

## Estimativa do aporte de sedimentos na Bacia Hidrográfica do Submédio Rio São Francisco

Danielle Teixeira Alves da Silva<sup>1</sup>  
Madson Tavares Silva<sup>1</sup>  
Teônia Casado da Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Norte, UFRN/DEC  
CEP.: 59078-970 - Natal - RN, Brasil

danielle\_alves01@yahoo.com.br, madson\_tavares@hotmail.com, teonia\_cds@hotmail.com

**Abstract.** The use of tools seeking to simulate the environmental changes that occur in the basin watershed area, due to the use and occupation of land, is critical in the planning of natural resources management. Thus, the goal of this study was to estimate, from the SWAT model, the amount of sediments in the Lower Basin Watershed of Rio São Francisco (BHSRSF). This model estimates soil loss by Universal Soil Loss Modified Equation (MEUPS), which relates the breakdown and sediment delivery with the runoff. Geospatial information for the visualization of the main soil types and their respective parameters were obtained after sampling in the study area were used, followed by laboratory analysis. The simulations performed in this study comprise the period from 1993 to 2010, and the result, considering different land uses, enabled the identification of areas with greatest potential for sediment yield, predominantly where the physical surface characteristics of these areas have provided a high rate of runoff. Additionally, strong relationship between rainfall and sediment delivery was observed. The susceptibility to erosion for different classes of soil is also one of the constraints in the breakdown of particles resulting from erosion. Thus, the SWAT model presented satisfactory performance when considering the hydrological conditions in the semiarid region of northeastern Brazil.

**Palavras-chave:** soil erosion, sediment yield, SWAT, erosão dos solos, produção de sedimentos, SWAT.

### 1. Introdução

As bacias hidrográficas nordestinas, principalmente aquelas situadas na porção semiárida, têm sido degradadas ao longo de décadas devido à extensiva atividade antrópica, como a retirada da vegetação nativa e o uso irracional do solo para agricultura e pecuária (Aragão et al., 2002). Como relatam Albuquerque et al. (2001), o manejo inadequado do solo tem contribuído, juntamente com as secas prolongadas, para o comprometimento do frágil equilíbrio do meio ambiente destas regiões. A erosão dos solos tem causas relacionadas à própria natureza, como a quantidade e distribuição das chuvas, a declividade, o comprimento e a forma das encostas, o tipo de cobertura vegetal e também a ação do homem, como o uso e o manejo da terra que, na maioria das vezes, tende a acelerar os processos erosivos (Mendonça & Guerra, 2004).

Nesse contexto, é indiscutível a necessidade de planejar adequadamente o aproveitamento dos recursos hídricos e de solo na região semiárida do Brasil, mas são poucos os estudos no Brasil e quase nenhum para a região nordestina sobre o uso da modelagem hidrossedimentológica para auxiliar no processo do planejamento das bacias hidrográficas. Os modelos numéricos aplicados na hidrologia apresentam-se como ferramentas de grande importância nos estudos do ciclo hidrológico e científicos relacionados com a gestão hídrica e problemas práticos.

Um dos modelos mais utilizados no mundo para simular os processos da erosão do solo e transporte de poluentes é o modelo hidrossedimentológico *Soil and Water Assessment Tool* – SWAT, que foi desenvolvido no início de 1990 com o objetivo de estimar o impacto de diferentes práticas agrícolas na quantidade e qualidade da água, na perda do solo e carga de poluentes em uma bacia hidrográfica (Neitsch et al., 2005).

O presente trabalho tem por objetivo estimar a produção de sedimentos na Bacia Hidrográfica do Submédio Rio São Francisco – BHSRSF a partir de simulações usando o modelo SWAT, que estima tal processo através da MUSLE.

