

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

APRIMORAMENTOS NA REPRESENTAÇÃO DA DINÂMICA DA UMIDADE DO SOLO EMPREGADA NA PREVISÃO DE VAZÕES DO MODELO DE SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA SMAP/ONS

Rodrigo José Coelho Pereira¹ ; Felipe Treistman² & William Cossich Marcial de Farias³

Abstract – In order to enhance the quality of streamflow predictions within the scope of the Brazilian National Interconnected System - SIN, the Brazilian National Electric System Operator - ONS continuously seeks to improve hydrological modeling, as well as its main inputs. Although widely used in the Brazilian electric sector, the SMAP/ONS model can be refined by integrating advances in the understanding of physical and hydrological processes in watersheds. This study evaluates the representativeness of implementing three improvements for streamflow forecasting: (i) potential evapotranspiration (ET₀) time series estimated by using Hargreaves & Samani (1985) method; (ii) a new soil reservoir formulation incorporating the plant-available water zone down to the permanent wilting point; and (iii) variable initial abstraction as a function of the watershed's storage capacity. 21 SIN's sub-basins were considered to represent the wide climatic variability of the regions in Brazil. In order to evaluate the gain from using the new proposed enhancements a comparison was made between the multicriteria distance of the baseline calibration against that obtained with the enhancements, and simulating 239 streamflow forecasting cases from June 2017 to December 2021. The results indicate significant performance gains, reinforcing the model's robustness.

Resumo – Com o objetivo de aprimorar a qualidade das previsões de vazões no âmbito do Sistema Interligado Nacional – SIN, o Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS busca continuamente a melhoria da modelagem hidrológica e seus insumos principais. Embora amplamente utilizado no setor elétrico brasileiro, o modelo SMAP/ONS pode ser aprimorado à medida que se incorporam avanços no entendimento dos processos físicos e hidrológicos das bacias hidrográficas. Assim o presente trabalho busca avaliar a representatividade da implantação de três aprimoramentos em sua estrutura para previsão de vazões: (i) estimativa de série temporal diária de ETP pelo método de Hargreaves & Samani (1985); (ii) uma nova formulação do reservatório do solo que considera adicionalmente a zona de água disponível até o ponto de murcha permanente; e (iii) abstração inicial variável, dependente da capacidade de armazenamento de água da bacia. Foram consideradas 21 sub-bacias do SIN, de modo a representar a ampla variabilidade climática das regiões do Brasil. Para avaliar o desempenho dos aprimoramentos, foi feita uma comparação entre a Distância Multicritério da calibração vigente e aquela obtida com os aprimoramentos, e simulados 239 casos de previsão de vazões de junho de 2017 até dezembro 2021. Os resultados indicam que os aprimoramentos trouxeram ganhos expressivos, conferindo maior robustez ao modelo.

Palavras-Chave – SMAP/ONS; Modelagem Hidrológica; Previsão de Vazões.

1) Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS, rua Júlio do Carmo, 251 – Centro, Rio de Janeiro – RJ. <rodrigo.pereira@ons.org.br>

2) Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS, rua Júlio do Carmo, 251 – Centro, Rio de Janeiro – RJ. <felipe.treistman@ons.org.br>

3) Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS, rua Júlio do Carmo, 251 – Centro, Rio de Janeiro – RJ. <william.farias@ons.org.br>

INTRODUÇÃO

Com o objetivo de aprimorar a qualidade das previsões de vazões no âmbito do Sistema Interligado Nacional – SIN, o Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS vem buscando, continuamente, a melhoria da modelagem hidrológica, bem como de seus principais insumos. Desde 2008 a previsão de vazões no âmbito do SIN vem sendo aprimorada pelo ONS através, principalmente, de uma generalização do original modelo de simulação hidrológica SMAP (*Soil Moisture Accounting Procedure*), do tipo transformação chuva-vazão, desenvolvido por Lopes et al. (1982).

