



## Modelagem hidrológica via SMAP para estimativa de vazões mensais na bacia do rio Piancó

### *Hydrological modelling using SMAP for estimating monthly streamflows in Piancó river basin*

Francisco Miquéias Sousa Nunes<sup>1\*</sup>; Camilo Allyson Simões de Farias<sup>2</sup>; Wanessa Alves Martins<sup>3</sup>; Rosângela Nóbrega Almeida<sup>4</sup>; José Cleidimário Araújo Leite<sup>5</sup>

**RESUMO** - Nesse trabalho, apresenta-se um estudo sobre a calibração e validação do modelo SMAP para simulação de vazões mensais na bacia do rio Piancó, localizada no estado da Paraíba. Para calibração e validação do modelo, classificado como conceitual, concentrado e determinístico, utilizaram-se dados de chuva, evaporação potencial e vazões médias mensais do período compreendido entre 1964 e 1988. Os parâmetros do modelo foram calibrados automaticamente por meio de algoritmos genéticos. Os resultados do coeficiente *Nash-Sutcliffe* entre vazões calculadas e observadas foram considerados aceitáveis, com valores iguais a 0,73 e 0,69 para os conjuntos de dados de calibração e validação, respectivamente. Espera-se que esse estudo sirva de apoio para um melhor manejo das águas na bacia hidrográfica do rio Piancó.

**Palavras chave:** Calibração automática, modelo chuva-vazão, algoritmos genéticos.

**ABSTRACT** – In this paper, we present a study about the calibration and validation of the Soil Moisture Accounting Procedure (SMAP) for simulating monthly streamflows in *Piancó* river basin, which is located in the state of Paraíba, Brazil. In order to calibrate and validate the SMAP, which is a conceptual, lumped and deterministic model, it was used rainfall, potential evaporation and average monthly streamflows data from 1964 to 1988. The model parameters were automatically calibrated by using genetic algorithms. The results of the *Nash-Sutcliffe* coefficient between calculated and observed streamflows were considered acceptable, with values of 0.73 and 0.69 for calibration and validation data sets, respectively. We expected that this study might serve as a support for a better water resources management in *Piancó* river basin.

**Keywords:** Automatic calibration, rainfall-runoff model, genetic algorithm.

---

\*Autor para correspondência

Recebido em 02/06/2014 e aceito em 28/09/2014

<sup>1</sup> Graduado em Engenharia Ambiental, Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia Ambiental - CCTA/UFCG, *Campus* de Pombal – PB, Rua Jário Vieira Feitosa, n.º 1770, Bairro dos Pereiros, CEP: 58.840.000. E-mail: miqueias2103\_@hotmail.com

<sup>2</sup> D. Eng., Professor Adjunto III, Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia Ambiental - CCTA/UFCG, *Campus* de Pombal – PB, Rua Jário Vieira Feitosa, n.º 1770, Bairro dos Pereiros, CEP: 58.840.000. E-mail: camilo@ccta.ufcg.edu.br

<sup>3</sup> Graduada em Engenharia Ambiental, Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia Ambiental - CCTA/UFCG, *Campus* de Pombal – PB, Rua Jário Vieira Feitosa, n.º 1770, Bairro dos Pereiros, CEP: 58.840.000. E-mail: wanessa\_ufcg@hotmail.com

<sup>4</sup> Graduada em Engenharia Ambiental, Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia Ambiental - CCTA/UFCG, *Campus* de Pombal – PB, Rua Jário Vieira Feitosa, n.º 1770, Bairro dos Pereiros, CEP: 58.840.000. E-mail: rosangela\_ufcg@hotmail.com

<sup>5</sup> D. Eng., Professor Adjunto III, Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia Ambiental - CCTA/UFCG, *Campus* de Pombal – PB, Rua Jário Vieira Feitosa, n.º 1770, Bairro dos Pereiros, CEP: 58.840.000. E-mail: cleidimario@ccta.ufcg.edu.br

## INTRODUÇÃO

Segundo Henkes (2002), a gestão dos recursos hídricos tem-se destacado em virtude da falta de água e da degradação dos mananciais em quase todas as partes do planeta Terra.