## **2. Metodologia de trabalho**

### **Caracterização da área de estudo**

O estudo foi desenvolvido na região do Submédio do Vale do rio São Francisco, que abrange áreas dos Estados da Bahia e Pernambuco, estendendo-se da cidade de Remanso até a cidade de Paulo Afonso ambas no Estado da Bahia (Figura 1), com 110.446,00 km<sup>2</sup>, ou 17% da área da Bacia do rio São Francisco. Essa região tem 440 km de extensão e a sua população é de 1,944 milhões de habitantes. Ela é composta pelas sub-bacias dos rios Pontal, Garças, Brígida, Pajeú, Moxotó e Xingó, pela margem esquerda; enquanto na margem direita ficam as sub-bacias de Tourão, Salgado, Vargem, Curaçá, Macuru e Poço Comprido assim como descrito pela Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF, 1999).

No Submédio do Vale do São Francisco, há predominância de solos das classes dos Latossolos e Argissolos, além da ocorrência de Neossolos Quartzarênicos, Planossolos, Cambissolos, Vertissolos, Luvisolos e, nas áreas mais movimentadas, principalmente, Neossolos e Litossolos CODEVASF, (1999). Os Luvisolos e os Neossolos Litólicos são pouco profundos e muito suscetíveis à erosão; os Neossolos Quartzarênicos e os Neossolos Regolíticos apresentam textura muito grosseira, refletindo-se em altas taxas de infiltração, baixa retenção de umidade e baixa fertilidade; os Planossolos contêm altos teores de sódio CODEVASF (1999). Os solos irrigáveis são pouco extensos, sendo os Vertissolos, Argissolos, Latossolos e alguns Cambissolos os principais.

### **Parâmetros do solo**

As informações que subsidiaram esta avaliação foram basicamente do mapa de solos na escala 1:5.000.000 (IBGE, 2004). Esse mapa temático, fruto da parceria entre a EMBRAPA e o IBGE, permitiu uma visualização espacial dos principais tipos de solos segundo as especificações e nomenclatura indicadas pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (EMBRAPA, 1999). Foram realizadas coletas de amostras de solo na área de estudo para validar as informações referentes ao mapa de solo. Em seguida, as análises foram efetuadas no Laboratório de Solos da Universidade Federal de Campina Grande. A inserção dos planos de informação cartográficos e dos dados alfanuméricos no modelo ArcSWAT ocorreu via interface apropriada (SIG).

As simulações realizadas neste estudo para avaliar o impacto da mudança na cobertura do solo sobre o aporte de sedimentos nas condições atuais de uso de solo foram realizadas no período de 1993 a 2010.

