

## **SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS AGRÍCOLAS PARA ESTUDOS HIDROSEDIMENTOLÓGICOS NA MICROBACIA RIBEIRÃO GUSTAVO – SANTA CATARINA**

*Éverton Blainski<sup>1</sup>\*; Luis Hamilton Pospissil Garbossa<sup>2</sup>; Iria Sartor Araujo<sup>3</sup> & Denilson Dortzbach<sup>4</sup>*

**Resumo** – Este trabalho teve como objetivos testar o modelo hidrológico *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) à microbacia Ribeirão Gustavo e avaliar, por meio de cenários, a influência das atividades agrícolas sobre a distribuição espacial e temporal da disponibilidade hídrica e da perda de solo na área estudada.

Os cenários estudados foram: i) uso atual, com predominância da rizicultura nas áreas agrícolas; ii) uso atual, porém atendendo a legislação ambiental referente a matas ciliares; iii) uso atual com atendimento a legislação ambiental referente aos topos de morros e iv) uso atual com atendimento integral a legislação ambiental vigente.

O modelo SWAT mostrou-se eficiente para a simulação hidrológica na área de estudo. O volume de água na rede hídrica não apresentou variações médias significativas entre os cenários simulados. A produção de sedimentos e a deposição no canal foram fortemente influenciadas pelo uso do solo, sendo que a maior produção média foi observada no cenário 1, seguida pelos cenários 2, 3 e 4, respectivamente. O escoamento superficial reduziu significativamente com o aumento da recomposição da área florestada, sendo: Cenário 4 < Cenário 3 < Cenário 2 < Cenário 1.

**Palavras-Chave** – Modelagem hidrológica, erosão, cenários.

## **SIMULATION AGRICULTURAL SCENARIOS FOR HYDROSEDIMENTOLOGICAL RESEARCH IN THE GUSTAVO STREAM WATERSHED - SANTA CATARINA**

**Abstract** – The aim of this research was to test the hydrological model *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) and use this model under different soil use scenarios to evaluate water availability and erosion in the Gustavo stream watershed.

The scenarios evaluated were: i) current soil use, that is, mostly rice cultivation in paddy fields; ii) current soil use, but given the environmental legislation regarding riparian forest; iii) current soil use, but given the environmental legislation about mountain and hill tops and iv) combination of scenarios 1 to 3.

The results obtained indicate that SWAT was efficient in modeling water distribution in the study area. The volume of water in the river showed no significant differences between the simulated scenarios. The production and deposition of sediments in the channel were strongly influenced by land use, and the higher average output was observed in the scenario 1, followed by scenarios 2, 3 and 4, respectively. The runoff decreased significantly with increasing forested area, ie: Scenario 4 < Scenario 3 < Scenario 2 < Scenario 1.

**Keywords** – Hydrological modeling, erosion, scenarios.

<sup>1</sup> Dr. Engenheiro-agrônomo. Empresa de Pesquisa Agropecuária e de Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri). Centro de Informações Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina (Ciram). Email: [evertonblainski@epagri.sc.gov.br](mailto:evertonblainski@epagri.sc.gov.br)

<sup>2</sup> Dr. Engenheiro civil. Epagri/Ciram. Email: [luisgarbossa@epagri.sc.gov.br](mailto:luisgarbossa@epagri.sc.gov.br)

<sup>3</sup> Dr. Engenheira-agrônoma. Epagri/Ciram. Email: [iriaaraujo@epagri.sc.gov.br](mailto:iriaaraujo@epagri.sc.gov.br)

<sup>4</sup> Msc. Engenheiro-agrônomo. Epagri/Ciram. Email: [denilson@epagri.sc.gov.br](mailto:denilson@epagri.sc.gov.br)

## INTRODUÇÃO

O processo de expansão da agricultura, via de regra, é associado a problemas ambientais oriundos da substituição da vegetação nativa por culturas comerciais, principalmente quando ocorre a ocupação de áreas impróprias para usos agrícola, a remoção desordenada da vegetação nativa, em especial das matas ciliares e, a ausência de técnicas conservacionistas como: plantio direto, terraceamento, cultivo em nível, entre outros. Nesses casos, fatalmente, ocorrem grandes prejuízos à quantidade e qualidade das águas superficiais.

