

## DELIMITAÇÃO AUTOMATIZADA DE E APLICAÇÃO DO MODELO AVSWAT-X PARA A BACIA DO RIO MUMBABA

*Valeriano Carneiro de Lima Silva<sup>1</sup>; Richarde Marques da Silva<sup>2</sup>; Leonardo Pereira e Silva<sup>3</sup> & Celso Augusto Guimarães Santos<sup>4</sup>*

**Resumo** – O desenvolvimento de modelos hidrossedimentológicos capazes de prever a produção de sedimentos em bacias hidrográficas tem auxiliado aplicações em recursos hídricos. Com esse objetivo, o modelo AvSWAT-X (*ArcView Soil and Water Assessment Tool*) foi utilizado para avaliar sua sensibilidade na previsão da produção de sedimentos total na Bacia do Rio Mumbaba, localizada na Bacia do Rio Gramame, Estado da Paraíba. Foram utilizados dados climatológicos do período 2006/2008, modelo digital de elevação e mapas de uso do solo e tipos de solo. Utilizou-se a interface AvSWAT-X, em ambiente SIG, para entrada e manipulação dos dados e geração das linhas de fluxo, fluxo de acumulação, direção da drenagem, fator topográfico e produção de sedimentos. As médias mensais e o total da produção de sedimentos foram simuladas para o período de 2006 a 2008. Utilizou-se na modelagem a associação de análise de sensibilidade e autocalibração dos parâmetros, e verificou-se que, o modelo realizou de forma aceitável as simulações da produção de sedimentos de acordo com o limite de tolerância de produção de sedimentos dos solos da bacia. Assim, conclui-se do exposto que o modelo AvSWAT-X apresentou resultados considerados como satisfatórios.

**Abstract** – The development of runoff-erosion models to predict the impacts of sediment yield in watersheds have been extremely useful in applications for water resources application. For this objective, the AvSWAT-X (*ArcView Soil and Water Assessment Tool*) was used in order to evaluate its sensitivity to predict the total sediment yield in Mumbaba river basin, which is located within Gramame river basin, Paraíba state. Climatological data from 2006 to 2008, digital elevation model, and land use and soil maps were used. The AvSWAT-X interface with GIS environment was used to input and manipulation data and to generate the flow streams, direction and accumulation, the topographic factor and the sediment yield. The monthly average and total sediment yield were simulated for the period from 2006 to 2008. The modeling was improved by including the sensitivity analysis and auto calibration tool for the parameter calibration, which showed that model satisfactorily simulated the sediment yield according to the tolerance limit of sediment yield for the sub-basin soils. Therefore, it was concluded that the AvSWAT-X model presented satisfactory results.

**Palavras-Chave** – geoprocessamento, produção de sedimentos, AvSWAT-X, Bacia Mumbaba.

---

<sup>1</sup> Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental CT/UFPB, , João Pessoa/PB – Brasil, [caju\\_ufpb@hotmail.com](mailto:caju_ufpb@hotmail.com)

<sup>2</sup> Professor Dr., Departamento de Geociências, UFPB, João Pessoa/PB – Brasil, [richarde@geociencias.ufpb.br](mailto:richarde@geociencias.ufpb.br)

<sup>3</sup> Pesquisador DTI/CNPq, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, UFPB João Pessoa/PB – Brasil, [lpsjampa@yahoo.com.br](mailto:lpsjampa@yahoo.com.br)

<sup>4</sup> Professor Dr., Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, UFPB, João Pessoa/PB – Brasil, [celso@ct.ufpb.br](mailto:celso@ct.ufpb.br)

## INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o interesse em estudos de impactos ambientais causados pelas atividades humanas fez com que pesquisadores estudassem novas ferramentas para simular mudanças no uso do solo e seus impactos nos recursos hídricos. Com esse propósito, ultimamente, inúmeros avanços em métodos computacionais têm conduzido ao acoplamento entre os Sistemas de Informação Geográfica – SIG'S e vários modelos hidrossedimentológicos, a partir do uso do geoprocessamento. Para tanto, diversas técnicas computacionais vêm sendo desenvolvidas em diversas partes do mundo, com o propósito de estudar os problemas ambientais existentes em bacias hidrográficas. Assim, o conhecimento da origem espacial da produção de sedimentos é uma importante medida para a gestão dos recursos hídricos.

Nesse sentido, o desenvolvimento de técnicas computacionais voltadas para estudos de modelagem ambiental apresentam-se como uma ferramenta eficiente na tarefa de estudar e entender grande parte dos processos físicos e químicos que ocorrem em bacias (Baltokoski *et al.*, 2010), como por exemplo, a discretização automatizada de bacias utilizando Modelo Digital de Elevação. Inúmeras aplicações utilizando essa técnica podem ser realizadas em recursos hídricos, como mostrado nos estudos de Buarque *et al.* (2009), Paz e Collischonn (2007), Paz *et al.* (2006), e no que tange à produção de sedimentos, essa técnica foi utilizada por Santos *et al.* (2007), Neves *et al.* (2006), Di Luzio *et al.* (2002) e Kirsch *et al.* (2002).

Existem diversos modelos que tratam dos processos físicos em bacias, e atualmente, praticamente todos possuem interface com os SIG's. Dentre os modelos hidrossedimentológicos que possuem integração com os SIG's, destacam-se o HEC-GeoHMS (USACE, 2003), o AGNPS (Bingner e Theurer, 2001), o BASINS (Lahlou *et al.*, 1998), o Kineros2 (Woolhiser *et al.*, 1990), e o SWAT (Arnold *et al.*, 1998). Todos esses modelos exigem grande volume de informações sobre parâmetros físicos da bacia e dos solos, cujos arquivos podem ser criados com o auxílio de técnicas de Sistemas de Informação Geográfica.

Dentre os inúmeros modelos existentes, neste estudo foi escolhido o AvSWAT-X. Esse modelo foi desenvolvido na década de 1990, sendo baseado em processos contínuos no tempo, no qual considera a variabilidade do clima, hidrologia, erosão, sedimentação, crescimento de plantas, nutrientes, pesticidas e manejo agrícola. O modelo AvSWAT-X tem sido amplamente utilizado com o objetivo de simular os processos físicos que ocorrem em bacias hidrográficas, buscando entender as interações, identificar a origem das contaminações, prever o que poderá acontecer em diversos cenários, a fim de estabelecer os efeitos dos impactos provocados pelas mudanças no uso do solo nos recursos hídricos (Arnold e Fohrer, 2005). Segundo Machado e Vettorazzi (2003), esse modelo permite que diferentes processos físicos sejam simulados em uma bacia, com o objetivo de analisar impactos das alterações no uso do solo sobre o escoamento superficial e subterrâneo, a produção de

sedimentos e a qualidade da água. Para atingir esses objetivos, o modelo baseia-se em características físicas da bacia e pode ser aplicado em médias e grandes bacias, além de permitir realizar simulações para longos períodos (mais que 100 anos) (Baltokoski *et al.*, 2010).