A maneira como os recursos hídricos estão sendo explorados, utilizados e descartados pela humanidade é incompatível com a capacidade de recuperação da natureza, causando situações de escassez e/ou prejuízo na sua qualidade (REIS, 2014).

Apesar do Brasil possuir um dos maiores potenciais hídricos do nosso mundo, o que corresponde a aproximadamente 12% da água doce existente no planeta, é um país em que se observa sérios problemas em relação à distribuição de água, apresentando escassez ou excesso desse recurso em algumas regiões e/ou estações (BICUDO et al., 2010). A maioria desses problemas é também decorrente da intensa e diversificada exploração dos recursos hídricos, que não têm o seu devido planejamento e gerenciamento.

Na bacia hidrográfica do rio Piancó, que está situada no semiárido paraibano, encontra-se uma das mais importantes reservas hídricas do estado da Paraíba, os reservatórios Coremas e Mãe D'água (RODRIGUES, 2007).

Segundo Carneiro & Farias (2013), a região semiárida paraibana é caracterizada por altas taxas de evaporação, baixa pluviometria e distribuição irregular de chuvas no espaço e tempo. Além disso, conforme descreve Lima (2004), é uma área com pouca disponibilidade de água subterrânea, uma vez que o seu subsolo é basicamente composto por formações cristalinas.

O SMAP, que vem do inglês *Soil Moisture Accounting Procedure* (Lopes et al., 1982), é um modelo determinístico de simulação e serve para representar a transformação de chuva em vazão. Para que haja a sua calibração, são necessários dados de chuva, evaporação potencial e vazões médias de um determinado período. Este modelo foi inicialmente desenvolvido para espaços de tempo diários e em seguida adaptado, com algumas alterações em sua estrutura, para versões mensais e horárias. A principal finalidade do SMAP é representar o armazenamento e os fluxos de água por meio do balanço de umidade em dois reservatórios lineares, que representam o solo e o subsolo. Para o funcionamento do modelo, alguns parâmetros de calibração e funções de transferência são utilizados (Chagas et al., 2009).

Em função do aumento das demandas e de situações de estresse hídrico na bacia hidrográfica do rio Piancó, tem-se identificado potenciais conflitos pelo uso da água, fazendo com que seja imprescindível e imediata a evolução de estudos sobre as disponibilidades hídricas existentes e de um planejamento para o futuro.

Considerando essa carência, buscou-se calibrar e aplicar o modelo SMAP para simulação hidrológica de vazões mensais no rio Piancó, na expectativa de que seja

possível alcançar uma melhor compreensão sobre o potencial de uso de suas águas.

## MATERIAL E MÉTODOS

A região de estudo é a bacia hidrográfica do rio Piancó, uma sub-bacia que faz parte da bacia hidrográfica do rio Piranhas-Açu e que se encontra localizada no extremo sudoeste da Paraíba, completamente inserida na mesorregião do sertão paraibano. A bacia possui uma área igual a 9.242,76 km<sup>2</sup> e abriga 271.255 habitantes (PERH/PB, 2006).

Na bacia do rio Piancó há pouca disponibilidade de água subterrânea, pois os solos são, em sua maioria, de formações cristalinas. É uma área que apresenta temperaturas e precipitações médias anuais iguais a 26°C e 821 mm, respectivamente. Do total precipitado, cerca de 60% se encontra concentrado nos meses de fevereiro a abril, período com o maior índice de chuvas. A evaporação potencial anual é cerca de 2300 mm, com os maiores índices mensais nos meses de setembro a dezembro (LIMA, 2004).

Na TAB.1 apresentam-se os principais parâmetros fisiográficos que caracterizam a bacia hidrográfica do rio Piancó.

**Tabela 1:** Características fisiográficas da bacia do rio Piancó.

Área de Drenagem	9.232,50 km <sup>2</sup>
Coefficiente de Compacidade	1,63
Densidade de Drenagem	0,43 km/km <sup>2</sup>
Fator de Forma	0,39
Perímetro	560,50 km

Fonte: Lourenço (2012)

Segundo Lourenço (2012), na bacia hidrográfica do rio Piancó encontra-se uma vegetação natural, do bioma Caatinga, e, caso a mesma não seja explorada de forma racional, podem ser desencadeados processos de assoreamento de rios e reservatórios.

