

SIMULAÇÃO DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS UTILIZANDO DADOS DE ENTRADA DE ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL NO MODELO SWAT

*Isabella Carvalho de Medeiros¹; Ana Paula Campos Xavier²; Alexandro Medeiros Silva³; Celso Augusto Guimarães Santos⁴ & Richarde Marques da Silva⁵**

Resumo – A utilização de modelos matemáticos para a simulação de produção de sedimentos está em ascensão nas últimas décadas, sendo considerada uma ferramenta essencial para o gerenciamento do uso do solo em bacias hidrográficas. Nesse sentido, este trabalho avaliou a aplicabilidade do modelo *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) na simulação da produção de sedimentos na Bacia Experimental de São João do Cariri (BESJC). O SWAT se trata de um modelo hidrossedimentológico capaz de simular de maneira rápida, desde que se disponha de dados apropriados, as mais diversas situações. Os resultados obtidos demonstraram a eficácia do modelo para a análise da produção de sedimentos como um todo, mas não correspondeu às expectativas enquanto análise diária, uma vez que houve discrepâncias entre os dados observados e simulados. Estas incoerências podem ser atribuídas a erros na fase de calibração do modelo, que se trata de uma etapa bastante complexa, e não devem invalidar a utilização do mesmo, visto que se mostrou satisfatório sob outra ótica, o que lhe torna um modelo deveras promissor mediante ao aprimoramento do seu uso.

Palavras-Chave – SIG, modelo hidrossedimentológico, semiárido, bacia experimental.

SIMULATION OF SEDIMENT YIELD USING INPUT HIGH RESOLUTION DATA IN THE SWAT MODEL

Abstract – The use of mathematical models to simulate sediment yield is increasing in the last decades and can be considered as an essential tool for water resources management in watersheds. Thus, this article evaluated the applicability of the soil and water assessment tool (SWAT) for the simulation of the sediment yield in the São João do Cariri Experimental Basin. SWAT is a runoff-erosion model capable to quickly simulate those processes at most different situations, if appropriate data are available. The results demonstrated the effectiveness of the model for the analysis of sediment yield as a whole, but not up to expectations as daily basis analysis, since there were discrepancies between observed and simulated data. These inconsistencies can be attributed to errors during the model calibration phase, since this is a very complex step and should not invalidate the SWAT model use, since it proved to be satisfactory on the other hand, which makes it a very promising model if its use is improved.

Keywords – GIS, runoff-erosion model, semiarid area, experimental basin.

¹ Bolsista de Iniciação Científica do CNPq. Aluna do Curso de Engenharia Ambiental, UFPB isabellacmedeiros@gmail.com

² Bolsista de Iniciação Científica do CNPq. Aluna do Curso de Engenharia Ambiental, UFPB, anapcxavier@gmail.com

³ Bolsista de Extensão do Proext-MEC. Aluno do Curso de Graduação em Geografia, UFPB, medeiros_alexandro@hotmail.com

⁴ Professor Associado I, UFPB, CT, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, celso@ct.ufpb.br

⁵ Professor Adjunto II, UFPB, CCEN, Departamento de Geociências, richarde@geociencias.ufpb.br

1. INTRODUÇÃO

O estudo da erosão é muito importante sob os aspectos sociais e econômicos, uma vez que é responsável pelos danos em terras agricultáveis e em outras áreas de interesse imediato, bem como pelos efeitos indiretos de assoreamento dos rios e lagos (Carvalho, 2008). O processo da erosão, segundo Bigarella (2003), consiste no desgaste, no afrouxamento do material rochoso e na remoção dos detritos através dos processos atuantes na superfície da Terra. No âmbito da bacia hidrográfica, os processos erosivos, muitas vezes acelerados devido à ação antrópica, tendem a causar diversos impactos negativos, desde a perda da camada superficial do solo até o assoreamento dos rios.

