

Simulação da produção de sedimentos em uma pequena bacia hidrográfica rural no sul do Brasil

NADIA BERNARDI BONUMÁ⁽¹⁾, JOSÉ MIGUEL REICHERT⁽²⁾, JEAN PAOLO MINELLA⁽²⁾, LUCIANO JACOMET⁽³⁾, ANDRÉ DE OLIVEIRA⁽³⁾ & MIRIAM FERNANDA RODRIGUES⁽³⁾

RESUMO - Para quantificar e prever a carga de sedimentos transportados devido às atividades agrícolas é possível utilizar modelos de predição de erosão. Neste estudo foi avaliada a produção de sedimentos na pequena bacia hidrográfica do Arroio Lino, localizada em Agudo – RS, por meio do modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) associado a um SIG. Os resultados da simulação da produção de sedimentos foram comparados com valores medidos na bacia, utilizando ferramentas estatísticas como a análise de correlação e o índice de eficiência de Nash e Sutcliffe (COE). Em nível mensal obteve-se um coeficiente de correlação de 0,88 e um COE de 0,7, indicando um bom ajuste dos dados simulados comparados aos dados observados. O modelo SWAT mostrou-se com um grande potencial de utilização em bacias hidrográficas brasileiras.

Palavras-Chave: (SWAT; erosão; modelos matemáticos)

Introdução

No sul do Brasil, existem extensas áreas de solo em relevo declivoso com elevada fragilidade aos processos erosivos quando a vegetação é removida. Muitos desses solos são intensivamente utilizados e modificados pelas diversas atividades de exploração agrícola. Os conseqüentes fatores e impactos sócio-ambientais advindos da exploração não planejada carecem ser estudados para melhor compreender a extensão dos efeitos oriundos da degradação do solo e dos recursos hídricos. Possivelmente, os principais fatores são as inadequações de uso, que geram e transferem, para águas superficiais, sedimentos desagregados, agrotóxicos e nutrientes.

Os processos de erosão e sedimentação numa bacia hidrográfica podem trazer muitos problemas. Na área agrícola a erosão remove a camada superficial do solo, reduzindo a produtividade. O sedimento é transportado para os corpos d'água, prejudicando a qualidade das águas superficiais, além de servir como veículo a outros poluentes, que são adsorvidos a estes materiais [7].

O transporte de sedimentos caracteriza-se como uma das importantes incógnitas que precisam ser determinadas nas pequenas bacias hidrográficas, estando sua importância associada não só ao aspecto

relacionado com a determinação do volume de assoreamento em reservatórios, com estimativa de sua vida útil, mas também ao estudo de práticas agrícolas desenvolvidas na bacia, relacionando-as à perda de solo agrícola.

Para um efetivo controle da erosão é necessário avaliar os fatores que interagem na degradação do solo e da água em escala de bacia hidrográfica. Para compreender e esclarecer a origem dessa poluição, vários estudos têm sido feitos utilizando modelos matemáticos para analisar os impactos das alterações no uso do solo sobre o escoamento superficial e subterrâneo, produção de sedimentos e qualidade da água.

A simulação da produção de sedimentos e dinâmica dos nutrientes nos corpos d'água pode ser comparada aos dados observados. Os dados obtidos com a simulação podem servir para prever as perdas de solo e a transferência de nutrientes devido ao sistema de manejo utilizado e também para o planejamento ambiental. A modelagem da produção de sedimentos e de nutrientes é essencial para determinar impactos, antes mesmo da utilização na área em questão, de determinada cultura ou prática agrícola. Os resultados desses modelos juntamente com as medidas existentes fornecem pistas para a identificação da origem e natureza da poluição e para a quantificação das suas cargas. A confiabilidade do resultado do modelo depende, porém, sobretudo da disponibilidade de grande quantidade de dados.

O Soil and Water Assessment Tool (SWAT) é um modelo desenvolvido pelo USDA/ARS e pela Texas A&M University. O SWAT simula o escoamento e a qualidade da água, largamente utilizado na prevenção e no controle da erosão dos solos, da poluição difusa, sendo uma ferramenta auxiliar na gestão ambiental de bacias hidrográficas rurais. Neste estudo foram avaliados os processos erosivos e a produção de sedimentos em uma bacia hidrográfica rural por meio do modelo SWAT.