De acordo com o Plano Diretor de Recursos Hídricos do estado da Paraíba – PDRH/PB (SCIENTEC, 1997), a bacia do rio Piancó é constituída por cerca de 1.336 açudes, sendo que 90,6% são classificados como pequenos reservatórios. Nessa bacia encontra-se a maior reserva hídrica do estado da Paraíba, os açudes Coremas e Mãe D'água, que juntos possuem uma capacidade de 1.358.000 m<sup>3</sup> de água. Na FIG.1 apresenta-se uma ilustração com a localização da bacia hidrográfica do rio Piancó.

### Modelo SMAP

O modelo SMAP é um modelo de simulação hidrológica para transformação de chuva em vazão. A estrutura para esse estudo é a versão mensal, conforme pode ser vista na FIG. 2.

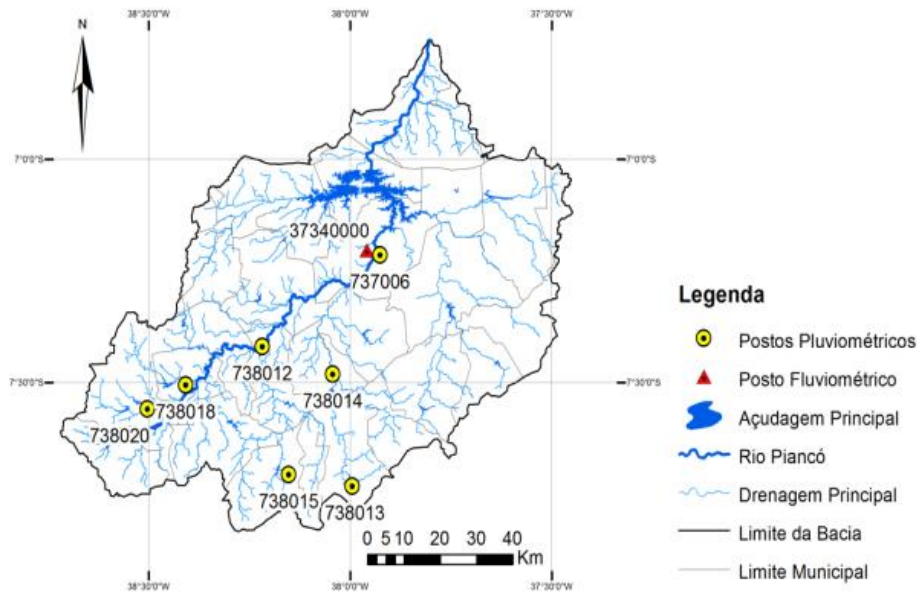


Figura 1: Localização da bacia hidrográfica do rio Piancó.

Fonte: Lourenço (2012)

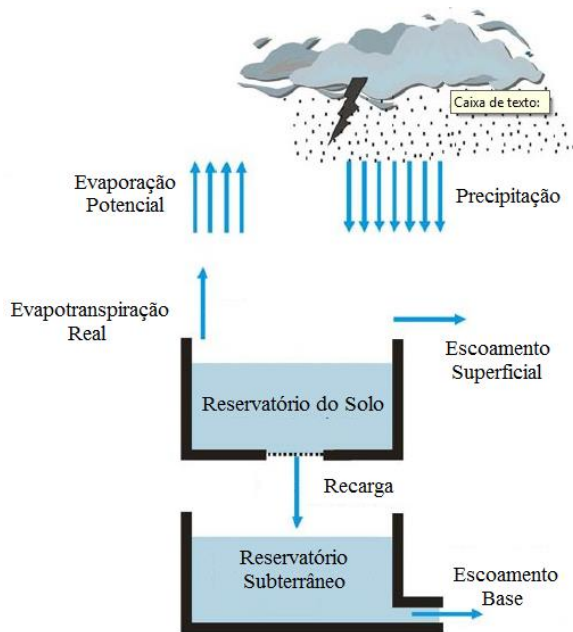


Figura 2: Estrutura do modelo SMAP na versão mensal

Fonte: Adaptado de Buchianeri (2004)