Dentre as etapas do processo de erosão, estão a produção e o transporte de sedimentos. Estas fases vão desde a desagregação das partículas, seu transporte até a sua deposição final, processo conhecido como hidrossedimentológico, ocorrendo em escalas temporais que podem ser determinadas por eventos climáticos ou em escalas geológicas, podendo, também, ser influenciadas por fatores antrópicos. Segundo Vanoni (2006), a produção de sedimentos pode ser definida como o total de sedimentos saído de uma bacia hidrográfica, mensuráveis em um ponto de referência e por um período de tempo especificado. Estas informações são essenciais no planejamento e gestão de recursos hídricos, conferindo uma estimativa do comportamento sedimentológico da bacia hidrográfica em questão, sendo assim, tornam-se necessários métodos que possibilitem prever o funcionamento de sistemas complexos, tais como as bacias hidrográficas.

Para se entender os processos de produção de sedimentos, são utilizados modelos matemáticos, que permitem simular longos períodos de forma contínua, tornando possível a percepção de impactos ambientais que, de outra forma, só seriam notados ao longo do tempo. No tocante aos processos hidrossedimentológicos, um modelo que se destaca é o *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT), que tem como objetivo prever o efeito das ações de uso e manejo do solo sobre os recursos hídricos, produção de sedimentos, produção de nutrientes e pesticidas, entre outros. Para tanto, este modelo utiliza como dados de entrada informações sobre o uso e ocupação do solo, tipos de solo e relevo, bem como dados climáticos. Estes estudos são possíveis a partir da utilização de uma extensa base de dados hidrometeorológicos de vazão e de produção de sedimentos. Devido à falta de tais dados em bacias, sobretudo, na região Nordeste do Brasil e procurando minimizar a escassez de dados hidrológicos no semiárido do Nordeste, diversas bacias experimentais foram instaladas. No Estado da Paraíba, a Bacia Experimental de São João do Cariri (BESJC) é o local escolhido para a instalação de diversos equipamentos e experimentos para medições de escoamento superficial e produção de sedimentos em escalas de parcela, microbacia e sub-bacia. Essa bacia é apoiada pela REHISA – Rede de Hidrologia do Semi-Árido, constituídas pelas seguintes instituições: UFPE, UFRPE, UFPB, UFCG, UFC, UFRN, UFBA e UFAL.

Devonec e Barros (2002) afirmam que a utilização de bacias experimentais e representativas tem se constituído em uma ferramenta importante para o estudo detalhado das características hidrológicas dos diferentes ambientes, sendo fundamental para desenvolvimento, calibração, teste e parametrização dos modelos hidrológicos. Para tanto, este trabalho tem como objetivo simular a produção de sedimentos na BESJC utilizando dados de alta resolução espacial, por meio da modelagem computacional SWAT.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A BESJC possui uma área de aproximadamente 13,5 km² e está localizada na zona fisiográfica do planalto da Borborema, sendo parte da mesorregião da Borborema e da microrregião do Cariri Oriental, próxima à área urbana do município de São João do Cariri, entre as coordenadas 9.188.319 m N a 9.182.574 m N e 769.711 m E a 773.573 m E, no fuso 24 S. Está inserida no bioma de Caatinga hiperxerófila e segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, o clima

nesta área apresenta-se como tropical semiárido, tipo BshW, seco e quente, caracterizado pela escassez e irregularidade das precipitações com chuvas no verão e alto índice de evaporação devido às altas temperaturas. A BESJC possui duas parcelas de erosão (P1 e P2), três micro-bacias (MB1 a MB3) e quatro sub-bacias (SB1 a SB4). Neste estudo, foram utilizados os dados hidroclimatológicos e de produção de sedimentos da Sub-bacia 2.

O levantamento cartográfico de alta resolução espacial consistiu no mapeamento do uso e ocupação do solo baseado numa cena do satélite IKONOS, com resolução espacial de 1 m, e o Modelo Digital de Elevação obtido a partir de uma imagem do SRTM com resolução espacial de 30 m. O MDE foi adquirido diretamente no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, no endereço <http://www.dsr.inpe.br/topodata/> e os dados climáticos foram fornecidos pela própria BESJC.

