



APLICAÇÃO DO MODELO SWAT NA ESTIMATIVA E ANÁLISE DA VAZÃO E PRECIPITAÇÃO NA BACIA DO ALTO SÃO FRANCISCO

Joyce de Araujo Beltrão¹, Jacqueline Sobral Araujo², Richarde Marques da Silva³

RESUMO -- O estudo de bacias hidrográficas é cada vez mais uma prática imprescindível, especialmente em regiões onde ocorrem constantes intervenções humanas. Esse estudo apresenta a aplicação do modelo SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) para a estimativa e análise da vazão e precipitação na Bacia do Alto Rio São Francisco, para o período de 1981 a 2007. O processo de análise de sensibilidade e calibração da vazão foi automatizado. Para a modelagem da bacia foram utilizados dados climáticos, modelo digital de elevação, mapas de uso e tipos de solo. O Swat vem sendo aplicado de forma eficiente no estudo desde bacias pequenas até aquelas maiores. Assim, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o desempenho do SWAT para a simulação da vazão na Bacia do Alto Rio São Francisco.

ABSTRACT -- In regions under constant human activities, researches about watersheds are increasingly an essential practice. This study presents the application of the SWAT model in estimating and analyzing the flow and precipitation in Bacia do Alto São Francisco, between the years 1981 and 2007. The sensitivity analysis and flow calibration was automated. In order to modeling the watershed, were used climate data, digital elevation model, maps of use and soil type. Swat model has been applied effectively in the study from small to larger watersheds. Therefore, the main objective of this study was evaluate the performance of Swat model to simulate the flow in Bacia do Alto São Francisco.

Palavras chave: Bacia do Alto São Francisco, Swat, Modelagem hidrológica

¹ Mestranda em Engenharia Ambiental pela UFPB, Cidade Universitária, s/n, Castelo Branco, João Pessoa - PB. joyceabeltrao@gmail.com

² Mestranda em Engenharia Ambiental pela UFPB, Cidade Universitária, s/n, Castelo Branco, João Pessoa - PB. jacqueline.sobral.araujo@gmail.com

³ Professor Doutor do Departamento de Geociências, Centro de Ciências Exatas e da Natureza da UFPB. Cidade Universitária, s/n - Castelo Branco, João Pessoa – PB. richarde@geociencias.ufpb.br

INTRODUÇÃO

O estudo de bacias hidrográficas é cada vez mais uma prática imprescindível, especialmente em regiões onde ocorrem constantes intervenções humanas, responsáveis pelo aumento no grau de complexidade entre as inter-relações de fatores de forma e processos hidrológicos que, somados, constituem e caracterizam uma bacia hidrográfica.

A fim de auxiliar o monitoramento, proteção e uso de bacias hidrográficas, uma ampla gama de modelos matemáticos tem sido utilizados uma vez que permitem simular e avaliar os impactos das mudanças ocorridas na área da bacia, rio ou reservatório, além de facilitar a compreensão dos fenômenos que envolvem estes eventos. Dentre estes modelos destaca-se o modelo chuva-vazão-erosão, distribuído e de base física *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT), que discretiza a bacia em unidades de resposta homogêneas, criadas mediante mapas de tipos de solos, uso do solo e do Modelo Digital de Elevação.

O Swat vem sendo aplicado de forma eficiente no estudo desde bacias pequenas até aquelas maiores. Dentre os trabalhos mais recentes é possível citar Strauch (2013), Arroio Junior (2013), Castro (2013), Panhalkar (2014), Valdivieso-Oñate (2014), Wagesho (2014), Fu, James & Yao (2014), Molina-Navarro (2014), Pagliero (2014), dentre outros que deixam clara a eficiência do modelo na observação de efeitos resultantes de alterações nos padrões de uso e ocupação do solo no intervalo de tempo definido pelo usuário.

Assim, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o desempenho do SWAT para a simulação da vazão na Sub-bacia 40 do Rio São Francisco, uma das duas que compõe a região do Alto São Francisco, no estado de Minas Gerais.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

A Sub-bacia 40 (classificação da Agência Nacional de Águas - ANA) é uma das duas que compõe a região do Alto São Francisco, tem uma área total de aproximadamente 46.679km² e nela nascem os rios São Francisco, Pará, Paraopeba, Indaiá e Borrachudo.

A bacia está inserida nas regiões Central Mineira, Alto Paranaíba e Noroeste de Minas, com clima considerado semi-úmido onde a maior concentração de chuvas ocorre entre os meses de dezembro e abril, sendo a disponibilidade hídrica entre 10 e 20 litros por segundo. Possui um relevo predominantemente plano, com depressões e áreas dissecadas pela ação de processos

morfoclimáticos, a vegetação que recobre toda área é, em maior parte, de cerrado constituindo-se por gramíneas, arbustos e árvores de médio porte, segundo Euclides e Ferreira (2001).

