, April, 20-26, 1978, pp. 481-495.
- ROUSE, J.R.; HASS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: ERTS SYMPOSIUM, 3, vol. 1, 1973.
- SALOMONSON, V.V.; AMBRUCH, R.; RANGO, A.; ORMSBY, S.P. Remote Sensing requirements as suggested by watershed model analysis. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 10, Ann Arbor, MI, Oct. 6-10, 1975, pp. 1273-1284.
- SASSO, R.; ESTES, J.E.; KRAUS, S.P. Comparative results of conventional and digital land cover collection methodologies for input to hydrologic modelling. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 11. Manila, Philippines, April 20-26, 1978, pp. 1319-1329.