A classificação das classes de uso e ocupação do solo consistiu na vetorização direta dos objetos geográficos dispostos na imagem baseado em técnicas de interpretação de imagens digitais, como rugosidade, forma e textura. Para a composição de imagens, utilizou-se a seguinte combinação: Banda 1(R), Banda 4(G) e Banda 3(B), o que permitiu uma melhor visualização da área, de acordo com a refletância espectral obtida. O método de classificação selecionado foi o manual, por se tratar de uma imagem de alta resolução, a qual não se torna exequível uma classificação supervisionada ou automática. Durante a classificação, foram vetorizadas todas as áreas em comum, primeiramente de acordo com a cobertura vegetal e posteriormente água e uso do solo, o que resultou nas seguintes classes temáticas: Vegetação Rasteira, Vegetação Arbustiva, Vegetação Arbustivo-arbórea, Área de Cultivo e Solo Exposto, além da classe Água.

2.1 O Modelo SWAT

O SWAT é um modelo matemático desenvolvido nos EUA pelo *Agricultural Research Service* e pela *Texas A&M University* (Souza *et al.*, 2009). Este modelo tem como objetivo prever o efeito das ações de uso e manejo do solo sobre os recursos hídricos, produção de sedimentos, produção de nutrientes e pesticidas, entre outros. Souza e Santos (2010) apontam que, como dados de entrada, o modelo requer informações sobre clima, solos, relevo, vegetação e uso e ocupação do solo. Através destas, é possível simular situações associadas com movimento de água, movimento de sedimentos, crescimento da vegetação, aumento ou diminuição da erosão, qualidade da água e diversas outras.

2.2 Definição dos parâmetros de entrada do modelo SWAT

2.2.1 Uso e Ocupação do Solo

Na interface SWAT está definido um banco de dados contendo diversos tipos de uso e ocupação do solo, tais como vegetação, ocupação urbana, estradas, entre outros, cada qual com seus parâmetros já definidos. A exemplo de vegetação, pode-se citar o índice de área foliar (BLAI) e a altura da copa (CHTMX) que, segundo Carvalho Neto (2011), são parâmetros bastante influentes no escoamento superficial e no aporte de sedimentos.

Para que o banco de dados contido no SWAT pudesse ser usado, foi necessário realizar a associação do uso e ocupação do solo mapeado com o disposto pelo modelo, sendo assim, quanto à vegetação, a classe Arbustivo-arbórea foi reclassificada como *Range Brush*, um tipo de vegetação existente na região do Texas (EUA) que se assemelha à caatinga, a classe marcada como Arbustiva foi associada à *Range Grass*, a Área de Cultivo, por ser predominantemente formada por replantio de Algaroba, pôde ser reclassificada como *Honey Mesquite*, que é uma planta da mesma família da

Algaroba, a classe Vegetação Rasteira foi vinculada à *Wetlands-Non-Forested*, que se trata de uma vegetação de pequeno porte que permanece úmida na maior parte do ano.

2.2.2 Tipos de solo

Nesta etapa, são necessárias informações acerca das características físico-hídricas do solo, tais como, a profundidade da raiz (SOL_ZMX), a profundidade da camada (SOL_Z), o fator de erodibilidade (USLE_K), a composição do solo (percentagem de argila, silte, areia), entre outros. Para tanto, foram inseridos novos tipos de solo dentro do banco de dados do SWAT de modo que as necessidades fossem atendidas. Os valores dos parâmetros hidrodinâmicos e de textura dos tipos de solos da bacia foram inseridos no banco de dados do modelo SWAT.

Santos (2008), baseado no trabalho de Rawls e Saxton (1982), definiu a condutividade hidráulica e a porosidade como 0,398 e 4 mm/h, respectivamente. Estes valores foram adotados para todos os tipos de solo. Para o valor da profundidade da raiz, utilizou-se o valor da profundidade da última camada de cada solo e à densidade aparente foi atribuído o valor de 1,65 g/cm³, conforme o trabalho de Carvalho Neto (2011).