Na calibração do modelo, são realizados testes com parâmetros de entrada conhecidos e as saídas são usadas para ajustar ou estimar parâmetros e variáveis. Nessa versão, o processo de calibração pode ser automatizado, sendo chamado de autocalibração (Green e Griensven, 2008). O processo geralmente é precedido pela análise de sensibilidade, a qual gera um conjunto de arquivos com as informações que serão utilizadas na autocalibração, como demonstrado em Baltokoski *et al.* (2010) e Di Luzio *et al.* (2004). A calibração também pode ser realizada manualmente, alterando-se cada parâmetro que possa ter influência para a variável em ajuste. Nesse caso, altera-se um parâmetro por vez e executa-se o modelo para verificar as mudanças nos valores de saída, repetindo o processo até que um ajuste aceitável seja obtido (Neitsch *et al.*, 2007).

Nessa perspectiva, este trabalho mostra uma metodologia para a modelagem espacial automatizada de bacias hidrográficas usando técnicas de geoprocessamento e a aplicação do modelo AvSWAT-X utilizando o método de autocalibração. Com isso, este estudo busca estimar a produção de sedimentos na Bacia do Rio Mumbaba usando o modelo AvSWAT-X.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **A Área de Estudo**

A pesquisa foi desenvolvida na Bacia do rio Mumbaba, localizada no município de João Pessoa, no litoral sul do mesmo município no Estado da Paraíba, entre as coordenadas métricas de 276.678mE/9.187.399mN e 264.489mE/9.196.394mN. A bacia do rio Mumbaba compreende uma área de 72 km<sup>2</sup> e possui altitude média de 30 m. Segundo a classificação climática de Köppen (adaptada para a região por Varejão-Silva *et al.* (1987), a região da Bacia Mumbaba é do tipo Aw'i, que indica um clima tropical chuvoso, com estação seca na primavera e variação de temperatura mensal do ar ao longo do ano praticamente desprezível. A bacia apresenta evaporação média anual de aproximadamente 1.300 mm/ano, enquanto a precipitação média anual é de 1.700 mm/ano. Os valores da evapotranspiração potencial média calculada pelo método de Hargreaves, segundo SUDENE (1984) demonstram a ocorrência de baixa variabilidade espacial sobre a bacia.

### **O Modelo AvSWAT-X**

Utilizou-se o modelo de simulação hidrossedimentológica AvSWAT-X (AvSWAT – *ArcView Soil and Water Assessment Tool*) (Di Luzio *et al.*, 2004), que está disponível em: <http://www.brc.tamus.edu/swat/downloads/pc/swatav/avswatx.zip>. O modelo AvSWAT-X requer

dados diários de chuva, temperaturas máxima e mínima do ar, radiação solar, velocidade do vento e umidade relativa. A definição das fontes de incerteza no modelo é realizada por meio de análise de sensibilidade dos parâmetros e variáveis de entrada. A Figura 1 mostra os processos hidrológicos representados no modelo AvSWAT-X.

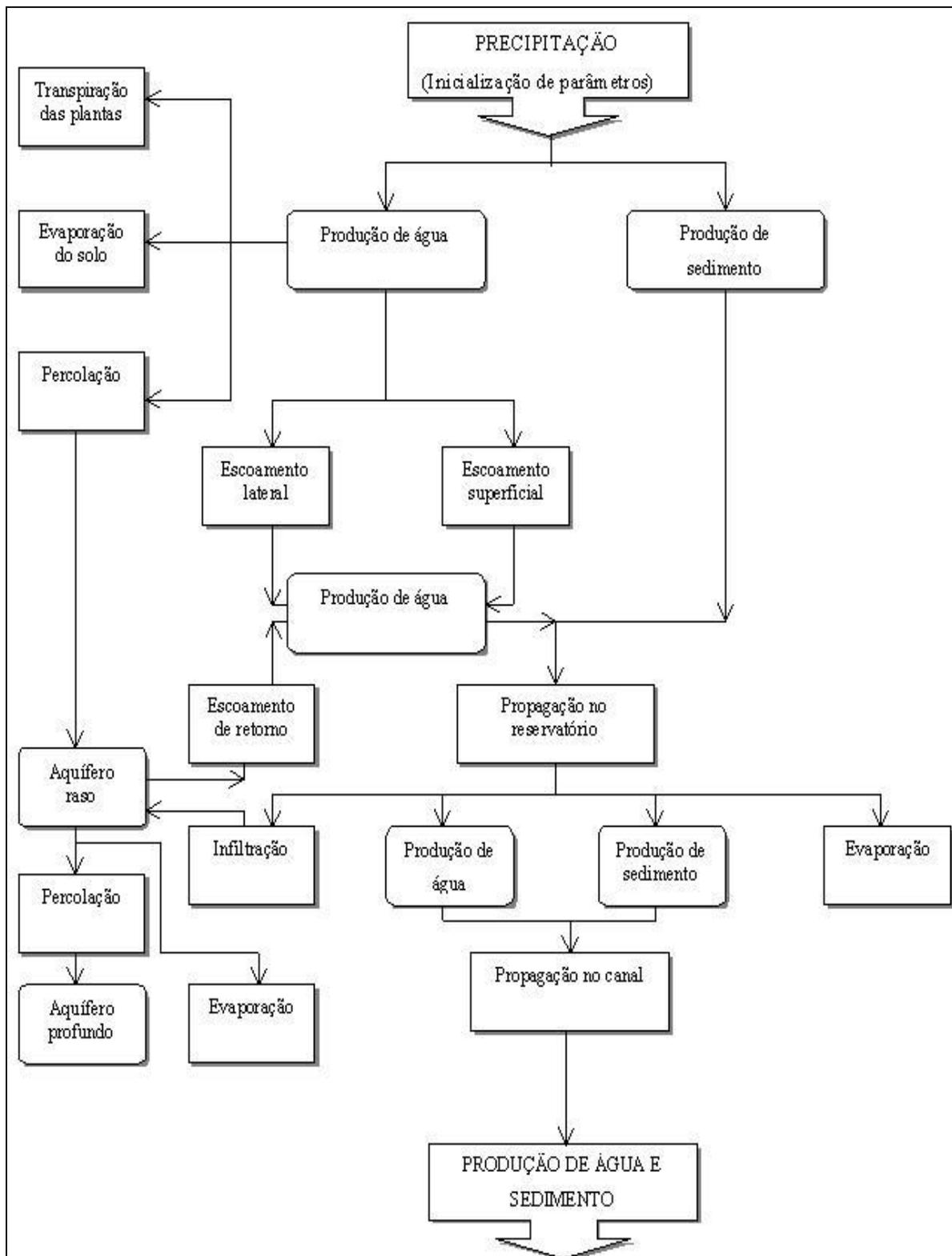


Figura 1 - Fluxograma do modelo AvSWAT-X (adaptado de King *et al.*, 1996).

