



APLICAÇÃO DO TOPMODEL PARA SIMULAÇÃO DE ÁREAS HIDROLOGICAMENTE SENSÍVEIS NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO BARIGUI, PR.

Cesar Augusto Crovador

Siefert Programa de Pós-Graduação em Geografia, UFPR – Bolsista CAPES. Laboratório de Hidrogeomorfologia, Centro Politécnico da UFPR, Jardim das Américas, CEP: 81531-990 - Curitiba, PR – Brasil - Caixa-Postal: 19001. Email para contato: cesarsiefert@ufpr.br

Irani dos Santos

Professor Adjunto, Depto. de Geografia, UFPR. Laboratório de Hidrogeomorfologia, Centro Politécnico da UFPR, Jardim das Américas, CEP: 81531-990 - Curitiba, PR – Brasil - Caixa-Postal: 19001. Email: irani@ufpr.br

RESUMO – O conceito de área hidrologicamente sensível (AHS) é discutido e aplicado ao planejamento ambiental da bacia do Rio Barigui, Almirante Tamandaré, Paraná, Brasil. Este conceito está ligado à avaliação e prevenção de impactos negativos na qualidade dos recursos hídricos. Compreendem-se como AHS aquelas áreas da bacia hidrográfica que possuem uma maior probabilidade de atingirem o estado de saturação do solo. Foram definidas como AHS aquelas que permanecem saturadas mais de 30% do tempo. Foi utilizado o modelo Topmodel para simular a dinâmica das zonas saturadas na bacia. O modelo pressupõe que a dinâmica da zona saturada pode ser obtida por similaridade hidrológica dada pela distribuição espacial do índice topográfico, embasando a construção da probabilidade de saturação do solo ao longo da bacia. Considerando-se as AHS's como de interesse à preservação ambiental obteve-se um acréscimo de 13,21 km² nas áreas de preservação permanente da bacia hidrográfica, obtidas de acordo com o Código Florestal, delimitando assim um total 44% da área da bacia como área de importância ambiental.

Palavras-chave: áreas hidrologicamente sensíveis, área variável de afluência, Topmodel.



ABSTRACT – The concept of hydrologically sensitive area (HSA) is discussed and applied to environmental planning of the Barigui River watershed, Almirante Tamandaré city, Paraná State, Brazil. This concept is linked to the assessment and prevention of negative impacts on the water resources quality. The HSA is considered as the area of the watershed with a higher probability of reaching a soil saturation condition, and is, therefore, defined as the area that remain saturated for more than 30% of the time. The Topmodel was used to simulate the saturated zone dynamics in the watershed. The model assumes that the saturated zone dynamics can be obtained by hydrological similarity given by the spatial distribution of topographic index, based on the construction of the soil saturation probability in the watershed. Considering the HSAs as those of interest for environmental preservation, an increase of 13.21 km² of the permanent preservation areas in the watershed was found according to the Forest Code. It makes totally 44% of the whole watershed environmentally-important.

Keywords: hydrologically sensitive areas (HSA), variable source areas (VSA), Topmodel.

INTRODUÇÃO

Atualmente a preocupação com a conservação e manutenção de padrões de qualidade mínimos nos recursos hídricos ultrapassa as esferas de cada ciência, fazendo com que o tema seja tratado a partir de uma ótica multidisciplinar. A partir da necessidade de se preservar os recursos hídricos, desenvolvem-se meios para quantificar e delimitar possíveis áreas de risco que, identificadas em um processo de planejamento ambiental, devem receber um manejo diferenciado.

As diversas formas de interação da bacia hidrográfica e o ciclo hidrológico possibilitaram o surgimento de múltiplos conceitos explicando os processos e subprocessos decorrentes desta interação. Sendo assim, surge a noção de área variável de afluência (Hewlett e Hibbert, 1967), processo observado freqüentemente em áreas onde o escoamento superficial por saturação é dominante, tratando o escoamento de retorno como um elemento chave na geração de escoamento. Considerando que as áreas variáveis de afluência (AVA's) possuem uma clara importância no planejamento ambiental, não somente na conservação dos recursos hídricos, mas também por comportarem uma micro-fauna e uma flora adaptada às variações das condições de



saturação destas áreas, surge a possibilidade de uma intervenção pontual, através de práticas de manejo restritivas a usos do solo que comprometam a qualidade dos recursos hídricos.

A noção de AVA pressupõe que em uma bacia hidrográfica hipotética com uma densa cobertura vegetal, os processos geradores de escoamento superficial não seriam produzidos em toda a extensão da bacia. De acordo com essa teoria, existem áreas mais propensas à geração de escoamento superficial por saturação, sendo variáveis no espaço-tempo e que tendem a expandir-se e contrair-se de forma sazonal, configurando uma parcela de área da bacia variável entre 1% e 50% da área total (Dickinson e Whiteley, 1970), dependendo da quantidade e da intensidade de precipitação. A Fig. 1 mostra a variação das áreas saturadas em relação aos diferentes tempos do hidrograma.

Em bacias de clima úmido e com uma densa cobertura vegetal, o processo de escoamento superficial hortoniano fica restrito a pequenas áreas isoladas na extensão da bacia, onde situações específicas, envolvendo a topografia e baixa permeabilidade do solo permitirão o seu aparecimento. Em um evento de precipitação contínua, na maior parte da área da bacia hidrográfica a capacidade de infiltração será superior a intensidade da chuva, não sendo propício ao surgimento do processo de escoamento do tipo hortoniano. A parcela de água infiltrada formará o fluxo subsuperficial, alimentando os canais e cursos da água. A partir do momento em que a taxa de fluxo subsuperficial exceder a capacidade do solo em transportá-lo ocorre o processo de elevação do nível de água no solo, emergindo a superfície como escoamento de retorno, provocando a expansão das AVA's. Sendo assim, o processo de expansão das AVA's está intrinsecamente ligado à extensão das áreas saturadas próximas aos canais perenes em direção aos canais intermitentes, resultantes dos processos desencadeados a partir do evento de precipitação (Hewlett e Hibbert, 1967). Diversos estudos indicam a predominância do escoamento superficial por saturação na região Sul e Sudeste do Brasil (Ferreira, 2004; Santos, 2001 e 2009; Santos e Kobiyama, 2008).