É uma bacia que apresenta grande diversidade econômica e disponibilidade de infraestruturas urbanas estando localizada nela, também, a Usina Hidroelétrica de Três Marias, responsável pelo abastecimento hídrico e elétrico de aproximadamente 1,1 milhão de pessoas segundo dados da Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG, 2012).

O modelo SWAT

O modelo Swat foi desenvolvido no início da década de 90 pelo *United States Department of Agriculture - Agricultural Research Service* e *Texas A&M University*, com o objetivo de predizer o efeito de diferentes cenários de manejo na qualidade da água, produção de sedimentos e carga de poluentes em bacias hidrográficas agrícolas (TAVEIRA, 2012). Segundo Kuwajima (2001) é classificado como um modelo de base física distribuído, dinâmico e contínuo, rodado a partir do ambiente ArcView versão 10.1, para esta pesquisa.

De acordo com Neitsch et al. (2005), as simulações hidrológicas dentro do Swat podem ser classificadas em duas fases, ou etapas: a primeira diz respeito a fase terrestre do ciclo hidrológico, neste caso a erosão e transporte de sedimentos e a segunda corresponde aos movimentos de água, sedimentos, nutrientes e pesticidas, ou seja, ao escoamento superficial através da bacia até seu exultório.

O ciclo hidrológico simulado pelo Swat é composto por quatro volumes, sendo eles: reservatório superficial, reservatório subsuperficial, aquífero raso e aquífero profundo. Castro (2013) explica ainda que o modelo utiliza como base para as simulações do ciclo hidrológico a equação (01) de balanço hídrico, apresentada abaixo:

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_i - Q_i - ET_i - P_i - QR_i) \quad (1)$$

sendo SW_t o conteúdo final de água no solo (mm); SW_0 o conteúdo inicial de água no dia i (mm); R_i a precipitação no dia i (mm); Q_i o escoamento superficial no dia i (mm); ET_i a evapotranspiração no dia i (mm); P_i a quantidade de água que entra na zona vadosa percolada através do perfil (mm); QR_i a quantidade de água que retorna ao curso d'água no dia i devido ao escoamento subsuperficial (fluxo de retorno) (mm).

A partir destas cinco variáveis contidas na Equação 1 é possível determinar a variação da umidade de água no solo, salientando que os dados de precipitação são provenientes de

monitoramentos climáticos e devem ser inseridos pelo próprio usuário de acordo com o período de interesse da pesquisa.

Além disso, para que as rotinas hidrológicas sejam executadas, o Swat exige uma série de dados de entrada bastante detalhados divididos em planos de informações Outro segmento do ciclo hidrológico quantificado pelo Swat é o escoamento superficial, entendido como o deslocamento de água na superfície do solo e nos cursos naturais quando a intensidade da precipitação ultrapassa a capacidade de infiltração. A equação para o cálculo do escoamento superficial é dada por:

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - 0.2 \cdot S)^2}{(R_{day} + 0.8 \cdot S)} \quad (2)$$

no qual Q_{surf} é a quantidade de escoamento superficial acumulado ou excesso de chuva (mm); R_{day} é a quantidade de chuva em um dia (mm); S é o parâmetro de retenção.

O parâmetro de retenção S está relacionado a capacidade de retenção máxima de água no solo e varia espacialmente em função do uso do solo, declividade do terreno e às variações das condições anteriores de umidade. Sua determinação é dada pela seguinte equação:

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

sendo CN o número da curva para um determinado dia.

Para que as rotinas hidrológicas sejam executadas, o Swat exige uma série de dados de entrada bastante detalhados divididos em planos de informações (Modelo Digital de Elevação, Mapa de uso e ocupação do solo, Mapa de tipos de solo) e dados alfanuméricos (climatológicos, hidrológicos e parâmetros de solo).

Modelo Digital de Elevação (MDE)

O Modelo Digital de Elevação foi obtido junto ao Serviço Topográfico do Brasil (TOPODATA) e correspondeu a um conjunto de oito cenas tratadas para uma resolução espacial de 30 m. A partir do MDE foi possível dividir a área de estudo em diversas Sub-bacias que, a partir da combinação entre tipo de solo, cobertura da área e topografia, foram classificadas em Unidades de Resposta Hidrológicas (URH).

As URH podem ser definidas de duas formas, descritas por Taveira (2012): a primeira pelo método da URH dominante, onde para cada Sub-bacia é considerado o uso e tipo de solo predominante e os demais serão descartados; e a segunda, conhecida por URH múltiplas, onde são criadas várias combinações de usos e tipos de solo para cada Sub-bacia de acordo com o nível de

sensibilidade escolhido pelo usuário. Nesta pesquisa foi utilizado o segundo método com sensibilidade de 15%, como aconselhado no manual técnico do Swat, desta forma evitando perdas de informações referentes a tipo e uso do solo.

