



## O VALOR DA INFORMAÇÃO ADICIONAL NA CALIBRAÇÃO DE MODELOS HIDROLÓGICOS – UTILIZAÇÃO DE SÉRIES AUXILIARES DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO

*Leonardo Zandonadi Moura<sup>1\*</sup>; & Renato Souza Amorim<sup>2</sup>; & Dirceu Silveira Reis Jr<sup>3</sup>.*

**Resumo** – A incorporação de informações adicionais ao processo de calibração de modelos hidrológicos é uma das técnicas disponíveis para contrabalancear a escassez de medições in situ de longo termo de variáveis hidrológicas e aproveitar a crescente disponibilidade de dados de sensoriamento remoto. Deste modo, neste trabalho procura-se avaliar a precisão da simulação hidrológica da vazão no exutório e a incerteza nos parâmetros do modelo SMAP, de acordo com a duração da série de dados de descarga e a utilização de informações auxiliares de evapotranspiração no processo de calibração. Para isso adaptou-se uma função multi-objetivo do tipo raiz do erro médio quadrático. Os resultados obtidos indicam que a incorporação da referida informação mostrou-se uma estratégia viável para reduzir as incertezas nos valores dos parâmetros em até 78% e no NS da vazão simulada em até 98%. Notam-se expressivos ganhos de precisão, principalmente na estimativa dos parâmetros ligados à retenção e transferência de umidade da zona vadosa do solo, ocorrendo a melhora principalmente quando a razão entre informações adicional e de vazão é de até dez vezes. O parâmetro ligado ao escoamento de base apresentou comportamento diferente, tendo melhoria de desempenho apenas para valores baixos (até duas vezes) desta razão.

**Palavras-Chave** – Modelos Hidrológicos; Calibração Multiobjetivo; Evapotranspiração.

## THE VALUE OF ADDITIONAL INFORMATION IN THE CALIBRATION OF HYDROLOGICAL MODELS – USE OF ANCILLARY EVAPOTRANSPIRATION TIME SERIES

**Abstract** – The incorporation of additional information to the process of hydrological model calibration is one of the available techniques to counterweight the scarcity of in situ measurements of hydrological variables and take advantage of the crescent availability of remote sensing data. Thereby, this work seeks to evaluate the precision of the hydrological simulation of streamflow in the outlet and the uncertainty in the parameters of the SMAP model, according to the length of the streamflow series and the use of ancillary evapotranspiration information in the calibration process. For this purpose, a multi-objective function of the square root of square error kind was adapted. The results indicate that the incorporation of said information showed itself as a viable strategy to reduce uncertainty in parameter values in up to 78% and in NS of simulated flow in up to 98%. One can notice expressive gains in precision, especially in the estimation of parameters connected to the retention and transfer of moisture from the soil vadose zone, with improvement occurring mainly when the ratio of additional over streamflow information is up to ten times. The parameter linked to baseflow showed different behavior, with improvement only for low values (up to two times) of this ratio.

**Keywords** – Hydrological Models; Multiobjective Calibration; Evapotranspiration.

## INTRODUÇÃO

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos (PTARH-UnB), aluno de mestrado, [lzandonadimoura@gmail.com](mailto:lzandonadimoura@gmail.com)

<sup>2</sup> DNIT, Analista de Infraestrutura, [renatosamorim@gmail.com](mailto:renatosamorim@gmail.com)

<sup>3</sup> PTARH-UnB, Professor Adjunto, [dirceu.reis@gmail.com](mailto:dirceu.reis@gmail.com)

\* Autor Correspondente: [lzandonadimoura@gmail.com](mailto:lzandonadimoura@gmail.com)



A calibração de modelos hidrológicos em locais de interesse com escassez de séries de dados *in situ* é um tema recorrente. Apesar da vasta gama de estudos realizados, o interesse da pesquisa na ciência hidrológica permanece inalterado devido às limitações nas redes de monitoramento hidrometeorológico, tanto no que se refere a densidade quanto na extensão das séries históricas de precipitações e vazões. A quase inexistência de observações diretas (*in situ*) e consistentes de outras variáveis de interesse do balanço hídrico – evapotranspiração e umidade do solo (Sheffield *et al.*, 2006) é uma motivação adicional.