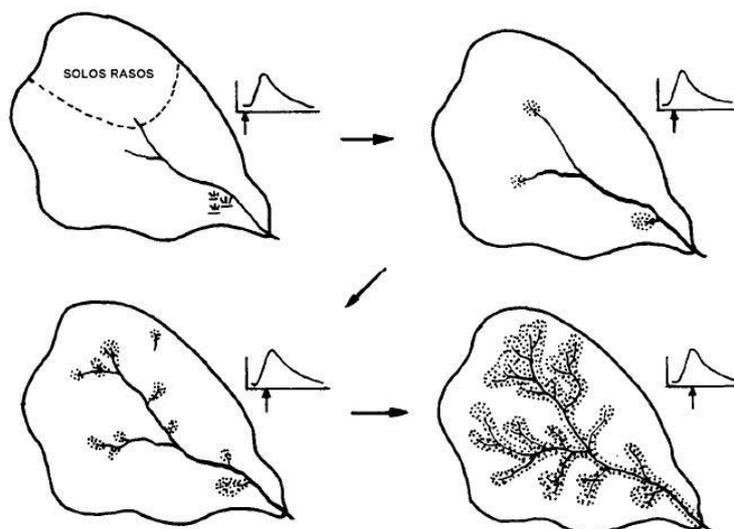


Figura 1 – Dinâmica das AVA's no processo de geração de escoamento.

Fonte: Chorley, 1978.

Neste contexto das AVA's, surge o conceito de área hidrológicamente sensível (Walter et al., 2000), definido como sendo as áreas de uma bacia hidrográfica cujas características as tornam mais propensas a atingirem o estado de saturação do solo. Desta forma, considera-se que o conceito de AVA está ligado às características físicas da paisagem, enquanto o conceito de áreas hidrológicamente sensíveis (AHS) trata de uma forma de avaliação e prevenção de impactos na qualidade da água a partir dos riscos de contaminação dos corpos hídricos, considerando a probabilidade de geração de escoamento superficial em uma determinada área de uma bacia hidrográfica (Agnew et al., 2006). A importância da compreensão das AHS's é evidente ao tratarmos da gestão dos recursos hídricos, pois estas áreas surgem como um elemento de ligação entre a paisagem e os canais perenes, propiciando o rápido transporte de poluentes através dos processos de escoamento (Walter et al., 2000). Destaca-se ainda a possibilidade de uma intervenção pontual em possíveis áreas de risco, servindo também como uma maneira de prever possíveis desastres ambientais. Assim a noção de AHS's está intimamente relacionada à dinâmica das AVA's de uma bacia hidrográfica e ao uso do solo nestes locais, servindo de subsídio ao planejamento ambiental.

A partir da idéia de que formas de poluição difusa são causas de alteração e degradação na qualidade dos corpos hídricos e de que as práticas conhecidas de manejo e conservação de solo e recursos hídricos não levam explicitamente em consideração os processos hidrológicos, a proposta do conceito de AHS's é uma forma de buscar cientificamente a compreensão dos processos



geradores de escoamento superficial como medida preventiva a ser adotada no uso e conservação de solos e manutenção da qualidade dos corpos hídricos. Assim, o conceito de AHS's aliado à noção de AVA's tem implicações na conservação dos recursos hídricos, contribuindo para uma gestão sustentável do meio e diminuindo riscos de contaminação dos mananciais por poluição difusa provenientes, principalmente, de práticas agrícolas, silviculturais e de pecuária inadequadas.

Em bacias hidrográficas onde o processo de AVA é o dominante na geração de escoamento superficial, as áreas com uma maior probabilidade de gerar escoamento são consideradas como AHS's. Neste caso, observa-se o limite de sensibilidade hidrológica (L_{AHS}), elaborado a partir da probabilidade de saturação (P_{sat}) da bacia hidrográfica, para delimitação espacial das AHS's. Devido à alta capacidade de geração de escoamento superficial, aliada a uma potencial característica de transporte de poluentes, a poluição incidente nestas áreas tende a escoar diretamente aos corpos hídricos, estabelecendo zonas críticas de manejo. Considera-se uma AHS da bacia hidrográfica como sendo uma zona crítica de manejo quando as práticas de uso do solo diretamente sobre elas possam vir a degradar a qualidade dos corpos hídricos. Em trabalhos recentes os conceitos de AHS's e zonas críticas de manejo foram adotados com o objetivo de orientar práticas agrícolas e de pecuária no sentido de diminuir substancialmente o nível de contaminação dos corpos hídricos por poluição difusa causada pelo manejo inadequado de fertilizantes (Walter et al., 2000; Walter et al., 2001; Gburek et al., 2002; Agnew et al., 2006).

Assim, torna-se fundamental a incorporação de conhecimento de processos hidrológicos nas práticas de manejo do solo ou por meio de restrições de uso em determinadas épocas do ano e em determinadas áreas da bacia, uma vez que a dinâmica das AVA's faz com que as AHS's também sejam variáveis no espaço - tempo.

Uma das formas eficazes de determinação das AHS's é a utilização de modelos hidrológicos que possam determinar as áreas com maior probabilidade de geração de escoamento superficial por saturação em uma bacia hidrográfica, visando ações preventivas diretamente nas zonas críticas de manejo. Neste sentido, destaca-se a utilização de modelos hidrológicos de simulação do processo precipitação – vazão, mais precisamente do Topmodel, como ferramenta na compreensão da dinâmica das AVA's na bacia hidrográfica e posteriormente da definição das AHS's.

Dentro do exposto, o presente artigo tem como objetivo principal simular o processo chuva – vazão no Topmodel para delimitar as AHS's da bacia do rio Barigui e, citam-se ainda como objetivos específicos: (1) discutir e aplicar o conceito de AHS em bacias hidrográficas, (2) determinar a dinâmica das áreas saturadas da bacia e (3) realizar o mapeamento da bacia do rio Barigui considerando a sua probabilidade de saturação (P_{sat}).



MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreende a bacia de drenagem do rio Barigui a montante da estação hidroambiental Almirante Tamandaré, com uma área de drenagem de 58,5 km², situada entre as coordenadas 25°23' e 25°32' de latitude sul e 49°29' e 49°33' de longitude oeste. A bacia hidrográfica está totalmente inserida no município de Almirante Tamandaré, situado na Região Metropolitana de Curitiba, no estado do Paraná, Brasil.

As AHS's da bacia do rio Barigui foram determinadas a partir da modelagem hidrológica utilizando o Topmodel (Beven e Kirkby, 1979). O Topmodel é um modelo de transformação de chuva em vazão do tipo conceitual determinístico, semidistribuído e fisicamente baseado, que considera a noção de AVA na formação de escoamento superficial (Varella e Campana, 2000).

Os dados hidrológicos de entrada necessários para a simulação do Topmodel são: precipitação, evapotranspiração potencial e vazão observada. No presente trabalho optou-se pela utilização de dados horários, conforme recomendado em Agnew et al. (2006). O modelo ainda utiliza dados relativos às condições geomorfológicas da bacia hidrográfica distribuídos espacialmente, sendo: a distribuição do índice topográfico e a relação entre a área drenada e o comprimento do canal principal. Um maior detalhamento sobre o funcionamento e equacionamento do modelo pode ser encontrado em Mine e Clark, 1996; Varella e Campana, 2000; Santos, 2001 e Santos, 2009.

Para o Topmodel a probabilidade de saturação de um pixel qualquer da bacia é determinada pelo índice topográfico (IT). O índice topográfico representa a propensão de um ponto qualquer da bacia atingir o estado de saturação (Schuler et al., 2000), sendo que sua distribuição espacial indicará as áreas com maior potencial para gerar escoamento superficial por saturação. Outra questão interessante sobre o IT é o princípio da similaridade hidrológica, ou seja, todas as áreas que possuem o mesmo valor de IT apresentam um comportamento hidrológico similar, sendo que quanto maior o valor de IT maior a probabilidade de atingir o estado de saturação. O IT é expresso na fração entre a área específica de contribuição (A) até o bloco da bacia pela tangente da declividade do terreno no pixel ($\text{tg}\beta$): $\text{IT} = \ln(A/\text{tg}\beta)$

O mapa da distribuição espacial do IT foi obtido a partir do modelo digital do terreno hidrologicamente consistente (Lopes e Santos, 2008), com resolução espacial de 5m, construído a



partir de cartas topográfica na escala 1:10.000 (SUDERHSA, 2000). A Fig. 2 mostra a distribuição do IT em relação à porcentagem da área da bacia do rio Barigui.

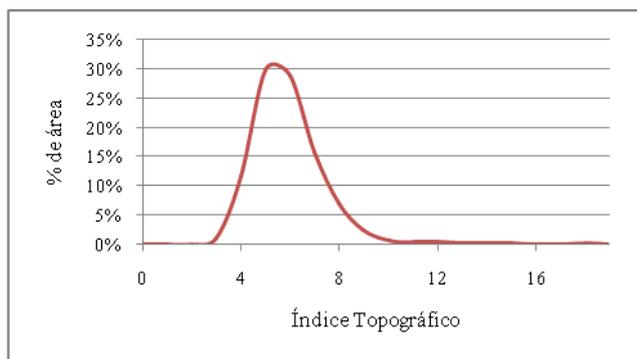


Figura 2 – Distribuição do IT em relação à % da área total da bacia do rio Barigui.