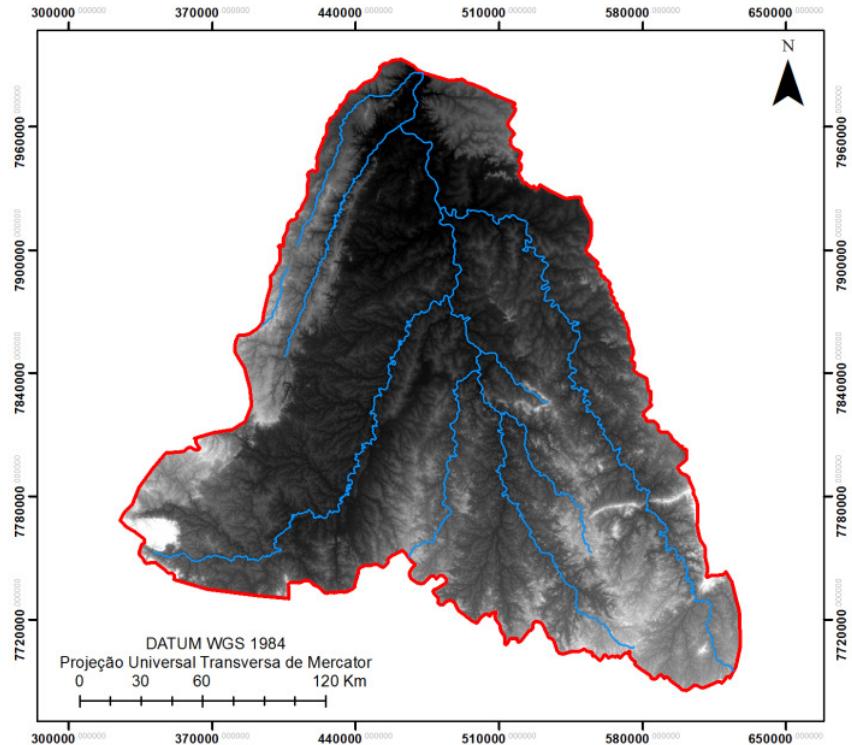


Figura 2: Modelo Digital de Elevação da Sub-bacia 40 do Rio São Francisco utilizado nesta pesquisa.

Ao todo foram geradas 22 Sub-bacias e 73 URH a partir do método URH múltiplas, onde foram criadas várias combinações de usos e tipos de solo para cada Sub-bacia de acordo com o nível de sensibilidade (limiar) escolhido pelo usuário. Neste pesquisa o limiar utilizado foi de 15%, como aconselha o manual técnico no Swat, a fim de evitar perdas de informações referentes ao tipo e uso do solo.

Mapas de tipos solos e do uso e ocupação do solo

Foi gerado a partir de duas etapas. A primeira disse respeito a classificação supervisionada de imagens LANDSAT TM 5 disponibilizadas no site do Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE); e a segundo sendo o recorte da área de estudo no mapa de vegetações do Brasil disponível no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Figura 4).

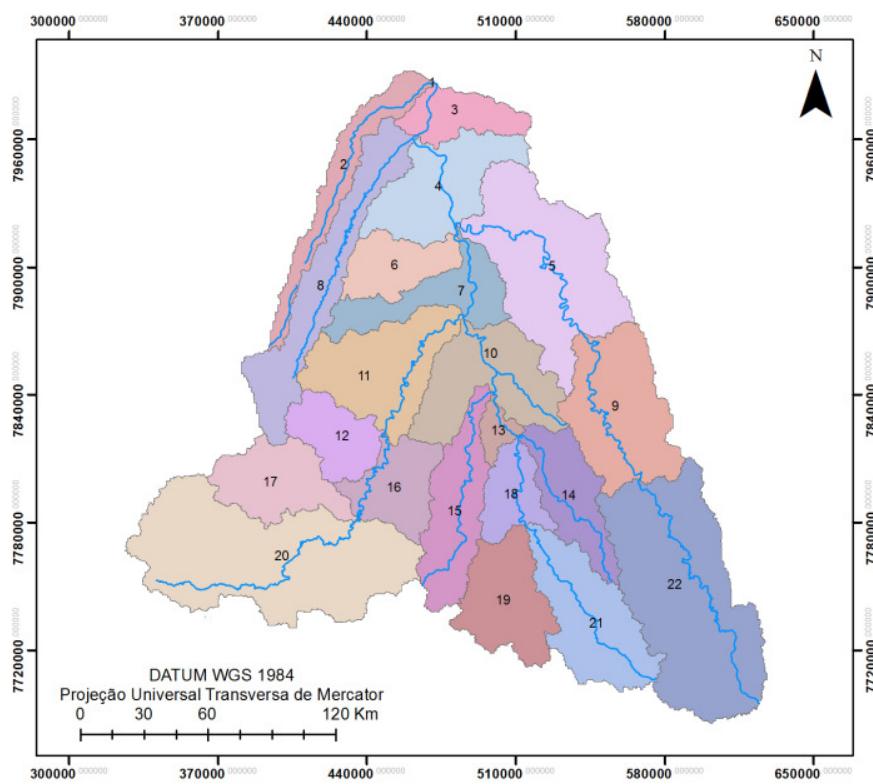


Figura 3: Mapa das Sub-bacias geradas para esta pesquisa. Os dados de vazão observados utilizados correspondem à Sub-bacia número 11, Porto das Andorinhas.

