Estimativa do escoamento superficial distribuído na bacia hidrográfica do rio do Peixe (SP) por meio de geoprocessamento

[1]José Roberto Amaro Mantovani
[2]Enner Alcântara
[3]Paulo Cesar Rocha
[4]Marcelo Pedroso Curtarelli
[2]Nilton Nobuhiro Imai

[1]Curso de Graduação em Geografia
[2]Departamento de Cartografia
[3]Departamento de Geografia
Faculdade de Ciências e Tecnologia - FCT
Universidade Estadual Paulista 'Júlio de Mesquita Filho' - UNESP
Campus de Presidente Prudente, SP
E-mail: jr.mantovani.geo@gmail.com; {enner, pcrocha, nnimai}@fct.unesp.br

[4]Divisão de Sensoriamento Remoto - DSR
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
São José dos Campos, SP
E-mail: mpedroso@dsr.inpe.br

Abstract. The use of remote sensing and geographic information systems (GIS) to facilitate the estimation of runoff from watershed has gained increasing attention in recent years. The curve-number (*CN*) method from US Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service was used in this study for determine the distributed runoff. Distributed hydrologic models need specific data on land use and land cover and its location within the basin. A hydrological model called HEC-GeoHMS (Geospatial Hydrologic Modeling Extension) was used to combine the soil and land use and land cover data into a single shape file and then estimate the CN map for the entire basin. The objective of this paper was to estimate the spatially distributed runoff in the Peixe River Hydrographic Basin (Sao Paulo State). For this, remote sensing (TM-Landsat-5 and SRTM - Shuttle Radar Topography Mission) and auxiliary data (soil map and precipitation) was used as input to feed the GIS-based hydrologic model - HEC-GeoHMS. The results showed that the Peixe river basin have few areas with high runoff values (higher than 150 mm month^{-1}), mainly due to high slope and agricultural areas. Also, the results showed no evidences of natural disaster for this basin. The combined use of remote sensing, digital image processing techniques and a distributed hydrologic model was adequate for the study of runoff in the Peixe river basin, allowing the spatial distribution for entire basin, as well as checking areas with greatest natural disaster risk.

Palavras-chave: HEC-GeoHMS, SRTM, water resources, HEC-GeoHMS, SRTM, recursos hídricos.

1. Introdução

A estimativa do escoamento superficial em bacias hidrográficas é necessária para o planejamento e execução de projetos em gerenciamento de recursos hídricos (Tucci, 2001). Os principais fatores que podem exercer influência no escoamento superficial em uma bacia são: área e forma da bacia, características topográficas da bacia (declividade, depressão e relevo), condições de superfície do solo e constituição geológica (vegetação, impermeabilização, capacidade de infiltração e tipos de rochas), e interferência humana (irrigação, canalização, transposição de bacias, mudanças no uso e cobertura do solo).

O uso e cobertura do solo têm vários impactos no ciclo hidrológico, tais como, inundações, secas, escoamento e a qualidade da água. Os modelos de precipitação-escoamento possuem uma importante função no entendimento das condições hidrológicas das bacias e na realização de previsões. Modelos hidrológicos, em particular os distribuídos,

necessitam de dados específicos de uso e cobertura do solo e a sua localização na bacia (Liu e De Smedt, 2005).

Embora muitos estudos do processo precipitação-escoamento em escala de campo existam na literatura, metodologias específicas aceitas para esta escala são raras (Oliveira; Maidment, 1999; Melesse; Shih, 2002). O Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos (SCS, 1972) desenvolveu um método, conhecido como método da curva-número (*CN*), que utiliza o total de precipitação e um índice de abstrações iniciais para calcular o volume total de água escoado na bacia. Vários estudos já foram realizados incorporando os Sistemas de Informações Geográficos (SIGs) em modelos hidrológicos (p. exe. Melesse e Shih, 2002; Liu e De Smedt, 2005).