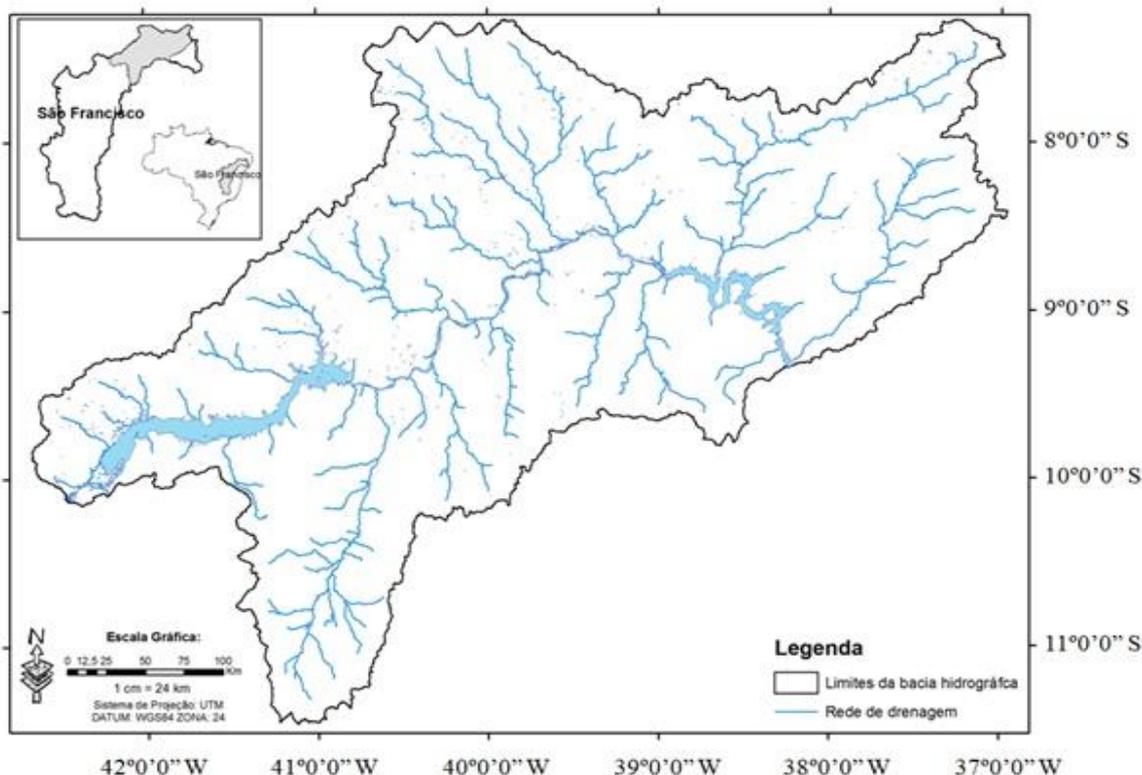


Figura 1. Localização da Bacia Hidrográfica do Submédio Rio São Francisco (BHSRSF).

### Descrição da equação de produção de sedimentos

A erosão do solo foi estimada no modelo SWAT através da Equação Universal de Perda de Solo Modificada (MEUPS). A MEUPS é a versão modificada da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS). Essa equação começou a ser implantada no final da década de 1950 pelo Serviço de Conservação dos Solos dos Estados Unidos. É um modelo empírico, baseado em grandes bases de dados de campo, que estima a erosão distribuída e concentrada com base nos valores de quatro grandes fatores intervenientes no processo erosivo: erosividade climática, erodibilidade dos solos, topografia, e uso e manejo da terra (Ward & Elliot, 1995). O fator de energia da chuva considerado na EUPS é substituído pelo fator de escoamento superficial na MEUPS. Esta modificação permite estimar a produção de sedimentos em eventos individuais. A estimativa da produção de sedimentos foi permitida porque o escoamento superficial é função das condições de umidade antecedente e este fator representa a energia utilizada pela desagregação e transporte de sedimentos.

A Equação Universal de Perda de Solo Modificada segundo (Williams, 1995) foi definida pela Equação (1):

$$sed = 11,8 (Q_{sup} \times q_{pico} \times \text{Área}_{HRU})^{0,56} \times K \times C \times LS \times P \times CFRG \quad (1)$$

em que:

- sed*: produção de sedimentos após evento de precipitação no dia, em toneladas;
- $Q_{sup}$ : escoamento superficial (mm);
- $q_{pico}$ : vazão de pico do escoamento ( $m^3/s$ );
- $\text{Área}_{HRU}$ : área da Unidade de Resposta Hidrológica (ha);
- K*: erodibilidade do solo [ $(0,013 \text{ ton } m^2 \text{ hr}) / (m^3 \text{ ton } cm)$ ];
- C*: é o fator de uso e manejo do solo (adimensional);
- LS*: fator topográfico (adimensional);

P: fator das práticas conservacionistas (adimensional), e  
 CFRG: fator de fragmentação esparsa (adimensional).

### 3. Resultados e discussão

Observou-se que as classes de solos apresentaram contribuições relevantes na produção de sedimentos, pois a partir da distribuição espacial das classes de solos com suas respectivas predominâncias em cada região da bacia, verificou-se que o coeficiente de erodibilidade (fator K) da MEUPS apresentou valores distintos, ou seja, o risco de degradação dos solos apresentou níveis de vulnerabilidade classificados de baixo até alto segundo a metodologia de Crepani et al. (2001). Tal fator ainda é condicionado a atributos intrínsecos de cada solo como a suscetibilidade à desagregação e ao transporte das micro partículas de silte e argila, além da sua capacidade de infiltração em função da distribuição dos macro e micro poros. Desta forma, têm-se produção de sedimentos elevadas nas sub-bacias com a presença de solos Neossolo Regolítico e Neossolo Litólico, todavia as sub-bacias com presença de Latossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Amarelo são menos susceptíveis aos processos erosivos.