A proposição de alternativas viáveis para adequação do uso e ocupação dos solos e recuperação dos corpos hídricos deve ser embasada não somente na legislação ambiental vigente, mas em fatores intrínsecos a cada microbacia como: solo, clima, relevo, vegetação e técnicas de manejo.

Os estudos hidrológicos em microbacias ganham importância em função da necessidade de se compreender a dinâmica do balanço hídrico, os processos que controlam o movimento de água e o transporte de sedimentos, além dos impactos de mudanças do uso do solo sobre a quantidade e qualidade da água.

Neste contexto, a aplicação de modelos hidrológicos para estudos em microbacias tem ganhado cada vez mais adeptos ao longo das últimas décadas. O uso dessa tecnologia possibilita a representação de cenários passados e presentes (Bouraoui *et al.*, 1997), bem como a simulação de 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 e 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) largamente utilizado no mundo (Gassman *et al.*, 2007) e mesmo no Brasil (Neto, 2011). Por meio do SWAT, diferentes processos físicos podem ser simulados, de forma sequencial (Tim e 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 e Arnold, 1994).

Nesse contexto, este trabalho teve como objetivos: avaliar o desempenho do modelo hidrológico SWAT na simulação do regime hidrológico da microbacia Ribeirão Gustavo e quantificar as alterações na produção de água e sedimentos em função da alteração do uso do solo.

## MATERIAL E MÉTODOS

A microbacia Ribeirão Gustavo é uma das microbacias agrícolas que compõe a vertente Atlântica de Santa Catarina, localizada no município de Massaranduba, possui uma área de 2.140,7 hectares, com uma ampla diversificação de usos, de declividade e de solos, conforme mostrado na Tabela 1.

O clima da região é classificado, segundo Köppen, como Cfa (subtropical úmido). A altitude da microbacia varia de 23 a 736 metros e a altitude média é de 261 metros acima do nível do mar. Entre os usos agrícolas, a rizicultura irrigada apresenta destaque ocupando uma extensão de 16,6% da área da microbacia, o que equivale a praticamente toda extensão de áreas com declividade abaixo de 8%. Os solos dominantes, classificados conforme Embrapa (2006) são do tipo Cambissolo Háplico, textura argilosa. A análise granulométrica dos solos foi realizada com amostras

deformadas coletadas no horizonte B de cada perfil. A composição granulométrica do solo indicou os seguintes teores: areia 175g kg<sup>-1</sup>, silte 90g kg<sup>-1</sup> e argila 735g kg<sup>-1</sup>.

Tabela 1 – Distribuição de uso e ocupação, declividade e classes de solos na microbacia Ribeirão Gustavo, Santa Catarina

Uso e ocupação	Área		Declividade	Área		Classes de solo	Área	
	ha	%		ha	%		ha	%
Arroz irrigado	354,9	16,6	0 a 3	276,6	12,9	Cambissolo Háplico	1.676,9	78,3
Banana	42,4	2,0	3 a 8	130,4	6,1	Gleissolo Háplico	360,6	16,9
Complexo doméstico	90,5	4,2	8 a 15	210,8	9,9	Argissolo Vermelho	103,1	4,8
Florestas	1.373,4	64,2	15 a 20	232,0	10,8			
Pastagem	185,6	8,7	> 20	1.290,9	60,3			
Reflorestamento	64,6	3,0						
Sistemas agroflorestais	29,3	1,4						
<b>TOTAL</b>	<b>2.140,7</b>	<b>100,0</b>	<b>TOTAL</b>	<b>2.140,7</b>	<b>100,0</b>	<b>TOTAL</b>	<b>2.140,7</b>	<b>100,0</b>

### Modelo hidrológico e dados de entrada

Neste estudo optou-se por utilizar o modelo hidrológico SWAT devido a sua ampla capacidade de utilização e bons resultados alcançados em outros estudos similares (Blainski *et al.*, 2011, Blainski *et al.*, 2010). Foram utilizados dados de entrada característicos de clima, solos, uso e ocupação e relevo, conforme metodologia descrita a seguir:

**Clima:** os dados climáticos utilizados para a determinação dos parâmetros estatísticos relacionados ao clima da região foram obtidos a partir da rede de monitoramento composta por estações meteorológicas instaladas nas cidades de Itajaí e Blumenau. Ademais, foram instaladas duas estações de monitoramento na microbacia Ribeirão Gustavo. Uma com monitoramento de temperatura, umidade relativa do ar, precipitação e nível de rio e outra com temperatura, umidade relativa do ar, radiação solar, precipitação, direção e velocidade do vento. Esses dados foram compilados, interpretados e posteriormente inseridos no modelo, no formato de tabelas e utilizados para as simulações.