Estratégias de regionalização (Wagener *et al.*, 2004) e modelagem estatística com índices climáticos de larga escala (Lima e Lall, 2010) são algumas das medidas válidas para lidar com esta escassez de medições locais das variáveis que se deseja conhecer ou modelar. A utilização de dados de sensoriamento remoto é uma das principais alternativas para o preenchimento desta lacuna. Devido à sua escala regional e capacidade de captar a variabilidade espacial dos fenômenos, tais informações tornam-se especialmente relevantes para modelos de superfície terrestre, e de Transferência Solo Vegetação Atmosfera (Soil, Vegetation and Atmosphere Transfer – SVAT, em inglês) (McCabe *et al.*, 2005), sendo a incerteza associada com grau comparável à de medições *in situ*. As três principais estratégias para sua incorporação na modelagem hidrológica são (Xu *et al.*, 2014; Lakshmi *et al.*, 2001): i) como dados de entrada (caracterização da bacia – uso do solo e modelo digital de elevação) e forçantes (*drivers*) do modelo (ex.: precipitação por satélite); ii) estimação de parâmetros do modelo (calibração) e; iii) estimação do estado do sistema ou assimilação – é o processo de restringir/combina as simulações do modelo com as observações das variáveis de interesse.

As incertezas associadas aos parâmetros de modelos hidrológicos podem ser vistas como um problema de amostragem (McCabe *et al.*, 2005). São especialmente relevantes para modelos hidrológicos conceituais concentrados, em parte por estes não terem base física, ou seja, possibilidade de medição em campo ou cálculo por analogia com grandezas mensuráveis. A principal vantagem destes modelos reside na sua simplicidade, porém o mesmo fator produz as maiores incertezas, pois é comum que configurações diferentes dos parâmetros gerem resultados muito próximos, sem haver justificativa nas características fisiográficas e climáticas da região estudada. Existem diferentes métodos disponíveis para abordar as tais incertezas, como Generalized Sensitivity Analysis (GSA) de Hornberger e Spear (1981), o arcabouço GLUE (Beven e Binley, 1992), amostragem por Cadeias de Markov, descrita por Kuczera e Parent (1998), modelagem multi-objetivo (Gupta *et al.*, 1998) e o método alpha-cut (Samanta e Mackay, 2003). Além dos aspectos elencados, é importante se ter em mente que a produção de múltiplas saídas (outputs) faz parte da natureza dos modelos de superfície terrestre e de chuva-vazão, sendo que em sua concepção estão embutidas múltiplas variáveis de estado, como umidade do solo e/ou temperatura, além de funções de transferência ou fluxos, como a evapotranspiração, a percolação e o escoamento de base. No entanto, o processo de calibração clássico não se beneficia dessa multiplicidade, geralmente se resumindo à capacidade de um modelo de reproduzir uma única variável mensurável. McCabe *et al.* (2005) abordam as diferenças encontradas quando se utilizam variáveis implícitas, saídas, fluxos ou variáveis de estado na calibração, em um estudo de caso utilizando fluxos de calor latente e sensível medidos *in situ* (chamados de variáveis implícitas) e diferenças de temperatura radiativa num local de testes na Amazônia. Outros exemplos relevantes são os estudos de Sheffield *et al.* (2010), Guimberteau *et al.* (2014), Scaini *et al.* (2015), Frappart *et al.* (2013) e Demarty *et al.* (2005).

É neste cenário de limitações/incertezas e de franca expansão das tecnologias de monitoramento ambiental e das técnicas de regionalização e modelagem que se iniciou um estudo de caso na bacia do Rio São Francisco, mais especificamente numa sub-bacia na região do Alto São Francisco. O objetivo é o de avaliar o ganho que se obtém, em termos de desempenho na estimativa



dos parâmetros de um modelo hidrológico, quando se emprega séries temporais de evapotranspiração real em conjunto com séries de vazão, levando em consideração as diferenças entre as extensões das duas séries. O estudo ainda encontra-se em andamento, sendo que o artigo apresenta os primeiros resultados obtidos para uma única estação fluviométrica, admitindo, neste primeiro momento, que as séries de evapotranspiração real são perfeitas, de forma que os resultados apresentados aqui devem ser visto como um limite superior do ganho.

