

APLICABILIDADE DO MODELO SWAT A UM SISTEMA HIDROLÓGICO COMPLEXO DE CLIMA SEMI-ÁRIDO

Antônio Alves Meira Neto,¹ Andrea Sousa Fontes², Yvonilde Dantas Pinto Medeiros³

RESUMO - Dentre as áreas de maior escassez hídrica no Brasil está aquela de clima semi-árido na região Nordeste do país. A bacia hidrográfica do Rio Salitre está totalmente inserida no estado da Bahia, em região de clima semi-árido e possui grande parte de seus cursos d'água em regime intermitente, além de ser precariamente monitorada. Modelos matemáticos vêm sendo utilizados com a tarefa de se melhor compreender os processos hídricos, para que estes possam assim serem melhor aproveitados. O modelo SWAT foi escolhido para a realização deste trabalho, devido à sua capacidade de simular o ciclo hidrológico em uma bacia hidrográfica de maneira distribuída, levando-se em conta os processos físicos nela existentes. O objetivo deste trabalho foi analisar a aplicabilidade do modelo SWAT à Bacia do Rio Salitre. Foram feitas análises tanto visuais quanto estatísticas para a comparação dos valores observados com aqueles gerados pelo modelo na sua calibração final, resultando em um bom desempenho para os períodos de calibração e validação. Chegou-se à conclusão que este pode ser utilizado para a Bacia do Rio Salitre e também em bacias complexas do semi-árido. Recomenda-se aprimorar a definição dos parâmetros de água subterrânea e utilizar métodos de calibração automática com análise de incerteza.

ABSTRACT --- Northeast region from Brazil is highly affected by water scarcity. Salitre river basin is located entirely in the Bahia state, in semi-arid region. Having most of its streams in an ephemeral regime, this basin is also poorly monitored. Modeling methods had been used as an approach in understanding hydrological processes, being part of decision support systems in water resources management. SWAT model had been chosen due to its capacity to simulate the hydrological cycle in a distributed way through a physical approach. The objective of this study was to assess the applicability of SWAT model of simulating the flow production in a complex semi-arid basin taking the Salitre river basin as an example. There were made both statistical and visual analysis in order to evaluate the model performance. Satisfactory results were found after a calibration/validation process. Further steps for this research are to include uncertainty analysis together with auto calibration processes. Also, groundwater characteristics of the basin should be acutely investigated.

Palavras-chave: : Modelagem hidrológica, recursos hídricos, semi-árido.

1 - INTRODUÇÃO E OBJETIVO

A água já é considerada como um fator limitante do crescimento dos países. Apenas citando um exemplo de sua importância, foi declarada pela Organização das Nações Unidas a década de 2005 a 2015 como a década da "Água para a Vida", com o objetivo de promover esforços internacionais para o enfrentamento de problemas relacionados à água (ONU, 2010).

1) Mestrando em Hidráulica e Saneamento. LHC / EESC-USP. E-mail: antoniomeira@usp.br

2) Professora Adjunto, UFRB – CETEC, Bahia E-mail: andreafontes@ufrb.edu.br

3) Professora Adjunto, UFBA – Escola Politécnica, Bahia E-mail: yvonild@ufba.br

No Brasil, dentre as regiões que enfrentam problemas de escassez hídrica, está a região Nordeste. Devido ao seu clima do tipo semi-árido, caracterizado por precipitações anuais totais baixas, rios intermitentes, fortes taxas de evapotranspiração, em função das altas temperaturas, somado a uma Litologia e Pedologia desfavoráveis para a manutenção de águas superficiais, esta região ainda enfrenta os problemas de ser uma das que mais carecem de desenvolvimento econômico no país, carência esta retratada por altos índices de desemprego, baixa renda per capita, entre outros indicadores, se comparada com outras regiões mais ricas do país.

A Bacia do Rio Salitre, localizada inteiramente no estado da Bahia é uma representante típica de um sistema hidrológico do semi-árido brasileiro. Além do mais, esta bacia encontra-se precariamente monitorada.

Os modelos hidrológicos são representações matemáticas, que através de conjuntos de equações buscam descrever o comportamento de uma bacia hidrográfica. Estes consistem em instrumentos tecnológicos de grande utilidade nos estudos sobre o comportamento de bacias hidrográficas, seja este comportamento referente a uma variável isolada do ciclo hidrológico ou a varias delas, em conjunto.

O modelo, escolhido para este estudo é o modelo SWAT, acrônimo para Soil and Water Assessment Tool, desenvolvido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) em parceria com a Universidade Texas A&M. Este modelo permite entre outras coisas a simulação da produção da vazão líquida de uma bacia hidrográfica em larga escala sendo ela monitorada ou não (NEITSCH et al. 2005).

Dentre as vantagens do modelo SWAT pode se destacar algumas de suas características. O fato de este ser um modelo físico, tendo, portanto, sua formulação baseada na descrição dos processos naturais, ao contrário de uma abordagem de regressão estatística entre valores observados e calculados, permite ao modelo uma representação mais próxima da realidade e também possibilita ao usuário a inserção de dados de entrada baseados na realidade física da bacia em estudo. O modelo SWAT é também distribuído, permitindo com isso a representação da variabilidade espacial das grandezas de influência nos processos que se desejam investigar.

Uma grande vantagem do modelo SWAT está na associação deste ao software de geoprocessamento ArcGIS, através da interface ArcSWAT, que permite uma maior rapidez na organização e definição dos dados de entrada, visualização por meio de cartas digitais do terreno das características físicas da bacia e também uma maior amigabilidade e compreensão do modelo.