Tomando como referência a bacia do rio Brígida (Figura 2), que possui manchas de Neossolo Regolítico e Neossolo Litólico, verificou-se intensa exploração do ecossistema da região pela indústria do gesso, pela agricultura de sequeiro, pelas olarias, pelas pastagens e pelo fato de que alguns municípios ultrapassam o limite de densidade demográfica estabelecido pela ONU para regiões susceptíveis a desertificação que é de 20 hab km<sup>-2</sup>. A área selecionada está localizada no oeste do Estado de Pernambuco, na parte central do Trópico semiárido brasileiro.

A bacia do rio Brígida faz parte da mesorregião do Sertão Pernambucano, e na discretização da Bacia Hidrográfica do Submédio Rio São Francisco pelo modelo SWAT foi composta pelas sub-bacias (4, 5, 6, 7 e 10). De acordo com a referida figura ainda é possível observar dois pontos de coleta de solo e a paisagem associada.

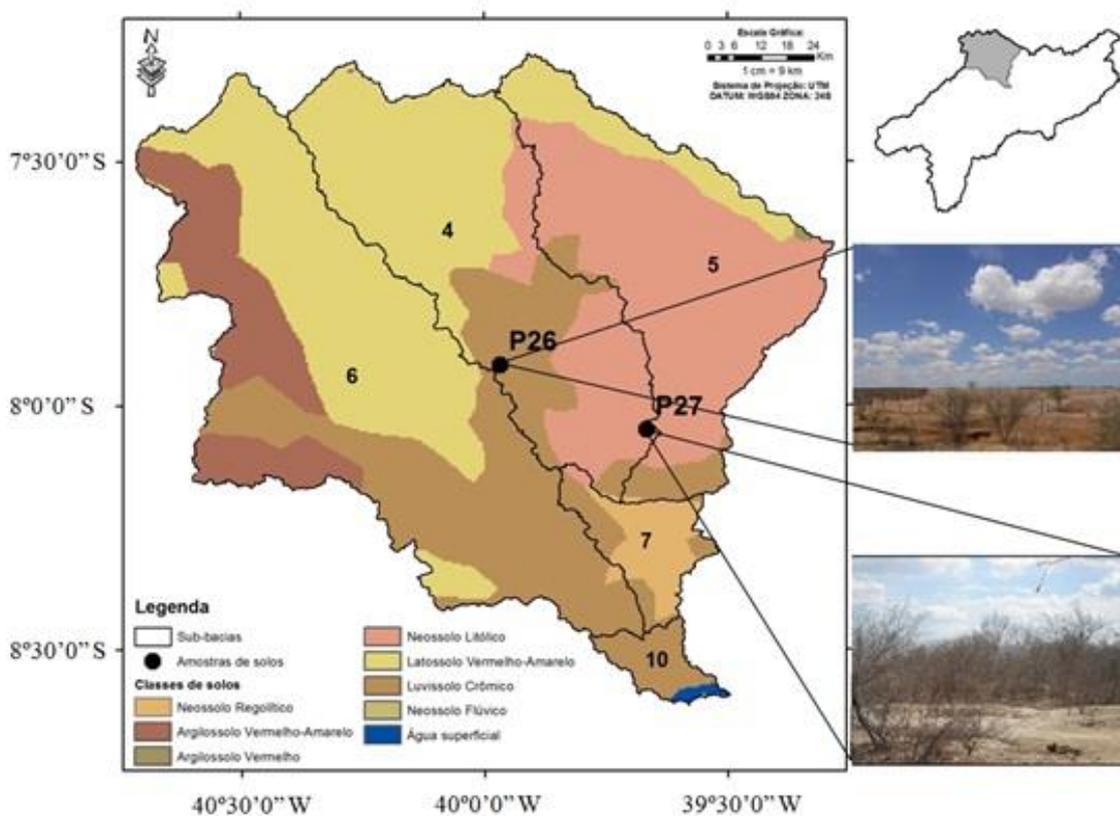


Figura 2. Distribuição das classes de solos da Bacia Hidrográfica do Rio Brígida

A análise de aporte de sedimentos realizada no cenário atual de cobertura do solo para BHSRSF (Figura 3) permitiu verificar que a região onde se insere a Bacia do Rio Brígida é uma das maiores produtoras de sedimentos ( $>18$  t/ha), assim como também apresenta escoamento superficial bem acima da média para toda BHSRSF. As Figuras 3a e d) representam as simulações do aporte de sedimentos para os anos de 1995 e 2000, respectivamente. Observa-se que os maiores valores são registrados na região sudoeste da bacia. Essas verificações justificam a relação direta entre a estimativa do modelo e a geração do escoamento.

A partir da produção do sedimento, a rede de drenagem torna-se responsável pela captação de todo material carreado ao longo da bacia, assim fatores como a declividade e a susceptibilidade de erosão dos solos são responsáveis pelo maior aporte de sedimentos. Dentro dessa temática, Amorim et al. (2001) ressalta que a erosão hídrica pode ocorrer na forma laminar, sulcos e voçorocas. A erosão laminar se caracteriza pela remoção de camadas delgadas da superfície do solo, apenas sendo perceptível após uma grande quantidade de solo ter sido removida. Em complemento, caracteriza-se como voçorocas, o deslocamento de grande quantidade de solo com a formação de canais de grandes dimensões, impedindo o trânsito de máquinas e reduzindo a área de plantio (Pruski, 1996).

