



Simulação de cenários de uso do solo na bacia hidrográfica do rio Araranguá utilizando a técnica da modelagem hidrológica

Éverton Blainski¹, Fabio Alves Silveira², Gerson Conceição³, Luis Hamilton Pospissil Garbossa⁴ e Luiz Fernando Vianna⁵

Resumo – Este trabalho teve como objetivos aplicar o modelo hidrológico SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) à bacia hidrográfica do Rio Araranguá e avaliar, por meio de cenários, a influência das atividades agrícolas sobre a distribuição espacial e temporal da disponibilidade hídrica da área estudada. Os cenários estudados foram: I) uso atual, com predominância da rizicultura nas áreas agrícolas; II) substituição da agricultura por reflorestamento; e III) remoção da cobertura vegetal das áreas agrícolas. Os resultados demonstraram a eficiência do modelo em representar o regime hidrológico da área estudada. Além disso, pode-se verificar que a vazão média diária anual foi maior no cenário com solo exposto, sendo esse aumento atribuído à redução da infiltração de água no solo e ao aumento do escoamento superficial. Entretanto, apesar desses resultados, o número de dias em que a vazão diária simulada (Q_{sim}) permaneceu abaixo da mínima observada em 95% do tempo (Q_{95}) foi maior nesse cenário. O cenário com reflorestamento apresentou a menor ocorrência de $Q_{sim} < Q_{95}$, sugerindo maior regularização de vazão ao longo do ano.

Termos para indexação: SWAT, disponibilidade hídrica, SIG.

Estimated soil use impacts in the Araranguá river basin through the use of the hydrologic modeling technique

Abstract – The objective of this research was to apply the hydrological model SWAT under different soil use scenarios to evaluate water availability through space and time in the Araranguá watershed. The scenarios evaluated were: I) Current soil use, that is, mostly rice cultivation in paddy fields; II) Agriculture land replacement by forestry; and III) Agricultural land replacement by bare soil. The results obtained indicate that SWAT was efficient in modeling water distribution in the Araranguá basin. Moreover, it was verified that the average daily flow of water in the Araranguá basin occurred in the bare soil scenario. These results are supported by the reduced water infiltration and increased runoff verified in this scenario. Nevertheless, the bare soil scenario presented the highest number of days in which the estimated daily water flow (Q_{sim}) of the basin was below the actual minimum flow through 95% of the time (Q_{95}). The forestry scenario, in its turn, presented the lowest occurrence of $Q_{sim} < Q_{95}$ events, suggesting it may support a more stabilized water flow in the Araranguá basin throughout the year.

Index terms: SWAT, water availability, GIS.

Introdução

A substituição desordenada de paisagens naturais por áreas agrícolas tem contribuído para a degradação dos recursos naturais, entre eles os recursos hídricos. Para a redução dos impactos ambientais ocasionados pela

ação antrópica, faz-se necessário o conhecimento dos efeitos da variação do uso do solo sobre a dinâmica da água em bacias hidrográficas, principalmente para as tomadas de decisões quanto ao manejo sustentável das terras agrícolas (Kuhnle et al., 1996).

Na gestão de bacias hidrográficas, os modelos matemáticos constituem ferramentas de predição dos impactos oriundos da ocupação do solo sobre a quantidade e a qualidade da água. Entretanto, a utilização desses modelos fica limitada devido à grande quantidade de dados que descrevem►

Aceito para publicação em 22/12/10.

¹Eng.-agr., M.Sc., Epagri/Centro de Informações de Recursos Ambientais e Hidrometeorologia de Santa Catarina (Ciram), C.P. 502, 88034-901 Florianópolis, SC, fone: (48) 3239-8018, e-mail: evertonblainski@epagri.sc.gov.br.

²Eng. san. amb., Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, SC, e-mail: fabioalves.silveira@gmail.com.

³Físico, M.Sc., Epagri/Ciram, e-mail: gconceicao@epagri.sc.gov.br.

⁴Eng. civil, Dr., Epagri/Ciram, e-mail: luisgarbossa@epagri.sc.gov.br.

