

## Estimativa do escoamento superficial na Bacia Hidrográfica do Submédio Rio São Francisco a partir de modelagem hidrológica

Érica Sousa Bidô<sup>1</sup>  
Madson Tavares Silva<sup>1</sup>  
Cinthyia Antonia Vieira Gurgel<sup>1</sup>  
Cláudia Andrade Vicente<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN  
Caixa Postal 1524 – 59078-970 - Natal - RN, Brasil  
erica\_bido@hotmail.com, madson.geotech@gmail.com,  
cinthya\_gurgel@hotmail.com, claudynha\_andrade@hotmail.com

**Abstract.** The mapping and assessment of risk of erosion is important for planning of natural resource management tool, allowing strategies to be implemented more sustainable long-term management. This work aimed to estimate the runoff in the Lower Basin Watershed of Rio São Francisco (BHSRSF). For this, SWAT model (*Soil and Water Assessment Tool*) simulations were used. First, a preliminary study of the area to be studied, including its climate was conducted. Then was used the method Curve number (CN) to carry out the simulations SWAT. In the study, time series of meteorological data from nine meteorological stations distributed in the study area were used, this data were from the National Institute of Meteorology (INMET) and Embrapa - Center for Agricultural Research in the Semi-Arid Tropics (CPATSA). The results showed a possible association of runoff with rainfall intensity, the type and land use of the site. Thus, the SWAT model, from simulations, allowed a satisfactory estimate of the runoff in BHSRSF.

**Palavras-chave:** Natural resource management, Curve Number Method, SWAT, gestão de recursos naturais, método da curva numero, SWAT.

### 1. Introdução

O semiárido brasileiro é um dos maiores e mais populosos do mundo. Segundo Cirilo et al., apresenta área total de 974.752 km<sup>2</sup>. Associado a essa grande extensão e a vegetação rasteira existente, que faz com que haja uma elevada taxa de escoamento superficial e um acelerado processo de evaporação, está a necessidade de diversas intervenções antrópicas a partir de obras que objetivam o armazenamento da água (Izique, 2005). É por esse motivo que as bacias hidrográficas dessa região vêm sendo degradadas, uma vez que as atividades antrópicas, como retirada da vegetação nativa e uso irracional do solo para a agricultura e pecuária, estão sendo cada vez mais intensas (Aragão et al., 2002). Desse modo, tem-se a relevância da necessidade de um planejamento racional que considere um conjunto de atributos físicos, ecológicos e econômicos, para que assim, se tenha a garantia de uma exploração agrícola conduzida de uma maneira mais conservacionista. (Pruski, 2009).

O interesse por estudos de impactos ambientais advindos de atividades antrópicas vem ganhando maiores dimensões nas últimas décadas. E assim, torna-se crescente o desenvolvimento de pesquisas e ferramentas para simular as transformações provenientes dessas alterações (Santos et al., 2005). Nesse contexto, ainda existem diversas limitações para modelar de forma satisfatória processos associados ao escoamento superficial. Daí, a utilização de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) integrado ao modelo hidrológico vem sendo uma boa alternativa para minimizar tais limitações. Dentre os modelos aplicados na hidrologia, está o Soil and Water Assessment Tool – SWAT, o qual foi desenvolvido no início de 1990 e foi projetado para incorporar dados de entrada de origem numérica e vetorial com objetivos de permitir a análise dos processos hidrológicos em grande escala espacial (Arnold et al., 1999).

Desse modo, o presente trabalho tem como objetivo estimar o escoamento superficial a partir de simulações do modelo SWAT para a Bacia Hidrográfica do Submédio Rio São Francisco – BHSRSF.

## 2. Metodologia de Trabalho

### 2.1 Localização 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 área de 110.446,00 km<sup>2</sup>, o que corresponde a 17% da área da Bacia do rio São Francisco.