A partir do mapa de aporte de sedimentos na região do submédio do rio São Francisco para os anos de 1999; 2004; 2008 e 2010 (Figuras 3c; e; f e g), verifica-se que as áreas de alto risco ( $> 20$  t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>), ou seja, as maiores produtoras de sedimento, encontram-se próximas a parte central da bacia. As áreas de baixo risco predominam na porção leste da bacia em face à maior presença de declividade associado à várzea, plano a suave ondulado, o que não propicia grande escoamento superficial e carreamento do material erodido.

A produção de sedimentos obtida neste trabalho é semelhante à encontrada por Machado e Vetorazzi (2003) que utilizou o SWAT na bacia do rio Marins em São Paulo, que possui uma área de 5.973 ha, e uso dominante de cana-de-açúcar e pastagem, tendo produção média de sedimentos entre 1999 e 2000 de 16.935 t/ha. Grossi (2003) na bacia do rio Pardo em Botucatu/SP, com área de 1.291,64 ha e uso predominante agrícola e pastagem, obteve uma produção de sedimentos média para o período entre 1997 e 2001 de 44 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

A relação entre totais pluviométricos e produção de sedimentos também foi encontrada em vários estudos, tal como por Machado e Vetorazzi na bacia do ribeirão Marins, em Piracicaba, utilizando o SWAT. Ele constatou que 94% dos sedimentos produzidos estavam associados ao período chuvoso. Tal relação também foi verificada por Behera e Panda (2006) em uma bacia situada no Distrito de Mindinapore, no oeste de Bengal, na Índia, por He e Walling. (1996) no rio Hei na província de Shaanki, e na China e por Zhang et al. (2008) na porção superior do rio Amarelo na China.

Na porção sudeste da bacia, em regiões próximas ao exutório, não foram verificadas alterações acentuadas de produção de sedimentos. Isso é justificado por declividades estáveis ou de baixo risco de vulnerabilidade, sendo em sua maioria de várzea e plano à suave ondulado. Porém, verifica-se a incidência de solos Planossolo Háplico, Neossolo Quartzarênico e Neossolo Regolítico que apresentam níveis de erosão classificados de médio a alto risco (Silva, 2014). De maneira geral, verifica-se uma relação direta do escoamento superficial e a produção de sedimentos quando analisado cada porção da bacia no mesmo período.