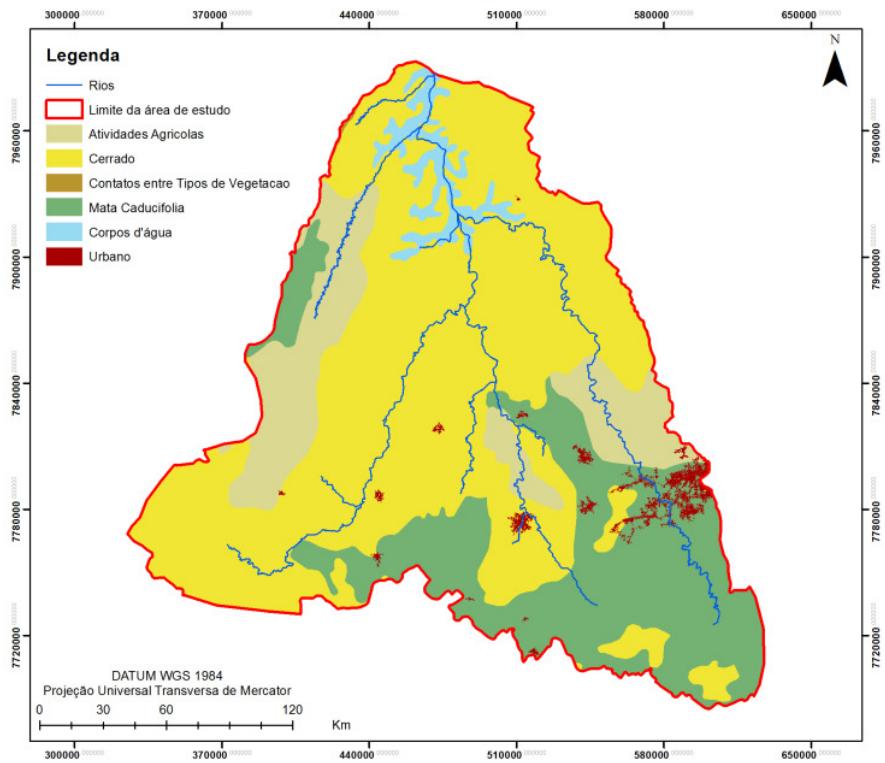


Figura 4: Mapa de uso do solo da Sub-bacia 40 do Rio São Francisco.

O mapa de tipos de solo foi elaborado a partir do recorte da área de estudo no mapa de solos do Brasil, fornecido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Foram identificados seis grupos pedológicos para a bacia: Argissolo vermelho, Argissolo vermelho-amarelo, Cambissolo háplico, Latossolo vermelho, Latossolo vermelho-amarelo e Neossolo litólico (Figura 5).

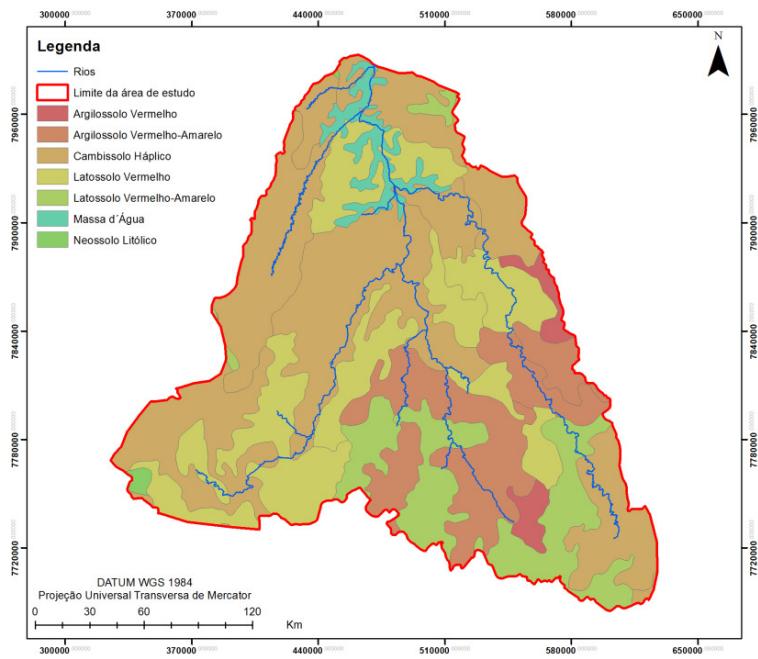


Figura 5: Mapa de tipos de solo da Sub-bacia 40 do Rio São Francisco.