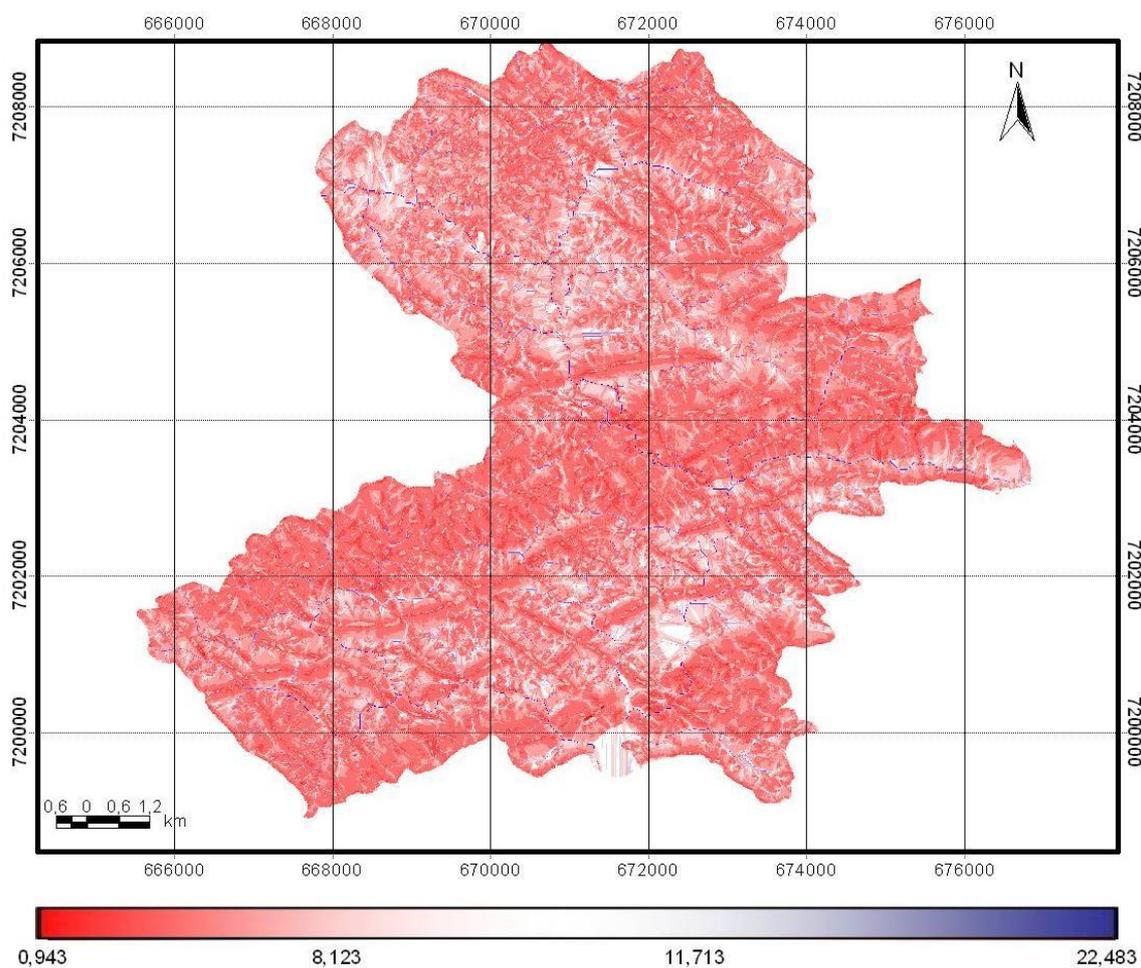


Figura 3 – Distribuição espacial do IT para a bacia do rio Barigui.

Os valores de índice topográfico estão coerentes com as características físicas da bacia, uma vez que áreas com elevadas declividades e/ou pequena área de contribuição apresentam um baixo



valor de índice topográfico. A Fig. 3 mostra a distribuição espacial do IT, sendo que as áreas com maior valor do índice são mais propensas a atingirem o estado de saturação.

As AHS's foram definidas a partir da estimativa da probabilidade de geração de escoamento superficial por saturação – ou seja, a probabilidade da área atingir o estado de saturação durante um evento de precipitação. AHS's são quaisquer áreas (A) onde a probabilidade (P) de serem consideradas sensíveis é maior que o Limite de Sensibilidade Hidrológica (L_{AHS}) conforme definido por Walter et al., (2000), expresso na relação:

$$A^1 = \text{AHS's se } P(A^1 = \text{sensível}) > L_{AHS}$$

De uma maneira simplificada, a delimitação das AHS's necessita do cruzamento das seguintes informações: [1] distribuição espacial do índice topográfico da área de estudo; e [2] probabilidade de saturação (P_{sat}) de cada pixel da área considerada, conforme metodologia demonstrada na Fig. 4.

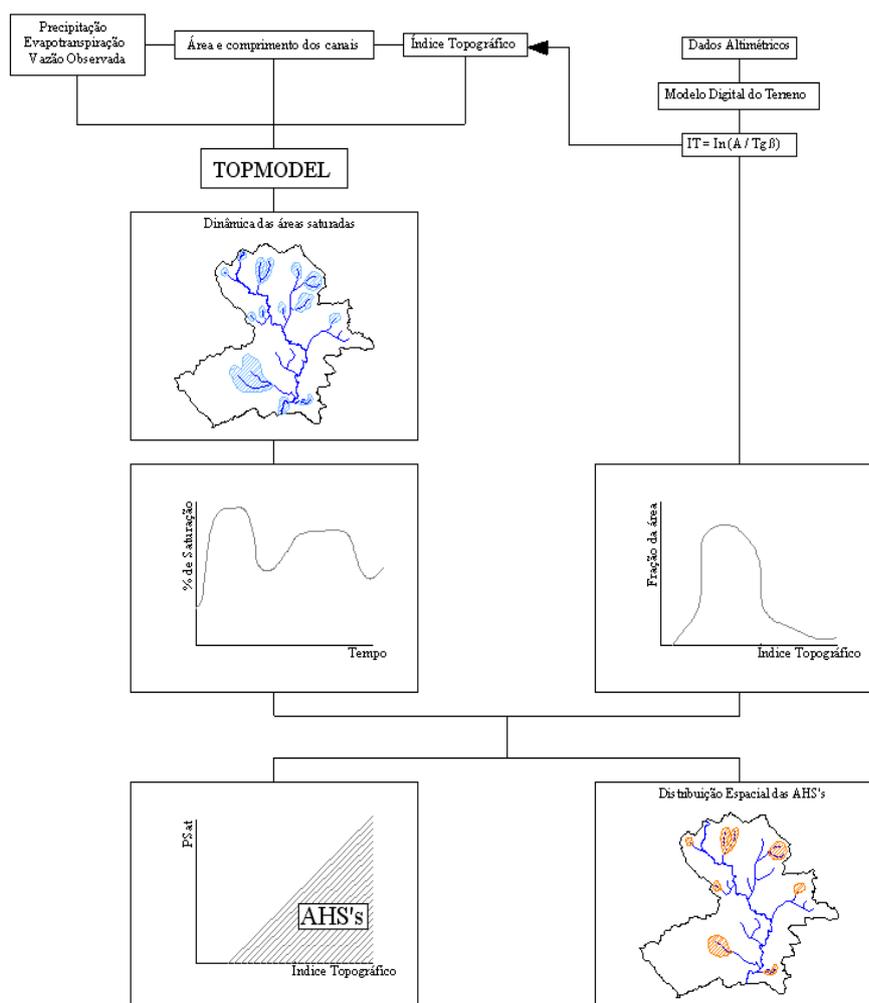


Figura 4 – Metodologia para delimitação das AHS's.



O índice P_{sat} foi estimado a partir dos dados de saída do Topmodel – distribuição espacial da dinâmica das áreas saturadas no tempo considerado na simulação. Com a compilação destes dados, pode-se construir um gráfico correlacionando a porcentagem da área da bacia que atinge o estado de saturação pelo tempo ou ainda, uma curva de permanência das áreas saturadas da bacia hidrográfica.