Atualmente, o ONS adota esta versão aprimorada do modelo SMAP para a todo o SIN, nomeando o modelo como SMAP/ONS (ONS, 2024), que é uma versão aprimorada pelo ONS em relação ao original. Devido à sua natureza determinística, o SMAP/ONS tem foco na programação diária da operação e no curto prazo, sendo utilizado atualmente na previsão de vazões para a primeira e segunda semana operativa (Treistman et al., 2021).

Embora o SMAP/ONS represente um avanço em relação aos modelos predecessores, ainda está sujeito a simplificações, tanto na parametrização quanto no próprio processo de estimação dos parâmetros. Além disso, a qualidade de seus principais insumos influencia diretamente a confiabilidade das simulações, sendo essencial uma calibração criteriosa e sua avaliação contínua. Os principais dados necessários tanto para a calibração do modelo SMAP/ONS quanto para sua aplicação na previsão de vazões incluem: séries de vazões médias diárias observadas, totais diários de precipitação observada e prevista, além dos totais de evapotranspiração potencial. A qualidade e a representatividade desses insumos são fundamentais para a precisão das previsões de vazões.

Diante das simplificações conceituais inerentes ao modelo SMAP/ONS, este estudo propõe três aprimoramentos principais em sua estrutura: (i) Evapotranspiração potencial em série temporal provenientes de reanálise atmosférica computados usando o método de Hargreaves & Samani (1985); (ii) uma nova formulação do reservatório do solo que considera adicionalmente a zona de água disponível até o ponto de murcha permanente; e (iii) abstração inicial variável, dependente da capacidade de armazenamento de água da bacia.

OBJETIVOS

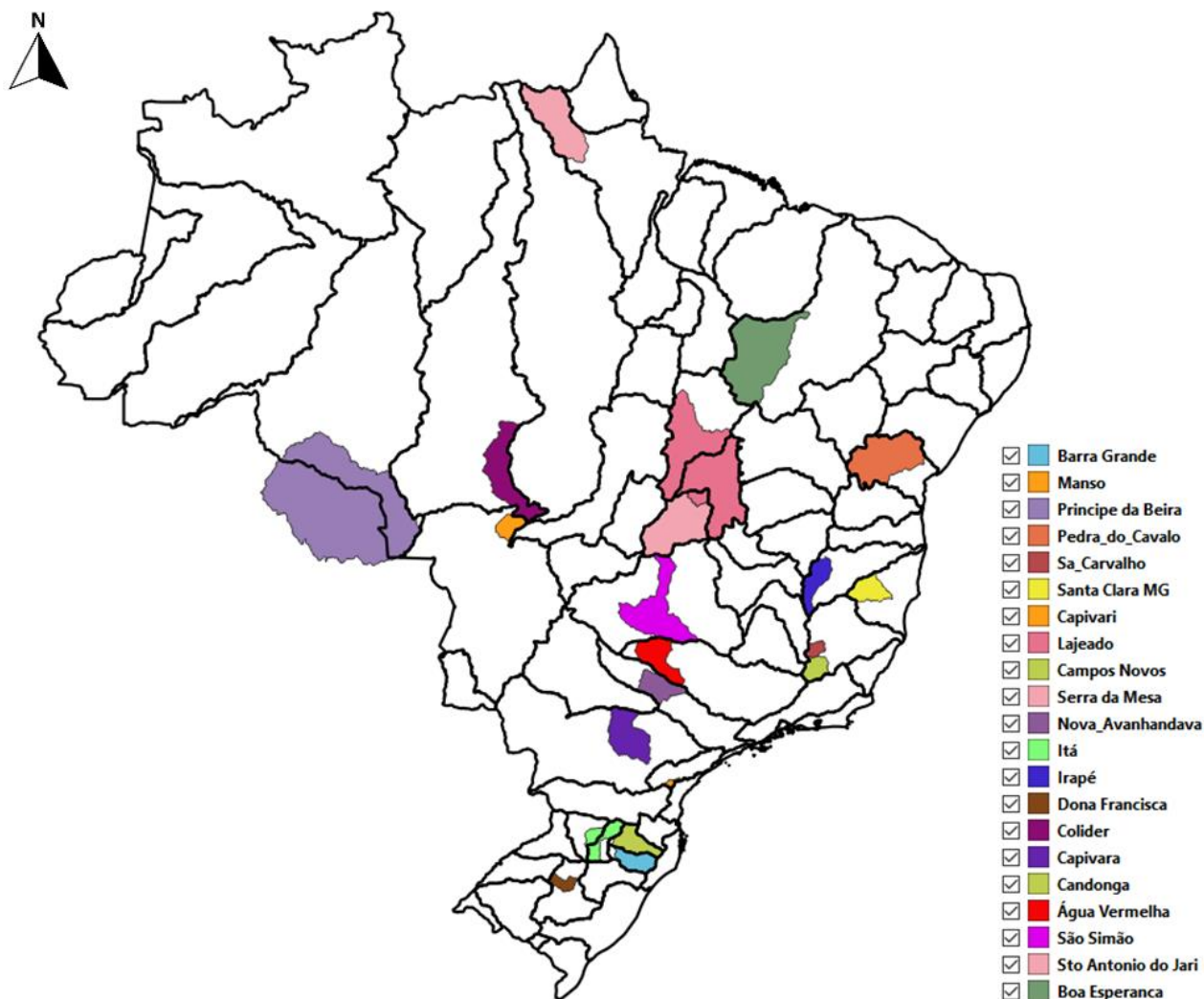
O objetivo geral do presente estudo é aprimorar a qualidade das previsões de vazões do modelo SMAP/ONS. Os objetivos específicos estabelecidos para se alcançar o objetivo geral são aprimorar a qualidade das calibrações do SMAP/ONS nas bacias através da inclusão de novos dados de entrada, novos parâmetros e novas funções de transferência.