De maneira geral, os solos encontrados na região possuem aptidão para agricultura irrigada e requerem um uso intensivo de adubos devido a sua composição ácida, na maioria dos casos. Há o predomínio de Latossolos, que recobrem cerca de 35,88% do total, e Cambissolo Háplico correspondendo a 43,28% da área, este último se estendendo, principalmente, em áreas de relevo suave a ondulado enquanto os Latossolos e Podzólicos se concentram nas porções mais elevadas das bacias.

O cruzamento dos tipos e usos do solo mostrou o predomínio de cerrado em áreas com maior existência de Cambissolo Háplico e Latossolos Vermelho e Vermelho-amarelo, classes de solo com baixa fertilidade, profundo e com elevado teor de alumínio em um relevo suave a levemente ondulado e suscetível à erosão. Também há ocorrência de pequenas zonas de cerrado em áreas recobertas por Neossolos Litólicos, por apresentarem-se rasos, pouco desenvolvidos, com alto risco a erosão e baixa fertilidade nas áreas de maiores cotas altimétricas da bacia.

Quanto às classes de uso agrícola, ocorrem nas áreas recobertas por Cambissolo Háplico e Argissolos Vermelho e Vermelho-amarelo. Normalmente, os Cambissolos apresentam dificuldade de exploração devido a sua pouca profundidade e baixa fertilidade, nas áreas de cerrado são mais utilizados para pastagens, mas com manejo adequado podem ser utilizados para cultivo de alguns grãos e cereais, como ocorre na bacia. Já os Argissolos possuem, na região, boas características

físicas, mas na bacia correspondem as zonas de tensão ecológica devido à extração da cobertura natural para cultivo agrícola e expansão de zonas urbanas.

Dados observados de chuva e vazão

Para calibração e validação do modelo escolhido foi preciso coletar dados de séries temporais de chuva e vazão obtidos no site da Agência Nacional de Águas (ANA) correspondendo ao período de 1978 a 2007, totalizando 30 anos.

Calibração do modelo e análise de sensibilidade

A calibração é o ajuste dos parâmetros de um modelo para que obtenha uma aceitável concordância entre os dados observados e simulados (Arnold et al, 2000). A calibração do modelo SWAT pode ser realizada para o balanço de água (vazão), sedimentos, nutrientes e pesticidas, e pode ser feita manual ou automaticamente. No primeiro caso, faz-se necessário o conhecimento do sistema a ser modelado e a estrutura do modelo. E por se tratar de um modelo complexo a calibração manual pode ser bastante trabalhosa e, por vezes, improdutiva. A calibração automática, por sua vez, gera resultados de maneira mais rápida utilizando grande número de parâmetros, embora nem sempre o ajuste ideal seja alcançado.

Para o presente trabalho a vazão líquida foi calibrada manual e automaticamente. A primeira forma foi realizada variando os valores dos parâmetros de maior sensibilidade, apontados na análise, até encontrar resultados estatísticos satisfatórios.

Para esta pesquisa, a calibração e análise de sensibilidade dos parâmetros foram realizadas automaticamente através da plataforma Swat-CUP utilizando-se 19 parâmetros e 500 simulações no período de 1981 a 2007, após excluídos os três primeiros anos da série (1978, 1979 e 1980) para aquecimento do modelo. O método escolhido foi o *Sequential Uncertainty Fitting* (SUFI-2) devido ao seu desempenho na calibração e análise do modelo. Os parâmetros mais sensíveis para comparação da vazão simulada e observada foram: SURLAG; SOIL_ALB; EPCO; REVAPM; SOL_K.

O período selecionado para o estudo foi de 1978 a 2007 e os três primeiros anos de resultados foram considerados como período de aquecimento do modelo (aquecimento). A calibração da vazão foi realizada para os anos de 1981 a 2007 assim como a verificação nos anos. Os dados de vazão observados de todo o período foram disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA).

Qualidade da simulação do modelo

A eficiência da simulação no modelo foi calculada a partir do Coeficiente de Nash-Sutcliffe (COE) e do Coeficiente de Correlação de Pearson (R^2), calculados respectivamente através das equações:

$$COE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - Q_s)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - Q)^2} \quad (4)$$

Onde: Q_{obs} é a vazão observada; Q_s é a vazão simulada pelo modelo; Q é a vazão média observada no período simulado; e n é o número de eventos. O Coeficiente de Nash-Sutcliffe varia no intervalo de infinito negativo até 1, sendo que quanto mais próximo de 1, melhor é a calibração.

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_n)(x_i - x_m)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - y_n)(x_i - x_m)}} \right)^2 \quad (5)$$

onde x_i corresponde aos valores observados; x_m é a média dos valores observados; y_i são os valores calculado pelo modelo; y_m é a média dos valores calculados pelo modelo. Da mesma forma, o R^2 irá variar de infinito negativo até 1, sendo valores próximos a 1 relativos as melhores calibrações.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Variabilidade espacial e temporal da precipitação e da vazão

A partir dos dados tabulares de precipitação observada, foi possível extrair um grande número de informações a cerca das características pluviométricas e fluviométricas da bacia. O gráfico abaixo mostra a precipitação média anual na sub 40 na série temporal estudada (1978-2007). Observa-se que os maior e menor índices de precipitação correspondem, respectivamente, aos anos de 1983 (2.051 mm) e 1992 (1.787 mm), com um desvio padrão de 211 mm.