No contexto de grande complexidade hídrica, característica de bacias hidrográficas da região semi-árida, somado à crescente necessidade de respostas efetivas quanto a quantidade de água disponível nos rios, para o atendimento as demandas de água aos diversos usos, foi escolhida a

bacia hidrográfica do rio Salitre, situada ao norte do estado da Bahia, para se testar a aplicação do modelo SWAT.

Este estudo tem como objetivo principal analisar a aplicabilidade deste modelo a um sistema hidrológico complexo de clima semi-árido precariamente monitorado.

3 – ÁREA DE ESTUDO

A Bacia Hidrográfica do Rio Salitre (BHS) é uma sub-bacia do Rio São Francisco, tendo segundo a codificação da ANA o número 47. A BHS está localizada entre as longitudes de 40°22' e 41°30' oeste, e latitudes 9°27' e 11°30' sul. Sua área, de 14.196 km² e perímetro, de 767 km estão totalmente inseridos no Estado da Bahia. Sendo limitada a leste pelas bacias do rio Itapicurú e do submédio São Francisco, a oeste pela bacia dos rios Jacaré/Verde e a sul pela bacia do rio Paraquacú, mais precisamente a sub-bacia do rio Jacuípe, a BHS pode ser dividida em três trechos: alto, médio e baixo Salitre como se vê na figura 4. (UFBA, 2003).

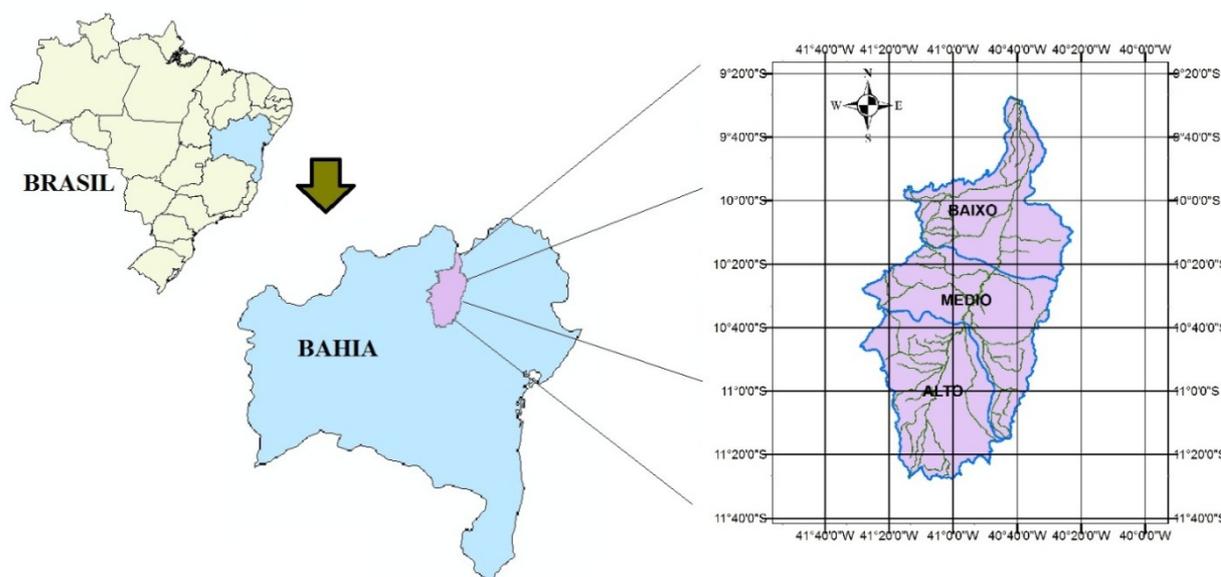


Figura 1: Localização da área de estudo

Conforme estudos anteriores realizados pelo PLANGIS (UFBA, 2003) a BHS encontra-se localizada numa região de clima tropical semi-árido sendo tipo climático caracterizado por uma curta estação chuvosa, com precipitação anual em torno de 500 mm distribuída de forma irregular e presença de longos períodos de estiagem. Associado a este tipo climático, têm-se a maioria dos cursos d'água secos ao longo do ano.

O curso principal, formado pelo rio Salitre, nasce na Boca da Madeira, no município de Morro do Chapéu, e escoar rumo ao norte, indo descarregar no Rio São Francisco, no município de Juazeiro, tendo uma extensão total de 333,24 km. Os principais afluentes do Rio Salitre são na sua margem direita os riachos da Conceição, Baixa do Sangrador, Vereda Caatinga do Moura, Riachão

e riacho das Piadas. Na margem esquerda, os principais afluentes são o riacho do Orlando, rio Morim, rio Preto, rio Pacuí e riacho do Escurial.

4 – MATERIAIS E MÉTODOS

Para a modelagem do trecho alto do rio Jacuípe foi utilizado o modelo matemático Soil and Water Assessment Tool – SWAT, desenvolvido no U.S. Department of Agriculture (USDA) – Agricultural Research Service (ARS) Grassland, Soil and Water Research Laboratory in Temple, Texas, visando auxiliar os gestores na avaliação das condições ambientais e tomada de decisões de gestão de recursos hídricos em grandes bacias hidrográficas (Arnold et al., 1998; Neitsch et al. 2005). Os processos representados pelo modelo são hidrologia, produção de sedimento, temperatura do solo, crescimento das plantas, nutrientes, pesticidas e manejo do solo.

O modelo SWAT é do tipo distribuído, e a bacia hidrográfica pode ser subdividida em sub-bacias de modo a refletir as diferenças de tipo de solo, cobertura vegetal, topografia e uso do solo. Cada sub-bacia pode ser parametrizada a partir de Unidades de Resposta Hidrológica (Hydrologic Response Units – HRU) que correspondem a um único valor de cobertura e tipo de solo. A produção de água em cada HRU é calculada com base na precipitação diária, escoamento superficial, evapotranspiração, percolação e o escoamento de retorno do aquífero raso.