Para a estimativa da infiltração, do escoamento superficial e da força de desprendimento pelo fluxo da água é necessária a determinação do balanço hídrico. Para tanto, o modelo AvSWAT-X utiliza a seguinte equação:

$$SW_t = SW + \sum_{t=1}^t (R_i - Q_i - ET_i - P_i - QR_i) \quad (1)$$

sendo  $SW_t$  o conteúdo final de água no solo (mm),  $SW$  o conteúdo de água no solo disponível para as plantas, definido como conteúdo de água inicial menos o conteúdo de água no ponto de murcha permanente (mm),  $t$  o tempo (dias),  $R_i$  a precipitação (mm),  $Q_i$  o escoamento superficial (mm),  $ET_i$  a evapotranspiração (mm),  $P_i$  a percolação (mm), e  $QR_i$  o fluxo de retorno (ascensão capilar) (mm).

A evapotranspiração é determinada pela soma da evaporação do solo e a transpiração das plantas, ambas determinadas em função da evaporação potencial. O modelo oferece três opções para a estimativa da evaporação potencial: Penman e Monteith, Hargreaves e Samani, e Priestley e Taylor. No modelo a componente percolação usa uma técnica de propagação do armazenamento, combinando com um modelo de fluxo em fendas para simular o escoamento através de cada camada de solo. Uma vez percolada abaixo da zona das raízes, este volume é armazenado como água subterrânea ou surge como escoamento de retorno a jusante do ponto considerado. Essa técnica é apresentada pela equação:

$$SW_i - SW_{oi} \exp\left(\frac{\Delta t}{TT_i}\right) \quad (2)$$

sendo  $SW$  e  $SW_o$  a umidade do solo no começo e fim do dia (mm), respectivamente,  $\Delta t$  o intervalo de tempo (h),  $TT$  o tempo de propagação através da camada  $i$  em h, e  $i$  o índice de identificação da camada do solo.

Assim, a percolação pode ser calculada pela seguinte relação:

$$P_i = SW_{oi} \left[ 1 - \exp\left(\frac{\Delta t}{TT_i}\right) \right] \quad (3)$$

sendo  $P_i$  a percolação em mm/dia.

O tempo de propagação nas camadas de solo é calculado através da equação:

$$TT_i = \frac{(SW_i - FC_i)}{K_s} \quad (4)$$

no qual  $FC$  é a capacidade de campo, menos a lâmina de água do ponto de murchamento para a camada  $i$  (mm), e  $K_s$  é a condutividade hidráulica do solo (mm/h).

A água contida solo no ponto de murchamento, bem como a capacidade de campo são definidos pelo modelo como função da densidade do solo em cada sub-bacia.

A erosão dos solos no modelo AvSWAT-X é simulada por intermédio da Equação Universal de Perda de Solo Modificada (MUSLE), a qual é uma versão modificada da Equação Universal de Perda de Solo (USLE). Enquanto no modelo USLE são utilizados os índices de precipitação como medidas indicativas de energia do impacto das gotas de chuva no solo, a MUSLE usa a quantidade de escoamento superficial para simular a produção de sedimentos. O uso da MUSLE resulta em inúmeros benefícios, entre eles, ganho na precisão do modelo e a necessidade de uma razão de transporte é eliminada, permitindo que a equação seja aplicada para eventos de chuva individuais.

$$P_{sed} = 11,8(Q_{surf} \times q_{peak} \times area_{hru})^{0,56} \times K_{USLE} \times C_{USLE} \times P_{USLE} \times LS_{USLE} \quad (5)$$

sendo  $P_{sed}$  a produção de sedimentos em um dado dia (ton),  $Q_{surf}$  o volume de escoamento superficial (mm),  $Q_{peak}$  a vazão de pico do escoamento ( $m^3/s$ ),  $area_{hru}$  a área das Unidades de Resposta Hidrológica – HRU (ha),  $K_{USLE}$  o fator de erodibilidade do solo ( $t \cdot h \cdot ha / MJ / mm$ ),  $C_{USLE}$  o fator de manejo e cobertura do solo (adimensional),  $P_{USLE}$  o fator de práticas conservacionistas (adimensional), e  $LS_{USLE}$  o fator topográfico (adimensional).

Para a modelagem, o AvSWAT-X divide a bacia em sub-bacias e gera a rede de drenagem com base nas características topográficas do terreno. Cada sub-bacia é parametrizada usando uma série de HRU's, as quais correspondem a uma única combinação de cobertura da terra e classes de solo dentro da sub-bacia. Uma ou mais combinações de uso da terra e classes de solo podem ser criadas para cada sub-bacia. Um nível de sensibilidade é adotado para eliminar áreas de uso da terra menores do que o valor arbitrado. Em seguida, são criadas as HRU's com base na distribuição dos usos da terra selecionados sobre diferentes tipos de solo. O solo que cobre uma percentagem de área dentro da área de uso da terra menor do que o nível de sensibilidade é eliminado.

Para a determinação das sub-bacias, o modelo necessita de três pontos conhecidos de coordenadas:  $x$ ,  $y$  e  $z$  (altitude), para estimar as declividades e definir os canais de drenagem (Jenson e Domingue, 1988). Esse método é utilizado para direcionar o fluxo, as oito células vizinhas de cada célula avaliada (procedimento D8), optando-se por aquela de maior declividade. As direções de fluxo são calculadas pelo procedimento de direcionamento de fluxo a partir do Modelo Digital de Elevação. Esses fluxos são acumulados pelo procedimento de acumulação de fluxo, que direcionou cada célula do Modelo Digital de Elevação (MDE) e conta quantas células acima

contribuíram para o fluxo em cada célula. Para a geração das HRU's, foi definido o limiar de 10% para o uso do solo e para classe de solo, conforme sugerido em Di Luzio *et al.* (2001).

Os dados para compor o MDE foram extraídos de imagens do *Shuttle Radar Topography Mission* – SRTM com resolução espacial de 30 m, disponível em <http://www.glcf.umd.edu/data/srtm>. A imagem foi recortada a partir do limite da bacia e convertida para formato *grid*. Optou-se pelo uso de imagem SRTM, por essa possuir a melhor representação disponível da altimetria da bacia.