O objetivo do presente trabalho é estimar o escoamento superficial distribuído na bacia hidrográfica do rio do Peixe (BHRP) e avaliar o seu estado de conservação.

2. Metodologia de Trabalho

2.1. Área de Estudo

A BHRP (Figura 1) situa-se na porção oeste do estado de São Paulo, entre as coordenadas geodésicas, 21°41' 56,71" S e 51° 32' 42,84" O.

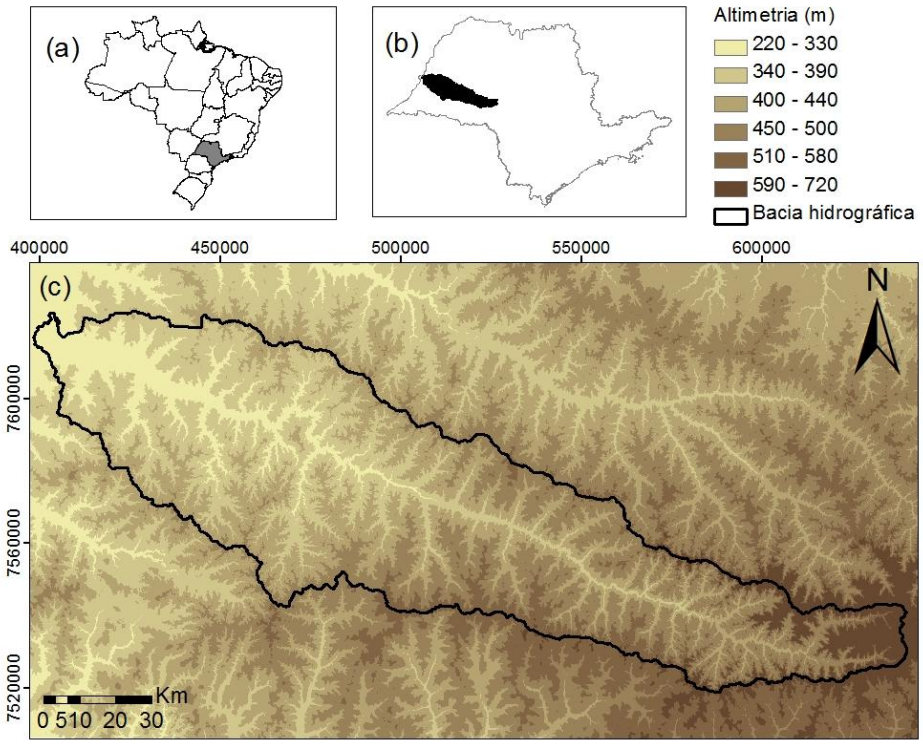

Figura 1: Localização da área de estudo: (a) localização do estado de São Paulo, (b) localização da BHRP no estado de São Paulo e (c) limite da BHRP, mostrando o relevo.

A bacia do rio do Peixe possui área de drenagem de aproximadamente 10.027 km^2, limitando-se com a bacia do rio Aguapeí ao norte, ao sul com a bacia do rio Paranapanema, a oeste com o rio Paraná e a leste com a Serra dos Agudos e a Serra do Mirante. O rio do Peixe nasce na Serra dos Agudos, numa altitude de 670 metros, percorre uma extensão de 380 Km e desemboca no Rio Paraná, a uma altitude de 240 metros. A precipitação média anual é de 1250 mm e a temperatura média anual superior a 18ºC. O mês mais chuvoso é janeiro, com precipitação média de 200mm, e o mais seco é julho, com precipitação média de 25 mm.

2.2. Dados

2.2.1. Dados de Sensoriamento Remoto

Para realização desta pesquisa foram utilizados os dados de altimetria, provenientes do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM – Rabus et al., 2003), processados e disponibilizados pelo *Consortium for Spatial Information* (CGIAR-CSI) no seguinte endereço eletrônico: http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp.