Quanto ao Grupo Hidrológico, todos os solos da bacia foram classificados no Grupo hidrológico C, pois solos com baixa taxa de infiltração, condutividade hidráulica saturada entre 1 e 5 mm/h, com textura moderadamente fina a fina, que impedem o movimento da água nos horizontes. Esses solos têm baixa taxa de transmissão de água (alto escoamento superficial potencial) (NRCS Soil Survey Staff, 1986). O valor atribuído para o albedo foi de 0,17 e as especificações das texturas dos diferentes tipos de solo foram adquiridas segundo a classificação de Carvalho Neto (2011), para os solos do tipo Luvisolo Crômico, Vertissolo Cromado e Neossolo Litólico.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Mapeamento do Uso e Ocupação do Solo

De acordo com a refletância espectral da cobertura vegetal, foi possível associar quatro classes temáticas com relação ao porte: Vegetação Rasteira (até 1,5 m), Vegetação Arbustiva (de 1,5 a 3 m), Vegetação Arbustivo-arbórea (acima de 3 m) e Área de Cultivo; além das classes Solo Exposto e Água, totalizando seis classes temáticas.

A área classificada como Vegetação Rasteira corresponde à vegetação que acompanha o curso dos rios, sejam eles intermitentes ou temporários, e também no entorno de açudes, em sua maior parte formada por vegetação herbácea. As áreas classificadas como Vegetação Arbustiva e Vegetação Arbustivo-arbórea são representativas da caatinga, diferem pelo porte e predominam na extensão da bacia. A classe Área de Cultivo corresponde às áreas de reflorestamento com Algaroba e a pequenas áreas agrícolas. As classificações de Solo Exposto e Água representam, respectivamente, áreas desprovidas de cobertura vegetal, muitas vezes improdutiva e hidrografia, compreendendo rios e açudes.

Realizada a classificação manual, foi gerado o mapa de Uso e Ocupação do Solo contendo todas as classes mapeadas (Figura 1). Em seguida, construiu-se uma tabela (Tabela 1) contendo os dados de área correspondentes a cada classe temática. Constatou-se então que as áreas correspondentes à Vegetação Arbustiva e Vegetação Arbustivo-arbórea recobriam, juntas, um total de 94,22% do total da sub-bacia, sendo a vegetação predominante com características do bioma da caatinga.