⁵Biólogo, M.Sc., Epagri/Ciram, e-mail: vianna@epagri.sc.gov.br.

a variabilidade dos sistemas naturais (Machado et al., 2003), razão pela qual os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) tornam-se fundamentais para o gerenciamento de banco de dados necessários para o uso dessa tecnologia.

O acoplamento de modelos hidrológicos com os SIGs tem proporcionado avanços consideráveis no desenvolvimento de ferramentas de gestão de bacias hidrográficas. Através dessa ferramenta, torna-se possível visualizar cenários passados e presentes (Bouraoui et al., 1997), bem como simular cenários futuros, muitos deles ainda não explorados em experimentos reais (Grigg, 1996), servindo como um instrumento auxiliar importante no planejamento agrícola.

Os modelos hidrológicos podem ser definidos como representações matemáticas do fluxo de água e seus constituintes sobre alguma parte da superfície ou subsuperfície terrestre, o que permite a simulação de processos físicos na sua dimensão temporal e espacial (Pullar & Springer, 2000). Entre os diversos modelos hidrológicos disponíveis, o *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) se destaca por ser um modelo matemático de parâmetros distribuídos e contínuos (Arnold et al., 1998). Por meio do SWAT, diferentes processos físicos podem ser simulados, de forma sequencial (Tim & Jolly, 1994), com o objetivo de quantificar os impactos das alterações de uso do solo no escoamento superficial e subsuperficial, produção de sedimentos e qualidade de água (Srinivasan & Arnold, 1994).

No Brasil, as pesquisas envolvendo a utilização de modelos hidrológicos distribuídos e o estudo de cenários de uso e ocupação do solo em bacias hidrográficas ainda são limitados em função do grande número de informações necessárias para descrever a variabilidade espacial e temporal dos sistemas naturais e da inexistência de dados de entrada dos modelos (Pessoa et al., 1997). Entretanto, diante da expansão das atividades agrícolas, associada à degradação e à contaminação dos cursos d'água, faz-se necessário o desenvolvimento dessas tecnologias

com vista ao uso sustentável dos recursos naturais.

Nesse contexto, este trabalho teve como objetivos: avaliar o desempenho do modelo hidrológico SWAT na simulação do regime hidrológico da bacia hidrográfica do Rio Araranguá e quantificar os impactos oriundos de diferentes cenários de uso do solo sobre a distribuição de vazão para o período de 2001 a 2009.

Material e métodos

Modelo SWAT

O SWAT é um modelo hidrológico fundamentado em uma estrutura de comandos definida para simular a propagação do escoamento, sedimentos e nutrientes através de bacias hidrográficas (Machado & Vettorazzi, 2003), tendo como principais componentes a hidrologia, o clima, a vegetação, o aporte de nutrientes e agrotóxicos e o manejo do solo (Arnold et al., 1998). O componente hidrológico do modelo inclui sub-rotinas para determinação de escoamento superficial, percolação, fluxo lateral subsuperficial, fluxo de retorno do aquífero raso e evapotranspiração (Machado & Vettorazzi, 2003).

O cálculo do escoamento superficial é realizado por uma formulação modificada do método Curva Número (CN) (USDA, 1972). O método CN correlaciona o escoamento superficial à classe de solo, ao tipo de uso e a ocupação e práticas de manejo empregadas (Arnold et al., 1995).

A componente climática do modelo compreende as variáveis diárias: precipitação, temperatura do ar (máxima e mínima), radiação solar, umidade relativa e velocidade do vento (Arnold et al., 1998).

Caracterização da área experimental

A área experimental selecionada para este estudo abrange a bacia hidrográfica do Rio Araranguá, localizada no extremo sul do Estado de Santa Catarina, entre as coordenadas 50°01'28" W, 49°14'03" W, 29°05'46" S e 28°25'45" S, com uma área aproximada de 3.000km². O Rio

Araranguá, que dá nome à bacia, tem como principais afluentes os Rios Mãe Luzia, Manoel Alves e Itoupava. Com extensão de 110km, o rio tem sua nascente no Parque Nacional da Serra Geral, RS, onde é nomeado de Rio da Pedra.