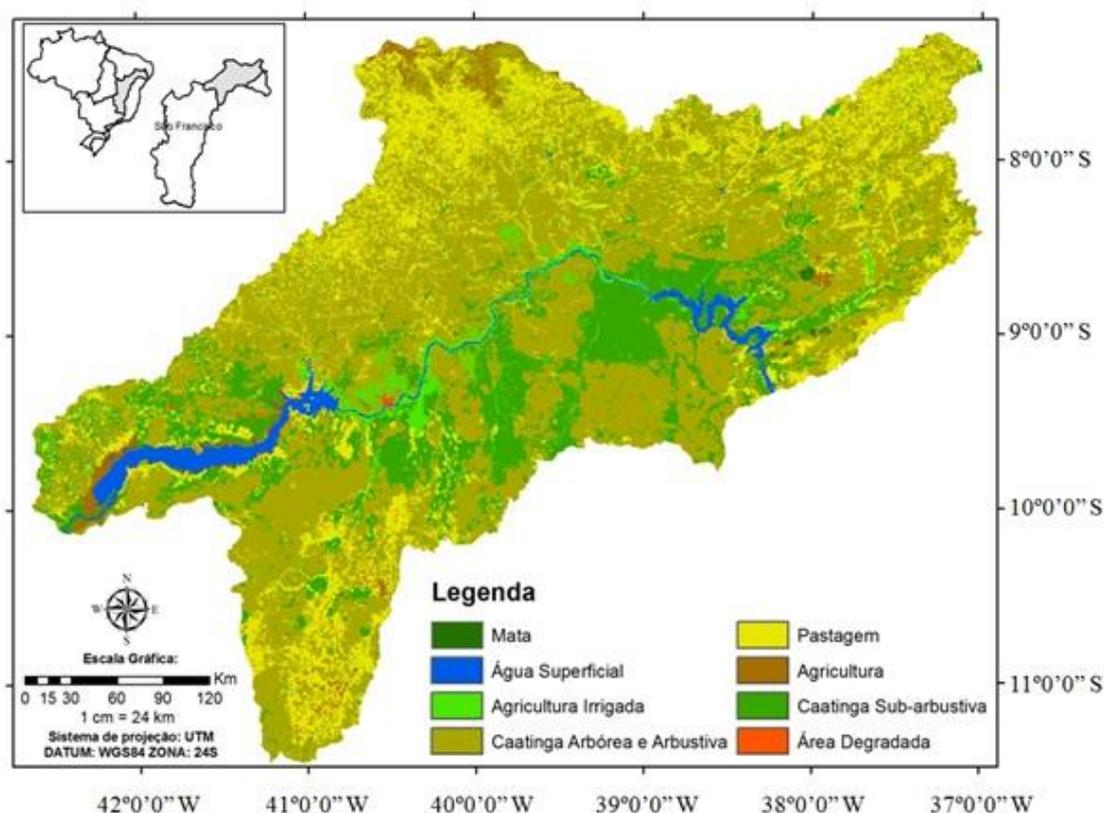


Figura 1. Localização da Bacia Hidrográfica do Submédio Rio São Francisco (BHSRSF).

### 2.2 Clima

O Submédio do Vale do São Francisco está localizado entre os paralelos 8 e 9°S, cujo clima, BSh, segundo classificação Köppen, é caracterizado como tropical semi-árido, com temperatura média anual em torno dos 26 °C, pluviosidade de aproximadamente 500 mm e altitude de 330 m em relação ao nível do mar (Teixeira & Azevedo, 2006). O período chuvoso concentra-se entre os meses de novembro e abril, com 90% do total anual. A quadra chuvosa, de janeiro a abril, contribui com 70% do total anual. Os meses mais quentes são outubro e novembro e os mais frios junho e julho. As médias mensais de temperatura média do ar variam de 24,1 °C a 28,0 °C, ocorrendo uma pequena amplitude térmica anual, atribuída à proximidade da região em relação ao equador terrestre, com desvio padrão inferior a 2,0 °C (Teixeira, 2010).

## 2.3 Dados pluviométricos

Para a alimentação do modelo utilizado nesse estudo, eram necessários dados pluviométricos locais. Por isso, foram considerados dados diários de precipitação provenientes de 9 estações meteorológicas, as quais estavam distribuídas na área de estudo (Figura 2). Essas séries históricas consistiam em dados de 1970 a 2010 e foram obtidas a partir do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e da Embrapa - Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (CPATSA).