Os principais dados de entrada no modelo foram o tipo e uso de solo e dados hidroclimatológicos, sendo utilizado como base de informação: (i) o trabalho realizado por Oliveira (2003), que utilizou dados do Projeto RADAM BRASIL (MME, 1981) e o Plano Diretor de Recursos Hídricos do Estado da Bahia (SRH, 1996 apud OLIVEIRA, 2003), obtendo-se os valores característicos dos solos Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico (Lld), Neossolo Solo Litólico Distrófico (Rd) e Cambissolo Eutrófico (Ce) e a cobertura vegetal, (ii) o modelo digital de terreno do USGS (GETOPO 30, SRTM no EROS DATA CENTER – USGS web site), (iii) os dados de clima das estações climatológicas de Morro do Chapéu, Petrolina e Jacobina obtidos no site do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (INMET, 2010), e (iv) banco de dados da Agência Nacional de Águas – ANA (ANA, 2010): dados pluviométricos de 24 estações e dados fluviométricos da estação de Abreus (código 4790000), a única ainda operante na bacia.

Para que as simulações sejam executadas, o modelo SWAT necessita de dados diários de precipitação, temperatura máxima e mínima, radiação solar, umidade relativa do ar e velocidade do vento. Como nem sempre é possível se obter tais informações para a área de estudo, como é o caso de bacias não monitoradas, o modelo pode gerar automaticamente esses valores com base em médias obtidas, por exemplo, através de análise de dados de estações climatológicas inseridas na bacia em estudo ou numa região com clima semelhante.

O gerador climático WXGEN, funciona com base em valores médios, e tem o objetivo de simular dados diários para variáveis faltantes e também preencher as falhas das séries de variáveis que foram medidas.

Para a entrada de dados referentes aos diferentes tipos de solo a serem considerados na bacia, o modelo requer uma série de informações, sendo que cada tipo de solo pode possuir até cinco camadas com distintas propriedades físicas.

No processo de calibração e validação do modelo SWAT são utilizados métodos gráficos e estatísticos para a avaliação da precisão dos dados gerados pelo modelo em comparação àqueles observados.

Estudos realizados sobre os métodos de avaliação do desempenho do modelo SWAT (MORIASI *et al.*, 2008) e também os trabalhos indicados na revisão bibliográfica indicaram o Coeficiente de Eficiência de Nash-Sutcliffe (COE) e a Tendência Percentual (PBIAS) como os testes estatísticos mais adequados.

O Coeficiente de Eficiência de Nash-Sutcliffe (COE) consiste na seguinte relação:

$$COE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Eo - Es)^2}{\sum_{i=1}^n (Eo - \bar{E})^2} \quad (1)$$

onde:

Eo = evento observado;

Es = evento simulado;

\bar{E} = média dos eventos observados no período de simulação

O Coeficiente de Eficiência de Nash-Sutcliffe (COE) é um coeficiente do campo da regressão linear padrão, ou seja, referente à proximidade de uma relação linear entre dados simulados e observados. O COE determina a magnitude relativa da variância relativa comparada à variância dos valores observados (NASH & SUTCLIFFE, 1970 apud MORIASI *et al.*, 2007). Os valores de COE variam entre $-\infty$ e 1, sendo a unidade o valor para o qual os dados simulados se adequam perfeitamente às observações. Valores entre 0 e 1 são geralmente tidos como aceitáveis (MORIASI *et al.*, 2008).

A Tendência Percentual (PBIAS) é um índice de erro, quantificando o desvio entre dados simulados e observados nas próprias unidades da variável em estudo (LEGATES & MCCABE, 1999 apud MORIASI *et al.*, 2007). O PBIAS indica a tendência média dos dados simulados serem maiores ou menores que os observados. Usando a mesma nomenclatura, temos a seguinte fórmula:

$$PBIAS(\%) = \frac{\sum (Eo - Es)}{\sum Eo} \cdot 100 \quad (2)$$

Para uma relação ótima tem-se PBIAS igual a zero sendo que valores de pequena magnitude indicam bons ajustes. Valores positivos indicam uma subestimação dos valores simulados enquanto

valores negativos indicam uma superestimação dos valores simulados (GUPTA *et al.*, 1999, apud. MORIASI *et al.*, 2007).

Ainda segundo estudo realizado por Moriasi *et al.* (2007) pode-se considerar para o modelo SWAT uma simulação como satisfatória quando se tem os valores de COE > 0.50 e PBIAS = \pm 25%. Estes serão, portanto, os valores de comparação utilizados neste trabalho.

Segundo o mesmo estudo, as análises gráficas dos resultados das simulações mais recomendadas são a elaboração das hidrógrafas simulada versus observada e também a comparação entre as curvas de permanência simuladas versus observadas, ambas serão utilizadas no presente estudo.

5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

No processo de calibração procurou-se levar em conta não só o conhecimento prévio das grandezas físicas para a Bacia do Rio Salitre, como também as informações colhidas em visita técnica. A principal informação utilizada neste trabalho, foi a constatação *in loco* de que o rio Pacuí é o principal contribuinte para as vazões registradas na estação de Abreus durante os períodos secos, uma vez que somente nos períodos de chuva há contribuição de toda a bacia.

Outra importante constatação diz respeito à presença do barramento no alto Salitre, no município de Ourolândia (Figura 2). Em visita à área de estudo feita pelos autores foi informado que nunca houve extravasamento pela seção de controle do mesmo, desde a sua construção, no início da década de 80 do século passado.