Efetuuou-se ainda, por meio do *software* ArcView 3.2, o cruzamento da distribuição do IT com as informações da porcentagem de área saturada da bacia no tempo, obtendo assim, a probabilidade de cada pixel da bacia hidrográfica atingir o estado de saturação durante um período determinado de tempo, embasando assim, a construção do mapa indicativo de P_{sat} por pixel da bacia (relação entre o tempo em que o pixel encontra-se com o solo saturado pelo tempo total da simulação).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A simulação hidrológica foi realizada para o período compreendido entre 17/09/2002 a 16/12/2002, totalizando 2.184 horas. A calibração do Topmodel foi realizada diretamente no modelo, de maneira semi-automática visando maximizar o coeficiente E, proposto por Nash e Sutcliffe (1970). Valores mais próximos de 1 indicam um melhor ajuste dos valores observados e simulados. Mine e Clarke (1996) citam que para uma simulação aceitável, o valor de E deve ser igual ou superior a 0,7. O valor de E obtido na simulação, assim como os parâmetros utilizados são apresentados na Tab. 1.

Tabela 1 – Valores dos parâmetros calibrados no Topmodel.

Período	m	ln(T_0)	SRmax	SRInit	ChVel	E
17/09/2002 - 16/12/2002	0,007	-2,2	0,005	0,0018	1230	0,781

De uma maneira geral, as vazões simuladas mostraram-se coerentes aos dados de vazões observadas em relação aos picos do hidrograma, entretanto nas recessões o modelo apresentou certa limitação para reproduzir os dados observados (Fig. 5).

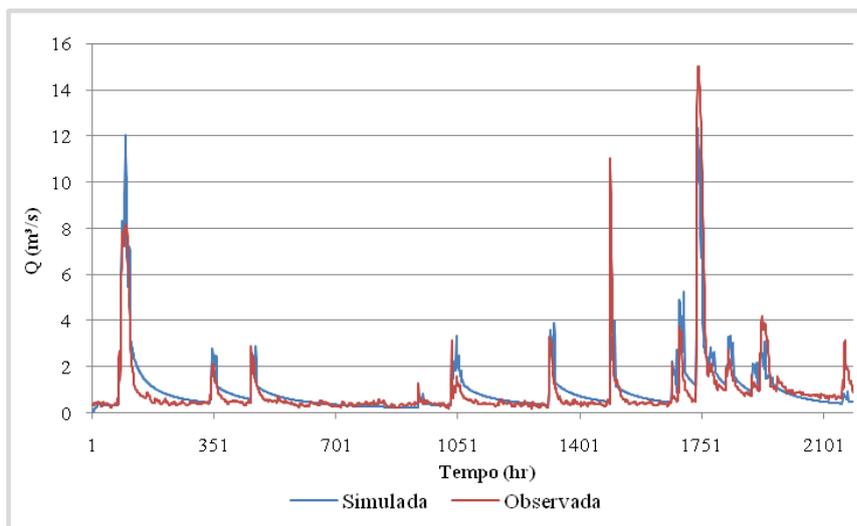


Figura 5 – Hidrograma das vazões simuladas e observadas da bacia do rio Barigui.

Da simulação do Topmodel resultou ainda a dinâmica das áreas saturadas na bacia hidrográfica durante o período considerado. Dessa forma, obteve-se 2.184 mapas que reproduzem a variação espaço – temporal das áreas saturadas. Durante o período de 17/09/2002 a 16/12/2002, observou-se uma variação da porcentagem de área saturada na bacia entre 6,1% a 46,1%. A dinâmica das áreas saturadas no tempo é mostrada na Fig. 6.

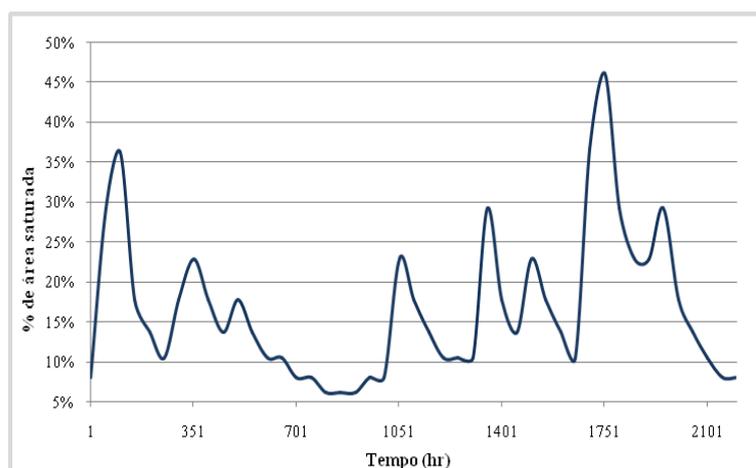


Figura 6 – Dinâmica das áreas saturadas.

Devido a ausência de sazonalidade hidrológica na bacia hidrográfica do rio Barigui (Fill et al., 2005), a dinâmica da probabilidade de saturação da bacia manteve um comportamento similar entre



os meses simulados, resultando em pequena variação no comportamento da P_{sat} . A Fig. 7 mostra a relação entre P_{sat} e IT, sendo que a área preenchida indica os valores de IT que permaneceram saturados durante o período simulado.

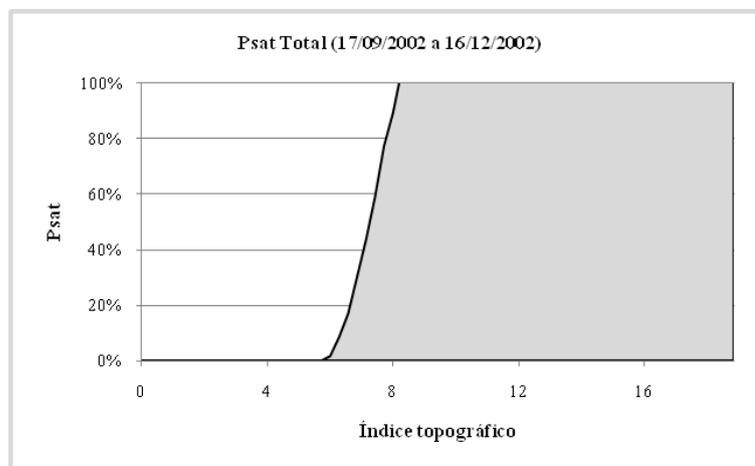


Figura 7 – P_{sat} em relação à distribuição do índice topográfico.