No que tange ao mapeamento do uso e ocupação do solo, este por sua vez foi realizado utilizando uma imagem do satélite Landsat TM5 da órbita 65 e ponto 214 de junho de 2010, com resolução espacial de 30 m e composição colorida R3G4B5. Em seguida, a imagem foi georreferenciada e classificada, empregando-se a técnica de classificação supervisionada através do método de Máxima Verossimilhança. Após a classificação do uso do solo, as classes foram transformadas em polígonos vetoriais do tipo *shapefile*, e para cada polígono foi atribuído um valor respectivo ao uso do solo. Os dados climatológicos utilizados neste trabalho são da estação climatológica instalada na microbacia do Riacho Guaraíra localizada na parte central da bacia.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A espacialização da erosão dos solos na Bacia Mumbaba foi obtida a partir dos resultados de produção de sedimentos simulado pelo modelo AvSWAT-X, considerando a combinação de uso do solo e tipos de solo dominantes na bacia. O emprego das propriedades dos tipos de solo e uso e ocupação sempre é o meio mais utilizado para determinar a variabilidade espacial da produção de sedimentos em uma bacia, e no modelo AvSWAT-X eles são os fatores mais importantes na estimativa da Curva Número, utilizadas para estimar o escoamento superficial, e conseqüentemente a produção de sedimentos. A escolha de uma resolução espacial dos dados de entrada é muito importante para a aplicação de modelos de simulação em bacias hidrográficas. Uma alta resolução dos dados pode significar a inclusão de maior variação espacial na análise do modelo.

Os resultados da modelagem espacial automatizada para a Bacia do Rio Mumbaba, através de técnicas de geoprocessamento, são mostrados nas Figuras 2–6. Nessas figuras, podem ser visualizados: o MDE da sub-bacia, o limite da bacia, a direção do fluxo, a acumulação de fluxo, as sub-bacias, o fator topográfico e os canais gerados. Deve-se ressaltar que a rede de drenagem estimada apresenta formato retilíneo e, em muitas vezes, não percorre o curso d'água real, entretanto, a comparação com a hidrografia real pode ser considerada como excelente, tendo em vista o número de sub-bacias gerado pelo modelo.

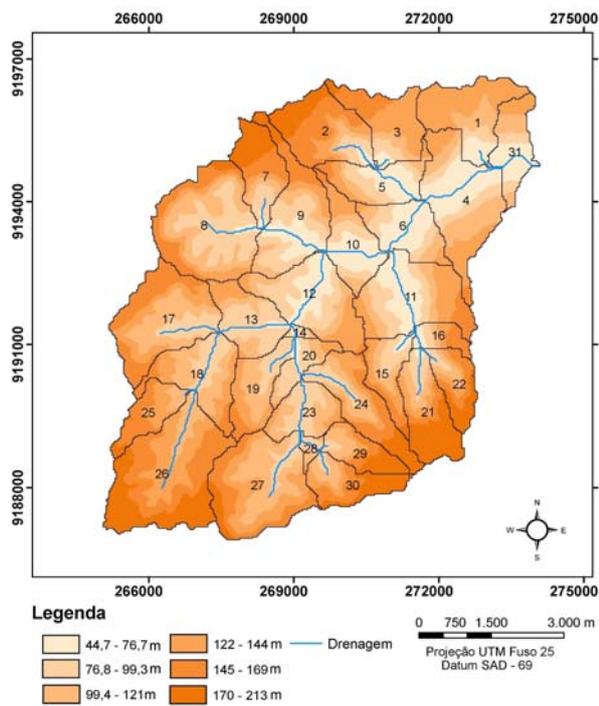


Figura 2 – Modelo de Elevação Digital da bacia, rede drenagem e sub-bacias geradas pelo modelo.

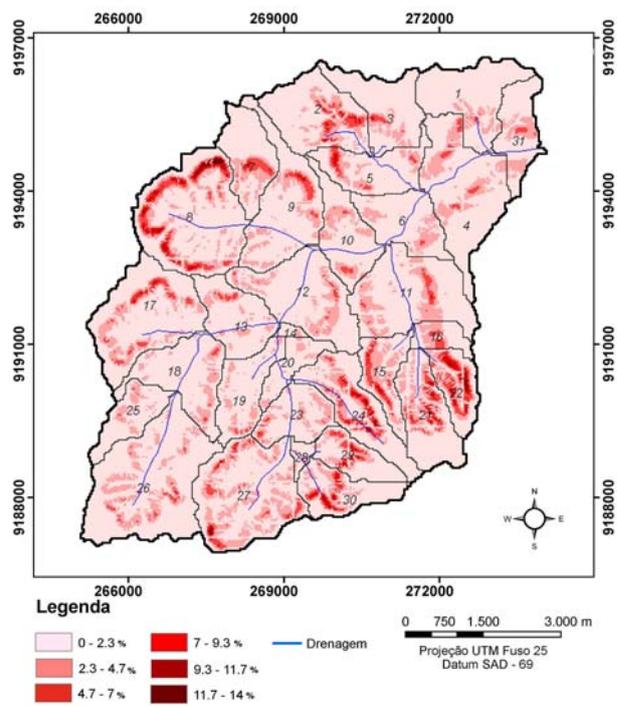


Figura 3 – Fator topográfico e sub-bacias gerados pelo modelo AvSWAT-X.

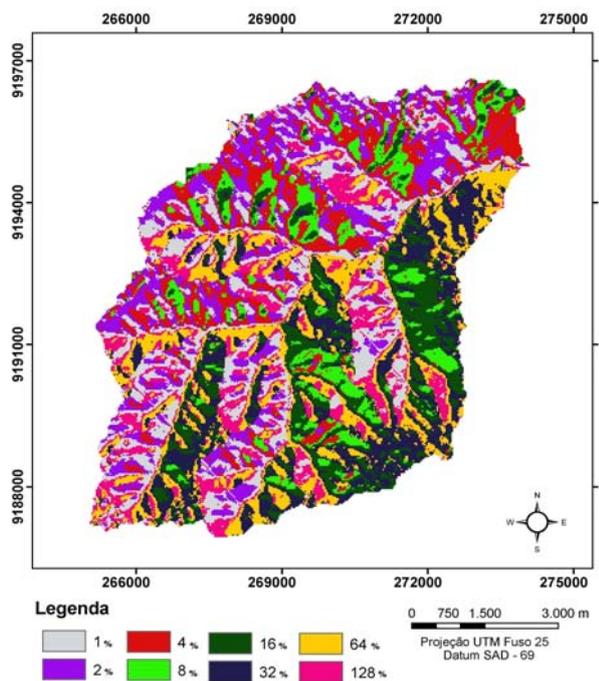


Figura 4 – Direção do fluxo da água gerado.