O artigo continua com as seguintes seções: Área de Estudo e Dados de Entrada do Modelo, Modelo SMAP, Calibrador SCE, Funções Objetivo e Calibração – aspectos relevantes inerentes às atividades realizadas, bem como informações primordiais para a reprodução dos cálculos realizados e apreciação dos resultados obtidos.

### **ÁREA DE ESTUDO E DADOS DE ENTRADA DO MODELO**

Localizado na região Alto São Francisco, mais especificamente no Rio Abaeté, o posto fluviométrico selecionado (41075001) apresenta uma área de drenagem de 4130 km<sup>2</sup>. A série de vazão contém 57 anos de dados. A série de precipitação sobre a sub-bacia foi produzida a partir da metodologia de polígonos de Thiessen, utilizando pluviometria proveniente da ANA. A série de evapotranspiração potencial baseou-se na metodologia de Hargreaves e Samani (1985).

### **MODELO SMAP**

O modelo utilizado neste trabalho foi o SMAP – Soil Moisture Accounting Procedure (Lopes *et al.*, 1982), em sua versão mensal. Trata-se de um modelo conceitual concentrado, composto por quatro funções de transferência, duas variáveis de estado inicial, TU<sub>in</sub> e EB<sub>in</sub> e quatro parâmetros, quais sejam: SAT - capacidade de saturação do solo (mm); Pes - parâmetro de escoamento superficial (adimens.); Crec - coeficiente de recarga (adimens.) e; K - constante de recessão (mês<sup>-1</sup>).

### **CALIBRADOR SCE-UA**

O algoritmo empregado para a calibração foi o Shuffled Complex Evolution – SCE-UA (Duan, Sorooshian, e Gupta 1992), baseado em noções de troca de informações entre vetores de parâmetros e conceitos derivados dos princípios da evolução biológica. A versão utilizada neste trabalho possui sete parâmetros, detalhados na Tabela 1.

Tabela 1 - Descrição e valor utilizado dos parâmetros do calibrador SCE-UA.

Parâmetro	Valor	Parâmetro	Valor
maxn	10000	ngs	3
kstop	10	iseed	-1
pcento	0.1	iniflg	0
peps	0.001	-	-

Os limites inferiores e superiores da faixa de variação dos parâmetros fornecidos estão listados na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores permitidos dos parâmetros do modelo SMAP.

Parâmetro	SAT	Pes	Crec	K
Limite inferior	100	0.05	0.1	0.1
Limite superior	10000	15	100	100

### **FUNÇÕES OBJETIVO**



O modelo foi calibrado inúmeras vezes e de várias maneiras com o intuito de gerar comparações. Para aquelas que utilizaram apenas dados de vazão durante o processo de calibração, a função objetivo utilizada foi o coeficiente de Nash-Sutcliff, expresso pela Equação (1):

$$NS = 1 - \frac{\sum(Q_{calc}^{mensal} - Q_{obs}^{mensal})^2}{\sum(Q_{obs}^{mensal} - \bar{Q}_{obs}^{mensal})^2} \quad (1)$$

Para utilizar a informação adicional de evapotranspiração, foi adaptada uma função objetivo simples, do tipo raiz do erro médio quadrático, que envolve duas partes (três somatórios). A primeira correspondente ao período em que se têm dados mensais de vazão. A segunda (dois últimos somatórios) corresponde ao período estendido, em que estão disponíveis dados de evapotranspiração real.