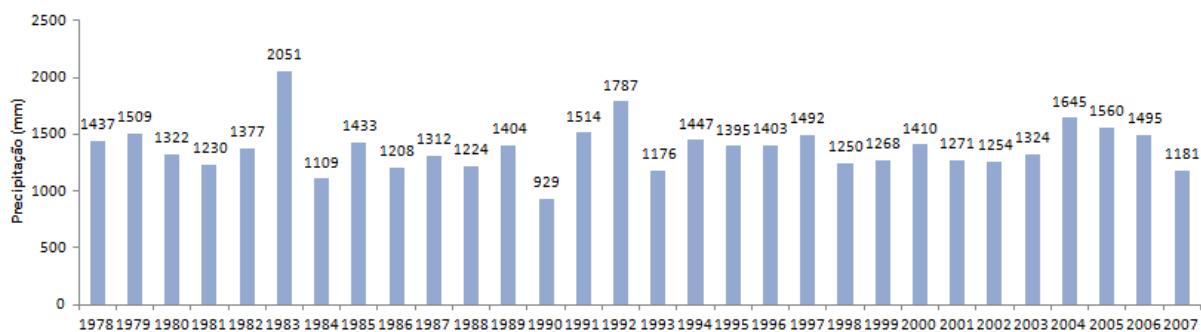


Figura 6: Precipitação média anual na Sub-bacia 40 do Rio São Francisco no período de 1978-2007.

A maior concentração de precipitação mensal concentra-se nos primeiros e últimos meses do ano, de novembro a fevereiro (Tabela 1). Após esse período, é possível perceber uma diminuição significativa de chuvas e, consequentemente, na vazão superficial.

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
jan	320	284	267	332	301	298	273	291	240	259	255	269
fev	217	180	146	210	158	160	175	187	120	166	198	164
mar	186	156	150	178	164	156	188	191	128	162	150	155
abr	78	59	63	73	60	65	65	59	47	51	51	54
mai	46	49	44	33	29	32	27	32	17	30	58	31
jun	14	20	22	11	14	15	6	8	5	10	18	8
jul	11	13	12	10	11	5	7	4	5	9	12	7
ago	16	18	18	16	12	10	10	13	5	12	23	12
set	76	64	74	52	43	50	33	41	29	33	72	43
out	116	111	122	86	67	104	77	79	56	65	139	68
nov	196	178	200	222	210	200	221	194	210	179	188	211
dez	272	283	246	333	299	305	268	270	226	259	288	296

Tabela 1: Precipitação total por meses durante os anos de 1978 a 2007. Em azul, meses com maiores precipitações (mm); em vermelho, períodos com menores precipitações (mm). P1 a P12 correspondem aos postos de captação de dados de precipitação.

O gráfico abaixo (Figura 7) mostra que a vazão anual máxima corresponde a 123 m³/s (1983) enquanto a mínima gira em torno de 17 m³/s (1988). A média anual de vazões na bacia é de aproximadamente 49 m³/s no período de 1978 a 2007, do desvio padrão mostrou um resultado aproximado de 22 m³/s. Observou-se também uma tendência (linha vermelha, Figura 8) decrescente na vazão anual que diminuiu de algo em torno dos 100 m³/s para valores menores a 50 m³/s.

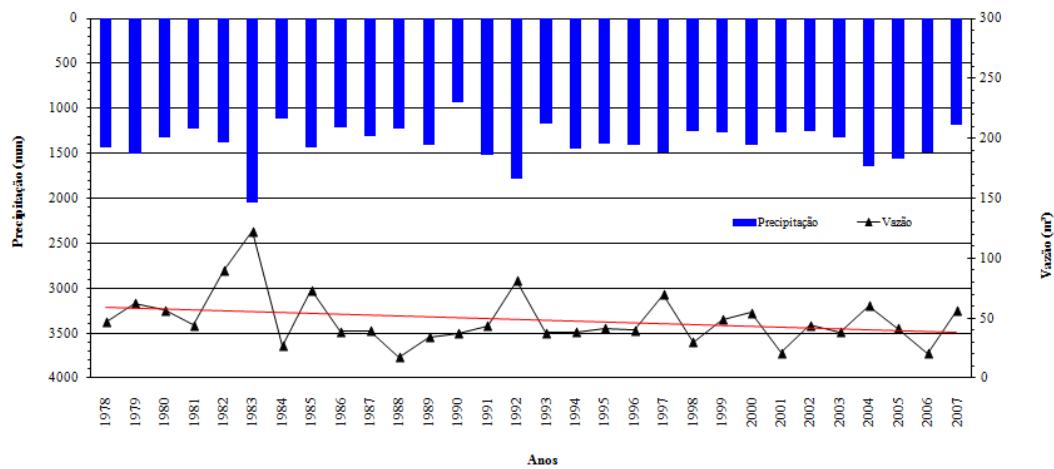


Figura 7: Precipitação e vazão total anual na Sub-bacia 40 do Rio São Francisco.