METODOLOGIA

Seleção das bacias piloto

Este estudo considerou 21 sub-bacias do Brasil selecionadas de modo a representar diferentes condições fisiográficas e a ampla faixa de variabilidade climática das regiões do Brasil. A Figura 1 apresenta um mapa da localização das sub-bacias selecionadas.

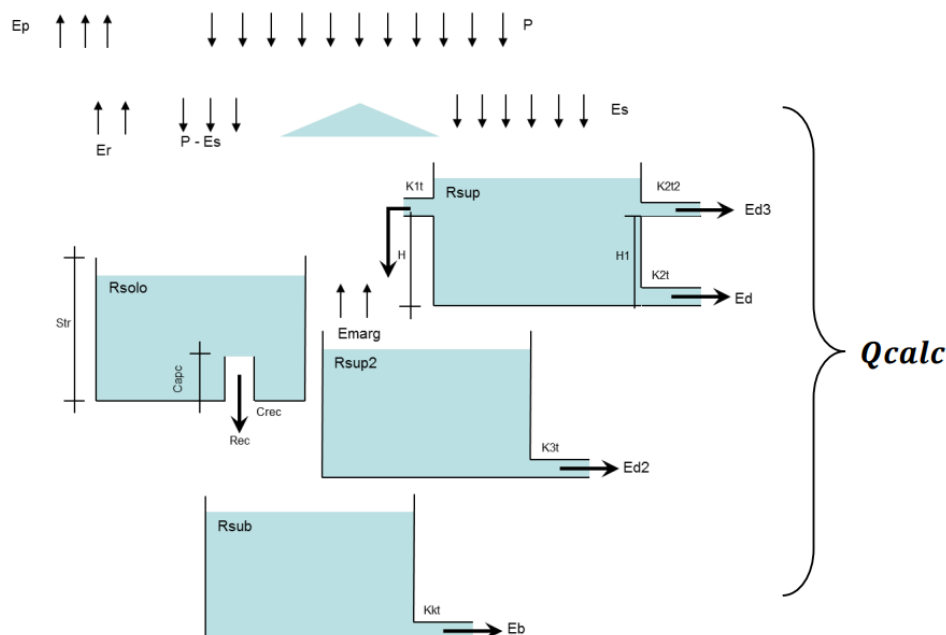
Figura 1 – Localização das 14 sub bacias selecionadas para o estudo. As bacias são indicadas pelas áreas coloridas conforme indicação da legenda