As equações de balanço hídrico que regem esse modelo são:

$$R_{solo}(i+1) = R_{solo}(i) + P(i) - Es(i) - Er(i) - Rec(i) \quad (1)$$

$$R_{sub}(i+1) = R_{sub}(i) + Rec(i) - Eb(i) \quad (2)$$

em que  $R_{solo}(i)$  é o volume de água acumulado no reservatório do solo no mês  $i$ , em mm;  $R_{sub}(i)$  é o volume de água acumulado no reservatório subterrâneo no mês  $i$ , em mm;  $P(i)$  é a precipitação média na bacia no mês  $i$ , em mm;  $E_s(i)$  é a lâmina de escoamento superficial no trecho do rio no mês  $i$ , em mm;  $E_r(i)$  é a

evapotranspiração real na bacia no mês  $i$ , em mm;  $Rec(i)$  é recarga transferida do reservatório do solo para o reservatório subterrâneo no mês  $i$ , em mm; e  $E_b(i)$  é o escoamento de base no mês  $i$ , em mm.

A inicialização e as funções de transferência de água entre os reservatórios são definidas como:

$$R_{solo}(0) = T_{uin} \cdot Str \quad (3)$$

$$R_{sub}(0) = \frac{E_{bin} \cdot 2630}{A_d \cdot (1 - 0,5^{1/k})} \quad (4)$$

$$Es(i) = T_u(i)^{Pes} \cdot P(i) \quad (5)$$

$$Er(i) = T_u(i-1) \cdot Ep(i) \quad (6)$$

$$Rec(i) = C_{rec} \cdot T_u(i-1)^4 \cdot R_{solo}(i-1) \quad (7)$$

$$Eb(i) = (1 - 0,5^{1/k}) \cdot R_{sub}(i-1) \quad (8)$$

$$T_u(i) = \frac{R_{solo}(i)}{Str} \quad (9)$$

em que  $T_{uin}$  é a taxa de umidade inicial do solo, adimensional;  $E_{bin}$  é a vazão básica inicial, em  $m^3/s$ ;  $A_d$  é a área de drenagem da bacia, em  $km^2$ ;  $Ep(i)$  é a evaporação potencial na bacia no mês  $i$ , em mm; e  $T_u(i)$  é o teor de umidade no mês  $i$ , adimensional.

Os quatro parâmetros ajustáveis do modelo foram: a capacidade de saturação do solo ( $Str$ ), em mm; o parâmetro de escoamento superficial ( $Pes$ ), adimensional; o coeficiente de recarga do reservatório subterrâneo ( $C_{rec}$ ), adimensional; e a constante de recessão ( $k$ ), em  $mes^{-1}$ .

O cálculo da vazão  $Q(i)$  no mês  $i$ , dada em  $m^3/s$ , é realizado por meio da Equação (10).

$$Q(i) = \frac{[Es(i) + Eb(i)] \cdot A_d}{2630} \quad (10)$$

O modelo SMAP desse estudo foi implementado no MATLAB R2012a.

### Calibração do modelo SMAP

Para a presente pesquisa foram utilizados dados de oito postos hidrológicos inseridos na bacia hidrográfica do rio Piancó, sendo um fluviométrico e sete pluviométricos. Os dados foram coletados a partir do *website HidroWeb*, pertencente à Agência Nacional de Águas (ANA, 2014), e junto à Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESAs, 2014). Na TAB. 2 estão inseridos os respectivos postos com seus códigos de localização.

**Tabela 2:** Postos e códigos de localização

Tipo	Nome	Código
Fluviométrico	Piancó	37340000
Pluviométrico	Conceição	738020
	Ibiara	738018
	Nova Olinda	738014
	Princesa Isabel	738013
	Piancó	737006
	Boa Ventura	738012
	Manáfra	738015

Fonte: Autoria própria (2014)

Os dados de evaporação potencial para bacia do rio Piancó, adquiridos a partir de tanque classe A, foram obtidos em SCIENTEC (1997).

As principais vantagens do modelo SMAP estão associadas à sua simplicidade e à pequena quantidade de parâmetros a serem utilizados. Dos seis parâmetros do modelo, dois são considerados fixos, com estimativas fundamentadas em processos físicos. Os quatro restantes são parâmetros calibráveis com base nas séries históricas de precipitação, evaporação potencial e vazão.