Nota-se que a variação da P_{sat} para o período simulado compreende o intervalo de IT entre 6,638 e 8,143; ou seja, durante o período simulado as áreas da bacia que apresentam um valor de IT > 8,143 encontraram-se permanentemente saturados, o que corresponde a uma área mínima saturada de 6,1% da bacia. No evento de maior precipitação, as áreas que apresentam um valor de IT > 6,638 atingiram o estado de saturação, contabilizando o valor de 46,1% de área saturada máxima.

Com base no exposto acima sobre a variação da P_{sat} durante as 2.184 horas simuladas, pôde-se realizar o cruzamento da P_{sat} total com os valores de índice topográfico, de modo que possibilite obter a distribuição espacial das áreas hidrologicamente sensíveis. Para a delimitação das AHS's da bacia hidrográfica do rio Barigui adotou-se L_{AHS} correspondente ao valor de $P_{sat} > 30\%$, de acordo com a proposição de Walter et al. (2000). A Fig. 8 mostra a curva de permanência de P_{sat} em relação à porcentagem da área da bacia que atinge o estado de saturação, com indicação do L_{AHS} adotado.

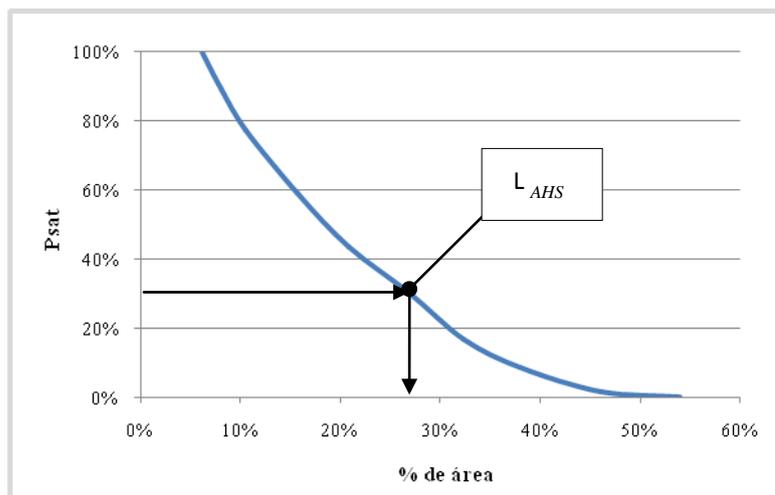


Figura 8 – P_{sat} em relação à porcentagem de área saturada.

Realizou-se a compilação da P_{sat} , resultando em um mapa que indica em relação ao tempo total da simulação, a porcentagem de tempo que cada pixel permanece saturado, conforme mostrado na Fig. 9.

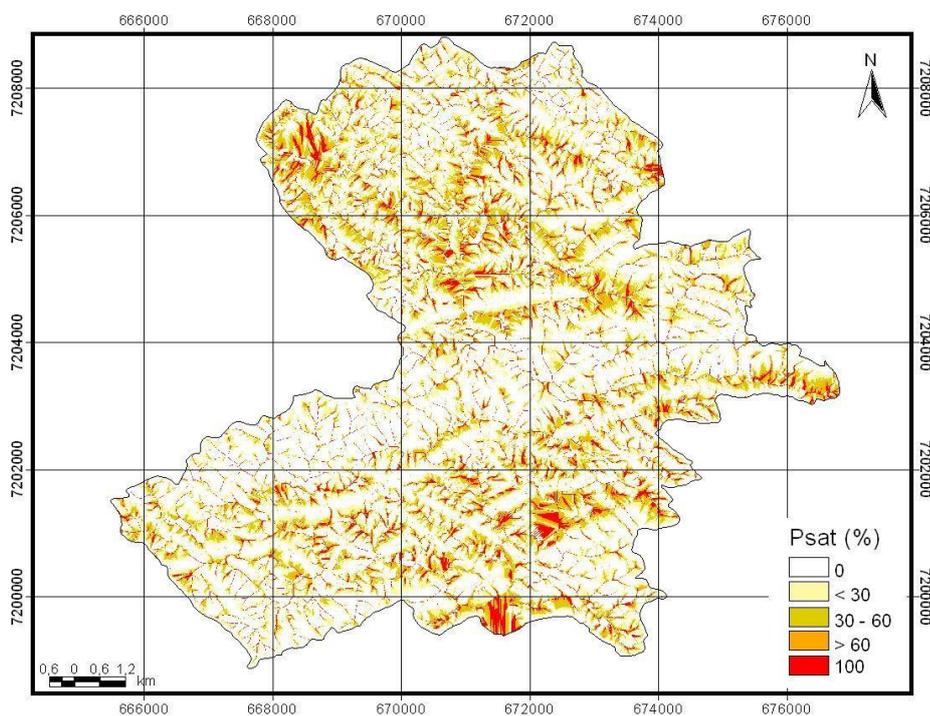


Figura 9 - Mapa da P_{sat} da bacia do rio Barigui.

A Fig. 10 mostra a distribuição espacial das AHS's da bacia do rio Barigui.