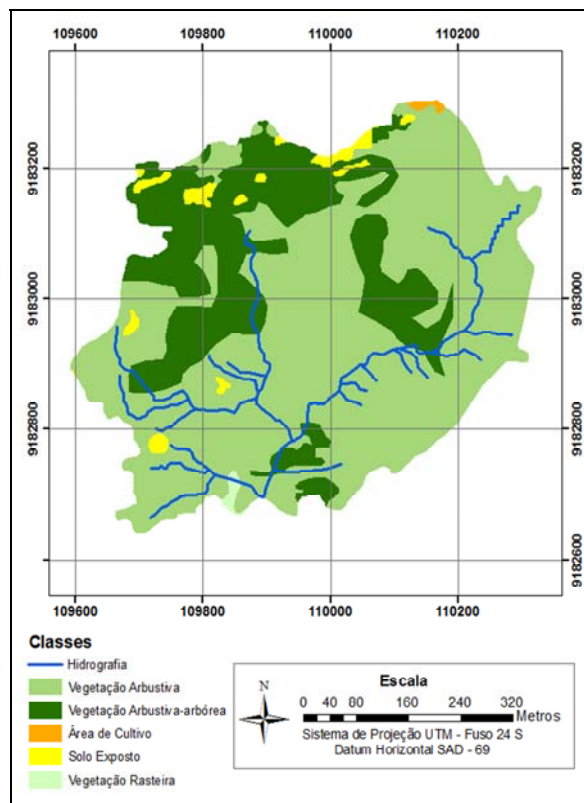


Figura 1 – Mapa de Uso e Ocupação da Sub-bacia 2

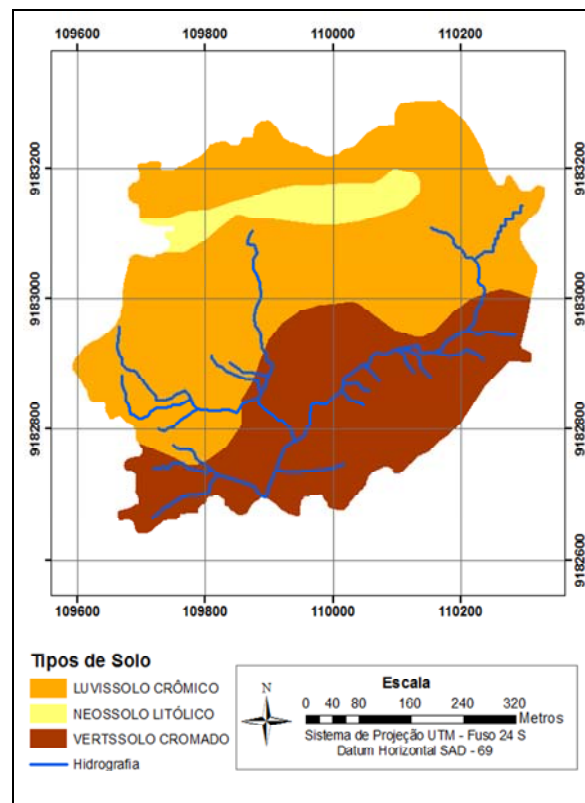


Figura 2 – Mapa dos Tipos de Solos da Sub-bacia 2

Tabela 1 – Área em km² e percentual dos tipos de uso e ocupação do solo da Sub-bacia 2

Uso do Solo	Área (km ²)	%
Solo Exposto	0,007	2,2
Vegetação Arbustivo-arbórea	0,085	26,2
Área de cultivo	0,001	0,3
Vegetação Arbustiva	0,230	71,1
Vegetação Rasteira	0,001	0,3
Total	0,324	100,0

Na Sub-bacia 2, encontram-se os seguintes tipos de solos: Neossoilo Litólico, Luvissoilo Crômico e Vertissoilo Cromado (Figura 2). As respectivas áreas de cada tipo de solo mencionado podem ser encontradas na Tabela 2. Segundo Chaves *et al.* (2002), os Luvissoilos Crômico são solos rasos a moderadamente profundos, com sequência de horizontes do tipo A, B e C de textura argilosa ou média, bem drenados, desenvolvidos de rochas metamórficas. Apresentam minerais primários de fácil intemperização no perfil e fertilidade natural média a alta. Quanto aos Vertissoilos Cromado, são solos argilosos a muito argilosos e menos desenvolvidos que os Luvissoilos, possuindo uma toposequência de horizonte A-C-R. Podem apresentar fendilhamento, quando secos, e boa fertilidade. São rasos a moderadamente profundos, podem ser pedregosos e normalmente ocorrem em relevo plano a suave ondulado (PAES-SILVA, 2002). Os Neossoilos são muito rasos a rasos, com sequência de horizonte do tipo A-R de textura arenosa ou média, moderadamente drenados, com horizonte A fraco ou moderado. Geograficamente apresentam-se associados com afloramentos rochosos em relevo ondulado e forte ondulado (PAES-SILVA, 2002).

Tabela 2 – Área ocupada em km² e % dos tipos de solos encontrados na Sub-bacia 2

Tipos de Solo	Área (km²)	%
Neossolo Litólico	0,021	6,5
Luvissolo Crômico	0,113	34,9
Vertissolo Cromado	0,190	58,6
Total	0,324	100,0

3.2 Aplicação do modelo SWAT

A aplicação do modelo seguiu as seguintes etapas: (a) delimitação da bacia hidrográfica a partir do Modelo Digital de Elevação (DEM), (b) definição das Unidades de Resposta Hidrológica (URH) usando a inserção dos mapas de uso e ocupação do solo e tipos de solo, (c) inserção dos dados climáticos, e (d) execução da simulação.

Com a realização destas etapas, o modelo forneceu uma série de resultados que foram simulados de acordo com os dados inseridos. Para este trabalho, analisou-se apenas a produção de sedimentos. Para a execução do modelo, é necessário os dados observados de precipitação, temperatura, e umidade do ar, que servirão de base para a modelagem. Em seguida, durante a calibração dos parâmetros do modelo, é definida a URH (sub-bacia) onde será realizada a comparação entre os dados observados e os simulados pelo modelo. Para esse procedimento, foi escolhida a URH onde está contido o exutório da Sub-Bacia 2. O método de calibração escolhido neste estudo foi o de “autocalibração” utilizando os seguintes parâmetros: ESCO, SURLAG, SOL_AWC, e ALPHA_BF, cujos valores foram definidos como sendo 0,75, 1, 0,4 e 0,3, respectivamente. O parâmetro ALPHA_BF representa o fator alfa do fluxo de base, que lida diretamente com o número de dias para que o fluxo subterrâneo atinja o canal; o SURLAG é o coeficiente de atraso do escoamento superficial, o ESCO é o fator de compensação da evaporação do solo e o SOL_AWC é a capacidade de água disponível na camada do solo.