O clima da região sul de Santa Catarina foi classificado, segundo Köppen, como Cfa (mesotérmico úmido), com temperatura média anual de 18°C. A região do extremo sul é caracterizada pelos menores valores de precipitação anual do Estado, variando de 1.220 a 1.660mm (Pandolfo et al., 2002).

Os principais usos do solo, identificados a partir de imagens do satélite Landsat, datadas de 2003, foram agricultura, com 53,8%, e a ocupação por floresta e vegetação nativa, com 41,8% do total da área da bacia hidrográfica (Tabela 1).

As principais classes de solo identificadas a partir do levantamento de reconhecimento de solos do Estado de Santa Catarina, escala 1:250.000 (Embrapa, 1998) foram: Cambissolo Háplico, 30,5%, Gleissolo Háplico, 28,5%, e Neossolo Litólico, com 21,5% do total da bacia hidrográfica (Tabela 1).

Dados de entrada do SWAT

As informações cartográficas utilizadas como dados de entrada do modelo foram: relevo, mapa de uso e ocupação e mapa de solos.

O relevo foi definido a partir do MDE (Modelo Digital de Elevação) da Shuttle Radar Topographic Mission 2000. As informações de uso e ocupação do solo foram obtidas a partir de imagens do satélite Landsat (2003). O mapa de solos foi gerado a partir do levantamento de reconhecimento de solos do Estado de Santa Catarina, escala 1:250.000 (Embrapa, 1998).

A parametrização climática foi feita a partir de uma série histórica de 20 anos de dados diários de precipitação, temperatura, radiação solar, umidade relativa e velocidade do vento (1988 a 2007), oriundos de estação climatológica localizada nas coordenadas 49°33'01" W e 28°36'02" S. Esses dados foram utilizados para ajuste do gerador climático WXGEN

Tabela 1. Uso, ocupação e classes de solos identificados na bacia hidrográfica do Rio Araranguá

Cobertura	Área		Solo	Área	
	ha	%		ha	%
Área agrícola	160.448	53,8	Cambissolo Háplico	91.017	30,5
Floresta nativa	124.656	41,8	Gleissolo Háplico	85.106	28,5
Centros urbanos	5.712,75	1,9	Neossolo Litólico	64.239	21,5
Floresta plantada	4.702	1,6	Argissolo Verm.-Amarelo	23.966	8,0
Pastagem nativa	1.458	0,5	Argissolo Vermelho	17.384	5,8
Lagoa / laguna	658	0,2	Neossolo Quartzarênico	9.245	3,1
Restinga	631	0,2	Nitossolo Vermelho	2.398	0,8
Dunas	132	0,04	Organossolo Háplico	825	0,3
			Cambissolo Húmico	400	0,2
Total	298.397	100	Outros ⁽¹⁾	3.818	1,3

⁽¹⁾ Compreendem as áreas urbanas, cursos d'água e reservatórios.

(Sharples & Williams, 1990), necessário para o preenchimento de possíveis falhas na série de dados. Os dados diários de monitoramento de temperatura máxima e mínima, umidade relativa e velocidade do vento foram obtidos dessa mesma estação e interpretados pelo modelo no formato de tabelas. Os dados de precipitação diária, utilizados nas simulações, foram provenientes de estações pluviométricas situadas nas seguintes coordenadas: 49°38'20" W e 28°49'56" S; 49°35'30" W e 28°51'34" S; 49°55'54" W e 28°48'33" S; 49°36'10" W e 28°57'31" S; 49°18'20" W e 28°43'22" S; 49°33'07" e 28°36'33" S.

A evapotranspiração potencial (ETp) foi estimada pelo método de Penman-Monteith, descrita por Neitsch et al. (2005).