Foram utilizadas 4 cenas do sensor TM (*Thematic Mapper*) a bordo do satélite Landsat-5, das datas: 20/06/2011 (órbita/ponto: 223/75); 15/07/2011 (órbita/ponto: 222/75); 22/06/2011 (órbita/ponto: 221/75); 06/06/2011 (órbita/ponto: 221/76). As imagens foram utilizadas para realizar a classificação do uso e cobertura do solo na bacia.

2.2.2. Dados Pedológicos

Os dados pedológicos foram obtidos por meio do mapa pedológico do Estado de São Paulo, na escala de 1:500.000 (Oliveira et al.1999). As classes de solo que compõem a BHRP são: Argissolos Vermelho-Amarelos, Gleissolos Háplicos, Latossolos Vermelhos, Neossolos Litólicos e Neossolos Quartzarênicos.

2.3. O método curva-número

No modelo *CN* da *SCS* (1972) a estimativa de escoamento superficial (Q, mm) é realizada da seguinte maneira (Equação 1):

$$Q = \frac{(P - 0,2 \times S)^2}{P + 0,8 \times S} \quad (1)$$

Onde P é a precipitação média mensal (mm mês^{-1}), S é a capacidade máxima de armazenamento de água (saturação) da camada superior do solo na bacia hidrográfica (mm mês^{-1}). Para esse trabalho foi considerada a precipitação média para o mês de janeiro de 200 mm. A Equação (1) somente é válida para $P > 0.2 \times S$; quando $P < 0.2 \times S$, temos que $Q = 0$. O parâmetro S, é relacionado ao CN da seguinte maneira (Equação 2):

$$S = \left(\frac{25400}{CN} \right) - 254 \quad (2)$$

O CN é um índice para escoamento adimensional baseado no grupo hidrológico de solos (GHS), uso e cobertura, condições hidrológicas e condições antecedentes de umidade. O método CN permite mostrar o efeito das mudanças no uso e cobertura do solo sobre o escoamento superficial. Os valores de CN variam entre 1 e 100. Valores altos de CN indicam alto escoamento (Melesse; Shih, 2002).

O CN deve ser ponderado em função do uso e cobertura do solo e dos tipos de solo da seguinte forma (Equação 3):

$$CN_p = \frac{\sum_{i=1}^{n} (CN_i \times A_i)}{\sum_{i=1}^{n} A_i} \quad (3)$$

Onde CN_p é o valor de curva-número ponderado (adimensional); CN_i é o valor da curva-número de cada grupo de uso e cobertura e tipo do solo na BHRP (adimensional) e A_i é a área de cada grupo de uso e cobertura e tipo do solo na bacia (km^2).

2.5. Modelo hidrológico distribuído

O *software* utilizado para processamento e análise foi o ArcGIS 9.2 (ESRI, 2008), com as extensões *Spatial Analyst, ArcHydro Tools 9.0* e HEC-GeoHMS (*Geospatial Hydrologic Modeling Extension*). O HEC-GeoHMS é um conjunto de ferramentas do ArcGIS desenvolvido especialmente para o processamento de dados geoespaciais, criando dados de entrada para o Sistema de Modelagem Hidrológica (HEC-HMS) do Centro de Engenharia Hidrológica (HEC, 2009).

3. Enfoque Metodológico

A Figura 2 apresenta de forma esquemática e resumida o enfoque metodológico utilizado para delimitar e estimar o escoamento superficial na BHRP.