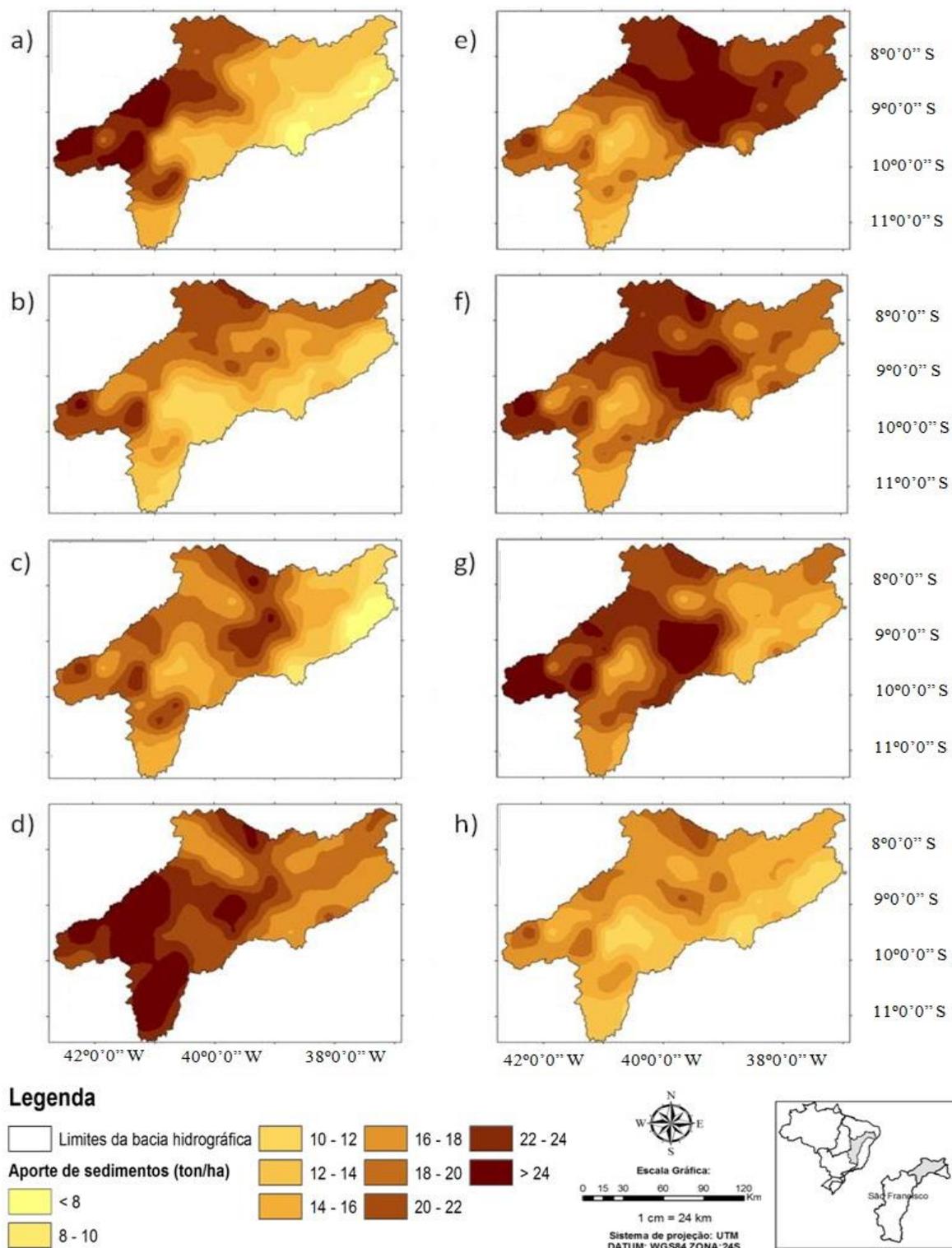


Figura 3. Aporte de sedimentos na região do submédio do rio São Francisco para os anos de (a) 1995, (b) 1996, (c) 1999, (d) 2000, (e) 2004, (f) 2008, (g) 2010 e (h) média 1993-2010.