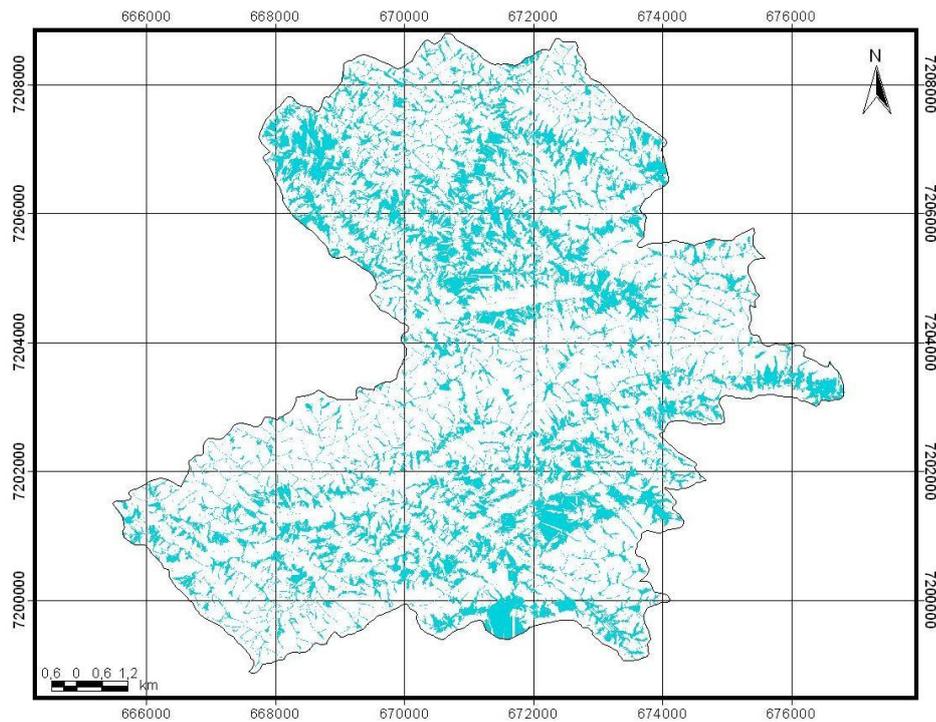


Figura 10 – Mapa das AHS's da bacia do rio Barigui.

Segundo o critério adotado, AHS's da bacia hidrográfica do rio Barigui totalizam 17,1 km², correspondendo a 27,2% da área total da bacia. O mapeamento das AHS's possibilita realizar uma análise das condições ambientais da área, unindo-se essa informação aos resultados do mapeamento das áreas de preservação da mata ciliar de acordo com o Código Florestal.

As áreas de preservação permanente (APP's) ao longo dos cursos de água da bacia hidrográfica do rio Barigui, obtidas de acordo com a Lei Federal 4.771 / 65, correspondem a 21,4% da área total da bacia, contemplando 12,5 km². Comparando os mapas de AHS's e APP's conforme consta da Figura 11, nota-se que, na maior parte, ambas não coincidem espacialmente.

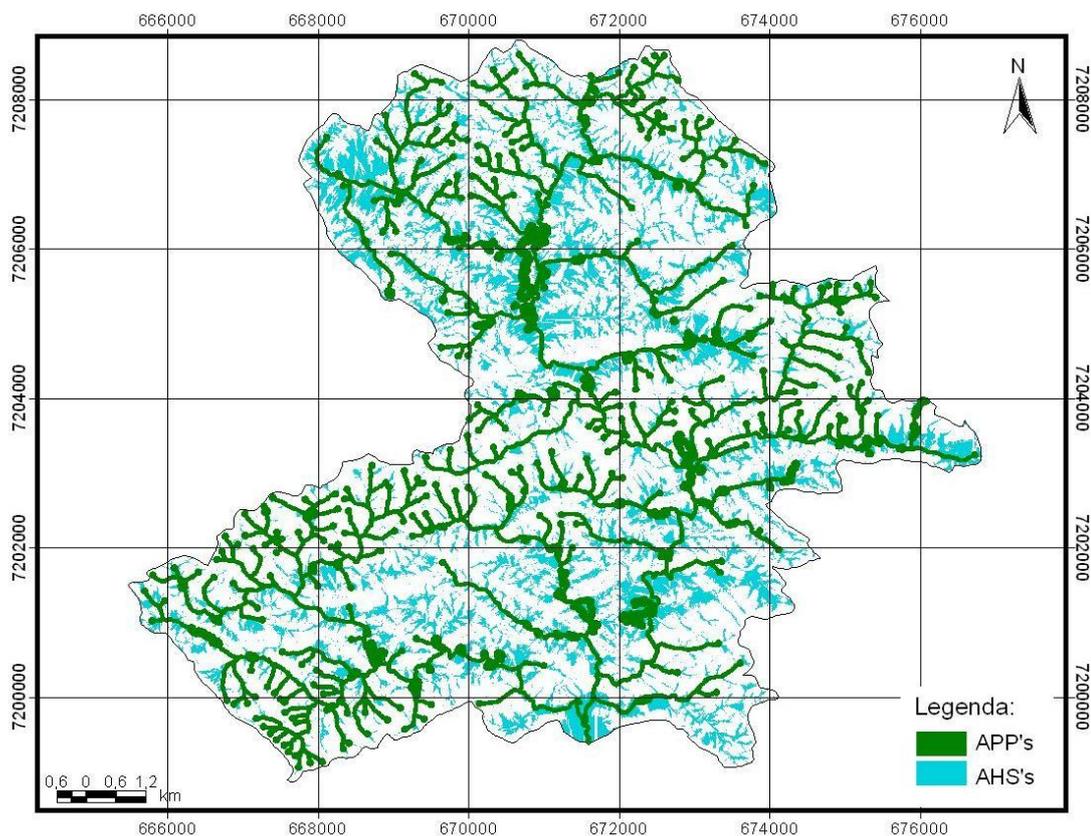


Figura 11 – Comparativo entre as AHS's e as APP's da bacia do rio Barigui.

Considerando a importância da preservação ambiental e a não-coincidência espacial das APP's e AHS's, da área inicial de 12,5 km² (21,4%), equivalente às áreas de preservação permanente de mata ciliar, soma-se ainda 13,2 km² (22,6%) referentes às áreas em que as áreas hidrológicamente sensíveis não coincidem com as áreas de preservação permanente. Assim, tem-se 25,7 km² a serem considerados como áreas de importância ambiental na bacia hidrográfica do rio Barigui, totalizando 44% da sua área total.

CONCLUSÕES

1. Considerando as AHS's no planejamento ambiental da bacia hidrográfica do rio Barigui obteve-se um acréscimo significativo à área de preservação permanente, considerando 44% da área total da bacia hidrográfica como sendo áreas de importância ambiental, justificando a necessidade de preservação e restrição quanto ao uso do solo.