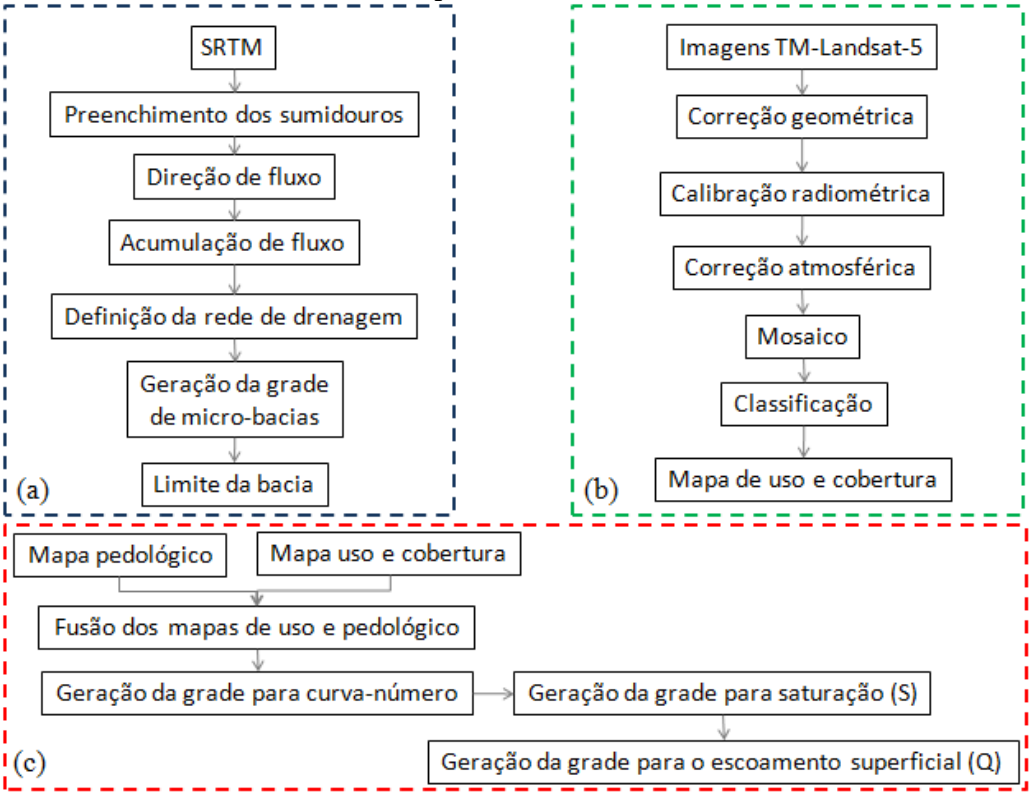

Figura 2. Procedimentos para delimitar a bacia hidrográfica e para estimar o escoamento superficial na BHRP. (a) procedimento realizado com o auxílio da extensão *ArcHydro Tools* para a delimitação da BHRP, (b) procedimento realizado com o auxílio do *software* ENVI (*Environment for Visualizing Images*, RSI, 2004) para gerar o mapa de uso e cobertura da BHRP, (c) procedimento realizado com o auxílio da extensão HEC-GeoHMS para estimar o escoamento superficial na BHRP.

O primeiro passo para delimitação da BHRP (Figura 2-a) foi a obtenção dos dados SRTM e geração do mosaico das folhas: SF-22-V-B; SF-22-V-D; SF-22-X-C; SF-22-Z-A; posteriormente foi realizado o preenchimento dos sumidouros. Este procedimento é necessário para a obtenção da direção e acumulação de fluxo, extração automática da rede de drenagem e a delimitação das micro-bacias. Após estes procedimentos foi definido o limite da BHRP, com consistência hidrológica (Adami et al. 2011).

Para gerar o mapa de uso e cobertura do solo na BHRP (Figura 2-b), as imagens do sensor TM-Landsat-5 foram submetidas à correção geométrica, calibração radiométrica, e correção atmosférica. A correção geométrica foi realizada utilizando-se como referência uma cena ortorretificada disponibilizada pelo *Global Land Cover Facility*

(http://glcf.umiacs.umd.edu/index.shtml). A calibração radiométrica foi realizada com a metodologia descrita em Chander e Markham (2003). A correção atmosférica foi realizada por meio do modelo 6S (*Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum*) (Vermote et al., 1997).

Após estas correções, foi realizado o mosaico das cenas TM-Landsat-5. O mosaico foi recortado dentro dos limites da BHRP. A classificação supervisionada foi realizada por meio do algoritmo distância euclidiana (Mather, 2004), gerando o mapa de uso e cobertura do solo (área urbana, área agrícola, solo exposto, pastagem e água).