Foi inserido um fator de ponderação “ $\omega$ ” entre as partes (parcelas), que poderia ser ajustado para dar mais sensibilidade (“peso”) a um tipo de informação. No presente trabalho, o valor utilizado na ponderação foi 0.5, o que confere peso igual entre as informações de vazão e evapotranspiração, conforme a Equação (2):

$$FO = \omega \times \sum_{ti = \text{início dados } Q_{mensal}}^{tf = \text{final dados } Q_{mensal}} (Q_{calc}^{mensal} - Q_{obs}^{mensal})^2 + (1 - \omega) \times \left( \sum_1^{ti-1} (E_{calc}^{mensal} - E_{real}^{mensal})^2 + \sum_{tf+1}^{final} (E_{calc}^{mensal} - E_{real}^{mensal})^2 \right) \quad (2)$$

## CALIBRAÇÃO

Realizaram-se as seguintes etapas de calibração, utilizando o algoritmo SCE-UA dando partida no processo no início do ano hidrológico, fim do primeiro período seco nos dados fornecidos (outubro):

1. Calibração do modelo para os 56 anos hidrológicos de dados de vazão utilizando como função objetivo o coeficiente de Nash-Sutcliff. Obtenção do valor “ótimo” dos parâmetros e das variáveis de estado inicial  $TU_{in}$  e  $EB_{in}$ . Cálculo de uma série “sintética” de evapotranspiração com os parâmetros ótimos (deste ponto em diante e na Equação (2), refere-se a esta série como  $E_{real}$ ).
2. Calibração do modelo para subconjuntos dos dados de vazão, utilizando como função objetivo o coeficiente de Nash-Sutcliff. Foram fixados os valores de  $TU_{in}$  e  $EB_{in}$  obtidos no passo anterior. Neste caso, foram criadas sub-séries com diferentes tamanhos (1, 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30 e 40 anos hidrológicos). Por exemplo, foram criadas 56 séries com 1 ano de dados, 55 séries com 2 anos de dados, 52 séries com 5 anos, e assim sucessivamente, de modo que para cada tamanho de série, obtém-se vários vetores de parâmetros do modelo.
3. Calibração do modelo para uma parte do período de dados de vazão disponíveis e série de  $E_{real}$  para o período. Aplicou-se a função objetivo adaptada (Equação (2)). Fixaram-se os valores de  $TU_{in}$  e  $EB_{in}$ . Testes realizados com tamanho do período de calibração de 1, 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30 e 40 anos hidrológicos, variando a posição do bloco de anos, ou seja, o tempo inicial do período.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Análise do Coeficiente de Nash-Sutcliff

A calibração do modelo SMAP quando se emprega todos os 56 anos de dados de vazão mensal resulta num NS de 0,91. À medida que o tamanho da amostra diminuiu, os valores de NS, calculados para o período de 56 anos empregando os parâmetros estimados para o período menor, também diminuem, como pode ser visto na Figura 1, embora essa redução, pelo menos em termos de valores médios, não é muito significativa. Por exemplo, a mediana dos valores de NS obtidos foi

de 0,84 quando se emprega apenas 1 ano de dados, e de 0,91 quando a calibração utiliza 40 anos de dados. A maior diferença encontrada está na dispersão dos valores de NS. Quanto maior o tamanho da amostra empregada para a estimativa dos parâmetros, menor é a dispersão dos valores de NS calculado para os 56 anos de dados, indicando uma maior precisão dos valores obtidos.

Já com a utilização de dados auxiliares de evapotranspiração ( $E_{real}$ ), observa-se aprimoramento da simulação, principalmente quando se tem 15 anos ou menos de dados mensais, como pode ser observado na Figura 2. Este aprimoramento é modesto quando se foca na mediana dos valores de NS. Por exemplo, observa-se um aumento da mediana de NS de 0,85 para 0,88 no caso de apenas um ano de dados mensais de vazão para a estimativa dos parâmetros, e de 0,89 para 0,90 quando se tem dez anos. O maior ganho se dá na redução da dispersão, sugerindo que o uso de dados adicionais de evapotranspiração real fornece uma maior precisão sobre o desempenho do modelo hidrológico.