Calibração e verificação do modelo

Para a calibração do modelo foram ajustados sete parâmetros que influenciam, principalmente, nos processos de escoamento superficial, evapotranspiração e na contribuição das águas subterrâneas. Tais parâmetros foram Alpha_bf, Cn2, Gw-delay, Gwqmn, Gw-revap, Esco e o SIsubbsn.

Na calibração automática, os sete parâmetros citados anteriormente foram ajustados pelo software SWAT-CUP, resultando no hidrograma apresentado na Figura 9 e apresentando o valor de NS igual a 0,23, um valor superior ao obtido na calibração manual para o mesmo período de análise. Na Figura 8, são apresentados os resultados de vazão simulada (em vermelho) e vazão observada (em azul) no intervalo de 30 anos da série temporal estudada. A análise gráfica mostra uma aproximação dos resultados que aparecem com comportamentos semelhantes em ambos os gráficos, entretanto, percebe-se que alguns dados simulados foram ora superestimados (A), ora subestimados (B). Os coeficientes estatísticos de Nash-Sutcliffe e de Pearson também mostraram uma baixa qualidade da simulação com valores respectivos de 0,23 e 0,38, sendo R² o responsável pela superestimação das vazões.

Analizando os resultados, nota-se de forma geral que, o SWAT subestimou os valores da descarga sólida, onde em nenhum momento de pico simulado pelo SWAT alcança os picos observados na bacia. Shirivastava et al (2004) ao aplicar o SWAT em uma bacia de 17,31 km² na Índia justificou que a subestimação da simulação pelo modelo na produção de sedimentos, encontrado em seus resultados, pode ter sido devido ao SWAT que opera em um passo de tempo diário, não podendo simular a taxa de sedimento para um evento de menor duração. Com base nisso, pode-se justificar a subestimação do modelo para a descarga líquida na bacia, onde as hipóteses simplificadoras do SWAT podem gerar dificuldades para a simulação de bacias pequenas.

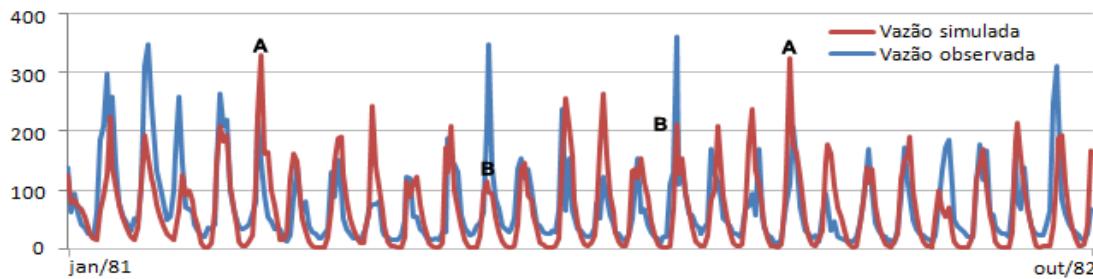


Figura 8: Hidrograma das vazões simuladas e observadas na Sub-bacia 40 do Rio São Francisco.

Os quatro parâmetros com maiores influência sobre a vazão foram: SURLAG (coeficiente de atraso do escoamento superficial); SOIL_ALB (quantidade de radiação refletida pelo solo); ESCO (fator de compensação da evaporação do solo); REVAPMIN (profundidade da água no aquífero para que ocorra percolação), como apresentado na Figura 9.

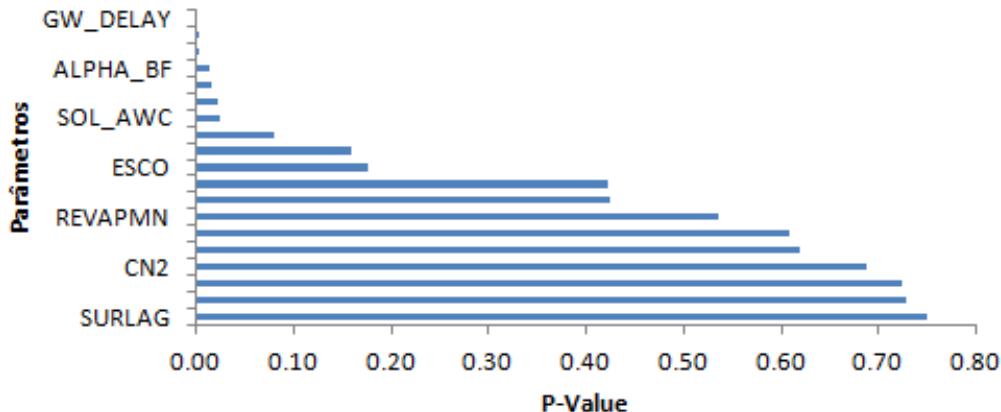


Figura 9: Parâmetros com maiores sensibilidades para a variável vazão.