O próximo passo foi a realização da fusão entre o mapa de uso e cobertura do solo e o mapa pedológico. Esse procedimento foi realizado por meio da extensão HEC-GeoHMS. Foi necessário a criação de uma '*LookUp Table*' com os valores de *CN* da literatura (Tucci, 2001; Figura 2-c). Após a geração da grade de *CN* , o próximo passo foi a estimativa da saturação do solo, por meio da Equação (2). Essa grade de saturação, foi utilizada para a estimativa de escoamento superficial na BHRP, por meio da Equação 1.

4. Resultados e Discussão

4.1. Mapa de uso e cobertura

A BHRP é essencialmente ocupada por área agrícola (3464,50 km^2; 34,55%) e pastagem (3452,15 km^2; 34,42%). A terceira classe em área é a mata ciliar (1393,62 km^2; 13,89%), seguida pelo solo exposto (758,71 km^2; 7,56%) e a floresta (585,94 km^2; 5,84%). A área urbana (304,73 km^2; 3,03%) e a água (67,11 km^2; 0,66%) representam as menores áreas ocupadas na bacia.

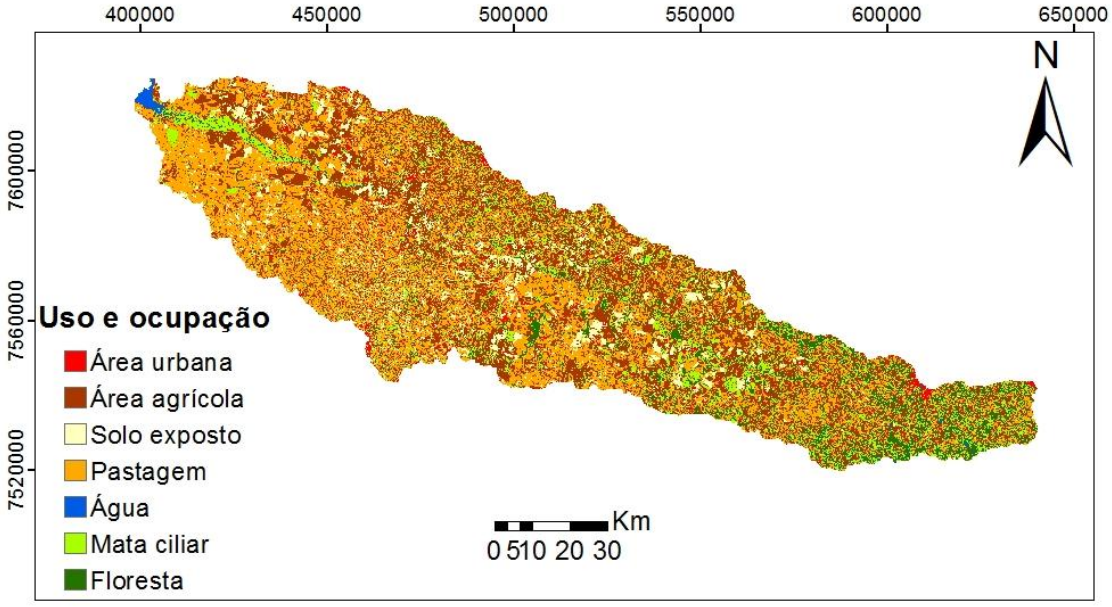

Figura 3: Mapa de uso e cobertura para a BHRP.

4.2. Mapa de grupos hidrológicos

O mapa de GHS mostra que a maior parte da bacia pertence ao grupo B, seguido pelo grupo A (Figura 4). Esses dois grupos, são marcados pelo baixo escoamento superficial. Os grupos C e D ocupam uma pequena área da bacia, e são responsáveis pelo maior escoamento superficial.