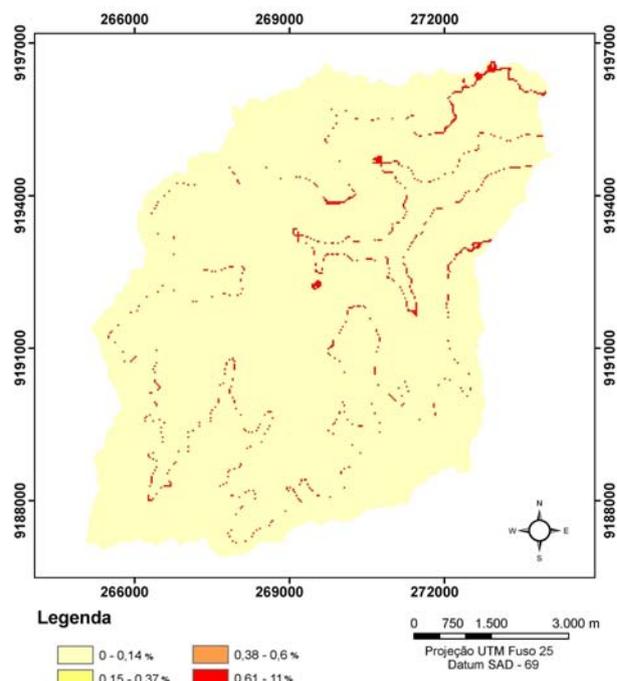


Figura 5 – O fluxo acumulado gerado pelo modelo

Tabela 1 mostra as classes, o código no AvSWAT-X, os tipos de solos e percentual da área total. A Figura 6 apresenta a distribuição espacial dos tipos de solo na Bacia do Rio Mumbaba. Quatro classes predominantes de solo são encontradas na Bacia Mumbaba: Espodossolos (34,3%), Argissolos Vermelho (7,2%), Argissolos Amarelo (1,5%) e Argissolos Vermelho-Amarelo (57,1%).

Tabela 1 – Classes, código no AvSWAT-X, tipos de solos e percentual da área total.

Classe	Código no AvSWAT	Tipo de Solo	Área Ocupada (%)
HP3	TX047	Espodossolo	34,30
PV8	TX236	Argissolo Vermelho	7,19
PV9	TX237	Argissolo Amarelo	1,35
PV11	TX238	Argissolo Vermelho-Amarelo	57,16

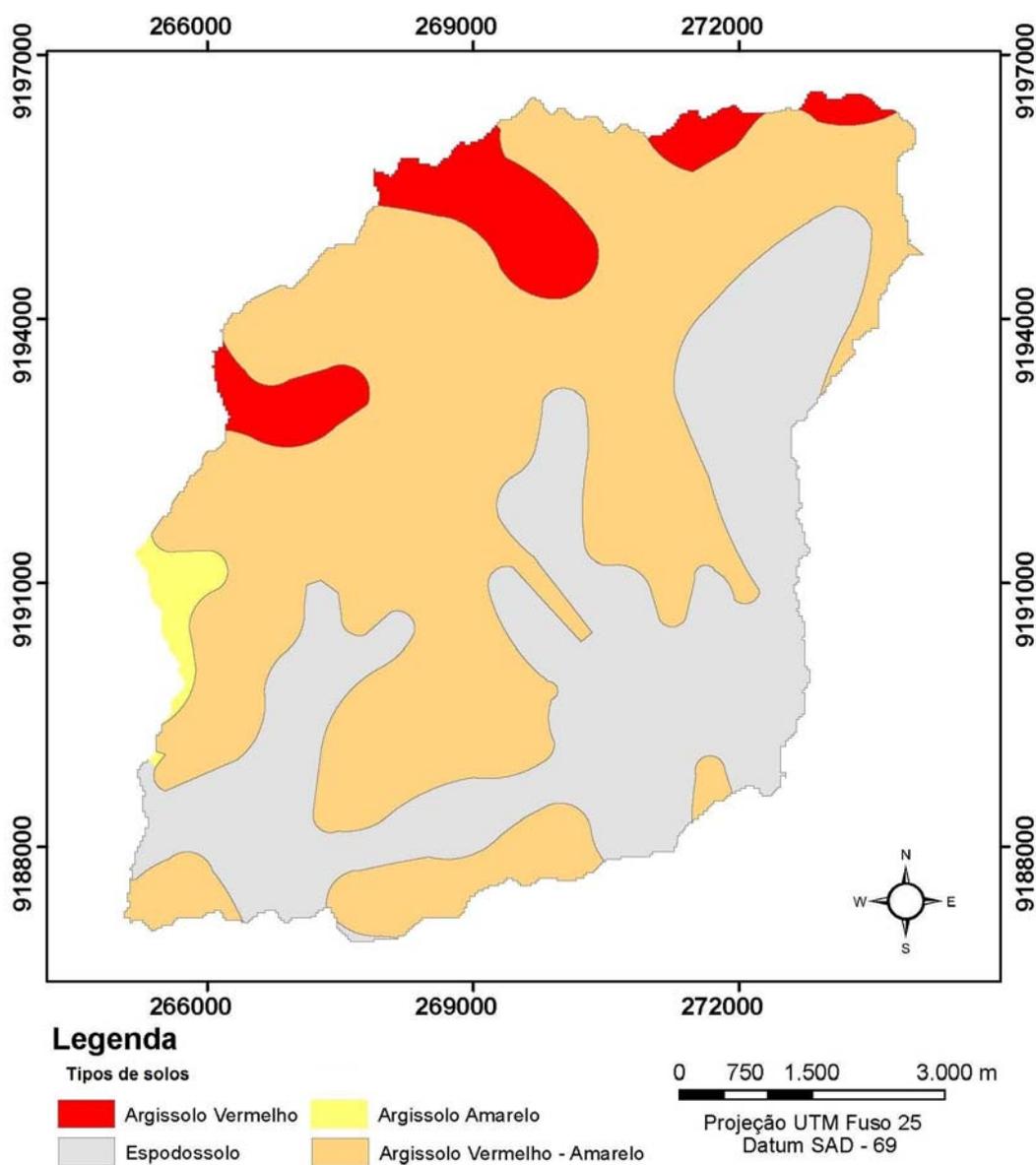


Figura 6 – Distribuição espacial dos tipos de solo na Bacia do Rio Mumbaba.

A Tabela 2 apresenta as classes de uso do solo, o código de cada classe no AvSWAT-X, as sub-classes e o percentual de ocupação dos usos do solo na bacia. A Figura 7 mostra a espacialização dos usos do solo na Bacia do Rio Mumbaba, onde se percebe que, seis classes predominantes de uso do solo: cana-de-açúcar (33,9 %), mata (25,2%), vegetação rasteira (18,8%), plantações de coco e mandioca (18,2%) e plantações de abacaxi (0,75%).

Tabela 2 – Classes de uso do solo, código no AvSWAT-X, sub-classes e percentual de ocupação.