Após realizada a análise de sensibilidade dos 19 parâmetros que influenciam a vazão, foram apontados pelo SWAT-CUP como sendo os parâmetros mais sensíveis ao processo de calibração da vazão para a bacia, como descritos na Tabela 02.

Tabela 02 – Parâmetros selecionados após a análise de sensibilidade do modelo SWAT

Parâmetro do SWAT	Descrição
Sol_Awc	Capacidade de água disponível (mm H ₂ O/mm solo)
CN2	Coeficiente de Manning do canal principal
Sol_K	Condutividade hidráulica saturada (mm/h)
Gw_Revap	Coeficiente de re-evaporação da água subterrânea
Slsubbsn	Comprimento da declividade média (m)
Canmx	Armazenamento máximo de água no dossel vegetativo (mm)
Gw_Delay	Retardo do escoamento subterrâneo
Gwqmn	Concentração de nitrato na água subterrânea contribuinte (mgN/L)
Sol_Z	Profundidade do solo (mm)
Alpha_Bf	Fator alfa do fluxo de base (dias)
CH_N2	Coeficiente de Manning do canal principal

Na análise da sensibilidade foram utilizados um total de 19 parâmetros. Além dos apresentados acima, foram avaliados ainda BIOMIX, CANMX, CH_K2, CH_N2, EPCO, GW_REVAP, GWQMN, RCHRG_DP, SLSUBBSN, SOL_ALB, SOL_K e SOL_Z, estes não tendo apresentado nenhuma relevância na calibração do modelo foram suprimidos do gráfico anterior. Após serem selecionados os parâmetros mais sensíveis ao ajuste da vazão para a bacia, os mesmos foram submetidos ao processo de autocalibração pelo SWAT-CUP, na busca de melhor ajustar a vazão calculada com a observada.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises preliminares mostraram uma inexatidão nas simulações com resultados pouco satisfatórios. As vazões observadas foram, mormente, superestimadas enquanto as mais baixas foram mais aproximadas, apesar disso, notou-se que os padrões de vazões foram semelhantes. Para uma melhor calibração, seriam precisos mais estudos da correlação entre chuva e vazão e localização dos postos de coleta de dados.

BIBLIOGRAFIA

ARNOLD, J. G.; MUTTIAH, R. S.; SRINIVASAN, R.; ALLEN, P. M. *Regional estimation of base flow and groundwater recharge in the Upper Mississippi river basin*. Journal of Hydrology, v.227, p.21-40, 2000.

ARROIO JUNIOR, P. P. *Avaliação da produção e transporte de sedimentos na Bacia Hidrográfica do Rio Itaqueri, Municípios de Itirapina e Brotas - SP*. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2013.

CASTRO, K. B. de. *Avaliação do modelo SWAT na simulação da vazão em bacia agrícola do cerrado intensamente monitorada*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília. Instituto de Geociências. Brasília, 2013.

CEMIG. Companhia Energética de Minas Gerais. *50 Anos de Três Marias*. Energia da Gente. Agosto/Setembro, Ano IX, N.º 91, 2012.

FU, C. JAMES. A. L. YAO, H. *SWAT-CS: revision and testing of Swat for Canadian Shield catchments*. Journal of Hydrology 511 (2014).

KUWAJIMA, J. I. *Análise do modelo SWAT como ferramenta de prevenção e de estimativa de assoreamento no Reservatório do Lobo (Itirapina/Brotas/SP)*. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2012.

NEITSCH, S. L. ARNOLD, J. R. KINIRY, J. R. WILLIAMS, J. J. *Soil and water assessment tool: theoretical documentation*. SERVICE, G-S A. W. R. L. - A. R. Texas, USA. 2005.

NEITSCH, S. ARNOLD, J. G. WILLIANS, J. R. *Soil and water assessment tool - user's manual: version 2000*. Temple: Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station, 2000.

PAGLIERO, L. et al *Large scale hydrological simulations using thw Soil Water Assessment Tool, Protocol development, and application in the Danube Basin*. Journal of Environmental Quality (2014).

PANHALKAR, S. S. *Hydrological modeling using SWAT model and geoinformatic techniques*. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences (2014).

STRAUCH, M. et al. *The impact of best management practices on simulated streamflow and sediment load in a Central Brazilian Catchment*, Journal of Environmental Management (2013).

TAVEIRA, I. M. L. DE M. *Avaliação de alternativas de uso do solo através da simulação hidrossedimentológica da bacia representativa de Sumé com o modelo SWAT*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande - PB. 2012.

VALDIVIESO-OÑATE, F. SENDRA, J. B. *Semidistributed hydrological model with scarce information: application to a large South American Binational Basin.*

WAGESHO, N. *Catchment dynamics and its impact on runoff generation: coupling watershed modelling and statistical analysis to detect catchment responses.* International Journal of Water Resources and Environmental Engineering (2014).