2. O Topmodel respondeu de forma satisfatória às características da bacia hidrográfica do rio Barigui. Isso confirma a potencialidade de utilização do modelo na simulação das AHS's em bacias de média-escala com clima úmido e relevo suavemente ondulado.

3. A porcentagem mínima de saturação da bacia do rio Barigui (6,1%) é coerente com as condições topográficas da área, onde ocorre uma maior predominância de baixos valores de índice topográfico. O pico máximo de saturação ocorreu com 46,1% da área total, demonstrando assim uma grande variação na dinâmica das áreas saturadas.

A título de recomendação para investigação posterior destaca-se que o L_{AHS} utilizado de $P_{sat} > 30\%$, foi adotado a partir da literatura existente, sendo extremamente necessário construir um maior embasamento científico a partir de pesquisas desta natureza em condições brasileiras.

AGRADECIMENTOS

O autor, Cesar Augusto Crovador Siefert, agradece ao governo brasileiro e a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão de bolsa de Mestrado.

REFERÊNCIAS

AGNEW, L.J.; LYON S.; GERARD-MARCHANT P.; COLLINS V.B., LEMBO A.J.; STEENHUIS T.S.; WALTER, M.T. Identifying hydrologically sensitive areas: Bridging the gap between science and application. *Journal of Environmental Management*, volume: 78, p. 63-76, 2006.

BEVEN, K.; KIRKBY, M.J.. A physically based, variable contributing area model of basin Hydrology. *Hydrol. Sci. Bull.* Volume: 24, p. 43-69, 1979.

BRASIL. Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal.



CHORLEY, R.J. The hillslope hydrological cycle. In: KIRKBY, M.J. (Ed). Hillslope Hydrology. J. Wiley, p. 1-42, 1978.

DICKINSON, W.T.; WHITELEY, H. Watershed areas contributing to runoff. In: IAHS Publ., volume: 96, p. 12-26, 1970.

GBUREK, W.J.; DRUNGIL C.C.; SRINIVASAN M.S.; NEEDELMAN B.A.; WOODWARD D.E. Variable-source-area controls on phosphorus transport: Bridging the gap between research and design. Journal of Soil Water Conservation, volume: 57, p. 534-543, 2002.

HEWLETT, J.D.; HIBBERT, A.R. Factors affecting the response of small watersheds to precipitation in humid areas. International Symposium of Forest Hydrology. Pergamon Press, Oxford. p. 275-290, 1967.

FILL, H.D.; SANTOS, I.; FERNANDES, C.; TOCZECK, A.; OLIVEIRA, M.F. Balanço Hídrico da Bacia do Rio Barigui – PR. Rev. RA'E GA, volume: 9, p. 59-67, 2005.

FERREIRA, L. Simulação Hidrológica utilizando o modelo TOPMODEL em bacias rurais: estudo de caso na bacia do Ribeirão dos Marins - Seção Manjolinho - SP. Campinas, 2004. 229 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola - Área de concentração em Água e Solos). Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas.

LOPES, F.C.A.; SANTOS, I. Proposta Metodológica para Elaboração de Modelos Digitais de Terreno Hidrologicamente Consistentes. Anais do SBGFA – Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, Viçosa, MG, 2008.

MINE, M.R.M.; CLARKE, R.T. O uso do TOPMODEL em condições brasileiras: resultado preliminar. Rev. Brasileira de Recursos Hídricos, volume: 1, nº 2, p. 89-105, 1996.



NASH, J.E.; SUTCLIFFE, J.V. River flow forecasting through conceptual models. *Journal Of Hydrology*, volume: 10, p. 282-290, 1970.

SANTOS, I. Modelagem geobiohidrológica como ferramenta no Planejamento Ambiental: estudo da bacia hidrográfica do Rio Pequeno, São José dos Pinhais - PR. Curitiba, 2001. 108 p. Dissertação (Mestrado em Ciências do solo) – Departamento de Agronomia, Universidade Federal do Paraná.

SANTOS, I. Monitoramento e modelagem de processos hidrogeomorfológicos: mecanismos de geração de escoamento e conectividade hidrológica. Florianópolis, 2009. 146 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Departamento de Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina.

SANTOS, I.; KOBAYAMA, M. Aplicação do TOPMODEL para determinação de áreas saturadas da bacia do rio Pequeno, São José dos Pinhais, PR, Brasil. *Rev. Ambiente & Água*, volume: 3, nº 2, p. 77-89, 2008.

SCHULER, A.E.; MORAES, J.M.; MILDE, L.C.; GROppo, J.D.; MARTINELLI, L.A.; VICTORIA, R.L. Análise da representatividade física dos parâmetros do TOPMODEL em uma bacia de meso escala localizada nas cabeceiras do Rio Corumbataí, São Paulo. *Rev. Brasileira de Recursos Hídricos*, volume: 5, nº 2, p. 5-25, 2000.

SIEFERT, C.A.C. Áreas hidrologicamente sensíveis: um subsídio a delimitação de áreas de preservação na bacia do Rio Barigui. Curitiba. 2008. 62p. Monografia (Bacharel em Geografia) – Universidade Federal do Paraná.

SUDERHSA – Superintendência de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Paraná. Altimetria da Bacia Hidrográfica do Alto Iguaçu, Escala 1:10.000. 2000.



VARELLA, R.F.; CAMPANA, N.A. Simulação matemática do processo de transformação de chuva em vazão: estudo do modelo TOPMODEL. Rev. Brasileira de Recursos Hídricos, volume: 5, nº 4, p. 121-139, 2000.

WALTER, M.T.; BROOKS, E.S.; WALTER, M.S.; STEENHUIS, T.S.; SCOTT, C.A.; BOLL, J. Evaluation of soluble phosphorus transport from manure-applied fields under various spreading strategies. Journal of Soil Water Conservation, volume: 56, p.329-336, 2001.

WALTER, M.T.; WALTER M.F.; BROOKS E.S.; STEENHUIS T.S.; BOLL, J.; WEILER, K.R. Hydrologically Sensitive Areas: Variable Source Area Hydrology Implications for Water Quality Risk Assessment. Journal of Soil Water Conservation, volume: 55, p. 277-284, 2000.