

## SELEÇÃO DE FUNÇÕES-OBJETIVO NA PREVISÃO DE VAZÕES MÁXIMAS DIÁRIAS UTILIZANDO O MODELO SMAP

GUSTAVO KLUMB<sup>1</sup>; PATRICK MORAIS VEBER<sup>1</sup>; RITA DE CÁSSIA FRAGA  
DAMÉ<sup>2</sup>; CLAUDIA FERNANDA ALMEIDA TEIXEIRA-GANDRA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas, Centro de Engenharias – [gustavo19klumb@hotmail.com](mailto:gustavo19klumb@hotmail.com);  
[patrick.veber@hotmail.com](mailto:patrick.veber@hotmail.com)

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas, Centro de Engenharias -[hotmail.com](mailto:hotmail.com), [cfteixe@ig.com.br](mailto:cfteixe@ig.com.br)

### 1. INTRODUÇÃO

A simulação do comportamento hidrológico de bacias hidrográficas consiste em uma das principais ferramentas na gestão dos recursos hídricos, devido à possibilidade de predição do regime fluvial. Dessa forma, são elaborados os modelos que procuram representar e simular o comportamento dos componentes do ciclo hidrológico, com foco, muitas vezes nas previsões de vazões. Um desses modelos é o SMAP (*Soil Moisture Accounting Procedure*), considerado determinístico de simulação hidrológica (LOPES et al., 1981), o que segundo FADIGA JR. (2008), as principais vantagens do modelo estão relacionadas à sua simplicidade e ao uso de pequeno número de parâmetros.

A forma mais simples e direta de avaliar a capacidade do modelo em representar os processos hidrológicos de uma dada bacia é comparando as vazões simuladas com as vazões observadas (NASCIMENTO, 2007), sendo que, quanto mais próximo estiver o hidrograma das vazões calculadas com o das vazões observadas, mais bem calibrados serão os parâmetros do modelo.

No entanto, VIOLA et al. (2009), consideram que na estimativa dos parâmetros calibráveis tem-se a maior fonte de incertezas envolvendo a simulação hidrológica, dado ao ajuste meramente numérico, envolvendo a fixação de seus valores pelo método automático, visando à melhor aderência possível da série simulada à observada. A seleção das funções objetivo mais apropriadas para a calibração de modelos hidrológicos tem sido muito discutida na literatura (GUPTA et al., 1998).

Recentemente, observa-se um aumento considerável nos esforços para entender as incertezas inerentes aos resultados obtidos através de modelos hidrológicos, o que vem resultando numa busca de funções objetivo que tenham um apelo ou uma base mais estatística. A função objetivo mais utilizada na literatura é aquela associada à minimização da soma dos quadrados dos resíduos, que implicitamente assume que os erros são independentes e possuem a mesma variância ao longo do tempo, premissas essas que dificilmente são verificadas na prática (NASCIMENTO et al., 2009). Deste modo, buscou-se neste trabalho, avaliar um conjunto de funções objetivo, com o intuito de averiguar o comportamento do modelo chuva-vazão SMAP, na escala diária, na previsão das vazões máximas para o arroio Pelotas, seção Ponte Cordeiro Farias, RS.

### 2. METODOLOGIA

Foram utilizados os valores de precipitações máximas diárias, evaporação do tanque classe A e vazão diária do arroio Pelotas, na seção da Ponte Cordeiro Farias (88850000), no período de 01/01/2001 a 31/05/2001 (151 dias), obtidas da

Agência Nacional de Águas (ANA). A estação localiza-se nas coordenadas geodésicas 31°00'00" de latitude e 52°00'00" de longitude, e a 13 m de altitude.

Para a simulação hidrológica de transformação chuva-vazão foi utilizada a versão diária do modelo SMAP (*Soil Moisture Accounting Procedure*) (LOPES et al., 1981), constituído de três reservatórios matemáticos. Os parâmetros do modelo são: Str - capacidade de saturação do solo (mm); K2t - constante de recessão do escoamento superficial (dias); Crec - parâmetro de recarga subterrânea (%); Ai - abstração inicial (mm); Capc - capacidade de campo (%) e Kkt - constante de recessão do escoamento básico (dias).

Para a otimização da estimativa dos parâmetros do modelo foram utilizadas cinco funções objetivo. A equação 1, prioriza as vazões de grande magnitude, com peso maior para as maiores vazões:

$$FO_1 = \sum_{i=1}^n (Q_{obs} - Q_{sim})^2 \quad (1)$$

Na equação 2 são priorizadas as vazões menores, atribuindo maior peso às vazões de menor porte.

$$FO_2 = \sum_{i=1}^n [(1/Q_{obs}) - (1/Q_{sim})]^2 \quad (2)$$

A FO apresentada na equação 3, não estabelece prioridade nem às grandes e nem às pequenas vazões.

$$FO_3 = \sum_{i=1}^n [(Q_{obs} - Q_{sim})/Q_{obs}]^2 \quad (3)$$

As equações 4 e 5 representam o erro médio quadrático relativo e o erro médio absoluto, respectivamente.

$$FO_4 = (1/n) \sum_{i=1}^n \left( \frac{Q_{obs} - Q_{sim}}{Q_{obs}} \right)^2 \quad (4)$$

$$FO_5 = \frac{\sum_{i=1}^n |Q_{obs} - Q_{sim}|}{n} \quad (5)$$

onde:

$Q_{obs}$  = vazão observada ( $m^3 s^{-1}$ );

$Q_{sim}$  = vazão simulada pelo modelo SMAP ( $m^3 s^{-1}$ );

n = número de valores.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros do modelo foram calibrados manualmente, considerando a maior coincidência entre os valores das estatísticas média e desvio padrão para as séries observada e simulada (Tabela 1). Foram obtidos os valores de média e desvio padrão iguais a 14,57 e 23,96  $m^3 s^{-1}$ , para a série observada e 9,08 e 21,01  $m^3 s^{-1}$ , para a série simulada, respectivamente.