A partir dessas informações puderam ser geradas as sub-bacias pelo modelo, num total de 25. Na Figura 2 esta apresentada a sub-bacia correspondente ao rio Pacuí, a sub-bacia de número 2. Assim como a área de drenagem utilizada para a simulação, de área aproximadamente igual a 11.000 km², localizada entre a estação fluviométrica de Abreus e o barramento em Ourolândia.

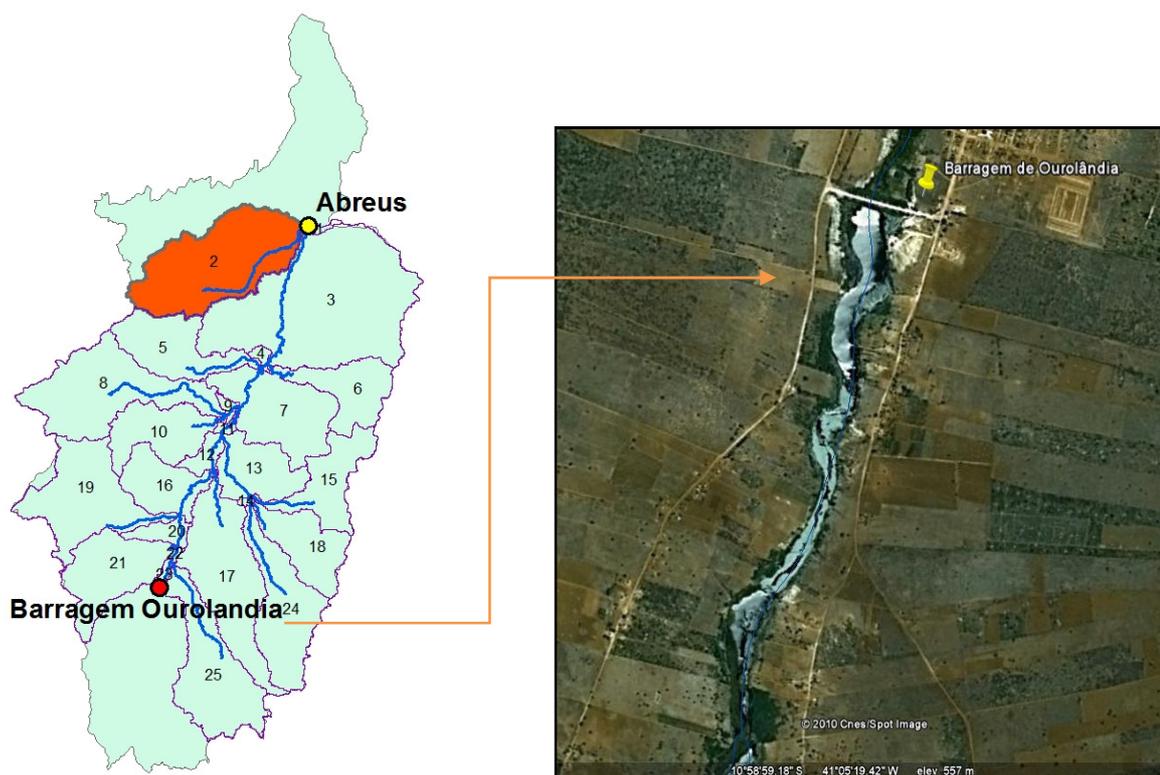


Figura 2- Divisão das sub-bacias para simulação. Em destaque a sub-bacia 2 e a imagem de satélite do barramento no município de Ourolandia (fonte: Google Earth)

Na seguinte tabela estão indicados os parâmetros que foram alterados, seus valores iniciais e os valores calibrados. As alterações foram feitas com base na modificação gradual dos parâmetros julgados como relevantes, dentro da faixa de variação recomendada pela documentação teórica do modelo. Após cada modificação dos parâmetros foi realizada uma comparação visual e estatística dos resultados obtidos pelo modelo para cada novo conjunto de parâmetros como com as vazões observadas, sucessivamente até se chegar ao ajuste final.

A sub-bacia 2 é a equivalente à área de contribuição do rio Pacuí. Os parâmetros ditos gerais são aqueles referentes ao curso principal do rio ou aqueles que se aplicam a toda a bacia hidrográfica.

Parâmetros Gerais

Parâmetro	<i>CH_K2</i>	<i>TRNSRCH</i>	<i>ESCO</i>
Valores Iniciais	0	0	0.95
Valores Finais	40	0.35	0.8

Parametros por sub-bacia

Parâmetro	<i>GWQMN</i>	<i>ALPHA_BF</i>	<i>RCHRG_DP</i>	<i>REVAPMN</i>	<i>GW_DELAY</i>
Valores Iniciais	0	0.048	0	1	31
Valores Gerais	5000	0.144	0	1	31

Tabela 1 - Escolha final dos valores para os parâmetros.

Onde:

CH_K2: Condutividade hidráulica do canal principal, (mm/hr)

TRSNRCH: Porcentagem das perdas do canal principal, que recarregam o aquífero profundo.

ESCO: Coeficiente de ajuste da capacidade evaporativa do solo.

SOL_K: Condutividade hidráulica do solo na saturação.

GWQMN: Valor da quantidade mínima de água no aquífero raso para que ocorra o escoamento de origem subterrânea.

RCHRG_DP: Porcentagem da água de percolação que recarrega o aquífero profundo.

GW_REVAP: Fator de controle de saída de água do aquífero raso para a zona das raízes.

REVAPMN: Valor mínimo de água no aquífero raso para que ocorra saída para a zona de raízes.

GW_DELAY: Tempo de percurso da água, entre o perfil do solo e o aquífero raso, (dias).

ALPHA_BF: Constante de recessão do escoamento de base, em dias.

O hidrograma do obtido através do processo descrito para a definição final dos parâmetros pode ser vista na Figura 3 onde a vazões simuladas são comparadas às observadas.