Nesse estudo, os parâmetros do modelo SMAP foram calibrados por meio de algoritmos genéticos (AG), em que se considerou a maximização do coeficiente de *NASH* (Nash & Sutcliffe, 1970), dado pela Equação (11).

$$NASH = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N [Q_{obs}(i) - Q_{cal}(i)]^2}{\sum_{i=1}^N [Q_{obs}(i) - \bar{Q}_{obs}]^2} \quad (11)$$

em que  $Q_{obs}(i)$  é a vazão observada no mês  $i$ , em  $m^3/s$ ;  $Q_{cal}(i)$  é a vazão calculada pelo modelo SMAP no mês  $i$ , em  $m^3/s$ ; e  $\bar{Q}_{obs}$  é a vazão média observada, em  $m^3/s$ .

Os AG são modelos fundamentados na estrutura de seleção natural e foram propostos por Goldberg (1989). Nesse estudo utilizou-se o modelo de algoritmos genéticos que faz parte do *Global Optimization Toolbox* do MATLAB.

O procedimento de calibração dos parâmetros foi realizado por 10 vezes a fim de se diminuir as chances das soluções serem mínimos locais. O conjunto de parâmetros

que forneceu o maior valor na equação do *NASH* dentre os 10 procedimentos de calibração, foi o selecionado.

A população inicial (fixa durante as gerações) do AG desenvolvido foi definida como 100 indivíduos e adotou-se a estratégia de elitismo em 2% da população para evitar a perda das melhores soluções durante cada procedimento. As soluções restantes eram submetidas a transformações do tipo *crossover* e mutação, com frações de 80% e 20% da população, respectivamente. As calibrações tinham como limite de parada o número de 100 gerações.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para calibração e validação dos modelos, utilizaram-se dados de chuva, vazão e evaporação potencial de outubro de 1964 a dezembro de 1984 e de janeiro de 1985 a dezembro de 1988, respectivamente.

O mês inicial do conjunto de dados de calibração foi estrategicamente escolhido em uma estação seca, em que não houve vazão no rio Piancó, possibilitando assumir os valores de  $E_{bin}$  e  $T_{uin}$  como sendo iguais a zero.

O comportamento do modelo SMAP foi avaliado por meio dos coeficientes de correlação ( $R$ ), viés relativo ( $VR$ ) e *NASH*. As equações para os cálculos desses coeficientes podem ser localizadas em Lettenmaier & Wood (1993).

A correlação avalia o grau de dependência linear entre os valores calculados e observados. Já o viés relativo é uma medida de erro sistemático usada para indicar uma tendência de subestimação ou superestimação da previsão. O *NASH* é um coeficiente que expressa a aderência entre valores calculados e observados, considerando tanto erros sistemáticos como randômicos (NASH & SUTCLIFFE, 1970; LETTENMAIER & WOOD, 1993).

Na TAB. 3 encontram-se os resultados da calibração dos parâmetros do modelo SMAP.

**Tabela 3:** Parâmetros calibrados do modelo SMAP

$C_{rec}$	$k$ ( $mês^{-1}$ )	$Str$ (mm)	$Pes$
0,00	5,98	1371,33	1,77

Fonte: Autoria própria (2014)

Ao analisar os resultados obtidos para os parâmetros do modelo SMAP, observa-se uma baixa capacidade de saturação do solo (1371,33 mm) e um valor do coeficiente de recarga do reservatório subterrâneo igual a zero, indicando que não há recarga a partir do reservatório do solo. Diante disso, as vazões estimadas por esse modelo são somente decorrentes do escoamento superficial. Conforme descrições encontradas nos estudos de Lima (2004) e Carneiro & Farias (2013), esse resultado é coerente com a condição intermitente do rio Piancó, que é influenciada pela predominância de uma geologia com formações cristalinas e baixa disponibilidade de água subterrânea.

Na TAB. 4 é possível observar os resultados das métricas de avaliação para calibração e validação do modelo SMAP.