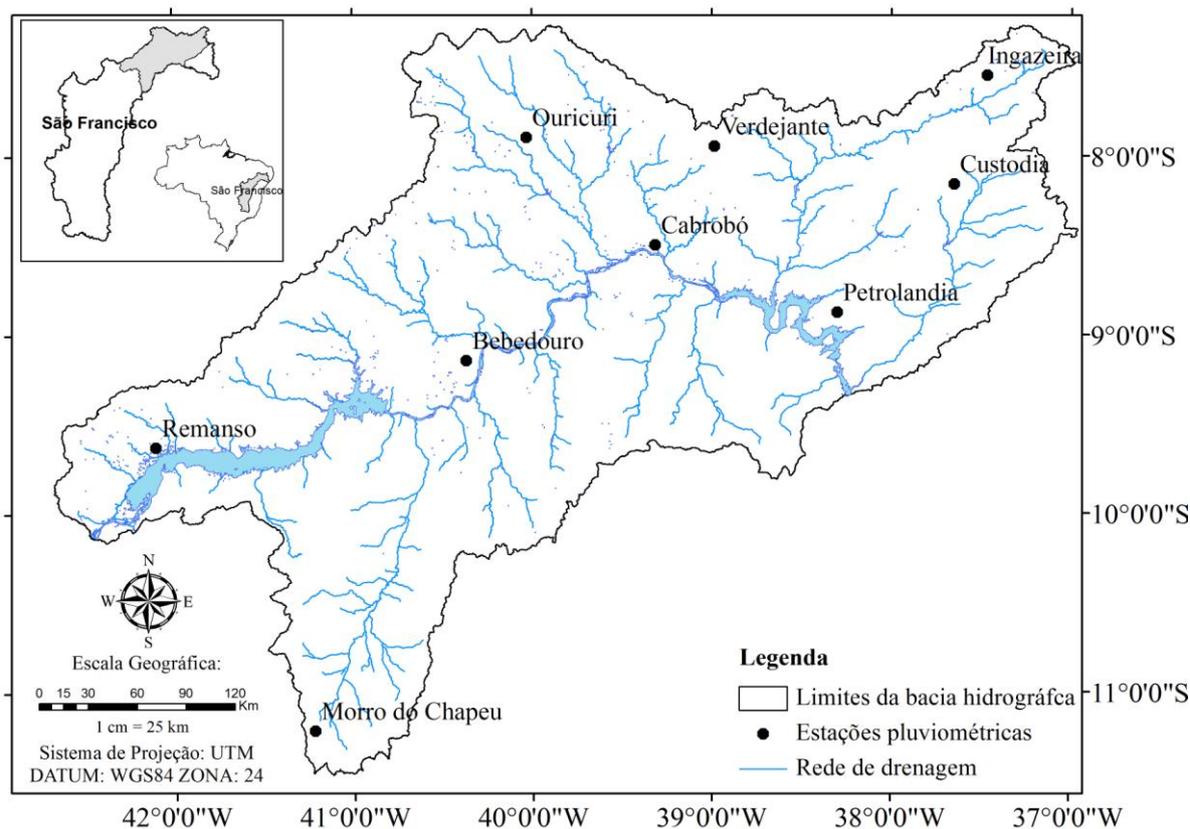


Figura 2. Localização das estações meteorológicas.

## 2.4 Estimativa do escoamento superficial

O escoamento superficial na rotina de simulação do SWAT se dá através do Método de Curva Número (CN), elaborado em 1954 pelo Serviço de Conservação do Solo (*Soil Conservation Service*, atualmente *Natural Resources Conservation Service*) dos Estados Unidos (Zhang et al., 2007). Tal método foi desenvolvido para fornecer, de maneira consistente, uma estimativa do escoamento superficial para diferentes usos e ocupação do solo e tipo de solo, considerando ainda a umidade prévia do solo (Neitsch, 2005). Com diversas revisões, este método possui relevante popularidade entre os hidrólogos, devido à simplicidade, estabilidade e eficiência das predições (Zhang et al., 2007).

O escoamento superficial por este método se dá conforme as Equações (1) e (2):

$$Q_{sup} = \frac{(P - 0,2S)^2}{(P + 0,8S)}, P > 0,2S \quad (1)$$

$$Q_{sup} = 0, P \leq 0,2S \quad (2)$$

em que:

$Q_{sup}$ : escoamento superficial diário (mm);

P: precipitação pluvial diária (mm), e

S: parâmetro de retenção.