Calibração e validação do modelo hidrológico

A calibração e a validação do modelo foram realizadas utilizando dados de vazão medidos em pontos de monitoramento instalados nos três principais afluentes do Rio Araranguá, nas seguintes coordenadas: 49°28'25" W e 28°45'04" S (Rio Mãe Luzia), 49°35'25" W e 28°51'15" S (Rio Manoel Alves), e 49°36'07" W e 28°57'32" S (Rio Itoupava), com a mesma série temporal de dados.

A análise da eficiência do modelo foi realizada por meio do coeficiente de Nash e Sutcliffe (COE), descrito na

Equação 1, e pelo desvio dos dados simulados em relação aos dados medidos ($DV_{\%}$), descrito na Equação 2.

Equação 1:

$$COE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (E_{med} - E_{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (E_{med} - \bar{E})^2}$$

COE é o coeficiente de Nash e Sutcliffe; E_{med} é o evento medido; E_{sim} é o evento simulado pelo modelo; \bar{E} é a média do evento estimado no período; e n é o número de eventos.

Equação 2:

$$DV_{\%} = \left(\frac{E_{med} - E_{sim}}{E_{med}} \right) \times 100$$

$DV_{\%}$ é o desvio dos dados simulados em relação aos dados medidos; E_{med} é o evento medido e E_{sim} é o evento simulado pelo modelo.

Simulação de cenários de uso do solo

Os cenários estudados consistiram na alteração do PI (Plano de Informação) referente à área agrícola, atualmente com predominância do cultivo de arroz irrigado. Os demais usos e ocupações foram mantidos, conforme demonstrado na Figura 1.

A influência das alterações de uso do solo sobre o regime hidrológico foi avaliada pela comparação entre os cenários propostos com o uso atual. Os cenários estudados foram:

Cenário 1: Uso do solo atual. Manteve-se a atividade agrícola atual em que a grande maioria das áreas agrícolas é ocupada pela cultura do arroz irrigado em sistema pré-germinado. Esse sistema de cultivo, predominante no Estado de Santa Catarina, abrange cerca de 96% das áreas rizícolas do Estado (Epagri, 2002). O preparo inicial do solo geralmente é realizado sem aporte de água. A água é utilizada somente nos procedimentos finais de preparo. A semeadura é realizada a lanço em solos com lâmina de água de 5 a 10cm de profundidade.

Cenário 2: As áreas anteriormente ocupadas por rizicultura foram substituídas por florestas e demais formas de vegetação nativa.

Cenário 3: Toda a área destinada à agricultura foi mantida sem cultivo e sem cobertura vegetal (solo exposto)⁶.

Além da comparação de vazão simulada entre os cenários, a vazão média diária simulada nos três pontos de monitoramento foi comparada com a menor vazão que um determinado rio mantém durante 95% do tempo (Q_{95}). A Q_{95} foi obtida a partir de uma curva que apresenta a porcentagem do tempo em que um determinado valor de vazão foi igualado ou ultrapassado durante um período de observações. ►

⁶ Nota: Nos cenários 2 e 3 trata-se, evidentemente, de um exercício metodológico, não uma proposta real de alteração da atividade, que envolve muitas outras variáveis, inclusive socioeconômicas e agrônômicas.