Modelo SMAP/ONS

O funcionamento do modelo SMAP/ONS se baseia divisão do escoamento do solo em superficial e subterrâneo. Cada parcela de escoamento é armazenada entre três e quatro reservatórios lineares hipotéticos, responsáveis por modelar o comportamento dos escoamentos, representando: o reservatório do solo (R_{solo}); o reservatório da superfície (R_{sup}), correspondente ao escoamento superficial da bacia; o reservatório subterrâneo (R_{sub}), correspondente ao escoamento subterrâneo da bacia (escoamento de base); e o reservatório de planície (R_{sup2}), correspondente ao extravasamento de calha quando pertinente. Essa divisão do escoamento pode ser observada no diagrama esquemático apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Diagrama esquemático do modelo SMAP/ONS



Aprimoramento (i): Estimativas de evapotranspiração potencial (ETP) em forma de série temporal diária

A metodologia vigente fornece ao modelo SMAP/ONS estimativas de ETP na forma de um vetor sazonal de 12 totais médios mensais com base nas antigas normais climatológicas do Brasil de 1931-1960 e 1961-1990. Para se obter a ETP diária, esses valores são divididos pelo número de dias de cada mês, e assumidos como ETP constantes diárias ao longo do mês.

O aprimoramento proposto introduz a estimativa de série temporal de ETP composta por valores diários, computados usando o método de Hargreaves & Samani (1985) a partir de dados horários da reanálise ERA5-Land (Muñoz-Sabater et al., 2021), com resolução espacial de 0,1 graus sobre todo globo. Esta proposta representa um avanço em relação ao estudo anterior (Pereira et al., 2023), no qual foram comparadas duas abordagens: (i) a simples atualização das normais climatológicas de ETP, baseada em 12 valores médios mensais referentes ao período de 1991-2020, e (ii) uma série temporal diária de ETP estimada pelo método de Penman-Monteith (Allen et al., 1998).

O método de Hargreaves & Samani foi adotado como solução final por apresentar desempenho equivalente ao de Penman-Monteith, com a vantagem adicional de exigir apenas dados de temperatura do ar e sua amplitude térmica. Essa simplicidade operacional facilita sua integração ao modelo SMAP/ONS, ao reduzir a necessidade de variáveis meteorológicas adicionais, ampliando assim sua aplicabilidade em contextos com dados limitados. A estimativa por este método de Hargreaves & Samani é descrita pela Equação 1, baseada principalmente na temperatura do ar e sua amplitude térmica diária, simplificando a implementação nos processos internos, reduzindo a dependência de operacionalização de variáveis meteorológicas adicionais e garantindo maior aplicabilidade ao modelo em demais usos com disponibilidade limitada de dados.

$$ET_0 = \alpha * (T_{\text{máx}} - T_{\text{mín}})^{\beta} * (T_{\text{méd}} + 17,8) * R_a * 0,408 \quad (1)$$

Em que: $T_{m\acute{a}x}$ é a temperatura máxima diária do ar ($^{\circ}\text{C}$); $T_{m\acute{i}n}$ é a temperatura mínima diária do ar ($^{\circ}\text{C}$); $T_{m\acute{e}d}$ é a temperatura média diária do ar ($^{\circ}\text{C}$); R_a é a radiação extraterrestre ($\text{MJ}/\text{m}^2.\text{d}$); e α e β são coeficientes empíricos.