O parâmetro de retenção,  $S$ , varia: (a) na bacia, por causa do tipo de solo, uso da terra, manejo e declividade; e (b) com o tempo, por causa da variação do conteúdo de água no solo.  $S$  é relacionado à CN pela Equação (3):

$$S = 25,4 \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (3)$$

O fator CN foi determinado diariamente, no modelo SWAT, variando numericamente de 1 a 100, sendo o limite inferior representativo de um solo totalmente permeável e o limite superior de um solo que converterá toda a precipitação em escoamento (totalmente impermeável) (Neitsch, 2005). Por fim, a consideração da umidade antecedente do solo pode corrigir o valor de CN, quando há uma situação seca, ponto de murcha, ou uma situação em que está saturado, capacidade de campo (Neitsch, 2005). A condição de  $CN_2$  expressa a condição normal do solo,  $CN_1$  indica a condição do solo em ponto de murcha enquanto que  $CN_3$  o solo na capacidade de campo. O cálculo de  $CN_1$  e  $CN_3$  se dá através uso do valor médio,  $CN_2$ , conforme as Equações (4) e (5).

$$CN_1 = CN_2 - \frac{20(100 - CN_2)}{(100 - CN_2) + \exp[2,533 - 0,0636(100 - CN_2)]} \quad (4)$$

$$CN_3 = CN_2 \times \exp[0,0673(100 - CN_2)] \quad (5)$$

### 3. Resultados e Discussão

Os resultados das simulações da variável em análise qual para o cenário atual de manejo apresentou grande variabilidade espacial no período de 1993-2010. A discussão é apresentada apenas para os anos em que foram verificados os maiores índices de precipitação (Figuras 3a a g), com os maiores valores registrados na parte noroeste da bacia (Figura 3h), com exceção do ano de 2004, que a distribuição concentrou-se na região leste. Observou-se que a forte motriz do escoamento está diretamente associada à intensidade da precipitação, como também a sua distribuição espacial.