Essas áreas estão concentradas principalmente em regiões com maior declividade, áreas construídas ou superfícies líquidas. Áreas com alto escoamento superficial são potenciais para ocorrência de inundações, principalmente em regiões onde o planejamento urbano é falho.

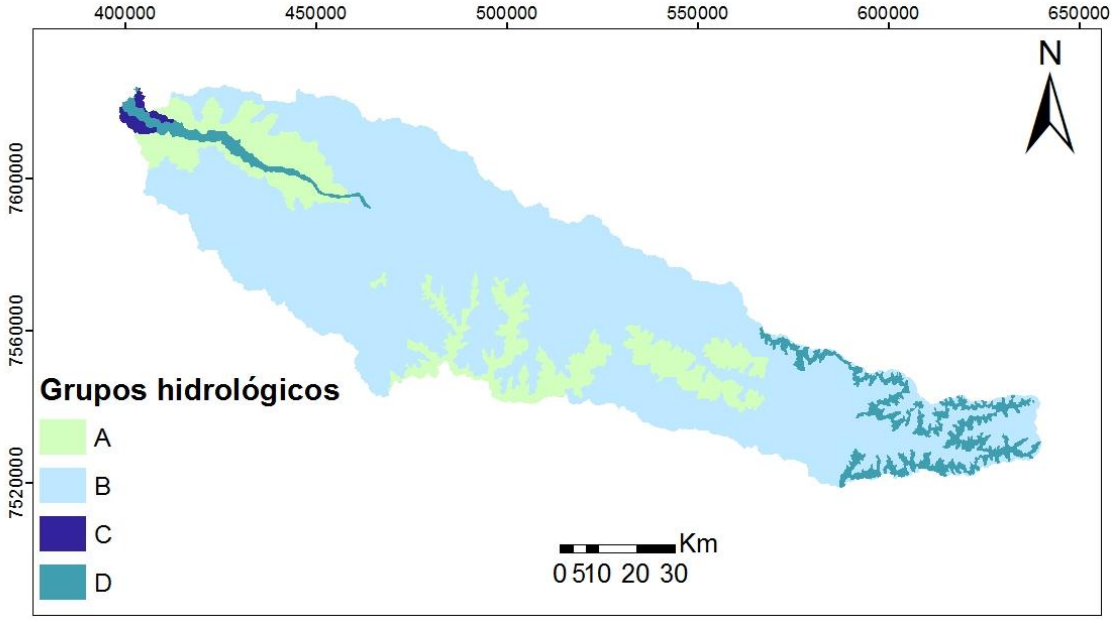

Figura 4: Mapa de grupos hidrológicos (GHS) para a BHRP. Grupo A: Solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração; Grupo B: Solos menos permeáveis do que o anterior, solos arenosos menos profundo do que o tipo A e com permeabilidade superior à média; Grupo C: Solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média; Grupo D: Solos contendo argilas e pouco profundas com muito baixa capacidade de infiltração. Fonte: Tucci (2001).

4.3. Mapa de escoamento superficial

O mapa de escoamento superficial (Figura 5) mostra que a região leste da bacia apresenta a área com maior risco de ocorrer desastres naturais devido a precipitações extremas, já que o escoamento superficial apresentou valores acima de 150 mm mês^{-1}. Como foi considerada uma precipitação mensal de 200 mm, então, este montante escoado equivale a 75% do total precipitado.

Por outro lado, regiões próximas ao rio do Peixe, formada por mata de galeria, apresentam escoamento entre 2,79 a 21,36 mm mês-1, ou seja, representa um escoamento superficial da ordem de 1,39 a 10,68% do total precipitado. Por ser uma região de melhor conservação e com solo propício, a maior parte da precipitação é infiltrada no solo. Estas áreas são importantes por promover a recarga de reservas subterrâneas.

O mapeamento de áreas com alto potencial de escoamento superficial, e o seu cruzamento com informações de uso e cobertura do solo, bem como a previsão de mudanças no uso e cobertura do solo, podem evitar futuros desastres naturais. De acordo com Tominaga et al. (2009), no Brasil os principais fenômenos relacionados a desastres naturais são as inundações e enchentes, escorregamentos de solos e/ou rochas e tempestades. Esse tipo de desastre vem ocorrendo com maior frequência desde 1960.