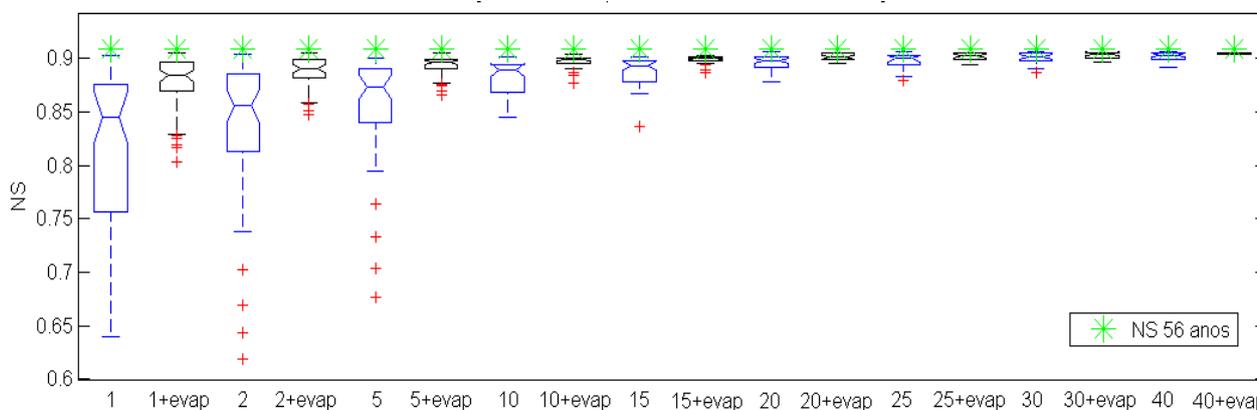


Figura 1- Variação dos valores de NS de acordo com a quantidade de anos e tipo de informação utilizada na calibração.

A maior precisão das vazões modeladas é exemplificada para quando se calibra o modelo com dois anos de dados de vazão na **Erro! Fonte de referência não encontrada..** A faixa das vazões é menor quando se utiliza dados de evapotranspiração (azul ciano), especialmente em eventos de cheia, como aqueles observados entre o 300º e 400º meses de simulação.

### Análise da Estimativa dos Parâmetros do Modelo

O comportamento dos parâmetros, de acordo com a relação entre o nº de anos com dados de vazão e o nº de anos com dados de evapotranspiração é exibido na Figura 3, na forma da razão entre a diferença do erro médio quadrático do parâmetro com e sem a informação adicional e o erro sem a informação adicional. Quanto maior for essa razão, menor será o erro após a inclusão da informação adicional, ou seja, maior o ganho de precisão. Considera-se como valor “verdadeiro” do parâmetro, aquele obtido utilizando apenas os dados de vazão de toda a série histórica disponível.

Observa-se que para os parâmetros SAT, Pes e Crec, os ganhos de precisão aumentam de forma significativa, atingindo um patamar próximo ao ponto onde se tem 10 vezes mais anos com informação adicional do que anos com dados de vazão. Com proporções maiores, o ganho fica estagnado ou até decresce ligeiramente. Já para o parâmetro K, os maiores ganhos são observados quando a relação entre informações padrão e adicional é praticamente equivalente (razão 1:1 ou 1:2). Para razões tendendo mais para a informação adicional, o ganho é menor, gerando até mesmo perda de precisão para razões muito altas.

Parâmetro SAT: na calibração para o período completo, o valor resultante do parâmetro é 1120 mm. Com períodos parciais de um a quarenta anos, a mediana dos valores obtidos permanece próxima do seu valor ótimo. No entanto, a variância reduz fortemente, passando de  $1,64 \times 10^5$  com um ano para 348,03 com 40 anos. A incorporação dos dados de evapotranspiração possui efeito

semelhante ao observado para NS, reduzindo principalmente a variância do parâmetro. Enquanto para apenas um ano de vazão combinado com  $E_{real}$  seu valor é de  $7,56 \times 10^3$ , quando se aumenta a quantidade de anos ela se reduz até 223,71.

Parâmetro Pes: Este parâmetro tem o valor de 2,7412 quando obtido pela calibração em 56 anos de dados mensais de vazão. Quando obtido para períodos parciais, seu valor vai de 3,4027 para um ano, passando por 2,92 com vinte e cinco anos e 2,855 com quarenta anos. A utilização de dados de  $E_{real}$  no processo de calibração aproxima a mediana da distribuição obtida ao parâmetro ótimo de maneira sensível quando a série parcial de vazões tem até 15 anos.