#### 4. Conclusões

O modelo SWAT permitiu a análise dos componentes do balanço hidrossedimentológico em regiões semiáridas, cujo desempenho pode ser considerado satisfatório, ou seja, os resultados obtidos mostram sua aplicabilidade para diferentes condições hidrológicas e de uso do solo na região semiárida do nordeste brasileiro. Dessa forma, foi possível identificar áreas

de maior potencial à produção e transporte de sedimentos. A exposição do solo ao processo erosivo gera alterações em sua qualidade, comprometendo a rentabilidade das atividades econômicas desenvolvidas na região da bacia.

### **Referências bibliográficas**

Albuquerque, A.W.; Lombardi Neto, F.; Srinivasan, V. S. Efeito do desmatamento da caatinga sobre as perdas de solo e água de um Luvissole em Sumé (PB). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 25, p. 121-128, 2001.

Amorim, R. S. S.; Silva, D. D.; Pruski, F. F.; Matos, A. T. Influência da declividade do solo e da energia cinética de chuvas simuladas no processo de erosão entre sulcos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.5, n.1, p.124-130, 2001.

Aragão, R.; Srinivasan, V. S.; Lopes, W. T. A.; Silva, A. F. Avaliação do Modelo CHDM Utilizando Dados de uma Bacia Experimental no Semiárido Nordeste. In: VI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2002, Maceió. Anais... Rio Grande do Sul: ABRH, 2002. CD-Rom.

Behera S.; Panda R. (2006) Evaluation of management alternatives for an agricultural watershed in a sub-humid subtropical region using a physical process based model. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 113:62–72.

CODEVASF - COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA. Inventário de projetos. Brasília: rev. atual. 3. ed. 1999. 223p.

Crepani, E.; Medeiros, J. S. de; Azevedo, L. G. DE.; Hernandez Filho, P.; Florenzano, T. G.; Duarte, V. Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico. São José dos Campos: INPE, 2001. 25p.

EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa, 1999. 412p.

Grossi, C. H. Sistema e informação geográfica - Basins 3.0 na modelagem hidrológica da Bacia Experimental do Rio Pardo, SP. 2003. 101f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Rio Pardo, 2003.

He, Q.; Walling, D.E., 1996. Use of fallout Pb-210 measurements to investigate longer-term rates and patterns of overbank sediment deposition on the floodplains of lowland rivers. *Earth Surface Processes and Landforms* 21 (2), 141–154.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (2004). Mapa de solos do Brasil. <ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas/tematicos/sistematizacao/pedologia/>, 20 abr. 2012.

Machado, R. E.; Vettorazzi, C. A. Simulação da produção de sedimentos para a microbacia hidrográfica do ribeirão dos Marins, SP. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 4, p. 735 - 741, 2003.

Mendonça, J. K. S.; Guerra, A. J. T. Erosão dos Solos e a Questão Ambiental. In: Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil. Guerra, A. J. T. e Vitte, C. A. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 2004. p. 225-251.

Neitsch, S. L.; Arnold, J. G.; Kiniry, J. R.; Williams, J. R. Soil and Water Assessment Tool – Theoretical Documentation, Version 2005. Texas, USA, 2005.

Pruski, F. F. Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica. 2. ed. Viçosa: UFV, 2009. 54p.

Silva, M.T. Mudança no uso de solo e no aporte de sedimentos na bacia hidrográfica do submédio rio São Francisco. Campina Grande: UFCG, 2014. 122p. Tese Doutorado

Ward, A. D.; Elliot, W. J. Environmental Hydrology. New York: Lewis Publishers, 1995. 328p.

Williams, J. R. The EPIC model. In: Singh, V. P. Computer models of watershed hydrology. Highlands Ranch: Water Resources Publications, 1995. p. 909-1000.

Zhang, H. G.; FU, S. H.; Fang, W. H.; Imura, H.; Zhang, X. C. Potential effects of climate change on runoff in the Yellow River Basin of China. Transactions of the ASABE, v.50, p.911-918, 2007.