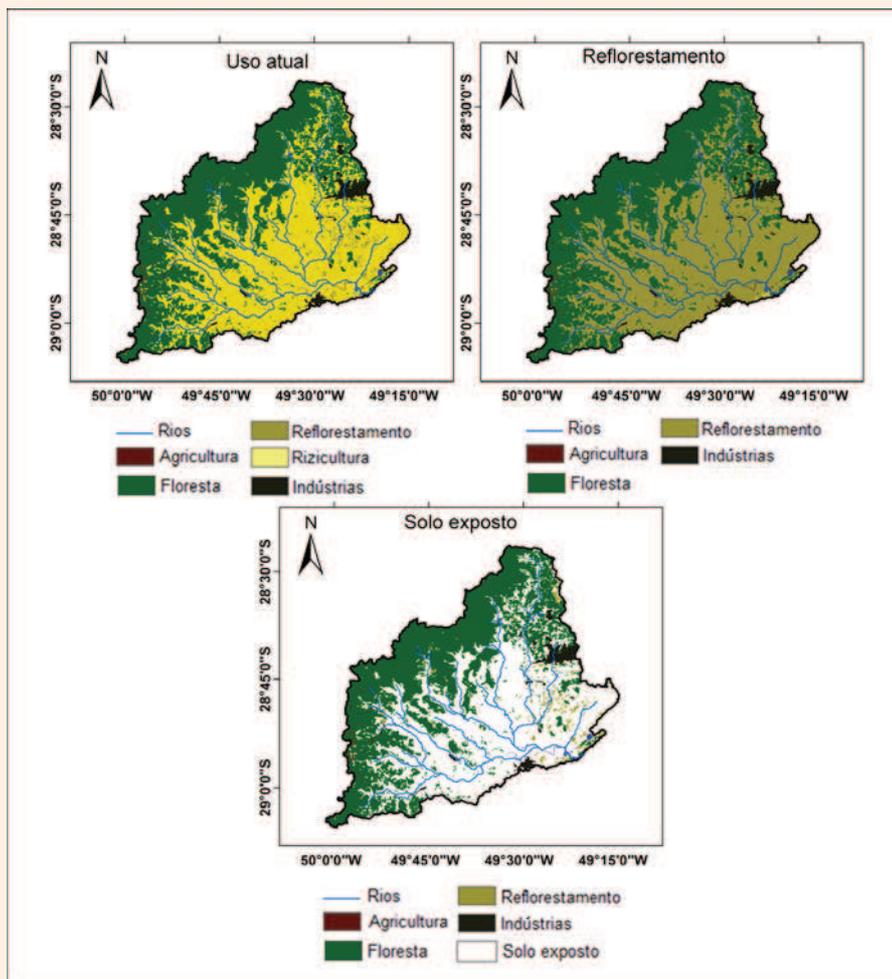


Figura 1. Uso do solo na bacia hidrográfica do Rio Araranguá para os três cenários propostos (uso atual, reflorestamento e solo exposto)

Para os rios em questão (Mãe Luzia, Manoel Alves e Itoupava), os períodos de observação utilizados para a determinação da Q_{95} foram: 43, 24 e 59 anos, respectivamente. O número de dias em que a vazão simulada (Q_{sim}) permaneceu abaixo da Q_{95} foi utilizado como parâmetro ambiental para caracterizar a variação do regime hidrológico em função do uso e da ocupação do solo.

Resultados e discussão

Os resultados da simulação de vazão média mensal foram comparados com os dados medidos, no período de abril a setembro de 2006, nos pontos de monitoramento instalados na bacia hidrográfica do Rio Araranguá (Figura 2). Em todos os pontos de monitoramento o coeficiente de determinação (R^2) foi superior a 0,94, sugerindo que os

dados simulados representam satisfatoriamente os dados medidos.

Os indicadores de desempenho do modelo hidrológico utilizados indicaram um ajuste satisfatório do modelo aos dados experimentais. O COE foi de 0,78 para o ponto de monitoramento instalado no Rio Mãe Luzia e de 0,86 e 0,94 para os pontos situados nos Rios Manoel Alves e Itoupava, respectivamente (Tabela 2). Segundo Krysanova et al. (1998), para um bom ajuste do modelo são aceitos valores de COE superiores a 0,7. Portanto, o modelo apresentou-se como um estimador melhor do que a média dos dados medidos.

ODV_% entre a vazão medida (Q_{med}) e a vazão simulada (Q_{sim}) (Tabela 2) foi, respectivamente, de 13,9%, 1,5% e 10% para os rios Mãe Luzia, Manoel Alves

Tabela 2. Indicadores de desempenho do modelo hidrológico SWAT para a bacia hidrográfica do Rio Araranguá

Ponto de monitoramento	COE ⁽¹⁾	DV _% ⁽²⁾
Rio Mãe Luzia	0,78	13,9
Rio Manoel Alves	0,94	1,5
Rio Itoupava	0,86	10,0

⁽¹⁾ Coeficiente de Nash e Sutcliffe.