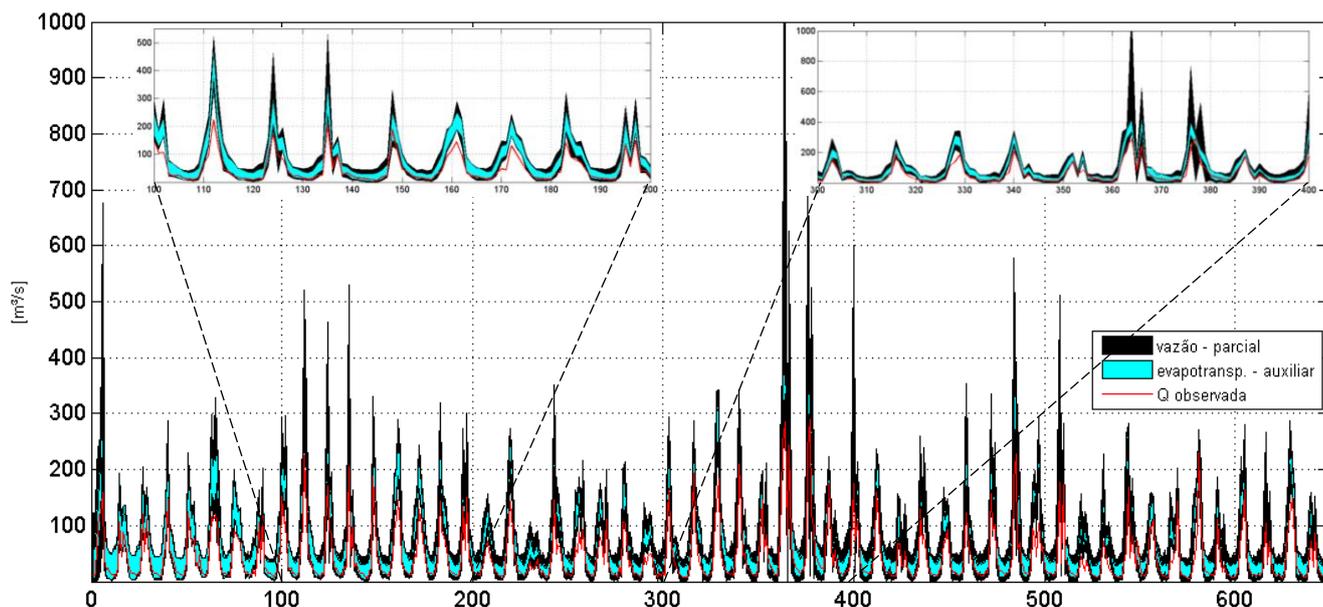


Figura 2 - Vazões modeladas com modelo calibrado para dois anos de dados de vazão apenas (preto) e com informação adicional de evapot. (azul).