Classe Original	Código no AvSWAT	Sub-classe	Área Ocupada (%)
Lavoura	AGRL	Abacaxi	0,75
Solo exposto	BARS	Areal	18,20
Plantação	SUGC	Cana-de-açúcar	3,91
Diversos	AGRR	Coqueiral e Bambu	2,98
Floresta	FRSE	Mata densa	25,28
Capoeira	FRST	Vegetação rasteira	18,88

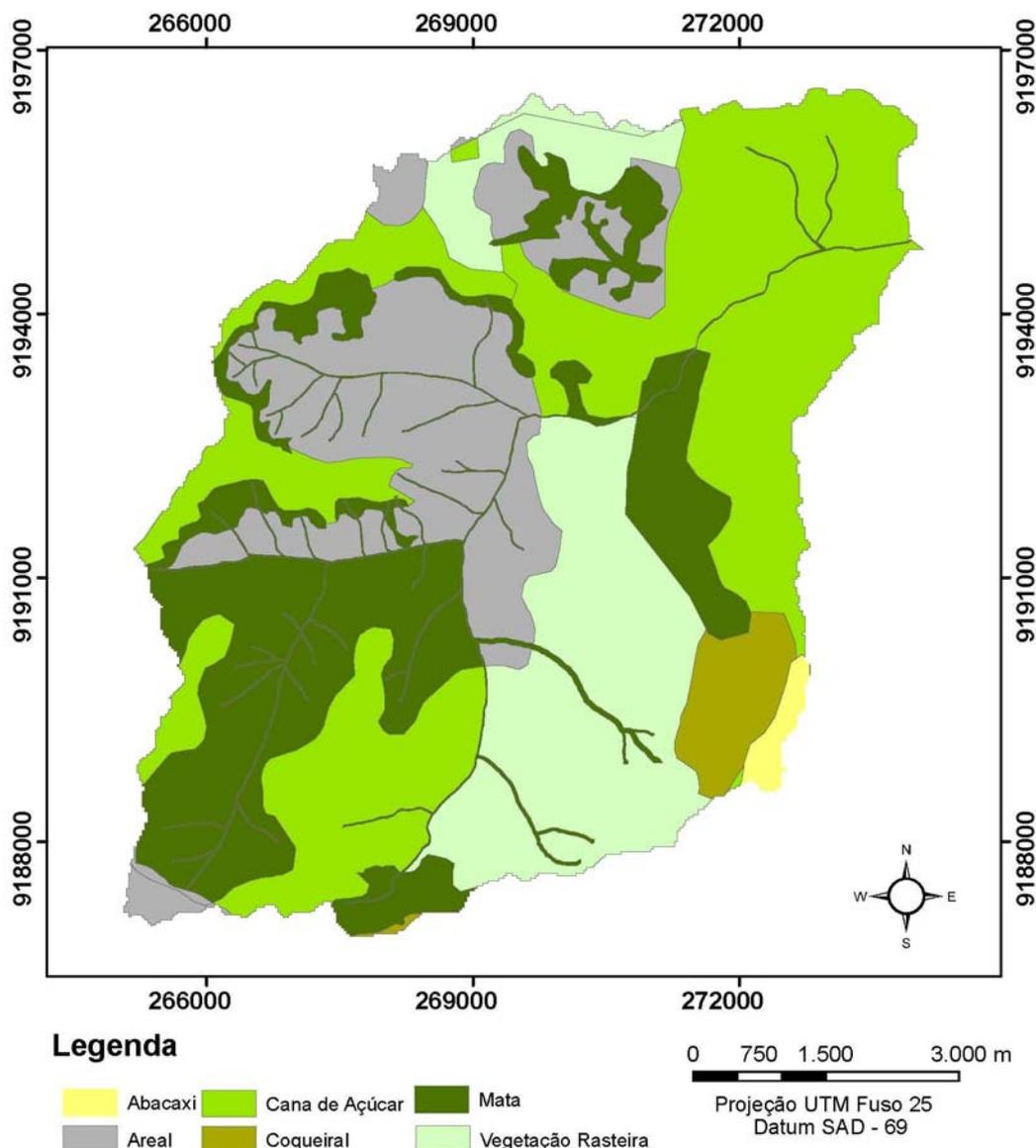


Figura 7 – Distribuição espacial dos usos do solo na Bacia do Rio Mumbaba.

A distribuição espacial da produção de sedimentos total para o período 2006–2008 é apresentada na Figura 8. Os maiores valores da produção de sedimentos ocorreram nas sub-bacias a montante da bacia, que se caracterizam pela presença de relevo ondulado, plantações de cana-de-açúcar e a presença de solos do tipo Espodossolo, que possuem em sua composição granulométrica um alto percentual de areia. A carga maior de produção de sedimentos foi determinada nas sub-bacias 22 e 21, em virtude da existência de maior área agrícola contínua e também por possuir os

maiores valores do fator topográfico ( $LS_{USLE}$ ). Na área próxima ao exutório são encontrados os menores valores da produção de sedimentos, devido ao relevo suave, com predominância de área de mata e cultivos em solos do tipo Argissolo Vermelho-Amarelo.

Deve-se ressaltar que fatores, como histórico dos eventos erosivos, a variação espacial dos solos na paisagem e a morfologia do sistema de drenagem, influenciam na produção de sedimentos simulada, além de que, para diferentes condições de uso do solo, clima, solos e relevo, e em diferentes escalas, os processos dominantes que influenciam o transporte de sedimentos não são os mesmos.