**Solos:** ao longo da microbacia Ribeirão Gustavo definiram-se duas toposequências para caracterização dos solos. Nessas toposequências foram analisados 10 perfis e realizadas as seguintes determinações: i) descrição do perfil e classificação segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006); ii) textura do solo realizada a partir de amostras deformadas coletadas nos diferentes perfis; iii) densidade, porosidade, condutividade hidráulica saturada e curva de retenção de água no solo, determinadas a partir de amostras com estrutura preservada coletadas nos diferentes perfis analisados. Essas informações foram cadastradas na base de dados do SWAT e utilizadas durante as simulações como dados característicos da região de estudo.

**Uso e ocupação:** o uso e ocupação dos solos foram delimitados e classificados a partir de imagens de satélite QUICKBIRD, datadas de 2008, com resolução espacial de 20 metros. O mapa de uso e ocupação foi utilizado para determinação da evapotranspiração, da interceptação, da infiltração e do transporte de sedimentos.

**Relevo:** o relevo foi definido a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) da *Shuttle Radar Topographic Mission* 2000. A resolução espacial horizontal das informações é de 30x30 metros e o erro vertical de 20 metros. Neste estudo, o relevo da microbacia foi dividido em cinco classes de declividade: Plano (0 a 3%); Suave ondulado (3 a 8%); Ondulado (8 a 15%); Fortemente ondulado (15 a 20%) e Montanhoso (> 20% de declividade).

## Calibração e validação do SWAT

A primeira etapa da utilização do SWAT é o carregamento dos dados de entrada. Após essa etapa, procedeu-se a calibração, validação e simulação hidrológica. O SWAT foi calibrado e posteriormente validado com base nos dados de vazão coletados no posto fluviométrico instalado no exutório da microbacia. A análise da eficiência do modelo foi realizada por meio do coeficiente de Nash e Sutcliffe (COE), descrito na equação 1 e pelo coeficiente de massa residual (CMR), descrito na equação 2.

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

Em que: 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.

$$CMR = \left( \frac{\sum_{i=1}^n E_{sim} - \sum_{i=1}^n E_{med}}{\sum_{i=1}^n E_{sim}} \right) \quad (2)$$

Em que: CMR é o coeficiente de massa residual;  $E_{sim}$  é o evento simulado pelo modelo e  $E_{med}$  é o evento medido.

## Simulação de cenários

Foram simulados quatro cenários de uso e ocupação do solo, conforme mostrado na Figura 1, e suas influências sobre os seguintes componentes hidrológicos: i) Escoamento superficial; ii) Produção média de sedimentos; iii) Produção máxima de sedimentos; iv) Deposição de sedimentos no canal principal; v) Total de sedimentos transportados e vi) Vazão média no período.

Os cenários simulados de uso e ocupação dos solos foram os seguintes: i) Cenário 1 – uso atual do solo, considerando as culturas implantadas e as técnicas de cultivo utilizadas, baseado no mapa de uso e ocupação dos solos; ii) Cenário 2 – uso atual do solo, porém, atendendo, virtualmente, a legislação ambiental vigente em relação à vegetação ciliar. Para caracterizar este cenário foi criado um *Buffer* na rede de drenagem de acordo com a legislação ambiental vigente (Código florestal, lei nº4.771/65); iii) Cenário 3 – constituído pela junção dos cenários 2 a outra determinação da legislação ambiental vigente (Lei nº4.711/65) que considera como área de preservação permanente as florestas e demais formas de vegetação natural situada em áreas com declividade superior a 45°. Neste cenário, as áreas utilizadas para a agricultura que atendam tal determinação tiveram sua cobertura vegetal substituída, virtualmente, por vegetação florestal nativa, sobrepondo a imagem de uso atual; iv) Cenário 4 – substituição de todas as áreas com agricultura por vegetação nativa, caracterizando um cenário virtual sem ação antrópica.