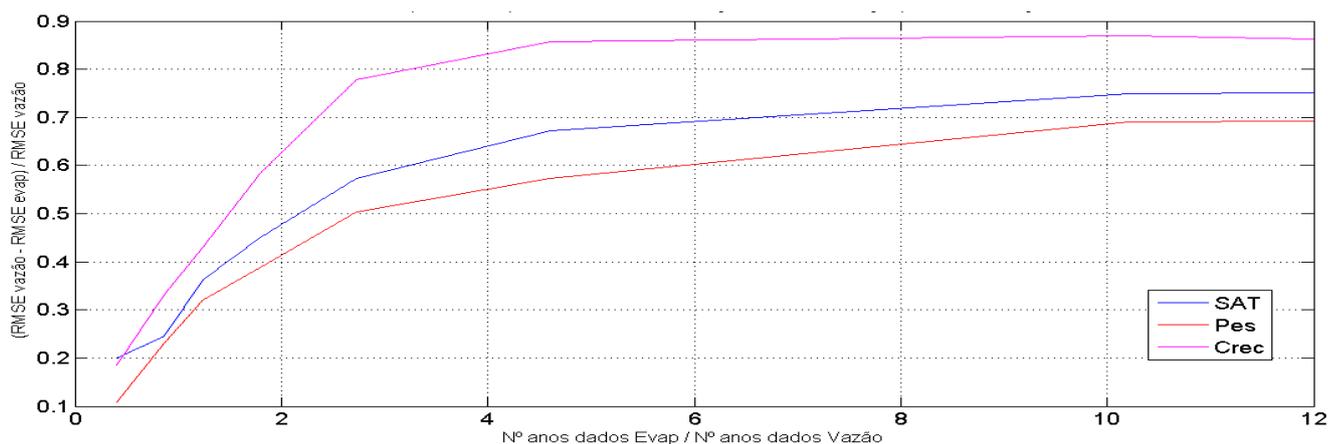


Figura 3 - Ganho de precisão nos parâmetros vs. razão informação adicional/informação padrão na calibração.

A variância dos valores de Pes obtidos com séries parciais é de 0,919 para períodos de um ano, reduzindo para 0,133 quando se utiliza informação adicional de  $E_{real}$ . A redução da dispersão dos valores é significativa quando se fornece os dados de  $E_{real}$  junto a séries de até 20 anos. Para séries de quarenta anos são encontradas variâncias de 0,009 sem informação adicional de  $E_{real}$  e 0,007 com  $E_{real}$ .



Parâmetro Crec: O melhor valor encontrado para este parâmetro é de 10,67 (calibração com série completa). Quando obtido por calibrações com séries parciais as medianas ficam entre 13,98 (5 anos, sem dados de  $E_{\text{real}}$ ) e 9,56 (20 anos, sem dados de  $E_{\text{real}}$ ). A calibração com informação adicional de  $E_{\text{real}}$  aumenta o valor estimado do parâmetro em quase todos os casos, sendo a única exceção a série parcial de cinco anos. Até quinze anos, a inclusão da informação de  $E_{\text{real}}$  afasta a mediana dos valores obtidos do valor ótimo do parâmetro. De maneira similar aos outros parâmetros, a redução da dispersão dos valores obtidos para o parâmetro por meio da calibração com séries parciais é expressiva até vinte anos. Com dois anos, o valor cai de 248,16 para 8,67 com  $E_{\text{real}}$ .

## CONCLUSÃO

A incorporação de informação adicional ao processo de calibração de um modelo hidrológico conceitual concentrado se mostrou uma estratégia viável para reduzir as incertezas nos valores dos parâmetros e na vazão simulada, quando se dispõe de séries hidrológicas de vazão com curta duração no local de interesse. Para o modelo SMAP, calibrado pelo algoritmo SCE-UA, uma função objetivo simples, do tipo erro médio quadrático, foi adaptada, contendo parcelas referentes aos dados de vazão e de evapotranspiração. A calibração com séries mensais de um a quarenta anos de vazão e dados adicionais de evapotranspiração apresentou melhorias expressivas no coeficiente de Nash-Sutcliffe (NS) e na estimativa dos parâmetros, especialmente pela redução da dispersão (incerteza), quando comparada apenas com calibração com séries curtas de vazão. Obtiveram-se reduções de até 98% na variância do NS, com aumento (melhoria) de 5% no valor mediano da distribuição obtida. A redução do erro médio quadrático dos parâmetros é significativa quando se utiliza os dados de evapotranspiração. Para o parâmetro SAT, é de até 78%, enquanto para o parâmetro Pes é de 67% para um ano de dados mensais de vazão. Os parâmetros ligados à quantificação do teor de umidade (TU) na zona vadosa do solo e às funções de transferência de água a partir desta camada respondem melhor a este tipo de procedimento. Já os parâmetros ligados ao escoamento de base (Crec e K) são menos sensíveis, em especial o parâmetro K.

Salienta-se que neste trabalho foi realizado um estudo exploratório com informação adicional “perfeita”, na forma de uma série de evapotranspiração “sintética”. Tendo controle sobre a informação, as incertezas ficaram mais confinadas ao modelo e seus parâmetros. Trabalhos futuros investigarão o efeito da existência de ruído nesta informação e a aplicação de dados de fontes como sensoriamento remoto.