**Tabela 4:** Resultados obtidos para o SMAP

Conjunto de dados	Índice	SMAP
Calibração	<i>NASH</i>	0,73
	<i>R</i>	0,86
	<i>VR</i>	29,09%
Validação	<i>NASH</i>	0,69
	<i>R</i>	0,91
	<i>VR</i>	-22,33%

Fonte: Autoria própria (2014)

Nas FIGS 3 e 4 mostram-se os hidrogramas das vazões observadas e calculadas pelo modelo SMAP para os dados de calibração e validação, respectivamente.

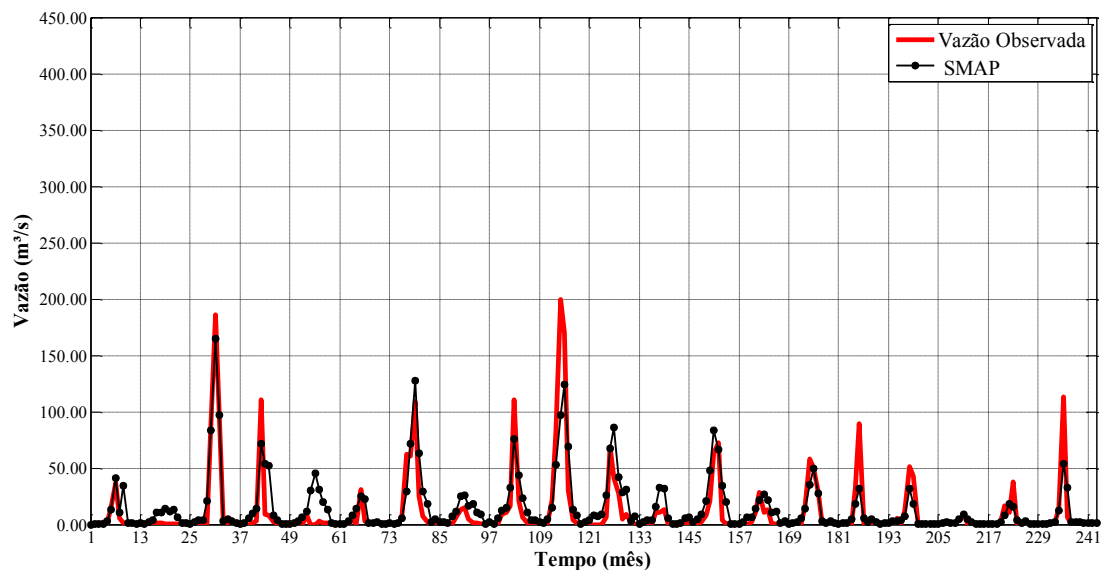
De acordo com Collischonn (2001), o desempenho de um modelo é eficaz se o valor de *NASH* superar 0,75, sendo que é considerado aceitável quando este valor fica entre 0,36 e 0,75. Como pode ser visto na TAB. 4, os valores de *NASH* da calibração e validação foram iguais a 0,73 e 0,69, respectivamente, o que indica que tais valores são aceitáveis. Oliveira et al. (2014), ao comparar o desempenho de modelos de redes neurais artificiais com o SMAP para simulação de vazões mensais na bacia do rio Ijuí, no estado do Rio Grande do Sul, obtiveram um *NASH* similar para o modelo SMAP, com valor igual a 0,67. Viola et al. (2009) aplicaram o modelo hidrológico semi-conceitual LASH a uma sub-bacia hidrográfica do baixo rio Araguaia, no estado de

Tocantins, e alcançaram resultados semelhantes para simulação diárias de vazões, com coeficiente de *NASH* para calibração e validação iguais a 0,74 e 0,75, respectivamente.

Ao analisar as FIGS 3 e 4, percebe-se uma significativa aderência entre as vazões calculadas e observadas, principalmente nos picos dos hidrogramas. Os valores de correlação se apresentaram altos ( $R \geq 0,86$ ) tanto na calibração como na validação. Ao averiguar os resultados de viés relativo, verificou-se uma superestimação do modelo de 29,09% na calibração e uma subestimação de -22,33% na validação.

Com base na análise dos dados apresentados na Tabela 4 e nos hidrogramas apresentados nas FIGS 3 e 4, é possível considerar que o modelo SMAP tem boa representatividade na estimativa das vazões na bacia hidrográfica do rio Piancó.