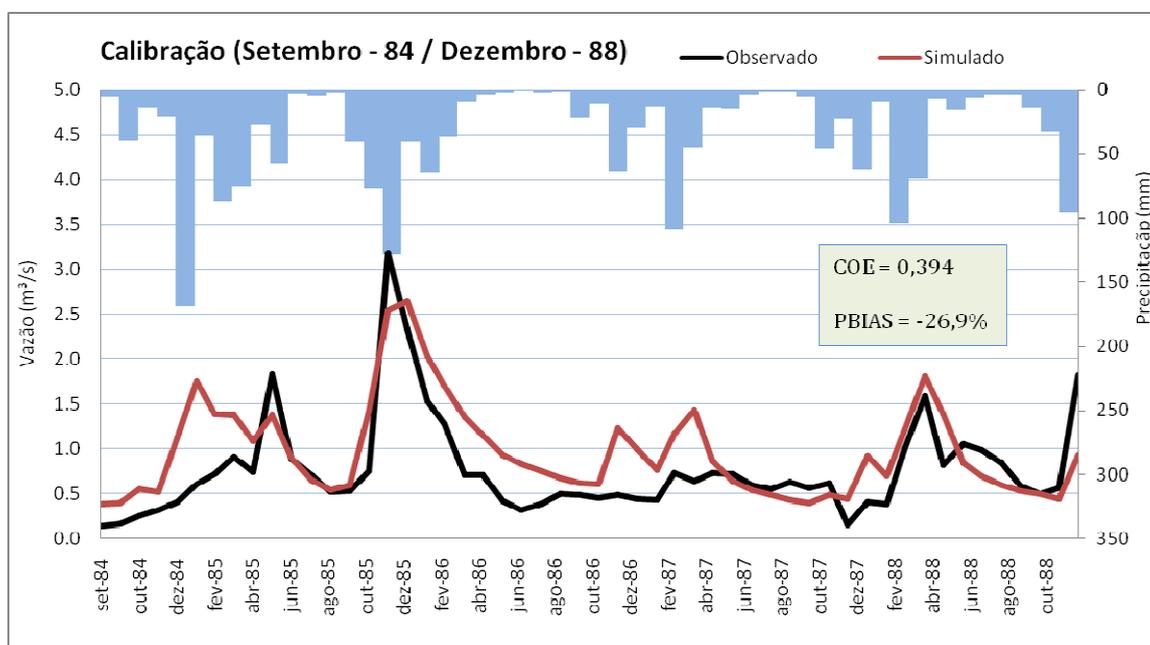


Figura 3 - Hidrogramas observado e simulado para o período de setembro de 1984 a dezembro de 1988.

Os valores referentes a toda a bacia, com exceção da sub-bacia 2, foram modificados com o intuito de se reduzir a contribuição dessas bacias para o escoamento de base, o que provocaria uma contribuição intermitente representando a dinâmica do fluxo de água pelo embasamento cárstico. Essa situação foi conseguida alterando-se os valores relacionados à água subterrânea, mais

precisamente aumentando-se a quantidade de água necessária para que ocorra contribuição da água subterrânea, através de valores altos para o parâmetro GWQMN. Visando uma maior compreensão da calibração proposta, uma situação hipotética foi simulada de forma a se excluir a contribuição de qualquer escoamento de base proveniente da sub-bacia 2. O resultado pode ser visto na Figura 4.

A escolha dos parâmetros finais da sub-bacia 2, foi feita com a finalidade de se prover um escoamento permanente através desta, o que resultou também na alteração de parâmetros relacionados à água subterrânea. O valor do parâmetro GWQMN escolhido apresenta um valor muito menor que aquele escolhido para o resto da bacia para que a contribuição subterrânea seja efetiva, representando a surgência de água que ocorre nesta área de drenagem, onde a água subterrânea brota em pontos onde o lençol freático é interceptado pela superfície do terreno, enquanto que o parâmetro GW_DELAY, referente à velocidade com que a água passa dos perfis de solo para o aquífero raso, foi aumentado, para se caracterizar uma recarga lenta deste, que por fim resultaria em valores de escoamento de base suaves ao longo do tempo. Os parâmetros GW_REVAP e REVAPMN, referentes à capacidade de retirada da água do aquífero raso pelos perfis de solo adjacentes foi ajustado com base na resposta final do hidrograma simulado em relação àquele observado. A Figura 4, resultante de uma simulação secundária, onde os valores de água subterrânea da sub-bacia 2 foram alterados para que seu comportamento fosse igual ao do resto da bacia, ilustra a importância das alterações específicas na sub-bacia em questão.

As demais alterações dos parâmetros foram feitas de forma a se obter uma resposta do modelo mais ajustada àquela observada, seguindo as recomendações do grupo que desenvolveu o modelo (SWAT, 2010b).

A análise visual do hidrograma permite constatar que o modelo, na sua calibração final produziu resultados próximos aos observados, com do período inicial utilizado na calibração, quando apresenta um pico de vazões não observado no primeiro semestre de 1984, novembro de 1986 e março de 1987.

A realização dos testes estatísticos retornou os valores de 0,394 para o coeficiente de eficiência, COE, valor considerado como aceitável (MORIASI *et al.*, 2008). O valor do PBIAS encontrado foi de -26,9%, estando portando um pouco fora da faixa de aceitação de $\pm 25\%$ descrita na literatura como satisfatória.