⁽²⁾ Desvio dos dados simulados em relação aos dados medidos.

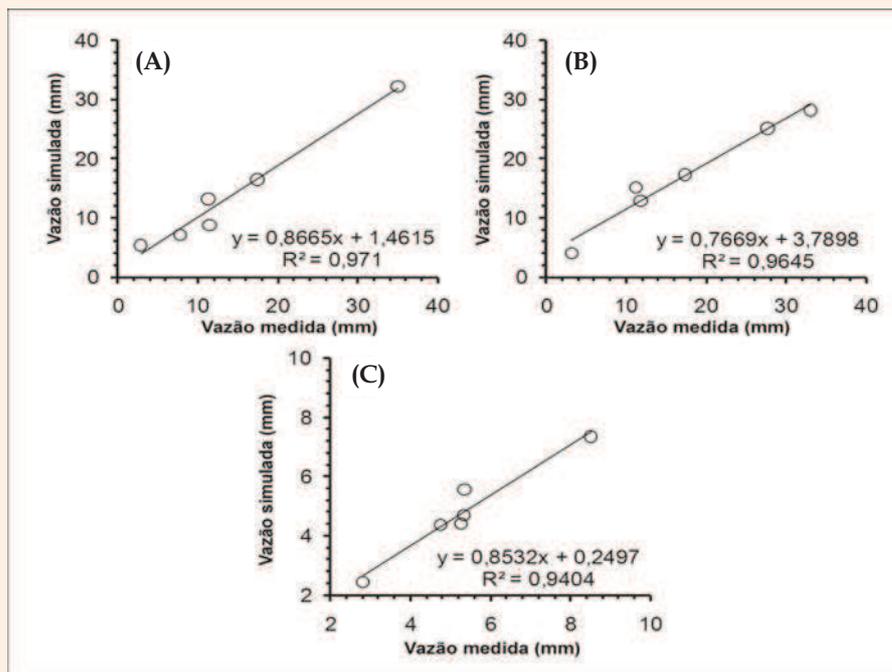


Figura 2. Diagrama de dispersão entre a vazão média mensal medida e a simulada, no período de abril a setembro de 2006, para os Rios (A) Mãe Luzia, (B) Manoel Alves e (C) Itoupava

Tabela 3. Simulação de vazão anual com base nos cenários agrícolas propostos para a bacia hidrográfica do Rio Araranguá

Cenário	Vazão anual			Dp	CV	Intervalo de confiança	
	Média	Mínima	Máxima			Limite inferior	Limite superior
Rio Mãe Luzia							
 mm				% mm	
Uso atual	3,50 ab	1,27	5,46	1,3824	39,5	3,24	3,76
Reflorestamento	3,37 a	1,48	5,35	1,2632	37,5	3,13	3,61
Solo exposto	3,91 b	1,72	5,89	1,4378	36,8	3,63	4,18
Rio Manoel Alves							
Uso atual	3,42 ab	1,60	5,88	1,2991	38,0	3,18	3,67
Reflorestamento	3,22 a	1,79	5,51	1,0697	33,2	3,02	3,42
Solo exposto	3,71 b	1,90	6,45	1,3705	36,9	3,46	3,97
Rio Itoupava							
Uso atual	3,55 ab	1,67	5,47	1,2781	36,0	3,31	3,79
Reflorestamento	3,39 a	1,83	5,41	1,0998	32,4	3,18	3,60
Solo exposto	3,97 b	2,04	6,08	1,3310	33,5	3,72	4,22

Nota: Dp = desvio padrão; CV = coeficiente de variação.