Material e Métodos

A. Local de estudo

A área de estudo é bacia hidrográfica rural do Arroio Lino, localizada no município de Agudo - RS, com 3,2 km² de área (Figura 1). Pertence à região central do Estado do Rio Grande do Sul. A bacia do Arroio Lino localiza-se nas cabeceiras do Rio Jacuí, principal afluente da Bacia do Guaíba.

⁽¹⁾ Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo (PPGCS), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, CEP 97105-900. E-mail: nadiabonuma@gmail.com.

⁽²⁾ Professor Adjunto do Departamento de Solos, Centro de Ciências Rurais, UFSM, Santa Maria, RS.

⁽³⁾ Graduando(a) do Curso de Agronomia, UFSM, Santa Maria, RS.

Apoio financeiro: CAPES, CNPq e FAPERGS.

O relevo do local é fortemente ondulado a escarpado, com declividade média de 12%. O clima é classificado, segundo Köppen, como Cfb, sub-tropical úmido com verões quentes, inverno com geadas frequentes e precipitação bem distribuída no ano. As principais classes de solos na bacia do Arroio Lino são Neossolo, Chernossolo, Cambissolo, Argissolo e Planossolo.

O local tem por características áreas declivosas e solos frágeis, onde há intensa exploração agrícola, principalmente com a cultura do fumo. O manejo do solo utilizado é parte no sistema tradicional e parte no sistema conservacionista.

B. Modelo SWAT

O SWAT é um modelo matemático, em escala de bacia hidrográfica, que simula o escoamento superficial e subterrâneo e a qualidade da água, largamente utilizado na prevenção e no controle da erosão dos solos, controle da poluição difusa e gestão ambiental de bacias hidrográficas rurais.

A aplicação do modelo requer a entrada dos dados na forma espacializada com o auxílio de um Sistema de Informações Geográficas (SIG). A ferramenta do SIG possibilita a subdivisão da bacia hidrográfica em áreas homogêneas (sub-bacias). Cada sub-bacia pode ser parametrizada pelo SWAT usando uma série de Unidades de Resposta Hidrológica (*Hydrologic Response Units – HRU's*), conforme o relevo, tipo de solos e uso da terra.

Na simulação na sub-bacia, o ciclo hidrológico é calculado com base na equação de balanço hídrico [6]:

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_d - Q_{sup} - E_a - w_{seep} - Q_{gw}) \quad (1)$$

em que: SW_t : quantidade final de água no solo (mm); SW_0 : quantidade inicial de água no solo no dia i (mm); t : tempo (dias); R_d : precipitação no dia i (mm); Q_{sup} : escoamento superficial no dia i (mm); E_a : evapotranspiração no dia i (mm); w_{seep} : percolação no dia i (mm); Q_{gw} : fluxo de retorno (ascensão capilar) no dia i (mm).

São simulados os seguintes processos hidrológicos: interceptação, infiltração, redistribuição da água no solo, evapotranspiração, escoamentos sub-superficial e superficial, armazenamento, escoamento em canais principais e em tributários e vazão de base.

O escoamento superficial pode ser calculado por meio de uma modificação do método do Soil Conservation Service (SCS) ou pelo método de infiltração de Green & Ampt.

A produção de sedimento é computada para cada sub-bacia com a MUSLE (Modified Universal Soil Loss Equation):

$$sed = 11,8 \cdot (Q_{sup} \cdot q_p \cdot area_{HRU})^{0,56} \cdot K \cdot C \cdot P \cdot LS \cdot CRFG \quad (2)$$

em que: sed: produção de sedimento (Mg); Q_{sup} :

escoamento de superfície (m^3); q_p : taxa de escoamento de pico ($m^3 \cdot s^{-1}$); $area_{HRU}$: área da HRU (ha); K: fator de erodibilidade do solo; C: fator de uso e manejo do solo; P: fator de práticas conservacionistas; LS: fator topográfico; CRFG: fator de fragmento grosseiro.