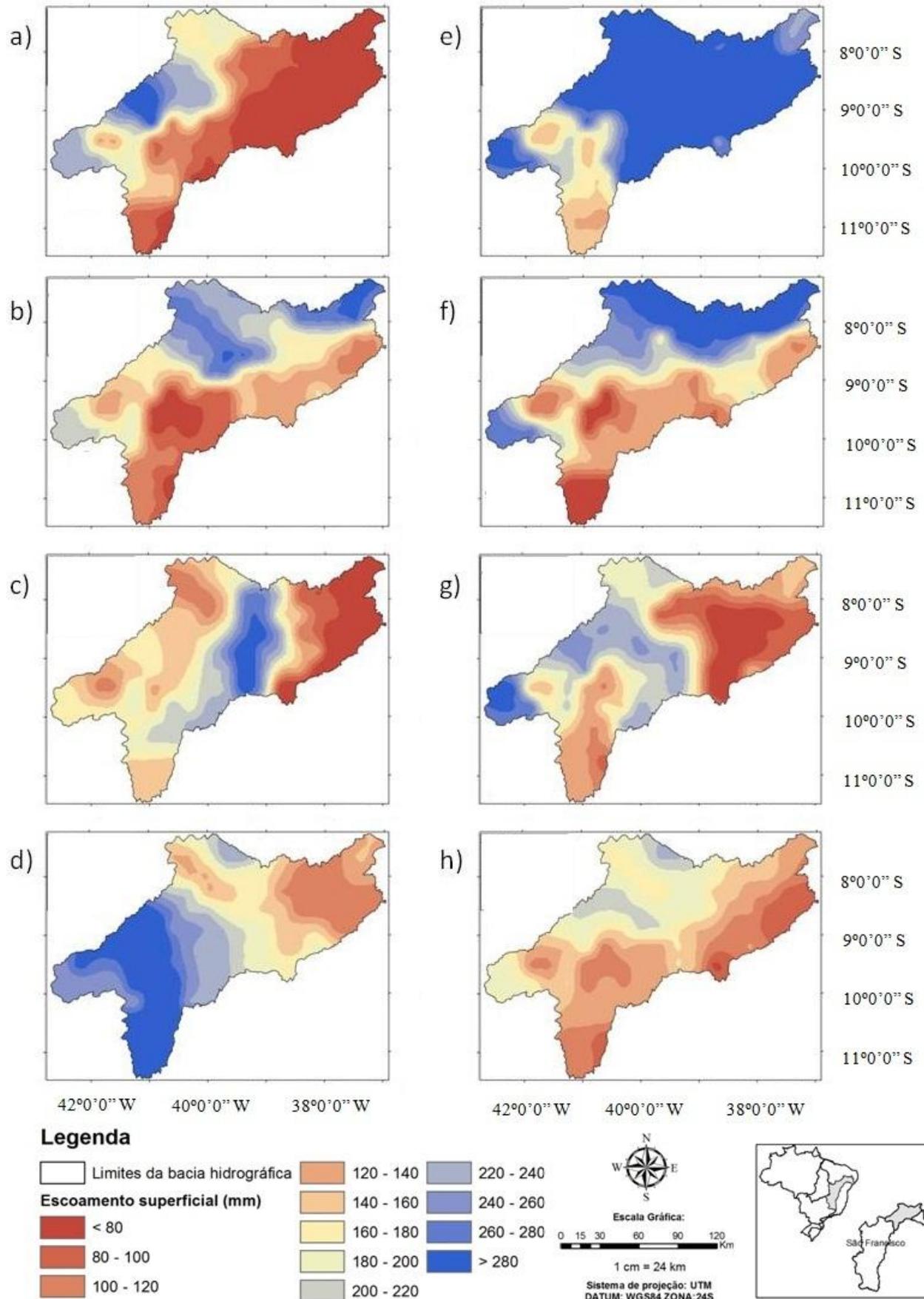


Figura 3. Escoamento superficial na região do submédio do rio São Francisco para os anos de (a) 1995, (b) 1996, (c) 1999, (d) 2000, (e) 2004, (f) 2008, (g) 2010 e (h) média 1993-2010.

A análise pedológica (Figura 4) indica que as características granulométricas dos solos da região também têm o potencial na geração do escoamento como também na suscetibilidade à produção de sedimentos. Os solos predominantes na área de estudo são as classes de Luvissole Crômico, Argilossolo Vermelho-Amarelo e Neossolo Quartzarênico, que apresentam permeabilidade moderada, média a lenta e rápida, respectivamente, de acordo com a classificação do manual de solos da EMBRAPA (1999). Os solos arenosos como os Neossolos Quartzarênicos (antigas Areias Quartzosas) são caracterizados por terem grande quantidade de poros grandes (macroporos) que permitem a rápida infiltração e drenagem interna da água no perfil do solo (Brady & Weill, 2002).

A cobertura da região possui poucas intervenções antrópicas, sendo caracterizada por domínios de caatinga arbórea e arbustiva, fazendo-se, assim, os eventos de precipitação ocorridos no ano 2000 como atípicos, o que favoreceram a maior intensidade de escoamento na região de estudo. Pode-se concluir que associações de fatores (declividade, uso do solo e tipo do solo) são extremamente complexas, interferindo sensivelmente no comportamento médio das componentes hidrossedimentológicas (Silva 2014).

Principalmente nas áreas com cultivos irrigados, o uso de adubos e pesticidas é utilizado com maior frequência, impondo assim alguns cuidados que devem ser tomados no momento da adubação para evitar a perda de dinheiro e tempo nesta atividade agrícola. Observa-se, ainda, que a porção sudoeste da bacia também apresenta valores significativos de escoamento superficial, em especial para o ano 2000 (Figura 3d), que correspondem ao ano mais chuvoso do período simulado. Apesar da predominância dos Neossolos Litólicos (Figura 4), que possuem permeabilidade alta, essa região apresenta declividades acentuadas, sendo considerado seu relevo de fortemente ondulado a montanhoso.