Tabela 4. Número de dias em que a vazão simulada permaneceu abaixo da Q_{95} para os Rios Mãe Luzia, Manoel Alves e Itoupava, para o período de 2001 a 2009, considerando os três cenários

Cenário	Número de dias com vazão abaixo da Q_{95}								
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Rio Mãe Luzia									
Uso atual	2	0	42	16	0	9	0	19	34
Reflorestamento	0	0	27	8	0	0	0	0	29
Solo exposto	4	0	53	17	7	34	0	25	37
Rio Manoel Alves									
Uso atual	5	0	82	33	31	62	0	39	27
Reflorestamento	0	0	31	18	15	34	0	20	12
Solo exposto	18	14	123	52	66	123	11	54	30
Rio Itoupava									
Uso atual	23	0	99	45	43	110	2	59	37
Reflorestamento	0	0	68	27	20	62	0	39	9
Solo exposto	79	54	158	111	124	141	82	91	56

e Itoupava, indicando que, na média, a Q_{sim} foi menor que a Q_{med} , entretanto, dentro dos percentuais citados na literatura. A desuniformidade na distribuição de precipitação pode ter contribuído para as incertezas associadas à utilização do modelo hidrológico, uma vez que ela é considerada homogênea dentro do raio de abrangência de um determinado ponto de monitoramento (Goodrich et al., 1995). Entretanto, apresenta uma desuniformidade significativa, principalmente em eventos extremos (Machado & Vettorazzi, 2003; Faures et al., 1995).

Com base nos resultados descritos anteriormente, constatou-se que o modelo hidrológico SWAT foi capaz de simular a vazão e representar o regime hidrológico na bacia hidrográfica do Rio Araranguá e eficiente para a simulação de cenários agrícolas de uso e ocupação do solo.

Os resultados da simulação de vazão média diária anual com base na alteração do uso do solo para o período de 2001 a 2009 são mostrados na Tabela 3. De maneira geral, a vazão média diária anual foi maior no cenário com solo exposto ($\alpha = 0,05$) para o período estudado. Esses

resultados são corroborados por Hibbert (1967 apud Bosch & Hewlett, 1982), que relatou que a vazão média aumenta em função da extinção das florestas. Resultados similares foram obtidos por Bruijnzeel (1990) e Lawson et al. (1981). O aumento médio de vazão pode ser atribuído à redução da infiltração de água no solo, oriunda do selamento superficial ocasionado pelo impacto direto das gotas de chuva sobre a superfície do solo.

As alterações na vazão mínima ocasionadas por mudanças de uso do solo podem ser observadas na Tabela 4. Os resultados das simulações foram comparados com a Q_{95} e foi determinado o número de dias em que a Q_{sim} permaneceu abaixo da Q_{95} . Os resultados indicam um maior número de dias com $Q_{sim} < Q_{95}$ para o cenário com solo exposto (Tabela 4). O cenário com reflorestamento apresentou a menor ocorrência de $Q_{sim} < Q_{95}$, sugerindo uma maior regularização de vazão ao longo do ano. Esses resultados podem ser atribuídos à menor taxa de recarga dos aquíferos rasos em solo exposto, que dessa forma reduz o aporte de água subterrânea aos rios após o cessamento das chuvas, gerando desuniformidade no regime hidrológico e elevado escoamento superficial em eventos de precipitação.►

Conclusões

Os resultados demonstram a habilidade do modelo hidrológico SWAT em simular a vazão na bacia hidrográfica, entretanto, necessitando de calibração prévia.

Os processos hidrológicos associados ao uso do solo exercem influência no regime hidrológico da bacia hidrográfica.

A implantação de florestas em áreas agrícolas proporcionam menor número de dias com $Q_{sim} < Q_{95}$ e redução dos picos de vazão em eventos de precipitação.