O período de simulação foi de 2004 a 2006, período no qual existe a maior quantidade de eventos registrados de produção de sedimentos na Sub-bacia 2. Com a utilização inicial desses parâmetros, e após 90 iterações realizadas pelo SWAT, os resultados obtidos entre a produção total de sedimentos calculada e a observada foi aproximada (430,44 kg calculada e 432,10 kg observada), que foram produzidos no exutório da Sub-bacia 2. A comparação diária entre a produção observada e a calculada se mostrou promissora, apresentando coeficiente de correlação igual a 0,84. Entretanto, ao analisar-se a distribuição dos eventos de produção de sedimentos, observou-se que não houve coincidência entre a maioria dos eventos com produção de sedimentos, como se pode verificar nas Figuras 3–5.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de modelos matemáticos está em ascensão e vem mostrando, cada vez mais, a importância destes estudos. Durante a realização deste trabalho, constatou-se que o modelo SWAT tem uma interface razoavelmente amigável e o fato deste interagir com um Sistema de Informações Geográficas (SIG) enriquece a análise das pesquisas, uma vez que o SIG permite a visualização de diversas informações topográficas, morfométricas, entre outras, além da geração de mapas. O modelo SWAT mostrou-se, também, ser uma ferramenta hábil na aquisição de resultados consistentes, desde que se disponha de um banco de dados conciso, por se tratar de um modelo, sobretudo, automático, o que proporciona certa facilidade de execução ao usuário.

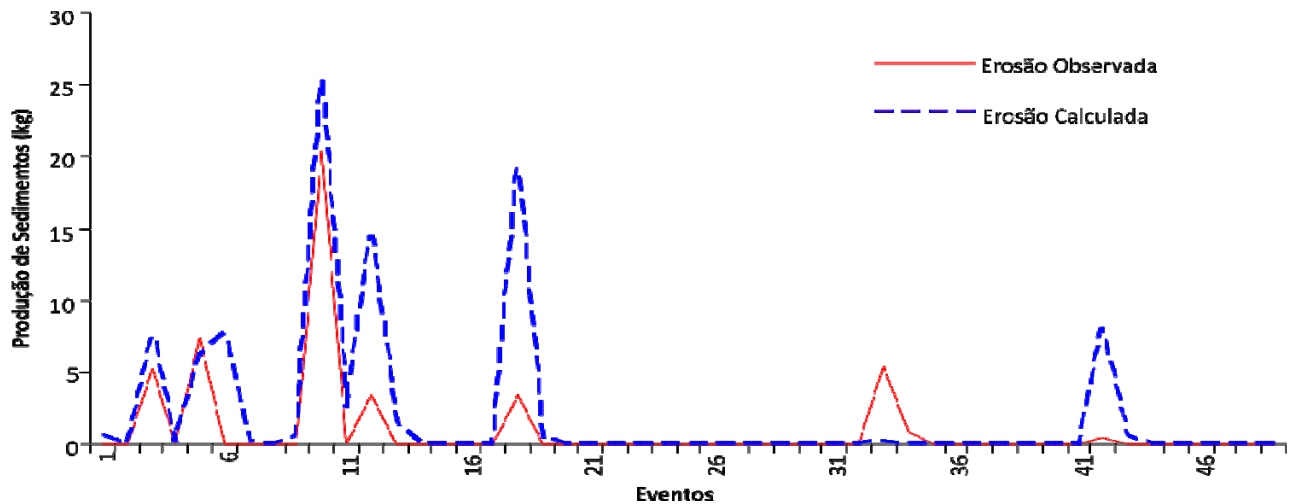


Figura 3 – Comparação entre a erosão observada e a erosão simulada para o ano de 2004