Na Figura 1 são apresentados o comportamento das vazões simuladas e observadas, em função da calibração manual dos parâmetros do modelo SMAP. Os resultados das cinco funções objetivo calculados para as séries da estação Ponte Cordeiro Farias/Pelotas/RS, encontram-se na Tabela 2. Verifica-se uma grande variação entre os resultados das FO's, com destaque para as FO<sub>2</sub> e FO<sub>4</sub>, que apresentaram os menores valores, 32,18 e 21,58, respectivamente, em relação às demais, em que a primeira prioriza as vazões de grande magnitude e a outra, o erro quadrático relativo.

Tabela 1. Parâmetros de calibração do modelo SMAP, para a Ponte Cordeiro Farias/Pelotas/RS.

Série	Parâmetros do modelo SMAP					
	Str (mm)	K2t (dia)	Crec (%)	Ai (mm)	Capc (%)	Kkt (dia)
Simulada	100	0,3	0,5	2,5	50	180

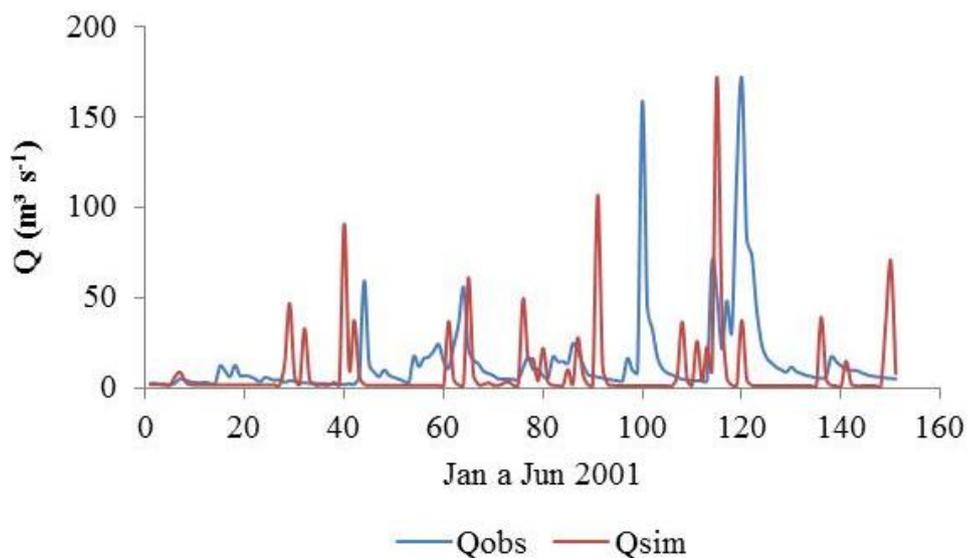


Figura 1. Valores das vazões observadas e simuladas pelo modelo SMAP, para a Ponte Cordeiro Farias/Pelotas/RS.

Tabela 2. Variação das funções objetivo utilizados na otimização dos parâmetros de calibração do modelo SMAP, para a Ponte Cordeiro Farias/Pelotas/RS.

FO <sub>1</sub>	FO <sub>2</sub>	FO <sub>3</sub>	FO <sub>4</sub>	FO <sub>5</sub>
143161,80	32,18	3258,78	21,58	948,09

## 4. CONCLUSÕES

Para a série de dados composta por 151 dias, a função objetivo que prioriza as vazões de maior magnitude e o erro relativo quadrático apresentaram o melhor desempenho.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FADIGA JR., F.M.; LOPES, J.E.G.; MARTINS, J.R.S.; BARROS, M.T.L.; SANTOS, R.C.P. Modelos de previsão de vazões para a bacia incremental à UHE Itaipu. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.13, n.2, p.65-75, 2008.
- GUPTA, H.V.; SOROOSHIAN, S.; EYAPO, P.O. Toward improved calibration of hydrologic models: Multiple and noncommensurable measures of information, *Water Resources Research*, v.34, n.4, p.751–763, 1998.
- LOPES, J.E.G.; BRAGA JÚNIOR, B.P.F.; CONEJO, J.G.L. Simulação hidrológica: aplicação de um modelo simplificado. In: *Anais do III Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, v.2, p.42-62, Fortaleza, 1981.
- NASCIMENTO, L.S.V.; REIS JR., D.S.; MARTINS, E.S.P.R. Avaliação do algoritmo evolutivo Mopso na calibração multiobjetivo do modelo SMAP no Estado do Ceará. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.14, n.1, p.85-97, 2009.
- VIOLA, M.R.; MELLO, C.R.; ACERBI JR, F.W.; SILVA, A.M. Modelagem hidrológica na bacia hidrográfica do Rio Aiuruoca, MG. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, n.5, p.581–590, 2009.