Literatura citada

1. ARNOLD, J.G.; SRINIVASAN, R.; MUTTIAH, R.S. et al. Large area hydrologic modeling and assessment: Part I. Model Development. *American Water Research Association*, v.34, p.73-89, 1998.
2. ARNOLD, J.G.; WILLIAMS, J.R.; MAIDMENT, D.R. Continuous-time water and sediment routing model for large basins. *Hydrologic Engineers*, v.119, p.171-183, 1995.
3. BOSCH, J.M.; HEWLETT, J.D. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *Journal of Hydrology*, v.55, p.2-23, 1982.
4. BOURAOU, F.; VACHAUD, G.; HAVERKAMP, R. et al. A distributed physical approach for surface-subsurface water transport modeling in agricultural watersheds. *Journal of Hydrology*, v.203, p.79-92, 1997.
5. BRUIJNZEEL, L.A. *Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion: A State of Knowledge Review*. Amsterdam: Unesco/IAHS, 1990. 224p.
6. EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos (Embrapa Solos). *Levantamento de reconhecimento de alta intensidade dos solos do Estado de Santa Catarina*. Rio de Janeiro: Embrapa, 1998.
7. EPAGRI. *A cultura do arroz irrigado pré-germinado*. Florianópolis: Epagri, 2002. 273p.
8. FAURES, J.; GOODRICH, D.C.; WOOLHISER, D.A. et al. Impact of small-scale spatial on runoff modeling. *Journal of Hydrology*, v.173, p.309-326, 1995.
9. GOODRICH, D.C.; FAURES, J.; WOOLHISER, D.A. et al. Measurement and analysis of small-scale convective storm rainfall variability. *Journal of Hydrology*, v.173, p.283-308, 1995.
10. GRIGG, N.S. *Water resources management: principles, regulations, and cases*. Nova Iorque: McGraw-Hill Book, 1996, 540p.
11. KRYSANOVA, V.; MÜLLER-WOHLFEIL, D.; BECKER, A. Development and test of a spatially distributed hydrological/water quality model for mesoscale watersheds. *Ecological Modelling*, v.106, p.261-289, 1998.
12. LAWSON, T.L.; LAL, R.; ODURO-AFRIYE, K. Rainfall redistribution and microclimatic changes over a cleared watershed. In: LAI, R.; RUSSELL, W. (Eds.). *Tropical Agricultural Hydrology*. Nova Iorque: J. Wiley, 1981. p.141-151.
13. MACHADO, R.E.; VETTORAZZI, C.A. Simulação da produção de sedimentos para a microbacia hidrográfica do ribeirão dos Marins (SP). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.27, p.735-741, 2003.
14. MACHADO, R.E.; VETTORAZZI, C.A.; CRUCIANI, D.E. Simulação de escoamento em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.8, p.147-155, 2003.
15. NEITSCH, S.L.; ARNOLD, J.G.; KINIRY, J.R. et al. *Soil and water assessment tool input/output file documentation*. Version 2005. 530p. Disponível em: <<http://www.brc.tamus.edu/swat/downloads/doc/swat2005/SWAT%202005%20io.pdf>>. Acesso em: 31 ago. 2010.
16. PANDOLFO, C.; BRAGA, H.J.; SILVA JÚNIOR, V.P. et al. *Atlas climatológico digital do Estado de Santa Catarina*. Florianópolis: Epagri, 2002. 1 CD-ROM.
17. PESSOA, M.C.P.Y.; LUCHIARI, A.J.; FERNANDES, E.N.S. et al. *Principais modelos matemáticos e simuladores utilizados para análise de impactos ambientais das atividades agrícolas*. São Paulo: Embrapa/Centro Nacional de Pesquisa em Meio Ambiente, 1997. 83p.
18. PULLAR, D.; SPRINGER, D. Towards integrating GIS and catchment models, *Environmental Modelling & Software*. Elsevier, v.15, p.451-459, 2000.
19. SHARPLEY, A.N.; WILLIAMS, J.R. *Erosion productivity impact calculator: 1. Model documentation*. Washington: USDA/ARS, 1990.145p. (Technical Bulletin, 1768).
20. SRINIVASAN, R.; ARNOLD, J.G. Integration of a basin-scale water quality model with GIS. *Water Resources Research*, v.30, p.453-462, 1994.
21. TIM, U.S.; JOLLY, R. Evaluating agricultural nonpoint-source pollution using integrad geographic information systems and Hydrology/Water Quality Model. *Journal for Environmental Quality*, v.23, p.25-35, 1994.
22. USDA. U.S. Department of Agriculture. Soil Conservation Service. Hydrology. *National engineering handbook*. Washington: USDA, 1972. (Section 4). ■