Os resultados obtidos para os componentes hidrológicos listados anteriormente, em cada cenário, foram comparados entre si a fim de se identificar as alterações na disponibilidade hídrica e na perda de solo em função das alterações do uso do solo.

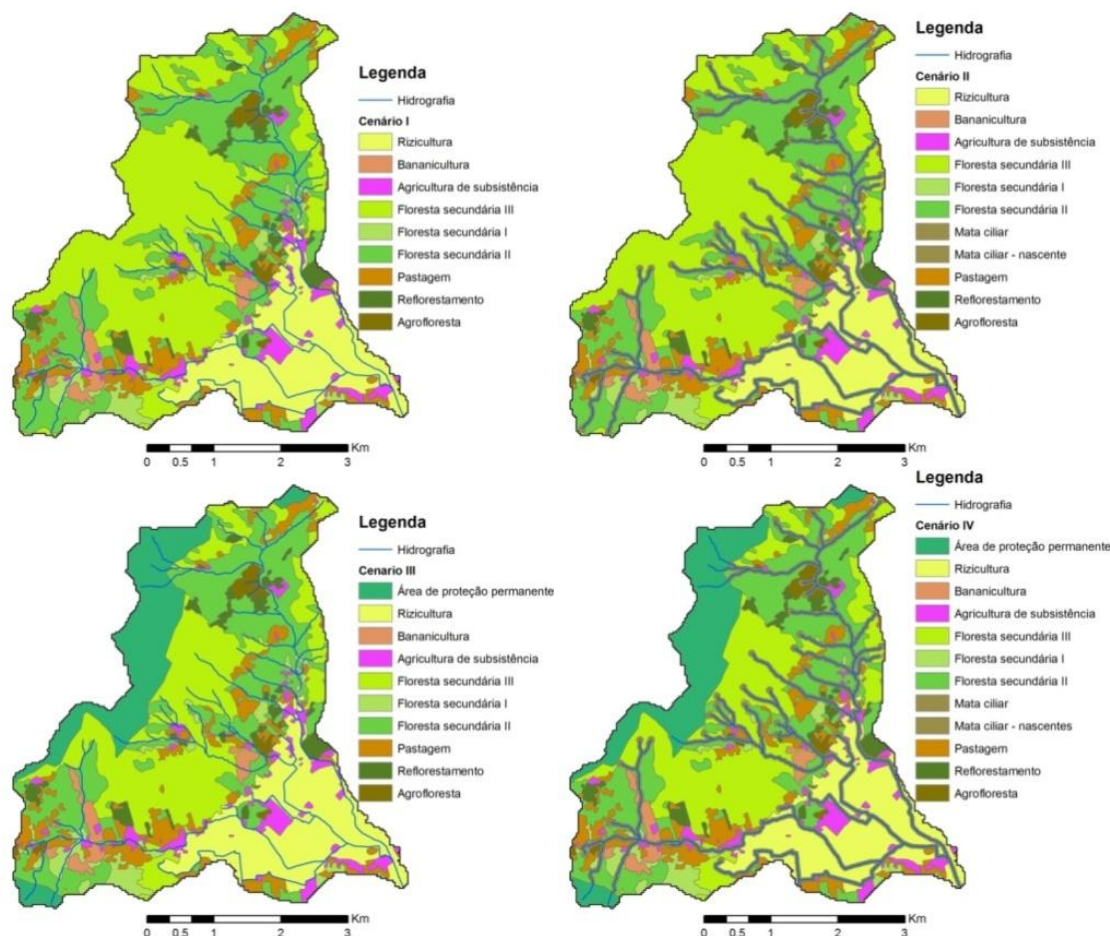


Figura 1 – Distribuição espacial dos cenários. Cenário 1: uso atual; Cenário 2: uso atual + mata ciliar; Cenário 3 – uso atual + topo de morro; Cenário 4 – uso atual + mata ciliar + topo de morro.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Análise de sensibilidade, calibração e validação do modelo SWAT

O processo de calibração e validação foi iniciado com a análise de sensibilidade dos parâmetros do modelo, em que foram determinados os parâmetros com maior influência sobre as variáveis de saída.