É importante destacar a estimativa do modelo SMAP para alcançar o maior pico de vazão observado no conjunto de dados de validação (FIG. 4). A subestimação desse valor se justifica pelo fato de não ter existido nenhuma vazão dessa magnitude (cerca de 400 m<sup>3</sup>/s) no conjunto de dados de calibração (FIG. 3), impondo-se ao modelo calibrado uma situação totalmente nova e, conseqüentemente, limitante. Acredita-se que esse problema possa ser superado à medida que se tenham mais dados disponíveis para calibração do SMAP.



**Figura 3:** Hidrogramas de vazões observadas e calculadas para os dados de calibração (10/1964 à 12/1984)

Fonte: Nunes et al., 2014

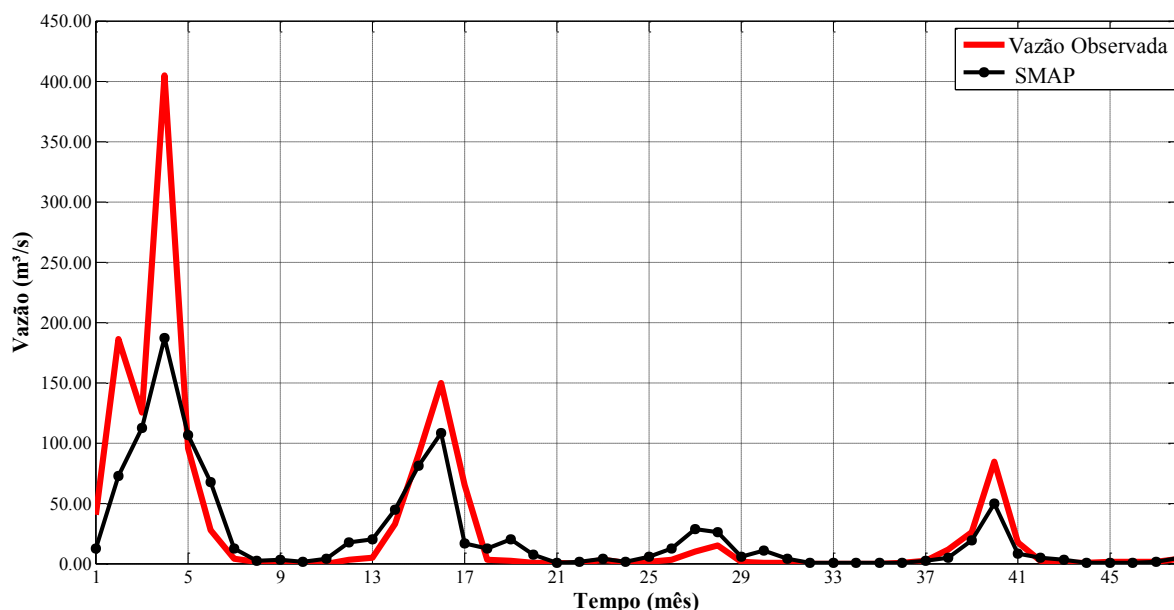


Figura 4: Hidrogramas de vazões observadas e calculadas para os dados de validação (01/1985 à 12/1988).

Fonte: Nunes et al., 2014

## CONCLUSÕES

Nesse trabalho avaliou-se o potencial do modelo SMAP para estimativa de vazões na bacia hidrográfica do rio Piancó, localizada no estado da Paraíba, Brasil. Para calibração do modelo, foram levantados dados de precipitação, evaporação potencial e vazão junto à AESA, ao sistema *HydroWeb* da ANA e com base em consultas a trabalhos científicos da área.

A partir da calibração do SMAP, percebeu-se que foi possível representar de forma confiável as condições de intermitência do rio Piancó, uma vez que permitiu um melhor entendimento dos seus armazenamentos e fluxos de água.