Para a estimativa do escoamento superficial na bacia hidrográfica do Arroio Lino, foi utilizado o modelo SWAT 2005 associado com um SIG. Neste trabalho foi escolhido o método do SCS utilizando dados de precipitação diária.

Para a entrada de dados no modelo, necessitam-se de informações cartográficas, como o Modelo Numérico do Terreno, tipo de solos e uso do solo, além de dados climáticos, hidrossedimentológicos e de qualidade da água. Os principais dados de solo necessários são: densidade do solo, capacidade de água disponível no solo, condutividade hidráulica saturada, conteúdo de carbono orgânico do solo, textura, albedo, condutividade elétrica e erodibilidade. Grande parte desses dados já haviam sido obtidos na área de estudo, que está sob monitoramento desde 2001 ([1], [2], [3], [7], [9], [10], [11]). Os demais dados de entrada necessários foram obtidos por meio de coletas e análises de solo que foram realizadas durante o andamento dessa pesquisa.

As séries climáticas (30 anos) foram obtidas a partir de dados coletados na estação climatológica da UFSM, pertencente à rede do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e localizada na Latitude Sul 29° 42' e Longitude Oeste 53° 42', e com altitude de 95 m..

Os dados de precipitação do período de simulação foram obtidos a partir de uma micro-estação meteorológica localizada na bacia. Os dados de vazão através de dois linígrafos que registravam de forma automática a altura da lâmina de água na bacia. A amostragem de água e sedimentos em suspensão foram obtidas a partir de coletas manuais durante eventos pluviais em um posto hidrossedimentométrico no exutório da bacia.

C. Análises estatísticas

Para a comparação entre os dados simulados pelos modelos e os dados observados, foram utilizadas algumas ferramentas estatísticas como a análise de correlação e o uso do coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe (COE), [5].

O COE foi utilizado com a finalidade de avaliar a eficiência do modelo em simular determinada variável. O COE pode variar a partir de $-\infty$ a 1, sendo 1 indicativo de um perfeito ajuste dos dados simulados em relação aos dados observados:

$$COE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Em - Es)^2}{\sum_{i=1}^n (Em - \bar{E})^2} \quad (3)$$

em que: Em: evento observado; Es: evento simulado pelo modelo; \bar{E} : média do evento observado no período de simulação e n: número de eventos.

Resultados

O resultado da simulação da produção de sedimentos foi comparado com os dados observados no posto hidrossedimentométrico localizado na bacia do Arroio Lino por um período de dois anos (2004 e 2005). Dados estatísticos, incluídos o coeficiente de eficiência (COE) e o coeficiente de correlação (r), foram computados para a simulação, para determinar a eficiência do modelo.

A Figura 2 mostra a série diária de precipitação, vazão observada e vazão simulada pelo SWAT para o ano de 2005. A Figura 3 mostra os resultados mensais. O ajuste a nível diário apresentou um coeficiente de correlação de 0,69 e um índice de eficiência de Nash e Sutcliffe (COE) de -0,33. Em nível mensal, obteve-se um coeficiente de correlação de 0,88 e um índice de eficiência de Nash e Sutcliffe (COE) de 0,7.

O diagrama de dispersão entre a produção de sedimentos simulada e observada é apresentado na Figura 4. Os valores mensais da produção de sedimentos simulados tiveram uma boa correlação com os valores medidos, sendo o valor de r^2 entre as variáveis de 0,77 significativo a 1 %.

Na bacia hidrográfica do Ribeirão Martins (SP), [4] obtiveram um COE de 0,83 e um r^2 de 0,92 na simulação da produção de sedimentos pelo modelo SWAT, após a calibração.

Discussão

Apesar de não se ter obtido bom ajuste em termos diários (COE = -0,33 e $r = 0,69$), observa-se que, em nível mensal, esses valores são satisfatórios (COE = 0,7 e $r = 0,88$). A Figura 3 mostra que houve períodos em que a produção de sedimentos foi superestimada em relação aos dados observados e, em outros, subestimada.