A calibração do SWAT foi realizada através do *software* SWAT-CUP. O SWAT-CUP é um software que possibilita a determinação dos melhores ajustes dos parâmetros a fim de que o modelo represente o fenômeno natural. Os resultados da calibração do SWAT são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros ajustados no processo de calibração do SWAT e resumo estatístico da calibração.

Parâmetro	Intervalo		Valor ajustado	Resumo estatístico	
	Mínimo	Máximo		Parâmetro	Valor
LAT_TIME	0	25	23,16	COE	0,66
GW_QMN	0	5.000	2.800	R <sup>2</sup>	0,70
ALPHA_BNK	0	1	0,0117	CMR	0,094
GW_REVAP	0,02	0,2	0,0378		
ESCO	0	1	0,46		

LAT\_TIME: fluxo lateral (dias); GW\_QMN: profundidade limite (mm) para ocorrência de fluxo de retorno; ALPHA\_BNK: fator de escoamento de base (dias); GW\_REVAP: coeficiente de retorno de água do aquífero raso para zona de raízes ESCO: fator de compensação de evaporação do solo.

Após a calibração procedeu-se a validação do modelo SWAT e os resultados obtidos foram comparados com os dados medidos. O período analisado foi de 28/08/2011 a 29/02/2012, conforme apresentado na Figura 2.

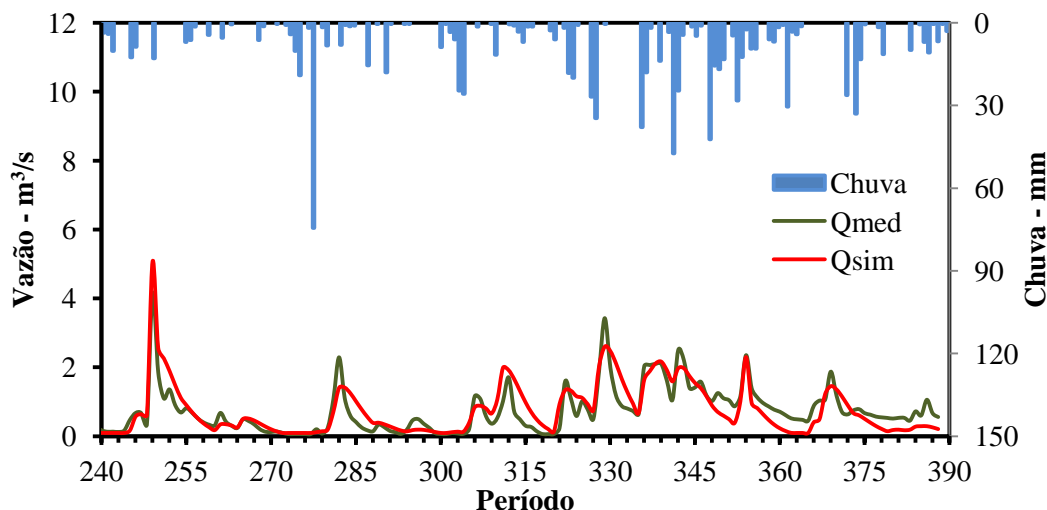


Figura 2 – Comparação entre a vazão diária medida (Qmed) e simulada (Qsim), através do SWAT para o período de 28/08/2011 (240) a 29/02/2012 (388), utilizado para validação da calibração realizada.

Os resultados obtidos no processo de validação para a variável vazão, revelaram que o desempenho do SWAT foi satisfatório para o objetivo proposto. O modelo apresentou um COE de 0,74 e um CMR de 0,13, para a escala de tempo diária. Segundo Krysanova *et al.* (1998), para considerar um bom ajuste do modelo os valores de COE devem estar entre 0,7 e 0,8. O CMR indicou que houve uma subestimativa de 13% na vazão média simulada, entretanto, essa subestimativa encontra-se dentro dos limites relatados na literatura.

Para a produção de sedimentos, devido ao fato de as coletas terem sido realizadas manualmente (uma coleta por mês), não foi possível realizar a calibração do modelo, entretanto, os valores simulados foram comparados com os valores medidos no dia das coletas. Pode-se concluir que, apesar dos poucos dados medidos (13 medições mensais), o SWAT foi capaz de simular satisfatoriamente a produção de sedimentos, o CMR foi de -0,15, ou seja, o modelo superestimou a produção de sedimentos em 15% em relação aos dados medidos.