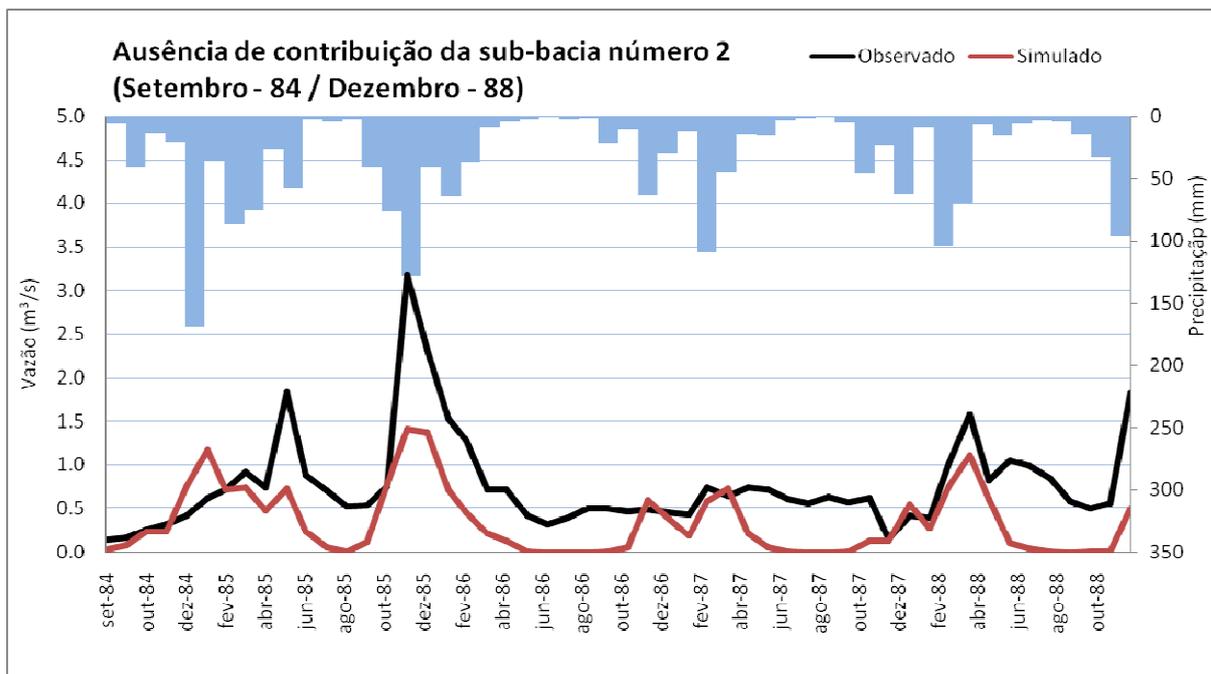


Figura 4 - Simulação excetuando-se a contribuição subterrânea da sub-bacia 2.

Para a validação do modelo foi utilizado o período de janeiro de 1989 a dezembro de 1991, representada na figura 5. Os valores dos parâmetros estatísticos obtidos para este ajuste foram 0,821 para o COE e -23% para o PBIAS, ambos considerados como satisfatórios pela literatura (MORIASI *et al.*, 2008).

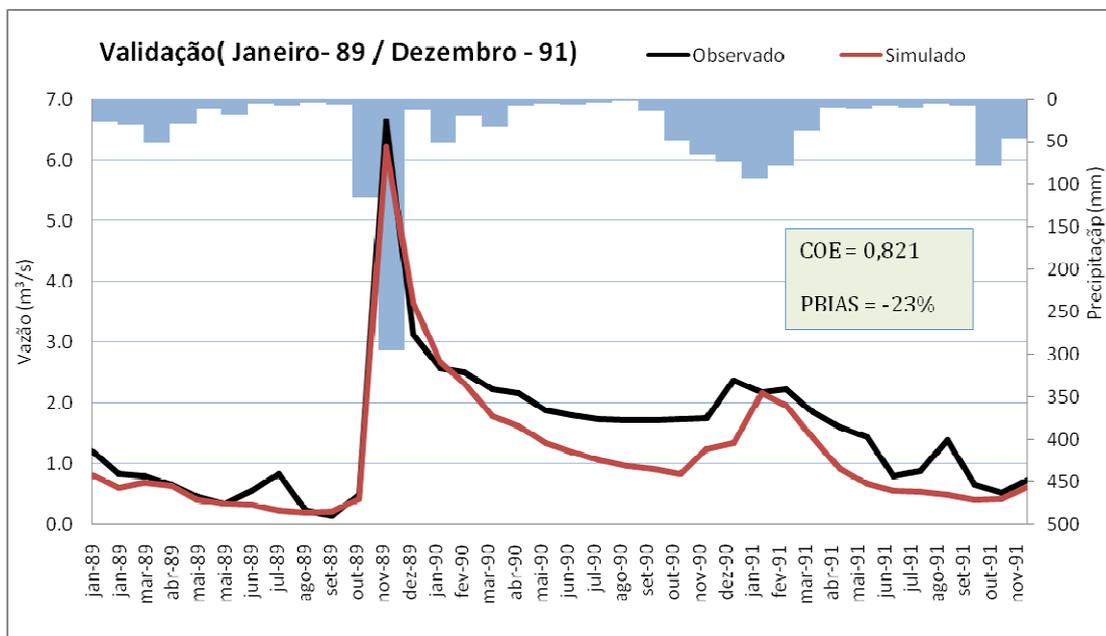


Figura 5 - Hidrogramas observado e simulado para o período de validação

Foram elaboradas as curvas de permanência de vazões para o período de calibração e de validação, representados na figura 6. Percebe-se o comportamento distinto do modelo, para ambos os períodos, predizendo vazões maiores para o período de calibração, como já podia ser observado

através da análise dos hidrogramas, sendo esta diferença mais acentuada para permanências entre 20 e 60%.