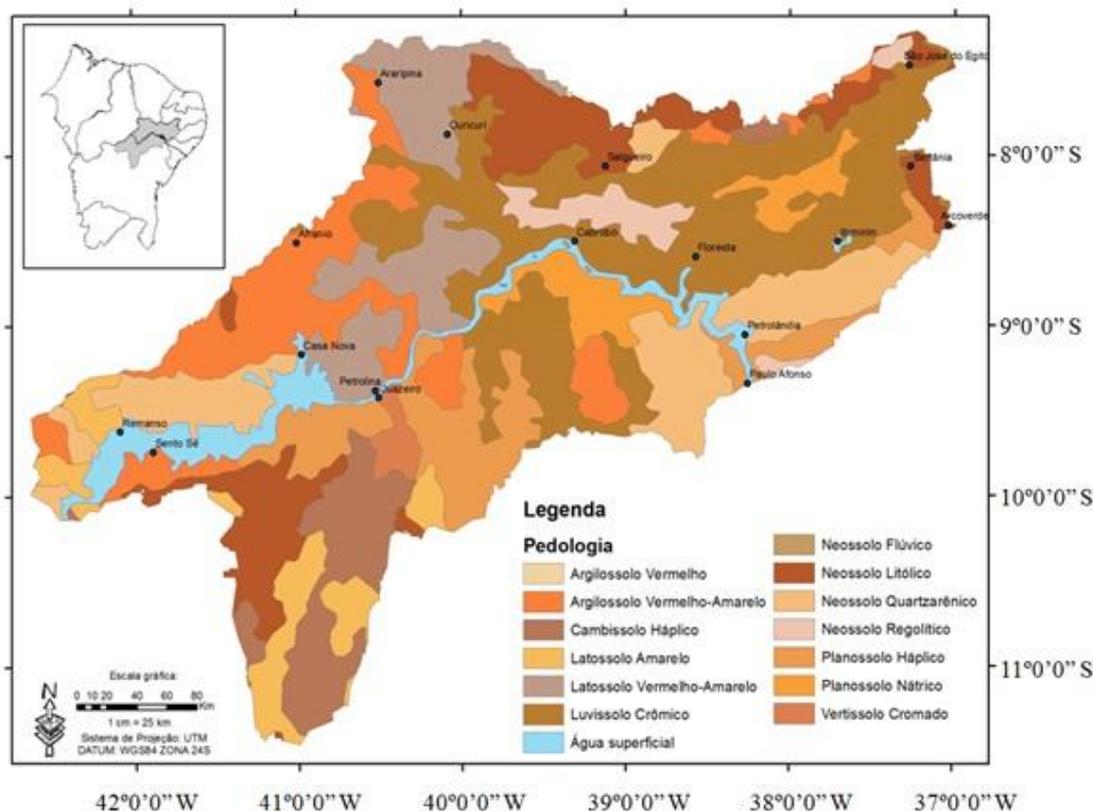


Figura 4. Mapa pedológico da Bacia Hidrográfica do Submédio do Rio São Francisco (BHSRSF).

#### 4. Conclusões

A modelagem de componentes do sistema hídrico e pedológico trata-se de uma ferramenta de grande importância para o estudo de impactos ambientais de atividades antrópicas, uma vez que permitem a identificação desses impactos, a associação destes com outros fatores ambientais do meio e ainda pode auxiliar nos processos de sugestão de medidas mitigadoras, pois ajudam a dimensionar tais impactos.

Nesse sentido, o modelo SWAT, a partir das suas simulações, permitiu uma estimativa satisfatória do escoamento superficial na Bacia Hidrográfica do Submédio Rio São Francisco – BHSRSF. O resultado também apresentou bom desempenho no sentido de que proporcionou a possibilidade de associações entre diferentes tipos de solo com o escoamento superficial, fornecendo mais confiabilidade para as análises.

#### Referências Bibliográficas

Arnold, J. G.; Allen, P. M. **Automated methods for estimating baseflow and ground water recharge from streamflow records**. J. American Water Resources Assoc. vol. 35, pp. 411–424, 1999.

Bertoni, J.; Lombardi, N. F. **Conservação do solo**. 5. ed. São Paulo: Ícone, 2005.

Brady, N. C.; Weill, R. Y. **The nature and properties of soils**. 13a Edição. New Jersey: Prentice Hall, 2002. 958p.

Cirilo, J. A.; Campello Netto, M. S. C.; Montenegro, S. M. G. L.; Asfora, M. C. **Caracterização do Semi-Árido Brasileiro**. In: Cirilo, J. A.; Cabral, J. J. S. P.; Ferreira, J. P. C. L.; Oliveira, M. J. P. M.; Leitão, T. E.; Montenegro, S. M. G. L.; Góes, V. C. O uso sustentável dos recursos hídricos em regiões semi-áridas. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2007. p. 33-60.

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

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

Izique, C. (2005). **As águas vão rolar**: Transposição do rio São Francisco divide opiniões e instiga polêmica entre governo e pesquisadores. <http://www.universiabrasil.net.>, 15 Jul. 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.

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.

Santos, C. A. G., Srinivasan, V. S.; Silva, R. M. **Evaluation of optimized parameter values of a distributed runoff-erosion model applied in two different basins.** IAHS Publ., v. 292, p. 101 - 109, 2005.

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

Teixeira, A. H. C. **Informações Agrometeorológicas do Polo Petrolina, PE/Juazeiro, BA - 1963 a 2009.** Série Documentos - Embrapa Semiárido, 2010 21p.

Teixeira, A. H. C.; Azevedo, P. V. **Zoneamento agroclimático para a videira européia no estado de Pernambuco, brasil..** Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria-RS, v. 4, n. 1, p. 139-145, 1996.

Tsou, M. S.; Whittemorez, D. O. **User interface for ground-water modeling: ArcView Extension.** Journal of Hydrologic Engineering, v. 6, n. 3, p. 251-257, 2001.

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.