## REFERÊNCIAS

- BEVEN, K.J.; BINLEY, A.M.; (1992). *The future of distributed models: model calibration and uncertainty prediction. Hydrological Process.* n.6, pp. 279–298.
- DEMARTY, J. *et al.* (2005). *Constraining a physically based Soil-Vegetation-Atmosphere Transfer model with surface water content and thermal infrared brightness temperature measurements using a multiobjective approach. Water Resources Research,* v. 41, n. 1, p. n/a–n/a.
- DUAN, Q.; SOROOSH, S.; GUPTA V. (1992). *Effective and efficient global optimization for conceptual rainfall-runoff models. Water resources research,* v. 28 (4), pp. 1015–1031.
- FRAPPART, F.; RAMILLIEN, G.; RONCHAIL, J. (2013). *Changes in terrestrial water storage versus rainfall and discharges in the Amazon basin. International Journal of Climatology,* v. 33, n. 14, pp. 3029–3046



- GUIMBERTEAU, M. *et al.* (2014). *Testing conceptual and physically based soil hydrology schemes against observations for the Amazon Basin. Geoscientific Model Development*, v. 7, n. 3, pp. 1115–1136.
- GUPTA, H.V.; Sorooshian, S.; Yapo P.O.; (1998). *Toward improved calibration of hydrological models: multiple and non-commensurable measures of information. Water Resources Research*, v. 4, pp. 751–762.
- HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. (1985). *Reference crop evapotranspiration from temperature. Appl. Eng. Agric.*, n. 1(2), pp. 96–99.
- HOMBERGER, G.M.; SPEAR, R.C., (1981). *An approach to the preliminary analysis of environmental systems. J. Environ. Mgmt.* n. 12, pp.7–18
- KUCZERA, G.; PARENT, E.; (1998). *Monte Carlo assessment of parameter uncertainty in conceptual catchment models: the Metropolis algorithm. Journal of Hydrology*, n.211, pp. 69–85.
- LAKSHMI, V.; ALBERTSON, J.; SCHAAKE, J. (2001). *Land Surface Hydrology, Meteorology, and Climate: Observations and Modelling. American Geophysical Union.*
- LIMA, C. H. R.; LALL, U. (2010). *Climate informed monthly streamflow forecasts for the Brazilian hydropower network using a periodic ridge regression model. Journal of Hydrology*, v. 380, n. 3-4, pp. 438–449.
- LOPES, J.E.G.; BRAGA, B.P.F.; CONEJO, J.G.L. (1982). “SMAP - A Simplified Hydrological Model”. *In Applied Modelling in Catchment Hydrology.*
- MACAY, D.S.; SAMANTA, S.; NEMANI, R.R.; BAND, L.E.; (2003). *Multiobjective parameter estimation for simulating canopy transpiration in forested watersheds. Journal of Hydrology*. n.277 (3–4), pp. 230–247.
- MCCABE, M.F.; FRANKS S.W.; KALMA, J.D. (2005). *Calibration of land surface model using multiple data sets. Journal of Hydrology*, n.302, pp. 209-222
- SCAINI, A. *et al.* (2015). *SMOS-derived soil moisture anomalies and drought indices: a comparative analysis using in situ measurements: A COMPARATIVE ANALYSIS: SMOS-DERIVED SOIL MOISTURE AND DROUGHT INDICES. Hydrological Processes*, v. 29, n. 3, pp. 373–383
- SHEFFIELD, J.; GOTETI, G.; WOOD E. (2006). *Development of a 50-Year High-Resolution Global Dataset of Meteorological Forcings for Land Surface Modeling. Journal of Climate*, v. 9, pp. 3088-3110
- SHEFFIELD, J.; WOOD, E. F.; MUNOZ-ARRIOLA, F. (2010). *Long-Term Regional Estimates of Evapotranspiration for Mexico Based on Downscaled ISCCP Data. Journal of Hydrometeorology*, v. 11, n. 2, pp. 253–275.
- XU, X.; LI, J.; TOLSON, B. A. (2014). *Progress in integrating remote sensing data and hydrologic modeling. Progress in Physical Geography*, v. 38, n. 4, p. 464–498.
- WAGENER, T.; WHEATER, H. S.; GUPTA, H. V. (2004). *Rainfall-runoff modeling in gauged and ungauged catchments. London: Imperial College Press*