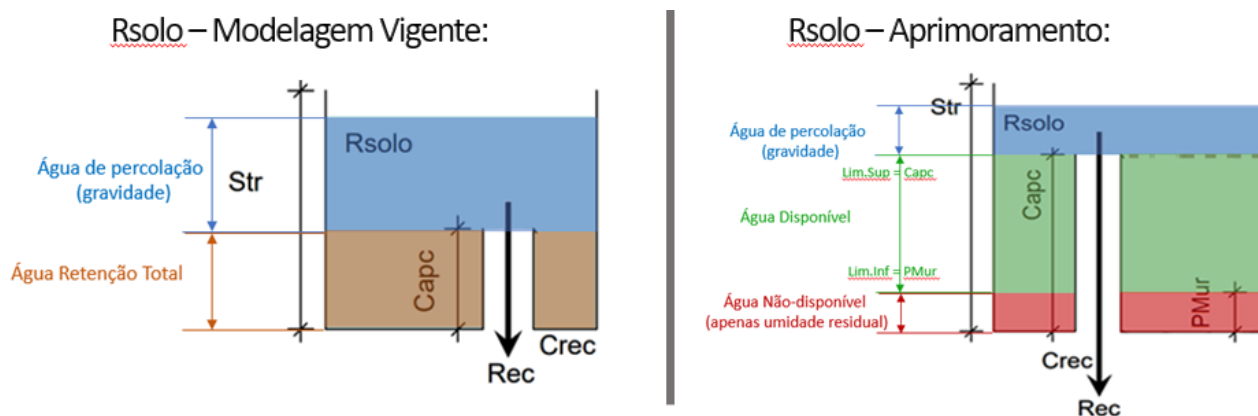
Aprimoramento (ii): Modelagem da zona de água disponível até ponto de murcha permanente (Pmur) no reservatório rsolo

Na modelagem vigente do SMAP/ONS, o reservatório Rsolo reproduz de forma simplificada o comportamento da umidade no solo, regulando a infiltração e contribuindo com os fluxos de base através do escoamento subterrâneo. É representado por duas camadas de armazenamento de água no solo: (i) uma camada de água de percolação por gravidade, que representa a fração da umidade que escoar verticalmente para camadas mais profundas até o reservatório fictício Rsub, e (ii) uma camada de água em retenção total, que corresponde ao armazenamento de umidade abaixo da capacidade de campo mantida disponível para evapotranspiração.

O aprimoramento proposto introduz uma terceira camada no reservatório fictício Rsolo, relativa à Zona do Ponto de Murcha Permanente. Essa modificação tem o objetivo de refinar a representação e os processos da umidade do solo, separando a camada (ii) água em retenção total em duas parcelas: (ii.a) água disponível na zona radicular, armazenada no solo e utilizada pelas plantas; e (ii.b) água não disponível, ou seja, apenas umidade residual. Nesse ponto, a vegetação não possui condições de manter a turgência do tecido vegetal e murcham de forma permanente. As forças que retêm a água no solo aumentam com a diminuição da umidade do solo, favorecendo o potencial matricial em que a água não mais passará do solo para as raízes.

A Figura 3 ilustra o perfil do Rsolo através de um diagrama da nova proposta de modelagem utilizada para representar as zonas de água disponível até o ponto de murcha. A partir do diagrama, foram desenvolvidas novas funções de transferência utilizadas no cálculo do Rsolo.

Figura 3 – Perfil da nova modelagem do reservatório fictício Rsolo



Novas funções de transferência em Rsolo – Aprimoramento:

$$\text{Se } R_{solo(t-1)} > \frac{Capc}{100} * Str \rightarrow Rec_{(t)} = \frac{Crec}{100} * Tu_{(t)} * \left(R_{solo(t-1)} - \frac{Capc}{100} * Str \right) \quad (2)$$

$$\text{Se } R_{solo(t-1)} < \frac{Capc}{100} * Str \rightarrow Rec_{(t)} = 0 \quad (3)$$

$$\begin{aligned} & \text{Se } R_{\text{solo}(t-1)} > \frac{P_{\text{mur}}}{100} * \frac{\text{Capc}}{100} * \text{Str} \\ & \text{Se } (P_{(t)} - E_{s(t)}) > E_{p(t)} \rightarrow E_{r(t)} = E_{p(t)} \\ & \text{Se } (P_{(t)} - E_{s(t)}) \leq E_{p(t)} \rightarrow E_{r(t)} = (P_{(t)} - E_{s(t)}) + (E_{p(t)} - (P_{(t)} - E_{s(t)})) * Tu_{(t)} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\text{Se } R_{\text{solo}(t-1)} \leq \frac{P_{\text{mur}}}{100} * \frac{\text{Capc}}{100} * \text{Str} \rightarrow E_{r(t)} = 0 \quad (5)$$