Um aspecto que poderia melhorar os ajustes seria a utilização de calibração automática, como em [10], já que como o modelo possui muitos parâmetros, a calibração manual pode ser um processo muito demorado.

É importante salientar que o modelo foi desenvolvido com base em um extenso banco de dados de solos, mapas topográficos, tipos de cultura, manejo e dados climatológicos dos Estados Unidos. Os modelos foram originalmente concebidos para utilizar informações de fácil aquisição, necessitando de pouca ou nenhuma calibração quando utilizados em bacias norte-americanas. Entretanto, quando aplicado em regiões com escassez de dados, e cujas características de solos, clima, culturas e manejo divergem da realidade norte-americana, torna-se necessária realizar a calibração dos parâmetros.

Este trabalho está em andamento, sendo que nas

próximas etapas buscar-se-à suprir a deficiência nos dados de entrada de solo, bem como a utilização de um algoritmo de calibração automática que possibilite um melhor ajuste.

Conclusões

O modelo apresentou bons resultados de ajuste a nível mensal. Os resultados na escala diária foram inferiores. A série fluviográfica é pequena e houve deficiência de alguns dados de entrada de solo, dificultando sua calibração. Além disso, este modelo não foi ainda validado nesta região, que apresenta características de clima e vegetação distintas da região em que foi originalmente concebido.

O modelo SWAT possui grande potencial de utilização com sucesso no Brasil, podendo ser utilizado na gestão ambiental e na escolha de alternativas econômicas que minimizem os impactos sócio-ambientais causados por um determinado uso da terra.

Agradecimentos

Agradecemos ao INMET pelos dados de clima. E à doutoranda Letícia Sequinatto e ao mestrando André Copetti, pelo auxílio na obtenção dos dados e elaboração dos mapas da bacia do Arroio Lino em Agudo.

Referências

- [1] DALMOLIN, R.S.D.; PEDRON, F.A.; AZEVEDO, A.C.; ZAGO, A. Levantamento semidetalhado de solos da microbacia do Arroio Lino - Município de Agudo (RS), 2004.
- [2] GONÇALVES, C.S.; RHEINHEIMER, D.S. Qualidade da água numa microbacia hidrográfica de cabeceira situada em região produtora de fumo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.49, n.3, p.391-399, 2005.
- [3] KAISER, D.R. Nitrato na solução do solo e na água de fontes para consumo humano numa microbacia hidrográfica produtora de fumo. 2006. 114f. Dissertação (Mestrado) PPGCS - UFSM, Santa Maria, 2006.
- [4] 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.
- [5] NASH, J.E.; SUTCLIFFE, J.V. River flow forecasting through conceptual models. Part I: a discussion of principles. Journal of Hydrological, v. 10(3), p. 282-290. 1970.
- [6] NEITSCH, S.L.; ARNOLD, J.G.; KINIRY, J.R.; WILLIAMS, J.R. Soil and Water Assessment Tool - Theoretical Documentation: Version 2005. Temple, Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station, 2005. 494p.
- [7] PAIVA, E.M.C.D.; PAIVA, J.B.D. Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas. Porto Alegre: ABRH, 2003. p. 493-506.
- [8] PELLEGRINI, A. Sistemas de cultivo da cultura do fumo com ênfase às práticas de manejo e conservação do solo. 2006. 88f. Dissertação (Mestrado) PPGCS - UFSM. Santa Maria - RS.
- [9] PELLEGRINI, J.B.R.; RHEINHEIMER, D.S.; GONÇALVES, C.S.; COPETTI, A.C.; BORTOLUZZI, E.C. Adsorção de fósforo em sedimentos e sua relação com a ação antrópica. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.32, p. 2639-2646, 2008.
- [10] RHEINHEIMER, D.S. (ed). Caracterização física, química e biológica dos solos na microbacia hidrográfica do Arroio Lino, Nova Boemia, Agudo - RS. Ano II. 2003. 115p.
- [11] SEQUINATTO, L. A insustentabilidade do uso do solo com fomicultura em terras declivosas. 2007. Dissertação (Mestrado) - PPGCS - UFSM, Santa Maria, 2007.
- [12] VAN GRIENSVEN, A., FRANCOIS, A., BAUWENS, W. Sensitivity analysis and autocalibration of an integral dynamic model for river water quality. Water Sci. Technol. 45, 325-332, 2002.