Na Tabela 3 são apresentados os resultados das simulações dos cenários estudados. O escoamento superficial foi fortemente influenciado pela alteração do uso do solo (cenários), sendo que o maior escoamento superficial foi registrado no cenário atual (462,5 mm/ano) e o menor foi registrado para o cenário 4 (uso atual+mata ciliar+APP), com 257,1 mm/ano (Tabela 3).

Tabela 3 – Componentes hidrológicos simulados através do SWAT para os cenários estudados

Componente hidrológico	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Escoamento superficial (mm/ano)	462,5	315,4	267,4	257,1
Produção média de sedimentos (Mg/ha/ano)	40,7	26,4	19,6	13,9
Produção máxima de sedimentos (Mg/ha/ano)	240,5	107,7	99,4	50,6
Deposição no canal (Mg/ha/ano)	32,4	18,5	18,5	10,7
Total de sedimentos transportado (Mg/ano)	73.493	47.047	34.971	24.740
Vazão média no período (m³/s)	0,7	0,63	0,59	0,63
Vazão média diária (m³/s)	0,98	0,89	0,84	0,89

A perda de solo foi uma das variáveis hidrossedimentológicas mais influenciadas pela alteração do uso do solo. A produção média de sedimentos variou de 40,7 Mg/ha/ano para o cenário 1 até 13,9 Mg/ha/ano no cenário 4 (Tabela 3), ou seja, a recomposição da mata ciliar e a proteção dos topos de morro proporcionaram uma redução média de 66% na produção média de sedimentos. Além disso, a deposição de sedimentos no canal, a produção máxima de sedimentos e o total de sedimentos transportados apresentaram redução significativa, sendo: Cenário 1 > Cenário 2 > Cenário 3 > Cenário 4. Entretanto, devido a grande complexidade dos fenômenos naturais e ao curto período de dados medidos devem ser realizadas novas pesquisas, com um período de monitoramento maior, a fim de corroborar os resultados obtidos nesse trabalho.

Apesar das alterações na cobertura do solo, não foram identificadas diferenças significativas na vazão média para o período simulado (Tabela 3). As diferenças observadas no exutório da microbacia ficaram dentro da margem de erro do modelo SWAT. Na Tabela 16 é apresentada a frequência de ocorrência de vazão abaixo da  $Q_{95\%}$ ,  $Q_{90\%}$  e acima da  $Q_{5\%}$ .

Na Figura 4 é apresentada a distribuição temporal da vazão média diária para os cenários simulados. Apesar de não apresentar diferença significativa para a variável vazão média, fica evidente, que no cenário 4, ocorre uma maior regularização de vazão, principalmente com redução dos picos de vazão. Resultados similares são amplamente discutidos na literatura, em que bacias hidrográficas reflorestadas e/ou com predomínio de florestas apresentam vazão mais regularizada quando comparadas com bacias hidrográficas tipicamente agrícolas, ou até mesmo urbanizadas. Esse comportamento se dá, principalmente, devido à redução do escoamento superficial e aumento da vazão de base e da taxa de infiltração de água no solo.