Onde: $R_{\text{solo}(t)}$: reservatório do solo no instante de tempo t (mm); Capc : capacidade de campo (%); Str : capacidade de saturação do solo (mm); $\text{Rec}(t)$: recarga subterrânea no instante de tempo t (mm/dia); Crec : parâmetro de recarga subterrânea (%); $Tu(t)$: teor de umidade do solo (adimensional); P_{mur} : ponto de murcha permanente do solo (%); $P(t)$: precipitação média, a ser considerada pelo modelo no instante de tempo t (mm/dia); $E_s(t)$: escoamento para o reservatório de superfície no instante de tempo t (mm/dia); $E_r(t)$: evapotranspiração real do solo no instante de tempo t (mm/dia).

Aprimoramento (iii): Abstração inicial (A_i) em função da capacidade de armazenamento da bacia

A modelagem vigente utiliza um parâmetro de abstração inicial fixo para representar a quantidade de água que inicialmente se mantém retida no solo antes do início da produção de escoamento superficial. Este parâmetro tradicionalmente consta enquadrado em uma faixa empírica, buscando representar uma cobertura vegetal média sobre a bacia desde o tipo gramínea ou floresta, respectivamente associadas às alturas de 1mm a 5mm. No entanto, essa abordagem não leva em consideração as variações naturais nas características da bacia nem permite anular o efeito de abstração inicial.

A capacidade de armazenamento de uma bacia refere-se ao volume máximo de água que pode ser armazenado no solo ou em reservatórios superficiais. Estudos conduzidos em 1985 pela Soil Conservation Service (SCS), atual Natural Resources Conservation Service – United States Department of Agriculture (NRCS-USDA) estabeleceram a relação:

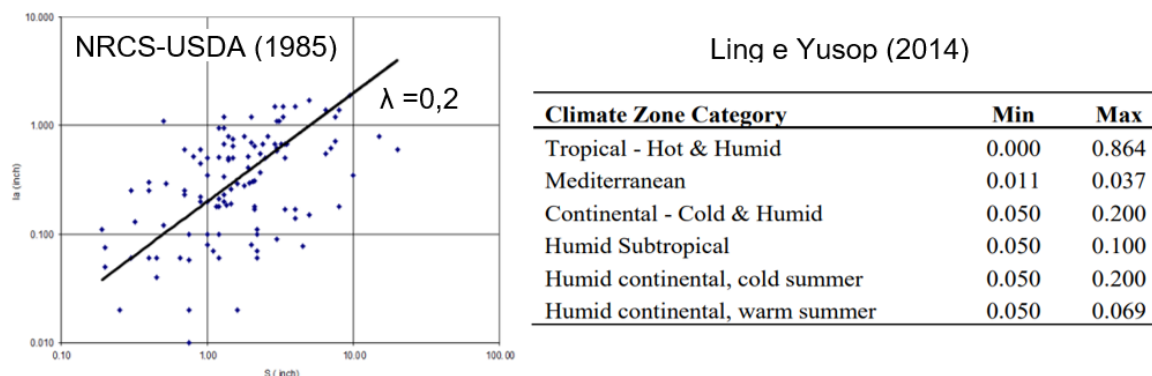
$$A_i = \lambda \times S \quad (6)$$

$$S = \text{Str} - R_{\text{solo}(t-1)} \quad (7)$$

Onde: A_i : abstração inicial (mm); λ : coeficiente de abstração inicial (adimensional); S : capacidade de armazenamento da bacia (mm); e Str : capacidade de saturação do solo (mm).