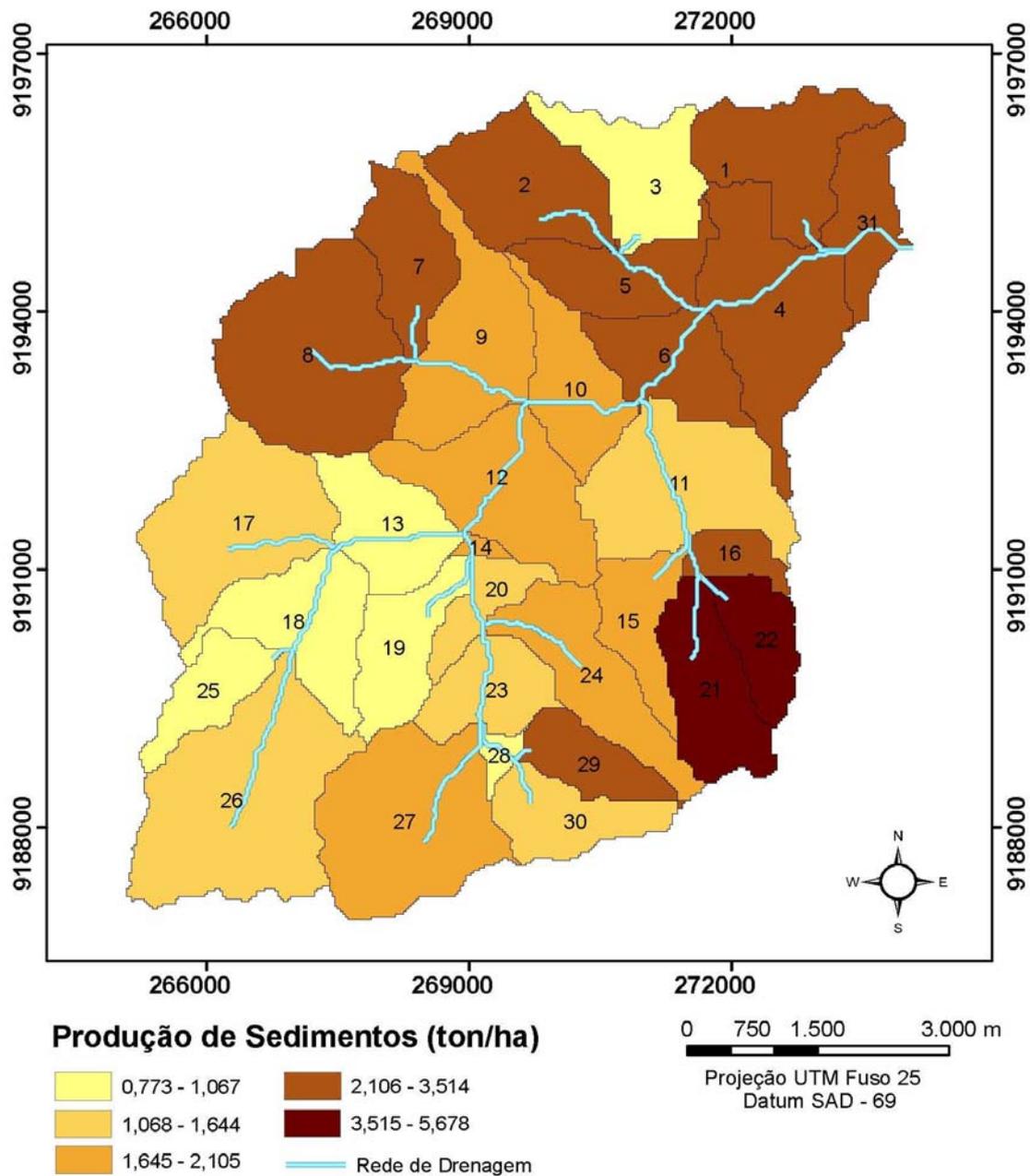


Figura 8 – Distribuição espacial da produção de sedimentos Bacia Mumbaba entre 2006 e 2008.

De acordo com os resultados obtidos, verifica-se que o intervalo encontrado de produção de sedimentos para as sub-bacias variaram de 0,7 a 2,1 ton/ha. Conforme Oliveira *et al.* (2008), estes

valores estão dentro dos padrões de tolerância de produção de sedimentos para os tipos de solos encontrados na bacia para a região litorânea da Paraíba. Com a distribuição espacial da produção de sedimentos simulada pode-se constatar a importância da cobertura do solo combinada com o tipo de relevo na proteção contra a erosão dos solos, pois os menores valores foram calculados para áreas com cobertura do solo do tipo mata, visto que a mesma influencia no amortecimento do impacto das gotas de chuva, dividindo-as em inúmeras gotículas, o que diminui a força de impacto e, conseqüentemente, a erosividade das chuvas. Em terrenos descobertos, as gotas de chuva fazem desprender e salpicar as partículas de solo, que são facilmente transportadas pela água. As áreas cultivadas com cana-de-açúcar em área com maiores valores do fator topográfico apresentaram maior volume de produção de sedimentos.

Na Figura 9, observa-se a distribuição mensal da produção de sedimentos simulada no exutório da bacia. As maiores taxas ocorreram nos meses de maio a julho, que compreende o período chuvoso na bacia. Deve-se ressaltar que os meses de janeiro a março apresentaram valores de produção de sedimentos muito acima da média, devido ao fato da ocorrência de eventos extremos ocorridos nesse mês no ano de 2006. Nesse caso, isso pode ser considerado como um caso isolado e que não reflete a média histórica na região nesse período. Os meses de agosto a dezembro apresentaram os menores valores de produção de sedimentos.

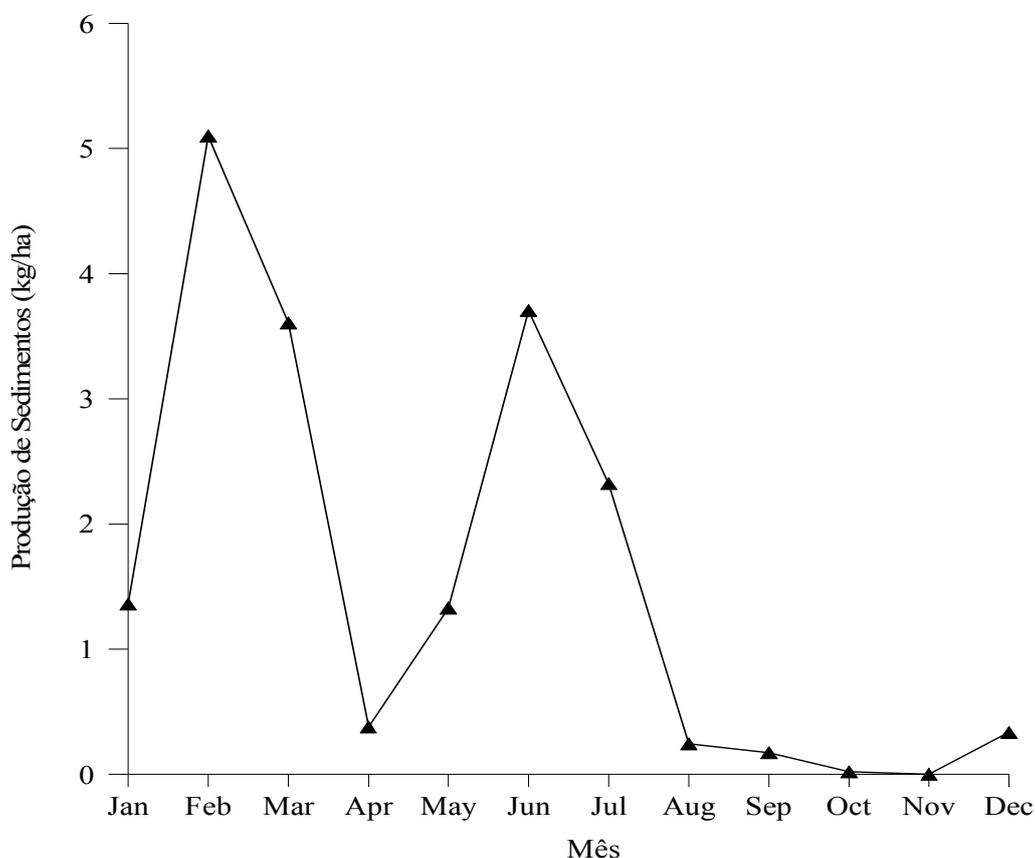


Figura 9 – Distribuição da produção de sedimentos mensal no exutório da bacia.