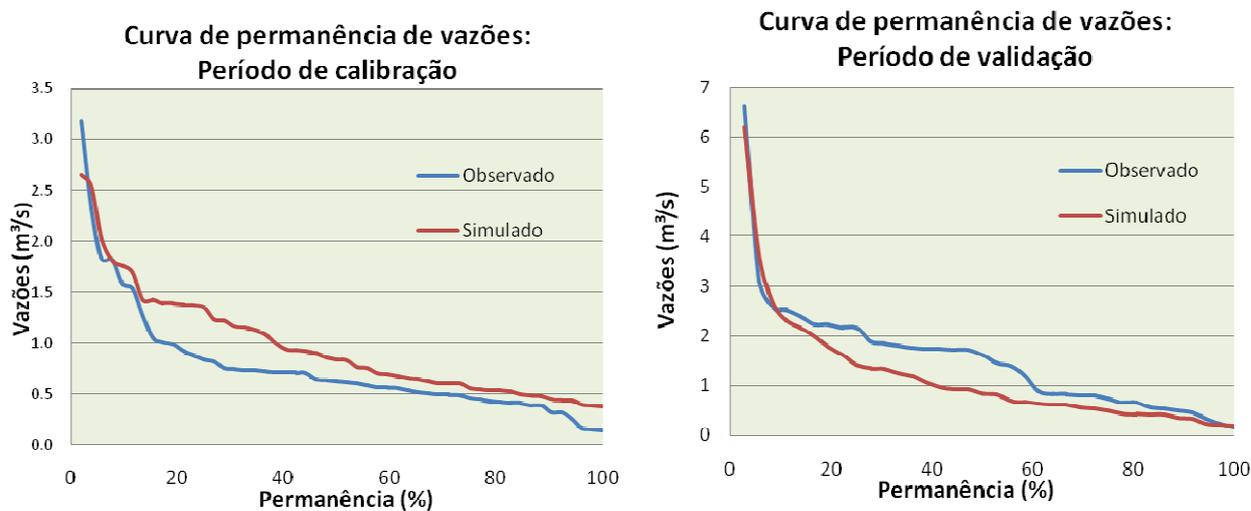


Figura 6 - Comparação entre curvas de permanência para calibração e validação

Entre as inúmeras causas existentes que podem originar as diferenças entre os hidrogramas, algumas podem ser citadas como prováveis responsáveis, como a quantidade e qualidade dos dados disponíveis. O conhecimento das interações entre água subterrânea e a rede fluvial e as limitações do modelo SWAT para representá-las podem também ser levantados como prováveis causadores de tais diferenças.

Considerando-se o tamanho da bacia e a quantidade de estações pluviométricas utilizadas, pode se afirmar que este número foi pequeno. Como se observou, de um total de 25 sub-bacias geradas pelo modelo, foram escolhidas 12 estações pluviométricas, sendo que várias sub-bacias tiveram suas séries de precipitação associadas às estações pluviométricas em comum, algumas destas com falhas consideráveis.

O período de calibração escolhido, resultante da disponibilidade de um período em comum de dados de precipitação, não foi grande o suficiente para que variações de comportamento do regime de vazões pudessem ser levadas em conta no processo de calibração. Como podemos observar na figura 4, percebe-se que os anos de 1990 e 1991 apresentam um comportamento médio diferente daquele para qual o modelo foi calibrado. Para o período de setembro de 1984 a dezembro de 1988 a vazão média foi de 0,77 m³/s, enquanto que para o período de janeiro de 1989 a dezembro de 1991 a vazão média registrada foi de 1,55 m³/s, ou seja, o dobro.

Outro aspecto relevante a ser considerado são as interações entre a água subterrânea e a rede fluvial na Bacia do Rio Salitre. Devido à falta de investigação a respeito dos regimes freáticos da região, regimes estes representado no modelo SWAT pelos parâmetros de água subterrânea, e

levando-se em consideração a importância desses parâmetros para o resultado final da calibração pode-se afirmar que esta escolha estava sujeita a inúmeras incertezas.

6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Entre as ferramentas desenvolvidas pelo homem para a maior compreensão e aproveitamento dos recursos hídricos está a modelagem hidrológica. Dentro da atual gama de modelos hidrológicos existentes estão aqueles fisicamente baseados e de características distribuídas, que asseguram uma maior representação da área de estudo.

O modelo SWAT (Soil & Water Assessment Tool) está dentre os modelos atualmente mais testados. Ele se utiliza de diversos dados de entrada procurando retratar a variabilidade espacial das grandezas físicas envolvidas nos processos hidrológicos, existindo uma versão do modelo associada à um software de geoprocessamento, o ArcSWAT para facilitar a organização e visualização dos dados de entrada.

A presente pesquisa procurou analisar a aplicabilidade do modelo SWAT a um sistema hidrológico complexo de clima semi-árido, tomando como a área de estudo a Bacia do Rio Salitre, inserida totalmente em território baiano. Os resultados mostraram que o modelo após a calibração, o modelo forneceu resultados aceitáveis para a produção de vazão, quando realizados os testes estatísticos e apreciação visual dos dados de saída. Para o período de validação do modelo os resultados se mostraram satisfatórios, tanto visualmente como estatisticamente.

Observando-se os inúmeros aspectos envolvidos nas dinâmicas da Bacia do Rio Salitre, um sistema intermitente, somado à escassez e qualidade dos dados disponíveis, a obtenção informações coletadas *in loco* se mostraram extremamente válidas para a definição dos parâmetros finais.

Devido à escassez de dados, não foi possível obter-se um período de calibração satisfatório, que envolvesse uma grande variabilidade do comportamento da bacia. Isso pode ter comprometido o processo de escolha dos parâmetros finais.