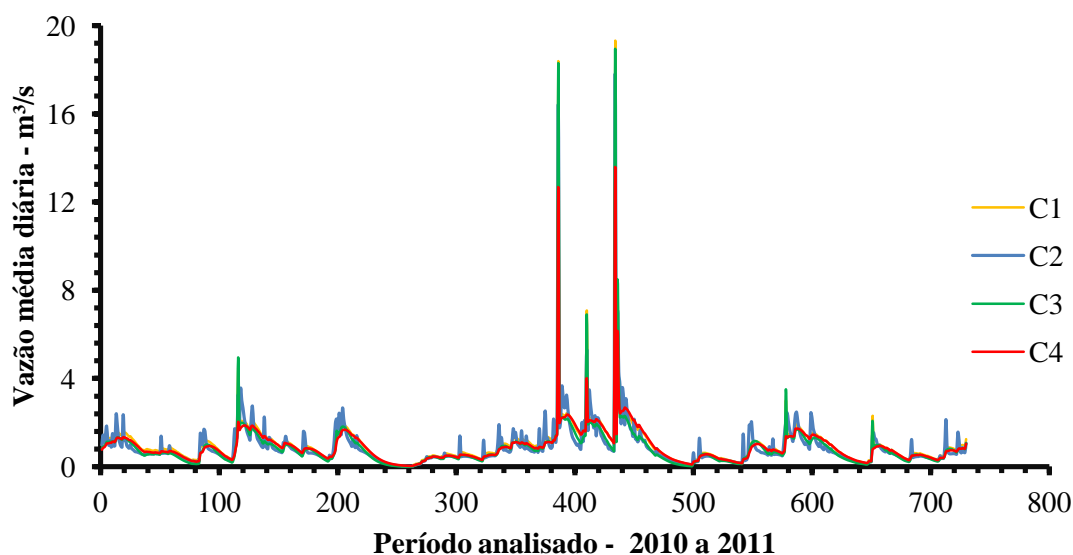


Figura 3 – Distribuição temporal da vazão, no exutório da bacia hidrográfica, simulada através do SWAT, para os quatro cenários estudados.

## CONCLUSÕES

O modelo SWAT mostrou-se eficiente para a simulação hidrológica na área de estudo;

A disponibilidade hídrica não apresentou variações médias significativas entre os cenários simulados de uso e ocupação do solo;

A produção de sedimentos e a deposição no canal foram fortemente influenciadas pelo uso do solo, sendo que a maior produção média foi observada no cenário 1, seguida pelos cenários 2, 3 e 4, respectivamente;

O escoamento superficial reduziu significativamente com o aumento da recomposição da área florestada, sendo: Cenário 4 < Cenário 3 < Cenário 2 < Cenário 1.

## REFERÊNCIAS

- ARNOLD, J. G.; SRINIVASAN, R.; MUTTIAH, R. S. et al. (1998). Large area hydrologic modeling and assessment: Part I. Model Development. *American Water Research Association* 34 (1-6), pp.73-89.
- BLAINSKI, E.; GARBOSSA, L.H.P.; MALUTTA, S. (2010). Aplicação do modelo hidrológico SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) para a simulação da perda de solo e da disponibilidade hídrica em uma bacia hidrográfica não instrumentada. In Anais do X Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Fortaleza, Nov. 2010, pp. 174-180.
- BLAINSKI, E.; SILVEIRA, F.A.; CONCEIÇÃO, G.; GARBOSSA, L.H.P.; VIANNA, L.F. (2011). Simulação de cenários de uso do solo na bacia hidrográfica do rio Araranguá utilizando a técnica da modelagem hidrológica. *Revista Agropecuária Catarinense* 24 (1-4), pp.65-70.
- BOURAOUI, F.; VACHAUD, G.; HAVERKAMP, R. et al. (1997). A distributed physical approach for surface-subsurface water transport modeling in agricultural watersheds. *Journal of Hydrology* 203 (1-4), pp.79-92.
- EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisas de Solos (2006). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Embrapa Solos Rio de Janeiro 2.ed. 306 p.
- GASSMAN, P. W.; REYES, M. R.; ARNOLD, J. G. (2007). The Soil and Water Assessment Tool: Historical Development, Applications, and Future Research Directions. *American Society of Agricultural and Biological Engineers* 50(4-4), pp. 1211-1250.
- GRIGG, N. S. (1996). *Water resources management: principles, regulations, and cases*. McGraw-Hill Book New York-NY, 540p.
- KRYSSANOVA, V.; MÜLLER-WOHLFEIL, D.; BECKER, A. (1998). “Development and test of a spatially distributed hydrological / water quality model for mesoscale watersheds”. *Ecological Modelling*, 106, pp.261-289.
- NETO, J. G. de C. (2011). Simulação Hidrossedimentológica da Bacia do Riacho dos Namorados com o Modelo SWAT. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande-PB, 217p.
- PULLAR, D.; SPRINGER, D. (2000). Towards integrating GIS and catchment models, *Environmental Modelling & Software*. Elsevier 15 (5-8), pp.451-459.
- SRINIVASAN, R.; ARNOLD, J. G. (1994). Integration of a basin-scale water quality model with GIS. *Water Resources Research* 30 (3-6), pp.453-462.
- TIM, U. S.; JOLLY, R. (1994). Evaluating agricultural nonpoint-source pollution using integrated geographic information systems and Hydrology/Water Quality Model. *Journal for Environmental Quality* 23 (1-6), pp.25-35.