Ao considerar a aplicação do SMAP calibrado para estimativa de vazões mensais, utilizando um conjunto de dados totalmente independente dos dados da calibração, pôde-se concluir que esse tipo de modelagem possui boa qualidade e que poderia servir de apoio para um melhor manejo das águas na região do rio Piancó.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Disponível em <<http://www.aesa.pb.gov.br>>. 15 Maio. 2014.
- ANA - Agência Nacional de Águas. 2012 Disponível em <<http://www.ana.gov.br>>. 15 Maio. 2014.
- BICUDO, C. E. DE M.; TUNDISI, J. G.; SCHEUENSTUHL, M. C. B. **Águas do Brasil: análises estratégicas**. São Paulo - SP: Instituto de Botânica. p. 224, 2010.
- BUCHIANERI, V. C. **Geração da série histórica de vazão por meio do modelo SMAP: subsídio para o plano de manejo da bacia do rio grande de Ubatuba**. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – USP, São Paulo - SP, 2004.
- CARNEIRO, T. C.; FARIAS, C. A. S. **Otimização estocástica implícita e redes neurais artificiais para auxílio na operação mensal dos reservatórios Coremas - Mãe D' água**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 18, p. 115-124, 2013.
- CHAGAS, R. M.; SCHARDONG, A.; EDUARDO, C.; *et al.* **Modelagem hidrológica da sub-bacia hidrográfica do rio Piauitinga utilizando o modelo SMAP**. n. 79, p. 1–15, 2009.
- COLLISCHONN, W. **Simulação hidrológica em grandes bacias**. Tese de Doutorado – UFRGS, Porto Alegre – RS, 194p, 2001.
- GOLDBERG, D. E. **Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning**. Addison – Wesley, 1989.
- HENKES, S. L. **Gestão de recursos hídricos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – UFSC, Santa Catarina, 2002.
- LETTENMAIER D. P., WOOD, E. F. **Hydrologic Forecasting** in Handbook of Hydrology. Org. by Maidment, D. R., McGraw-Hill Inc., New York, USA, pp. 26.1–26.30, 1993.
- LIMA, C. A. G. **Análise e sugestões para diretrizes de uso das disponibilidades hídricas superficiais da bacia hidrográfica do rio Piancó, situada no**

- estado da Paraíba.** Tese (Programa de Doutorado em Recursos Naturais) – UFCG, Campina Grande-PB, 2004.
- LOPES, J. E. G.; BRAGA, B. P. F.; CONEJO J. G. L. **SMAP – A simplified hydrological model, applied modelling in catchment hydrology.** Ed. V.P. Singh, Water Resources Publications, 1982.
- LOURENÇO, A. M. G. **Modelo chuva-vazão baseado em redes neurais artificiais para rios intermitentes no semiárido paraibano.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – UFCG, Pombal - PB, 2012.
- NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V. **River flow forecasting through conceptual models: Part I - A discussion of principles,** *Journal of Hydrology*, 10 (3), 282–290, 1970.
- OLIVEIRA, G. G.; PEDROLLO, O. C.; MARIA, N. **O desempenho das redes neurais artificiais (RNAs) para simulação hidrológica mensal.** *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 19, p. 251–265, 2014.
- PERH/PB. **Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado Paraíba.** 2006, Disponível em: [www.aesa.pb.gov.br](http://www.aesa.pb.gov.br) Acesso: 20 de maio de 2014.
- REIS, C. Q. **Avaliação da sustentabilidade hídrica dos reservatórios engenheiro Ávida e São Gonçalo-PB.** Dissertação (Mestrado em Sistemas Agroindustriais) – UFCG, Pombal - PB, p. 1–72, 2014.
- RODRIGUES, A. C. L. **Nova proposta para o processo de outorga em sistemas de reservatórios. Estudo de caso: bacia hidrográfica do rio Piancó.** Tese (Programa de Doutorado em Recursos Naturais) – UFCG, Campina Grande-PB, 2007.
- SCIENTEC – Associação para Desenvolvimento da Ciência e Tecnologia. **Plano diretor de recursos hídricos da Paraíba: bacias do rio Piancó e do Alto Piranhas.** João Pessoa: SEPLAN, t.1, v.1, p.120-130, 1997.
- VIOLA, M. R.; MELLO, C. R. DE; GIONGO, M.; BESKOW, S. **Modelagem hidrológica em uma sub-bacia hidrográfica do baixo rio Araguaia, TO,** *Journal of Biotechnology and Biodiversity*, v. 3, n. 3, p. 38–47, 2012.