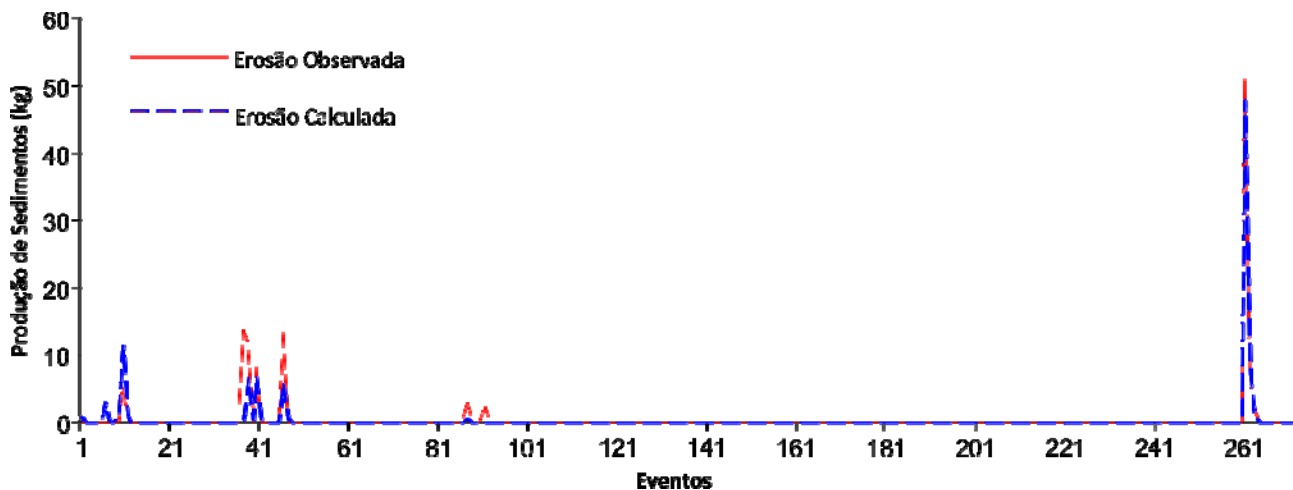


Figura 4 – Comparação entre a erosão observada e a erosão simulada para o ano de 2005

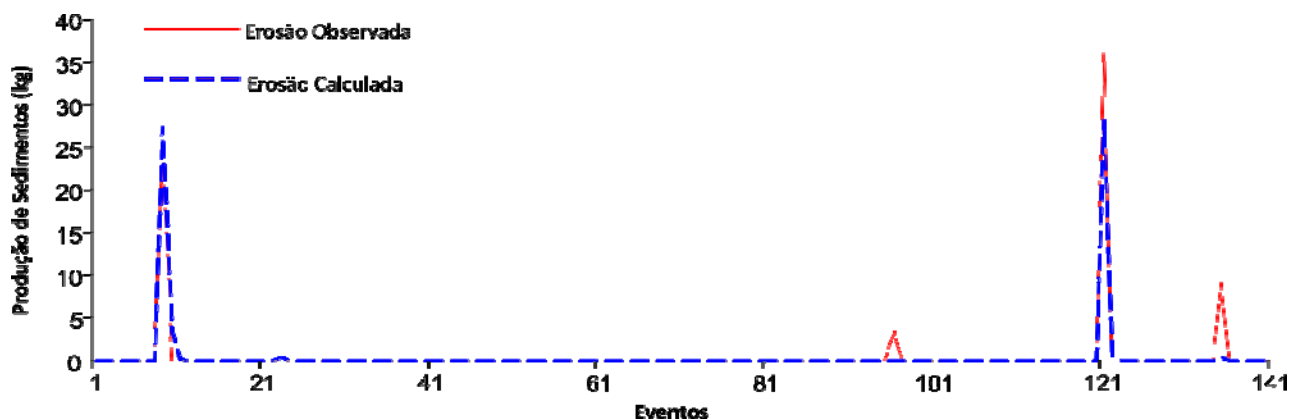


Figura 5 – Comparação entre a erosão observada e a erosão simulada para o ano de 2006

A aplicação do modelo SWAT para a avaliação da produção de sedimentos, no presente trabalho, mostrou-se bastante satisfatória com relação à produção total de sedimentos, visto que o resultado simulado aproximou-se muito do real. Por outro lado, se observados diariamente os dados de produção de sedimentos, verifica-se uma discrepância entre os valores observados e calculados, principalmente nos picos, que ora o observado excede em muito o simulado, ora ocorre o contrário.