## CONCLUSÃO

O estudo foi realizado na Bacia do Rio Mumbaba e tratou da delimitação automatizada da bacia para aplicação do modelo hidrossedimentológico AvSWAT-X. Com este trabalho, foi possível determinar a discretização automatizada da bacia hidrográfica baseada em DEM, produzida com auxílio de um Sistema de Informações Geográficas. Além da discretização, foram gerados produtos como a direção do fluxo de água, do fluxo do acúmulo água, e linhas de drenagem, além da delimitação da bacia e suas subdivisões com facilidade e rapidez.

Os maiores valores da produção de sedimentos ocorreram nas sub-bacias a montante da bacia, que se caracterizam pela presença de relevo ondulado, plantações de cana-de-açúcar e a presença de solos do tipo Espodossolo. A carga maior de produção de sedimentos foi determinada nas sub-bacias 22 e 21, com produção de sedimentos entre 3 e 5 ton/ha.

Conclui-se do exposto que o modelo AvSWAT-X apresentou resultados considerados como satisfatórios, podendo ser considerado uma ferramenta valiosa para o gerenciamento de água e do solo na Bacia do Rio Mumbaba.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem também a CAPES pela bolsa de mestrado do primeiro autor. Agradecem ao CNPq pelas bolsas de produtividade em pesquisa do quarto autor e de pesquisa do terceiro autor (Processo N° 382649/2011-7).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARNOLD, J.G.; FOHRER, N. (2005). “SWAT 2000: Current capabilities and research opportunities in applied watershed modeling”. *Hydrological Process*, 19(3), pp. 563-572.

ARNOLD, J.G.; SRINIVASAN, R.; MUTTIAH, R.S.; WILLIAMS, J.R. (1998). “Large area hydrologic modeling and assessment. Part I: Model development”. *Journal of the American Water Resources Association*, 34(1), pp. 73-89.

BINGNER, R.L.; THEURER, F.D. (2001). “AGNPS 98: a suite of water quality models for watershed use” in *Anais do VII Federal Interagency Sedimentation Conference*, Reno, NV, 25-29 March, pp. VII-1/VII-8, 2001.

BUARQUE, D.C.; FAN, F.M.; PAZ, A.R.; COLLISCHONN, W. (2009). “Comparação de métodos para definir direções de escoamento a partir de modelos digitais de elevação”. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 14(1), pp. 91-103.

Di LUZIO, M.; SRINIVASAN, R.; ARNOLD J.G. (2002). “Integration of Watershed Tools and SWAT Model into BASINS”. *Journal of the American Water Resources Association*, 38(12), pp. 1127-1141.

- DI LUZIO, M.; SRINIVASAN, R.; ARNOLD, J. (2001). “*Arcview interface for SWAT2000 – User’s guide*”. Temple, Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station, 2001.
- DI LUZIO, M.; SRINIVASAN, R.; ARNOLD, J.G. (2004). “*A GIS-coupled hydrological model system for the watershed assessment of agricultural nonpoint and point sources of pollution*”. *Transactions in GIS*, 8(1), pp. 113-136.
- GREEN, C.H.; GRIENSVEN, A. (2008). “*Autocalibration in hydrologic modeling: Using SWAT 2005 in small-scale watersheds*”. *Environmental Modelling & Software*, 23(3), pp. 422-434.
- JENSON, S.K.; DOMINGUE, J.O. (1988). “*Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis*”. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 54(11), pp. 1593-1600.
- KING, K.W.; ARNOLD J.G.; WILLIAMS, J.R.; SRINIVASAN, R. (1996). “*Soil and Water Assessment Tool – SWAT*”. Temple: USDA, Agricultural Research Service, 1996. 450p.
- KIRSCH, K.J.; KIRSCH, A.; ARNOLD, J.G. (2002). “*Predicting Sediment and Phosphorus Loads in the Rock River Basin Using SWAT*”. *Transactions of the ASABE*, 45(16), pp. 1757-1769.
- LAHLOU, M.; SHOEMAKER, L.; CHOUDRY, S.; ELMER, R.; HU, A., MANGUERRA, H.; PARKER, A. (1998). “*Better assessment science integrating point and nonpoint sources: BASINS 2.0 user’s manual*”. US-EPA Report EPA-823-B-98-006, U.S. EPA, Washington, DC, 1998.
- NEITSCH, S.L.; ARNOLD, J.G.; KINIRY, J.R.; SPRINIVASAN, R.; WILLIAMS, J.R. (2007). “*Soil and water assessment tool input/output file documentation version 2005*”. Disponível em: <<http://www.brc.tamus.edu/swat/downloads/doc/swat2005/SWAT%202005%20io.pdf>>. Acesso em: 16 de ago. de 2007. 530p.
- NEVES, F.F.; SILVA, F.G.B.; CRESTANA, S. (2006). “*Uso do modelo AVSWAT na avaliação do aporte de nitrogênio (N) e fósforo (P) aos mananciais de uma microbacia hidrográfica contendo atividade avícola*”. *Revista da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária*, 4(1), pp. 1-19.
- OLIVEIRA, F.P.; SANTOS, D.; SILVA, I.F.; SILVA, M.L.N. (2008). “*Tolerância de Perda de Solo por Erosão para o Estado da Paraíba*”. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, 8(2), pp. 60-71.
- PAZ, A.R.; COLLISCHONN, W. (2007). “*River reach length and slope estimates for large-scale hydrological models based on a relatively high-resolution digital elevation model*”. *Journal of Hydrology*, 343(1), pp. 127-139.
- PAZ, A.R.; COLLISCHONN, W.; SILVEIRA, A.L.L. (2006). “*Improvements in large scale drainage networks derived from digital elevation models*”. *Water Resources Research*, 42, W08502.
- SANTOS, C.A.G.; SILVA, R.M.; AGUIAR, L.M.C. (2007). “*Estimativa da produção de sedimentos na bacia experimental Jatobá a partir de técnicas de modelagem e geoprocessamento*” in *Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos/VIII Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa*. São Paulo: ABRH, 2007.
- SANTOS, C.A.G.; SILVA, R.M.; SILVA, L.P. (2006). “*Predição hidrossedimentológica numa bacia não-instrumentada através de modelagem e geoprocessamento*” in *Anais do VII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos*, Porto Alegre, 2006.

SUDENE – Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (1984). “*Dados Climatológicos Básicos do Nordeste*”. Recife: SUDENE, 1984, 56 p.

USACE – United States Army Corps of Engineers (2003). “*Geospatial hydrologic modeling extension: HEC-GeoHMS user’s manual*”. U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, Report CPD-77, 2003.

VAREJÃO-SILVA, M.A.; BRAGA, C.C.; AGUIAR, M. J. N.; NIETZCHE, M.H.; SILVA, B.B. (1984). “*Atlas Climatológico do Estado da Paraíba*”. UFPB, Campina Grande, 1984.

WOOLHISER, D.A.; SMITH, R.E.; GOODRICH, D.C. (1990). “*Kineros, a kinematic runoff and erosion model: documentation and user manual*”. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, ARS-77, 1990, p. 1-130.