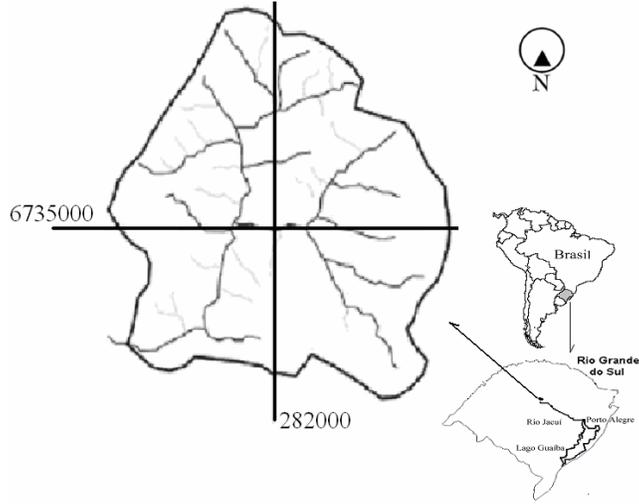


Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do Arroio Lino, em Agudo - RS.

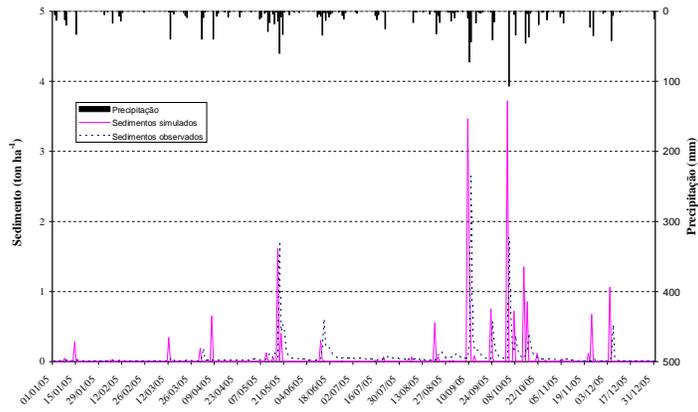


Figura 2. Valores diários de precipitação, produção de sedimentos observada e simulada na bacia do Arroio Lino.

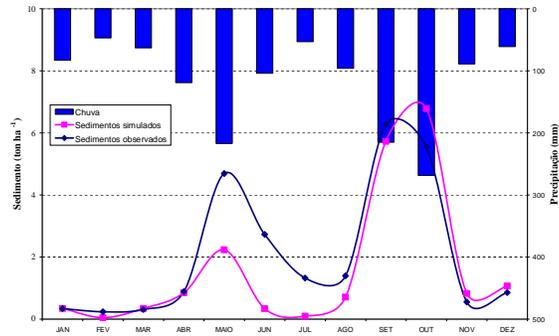


Figura 3. Valores mensais de precipitação, produção de sedimentos observada e simulada na bacia do Arroio Lino.

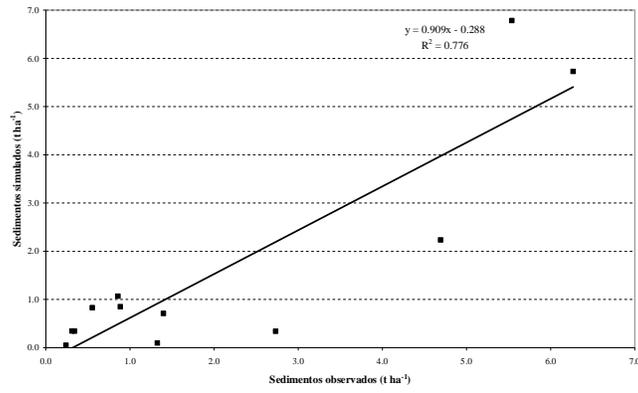


Figura 4. Diagrama de dispersão entre a produção de sedimentos observada e simulada na bacia do Arroio Lino.