O modelo SWAT é um modelo complexo, que possui inúmeras rotinas de cálculo e relações para poder representar de forma mais física possível os processos que ocorrem numa bacia hidrográfica.

A escolha dos valores finais para os parâmetros calibrados realizada neste trabalho não foi baseada em informações consistentes para a bacia em questão. Resultados para parâmetros como CH_K, condutividade hidráulica do canal principal, foram obtidos para que os dados resultantes pudessem se assemelhar mais aos observados.

Não só a definição dos valores finais para os parâmetros calibrados, a seleção destes, em detrimento de outros, diante da grande variedade disponível pelo o modelo foi de certa forma

reduzida, uma vez que não havia informações suficientes que permitisse a inclusão de outros parâmetros na presente modelagem.

Entretanto, levando-se em conta a existência de milhares de combinações para os parâmetros de calibração que resultem numa resposta satisfatória, pode-se dizer que aquela encontrada para este trabalho representa uma tentativa de se produzir um resultado o mais realista possível, com base nas informações a que se teve acesso.

Levando-se em conta a complexidade não só das relações existentes na bacia do Rio Salitre como também aquela referente à formulação do modelo, pôde-se chegar à conclusão, ao final deste trabalho de que o modelo representou bem o comportamento da Bacia do Rio Salitre, e pode ser utilizado para a melhor compreensão de um sistema hidrológico complexo do clima semi-árido.

As seguintes recomendações têm como objetivo principal a solução dos problemas encontrados durante a modelagem feita neste trabalho, não se excetuando, portanto quaisquer outras contribuições que possam acrescentar informações sobre temas não discutidos neste trabalho.

Como foi apresentado, o modelo SWAT possui diversos parâmetros, sendo cada um destes representantes de processos componentes do ciclo hidrológico como um todo. Um maior entendimento dos processos de funcionamento do modelo é aconselhado, para que assim sejam considerados outros parâmetros para a calibração e também seja revista a validade daqueles utilizados até então.

Uma melhor compreensão do comportamento do escoamento subterrâneo na Bacia do Rio Salitre é recomendada, de forma que se possa aferir com mais precisão os valores dos parâmetros de água subterrânea, principalmente no que se refere à sub-bacia do rio Pacuí.

Soluções envolvendo auto-calibração são também recomendáveis, para que se possa testar um maior número de combinações entre valores de parâmetros, levando-se em consideração, é claro, intervalos realistas de variação dos mesmos. A grande quantidade de parâmetros do modelo SWAT é o fator principal para a recomendação da auto-calibração, uma vez que o número de rodadas de calibração quando se aumenta o número de parâmetros considerados cresce vertiginosamente, fazendo se necessário, portanto a utilização de processos computacionais mais eficientes.

Deve-se procurar associar ao processo de auto-calibração o conceito de incerteza. O que se fez neste trabalho foi a escolha de uma combinação de parâmetros que fizeram com que o resultado final fosse o mais correspondente à realidade observada. Sabe-se, porém, como foi comentado, que todas as variáveis envolvidas estão sujeitas a incertezas, e que a obtenção de uma única combinação de valores finais é algo com muita precisão para um processo sujeito a tantas imprecisões. Trabalhar com faixas de variações para os parâmetros finais dentro de um nível de confiabilidade seria algo a ser considerado.

Por último deve-se procurar entender melhor a parcela de contribuição de cada sub-bacia para a produção da vazão, processo que está intimamente ligado à associação de cada uma destas à uma estação pluviométrica. Uma vez que a precipitação é o principal valor de entrada do modelo, a escolha das estações para cada sub-bacia realizada neste trabalho pode não ter sido aquela de melhor representatividade. A verificação de possíveis alterações nessas associações é recomendada.

BIBLIOGRAFIA

ANA, Agência Nacional de Águas, 2010, HIDROWEB - Sistema de Informações Hidrológicas. Disponível em <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em Outubro de 2010.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. 2010. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/>>.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). 1981. **Projeto RADAM BRASIL**. Folha SD 24. Salvador.

MORIASI, D. N. *et al.* 2007. **Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations**. Transactions of the ASABE, St. Joseph, v. 50, n. 3, p. 885-900.

NEITSCH S. L. *et al.* 2005. **Soil and Water Assessment Tool – Theoretical Documentation: Version 2005**. Temple: Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station. 494 p.

NEITSCH S. L. *et al.* 2010. **Soil and Water Assessment Tool Input/Output File Documentation Version 2009**. Texas Water Resources Institute Technical Report No. 365. College Station: Texas A&M University System. 620 p.

OLIVEIRA, R. C. **Avaliação do Balanço Disponibilidade Hídrica x Demanda da Bacia Hidrográfica do Rio Salitre, Utilizando como Ferramenta o Modelo Hidrológico Soil and Water Assessment Tool – SWAT, Aplicado a um Sistema de Informação Geográfica – SIG**. Salvador, Universidade Federal da Bahia, 2003. 60 p., Monografia. Curso de Especialização Instrumentos de Suporte ao Gerenciamento dos Recursos Hídricos. Salvador, 2003.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, ONU. **International Decade for Action, Water for Life, 2005-2015**. 2010. Disponível em: <<http://www.un.org/waterforlifedecade>> Acesso em: 20 nov. 2010.

SWAT. 2010. **SWAT Official Website**, Disponível em: <<http://swatmodel.tamu.edu>>.

SWAT. 2010b. **SWAT Calibration Techniques**, Disponível em: <http://swatmodel.tamu.edu/media/1315/swat-calibration-techniques_slides.pdf>.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA (UFBA). 2003. **Plano de Gerenciamento Integrado da Bacia do Salitre**. Projeto de Gerenciamento Integrado das Atividades Desenvolvidas em Terras do São Francisco. ANA, GEF, PNUMA, Brasília.