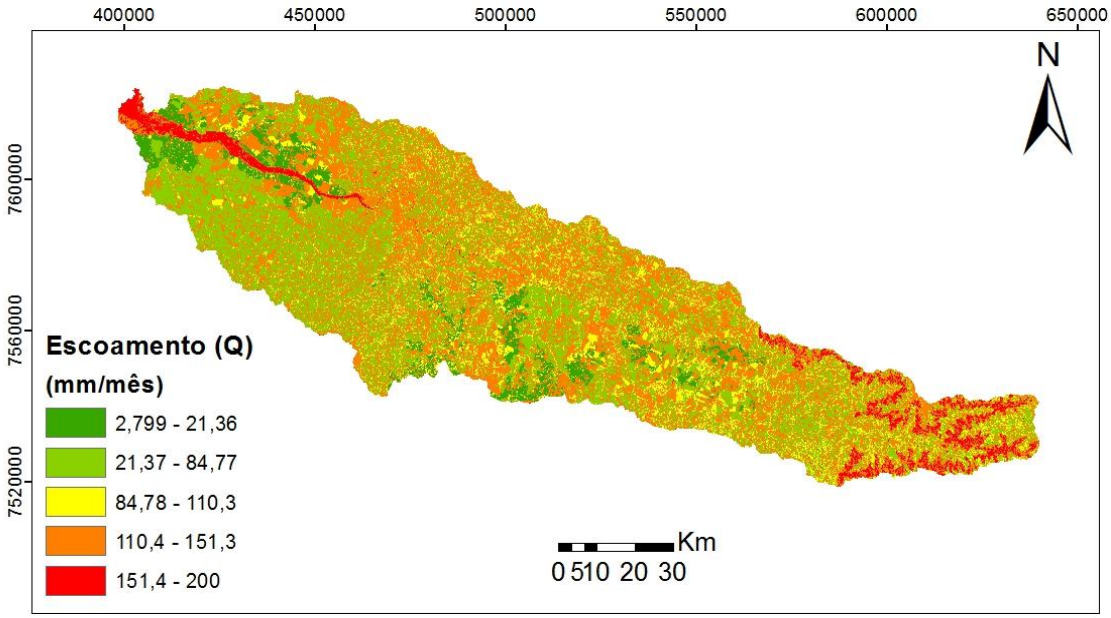

Figura 5: Mapa de escoamento superficial médio mensal na BHRP, considerando uma chuva de 200 mm $mês^{-1}$.

Este aumento é considerado por diversos autores como consequência do intenso processo de urbanização, que leva ao crescimento desordenado das cidades em áreas impróprias à ocupação. As intervenções realizadas pelo homem nestes terrenos, tais como, desmatamentos, cortes, aterros, alterações nas drenagens naturais, lançamento de lixo e construção de moradias, efetuadas, na sua maioria, sem a implantação de infraestrutura adequada, aumentam a instabilidade no terreno (Carvalho; Galvão, 2006).

Quando há um adensamento destas áreas por moradias precárias, os desastres associados aos escorregamentos e inundações assumem proporções catastróficas causando grandes perdas econômicas e sociais (Tominaga, 2007).

5. Conclusão

O objetivo do presente trabalho foi o de estimar o escoamento superficial na BHRP e avaliar os potenciais riscos de desastres naturais associados ao processo de escoamento superficial. Os resultados mostraram que de maneira geral, a bacia em questão não apresenta indícios de possíveis desastres naturais decorrentes de chuvas intensas, devido ser uma bacia de baixa urbanização.

Os resultados mostraram também que os locais onde ocorreram altos valores de escoamento superficial, estavam diretamente relacionados a áreas com alta declividade e áreas agrícolas.