Estas incoerências podem ser atribuídas a erros na fase de calibração, que se trata de uma etapa com alto grau de complexidade, onde o modelo dispõe de inúmeros parâmetros que precisam ser ajustados da melhor forma possível, de modo a reproduzir o processo hidrossedimentológico razoavelmente o mais próximo da realidade. Assim, estudos mais aprofundados são necessários para que haja uma otimização na escolha e definição dos parâmetros. Não se pode descartar também as possíveis fontes de erro, que podem estar presentes desde a aquisição dos dados climáticos, até a definição dos parâmetros dos tipos de solo e uso e ocupação do solo inseridos no banco de dados. Todavia, diante dos resultados obtidos, pode-se concluir que o modelo SWAT é uma ferramenta promissora, podendo atuar sob um intervalo curto de tempo na predição para diversos cenários.

REFERÊNCIAS

- BIGARELLA, J. J. (organizador). (2003). *Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais*. Ed. da UFSC, Florianópolis – SC, pp. 877-1436.
- CARVALHO NETO, J. G. (2011). Simulação Hidrossedimentológica da Bacia do Riacho dos Namorados Com o Modelo SWAT. *Dissertação de Mestrado*. Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Campina Grande - PB.
- CARVALHO, N. O. (2008). *Hidrossedimentologia prática*. 2ª edição; revisada; atual e ampliada. Interciência Rio de Janeiro – RJ 600 p.
- CHAVES, L.H.G.; CHAVES, I.B.; VASCONCELOS, A.C.F. (2000). *Salinidade das águas superficiais e suas relações com a natureza dos solos na Bacia Escola do açude Namorados*. Campina Grande BNB/UFPB. 54 p. (Boletim Técnico).
- DEVONEC, E.; BARROS, A. P. (2002). Exploring the transferability of a land-surface hydrology model. *Journal of Hydrology*, 265(1-4), pp. 258 – 282.
- PAES-SILVA, A. P. (2002). Cobertura Vegetal da bacia hidrográfica do açude do Namorado no Cariri Oriental Paraibano. *Dissertação (mestrado)*. Universidade Federal de Campina Grande. 95p.
- RAWLS, W.J.; SAXTON, K.E. (1982). Estimation of Soil Water Properties. American Society of Civil Engineering. *Journal of Irrigation and Drainage*, 25(5), pp. 1316 – 1320.
- SANTOS, L. L. (2008). Modelagem hidrossedimentológica e avaliação comparativa de três modelos em pequenas sub-bacias na região semi-árida paraibana. *Dissertação de Mestrado*. Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Campina Grande - PB.
- SOUZA, R. M.; SANTOS, I.; KOBAYAMA, M. (2009). O Modelo Swat Como Ferramenta para a Gestão de Recursos Hídricos: Avaliação de Vazões de Outorga Na Bacia Hidrográfica do Altíssimo Rio Negro. In *Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Campo Grande – MS.
- SOUZA, R. M.; SANTOS, I. (2010). Regionalização de vazões mínimas na Bacia Hidrográfica do Altíssimo Rio Negro, Região Sul-Brasileira, com a aplicação do modelo SWAT. In *Anais do V Simpósio Paranaense de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia*, Curitiba – PR.
- TUCCI, C. E. M. (1997). *Hidrologia: ciência e aplicação*. 2. ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS. (Col. ABRH de Recursos Hídricos, v.4).
- U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE (1986). *Soil Conservation Service*. Hydrology. National Engineering handbooks. Washington: USDA (Section 4).
- VANONI, V.A. (Ed.) (2006). *Sedimentation Engineering ASCE*. Manual and Report of Engineering Practice n. 54. American Society of Civil Engineers. Virginia, 418 p.