A utilização conjunta de dados de sensoriamento remoto, técnicas de processamento digital de imagens e de um modelo hidrológico distribuído mostrou ser adequada para o estudo do escoamento superficial na BHRP, permitindo avaliar a distribuição espacial do escoamento superficial em diferentes regiões da bacia, bem como verificar as áreas com maior risco de ocorrência de desastres naturais.

Referências Bibliográficas

Adami, M.; Alcântara, E. H.; Freitas, R. M.; Oliveira, C. G.; Souza, A. F.; Stech, J. L.; Moreira, M. A.; Rudorff, B. F. T. Metodologia para delimitação da bacia hidrográfica de reservatórios hidrelétricos: aplicação ao reservatório de Itumbiara (GO). In: Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, 15. (SBSR), 2011, Curitiba. **Anais**... São José dos Campos: INPE, 2011. p. 1349-1356. DVD, Internet. ISBN 978-85-17-00056-0 (Internet), 978-85-17-00057-7 (DVD). Available from: <http://urlib.net/3ERPFQRTRW/3A5J2G8>. Acesso em: 01 de Agosto de 2012.

Carvalho, C.S.; Galvão,T. Ação de Apoio à Prevenção e Erradicação de Riscos em Assentamentos Precários. In: Carvalho, C.S.; Galvão, T. (Org.). **Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas Municipais**. Brasília: Ministério das Cidades; Cities Alliance, 2006, cap 1. p. 10-17.

Chander, G.; Markham, B. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 41, n. 11, p. 2674-2677, 2003.

Environmental System Research Institute (ESRI). **ArcGis Version 9.2**. Environmental Systems Research Institute, Inc., Redlands, CA. 2008.

Hydrologic Engineering Center (HEC). **HEC-GeoHMS: geospatial hydrologic modeling extension.** US Army Corps of Engineers. User´s Manual. Version 4.2. 2009. Disponível em<www.hec.usace.army.mil/ software/hec-geohms>. Acesso em 02 de Agosto de 2012.

Liu, Y.B.; De Smedt, F. Flood modeling for complex terrain using GIS and remote sensed information. **Water Resources Management**, v. 19, n. 5, p. 605–624, 2005.

Mather, P.M. **Computer processing of remotely-sensed images: an introduction**, Chichester: John Wiley & Sons. 3rd edition. 2004.

Melesse, A.M.; Shih, S.F. Spatially distributed storm runoff depth estimation using Landsat images and GIS. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 37, n. 1-3, p. 173-183, 2002.

Oliveira, F.; Maidment, D. Geographic information systems (GIS)-based spatially distributed model for runoff routing. **Water Resources Research**, v. 35, n. 4, p. 1155-1164, 1999.

Oliveira, J.B.; Camargo, M.N.; Rossi, M.; Filho, B.C. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo**. Embrapa. 1999.

Rabus, B.M.; Eineder, A.R.; Bamler R. The shuttle radar topography mission - a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. **ISPRS Photogrammetric Engineering and Remote Sensing** v. 57, n. 4, p. 241-262, 2003.

Research Systems Inc. (RSI). **ENVI User´s Guide**. 2004.

Soil Conservation Service (SCS). **National Engineering Handbook: section-4.** Hydrology. Soil Conservation Service, USDA. 1972. 127 p.

Tominaga, L.K. **Avaliação de metodologias de análise de risco a escorregamentos: aplicação de um ensaio em Ubatuba, SP**. 2007. 220 p. Tese (Doutorado em Geografia) - Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2007.

Tominaga, L.K.; Santoro, J.; Amaral, R. **Desastres Naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, Secretaria de Meio Ambiente. 2009. 197 p.

Tucci, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2 ed. Porto Alegre: UFRGS: ABRH. 2001. 943 p.

Vermote, E.F., Tanre, D., Deuze, J.L., Herman, M., Morcrette, J.J. Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: an overview. **IEEE Transsection on Geoscience and Remote Sensing**, v. 35, n. 3, p. 675-686, 1997.