Tradicionalmente, o NRCS-USDA adota um valor médio constante de $\lambda = 0,2$ assumindo que a abstração inicial equivale a 20% do potencial máximo de retenção do solo. No entanto, pesquisas a nível mundial revisadas por Ling e Yusop (2014) indicam que essa relação não é constante, essa característica é determinada pela combinação de fatores como o tipo de solo, cobertura vegetal, regime climático e demais condicionantes hidrológicas da bacia. A Figura 4 apresenta a abordagem do NRCS-USDA lado a lado com a constatação de Ling e Yusop (2014) das faixas de aplicação de λ em função da zona climática que a bacia se localiza, estando as sub-bacias pertencentes ao SIN associadas às seguintes categorias: Subtropical Úmida, predominante na região sul do Brasil e Tropical Quente e Úmida, abrangendo a região amazônica e grande parte do território brasileiro.

Figura 4 – Comparativo dos valores de λ : ajuste da NRCS-USDA (1985) X revisão por Ling e Yusop (2014)



Avaliação do desempenho dos aprimoramentos

A avaliação do desempenho dos aprimoramentos foi construída de forma a atingir a minimização da Distância Multicritério (DM) composta por duas métricas de avaliação de desempenho do modelo: o Coeficiente de Eficiência (Nash e Sutcliffe, 1970) (CE) e a Média dos valores Absolutos Percentuais dos Erros (MAPE), conforme as Equações 8, 9 e 10, respectivamente.

$$DM = \sqrt{(1 - CE)^2 + (MAPE)^2} \quad (8)$$

$$CE = \frac{\sum_{t=1}^n (Q_{obs(t)} - \overline{Q_{obs}})^2 - \sum_{t=1}^n (Q_{obs(t)} - Q_{calc(t)})^2}{\sum_{t=1}^n (Q_{obs(t)} - \overline{Q_{obs}})^2} \quad (9)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{Q_{obs(t)} - Q_{calc(t)}}{Q_{obs(t)}} \right| \quad (10)$$

Em que: n é o número total de observações; Q_{obs} é a vazão observada no intervalo de tempo t (m^3/s); Q_{calc} é a vazão calculada no intervalo de tempo t (m^3/s); e $\overline{Q_{obs}}$ é a vazão média observada para todo o período considerado (m^3/s);

A partir da minimização da DM, foi avaliado o possível ganho de desempenho que os aprimoramentos podem trazer para a metodologia vigente do modelo SMAP/ONS, calculado pela Equação 11.

$$Ganho = \left(1 - \left(\frac{DM_{atualizada}}{DM_{vigente}} \right) \right) * 100\% \quad (11)$$

Para avaliar o desempenho dos aprimoramentos, na etapa de comparação das calibrações efetuadas, foram mantidos os dados de vazão e precipitação, assim como os critérios e períodos de dados utilizados nas calibrações vigentes. Na etapa de avaliação comparativa das previsões, os aprimoramentos foram analisados analogamente ao realizado no estudo do SMAP/ONS para o primeiro mês de previsão (Treistman et al., 2021), respeitando o período de junho de 2017 até dezembro 2021 e os demais critérios estabelecidos no estudo. Ao todo, foram simulados 239 casos.

RESULTADOS

Avaliação da etapa de calibração

Inicialmente, foram avaliados os efeitos de cada aprimoramento de forma isolada sobre o desempenho do modelo, porém os resultados obtidos com a aplicação conjunta dos três aprimoramentos (ETP | Pmur | Ai) demonstraram ganhos mais consistentes, reforçando sua robustez e contribuindo significativamente para a melhoria na representação dos processos hidrológicos no modelo SMAP/ONS. A Tabela 1 apresenta a comparação consolidada da implementação conjunta.

Tabela 1 – Ganho percentual nas distâncias multicritério das calibrações: vigente X Aprimoramento

Distância Multicritério	Calibração Vigente	Pmur Ai= λ .S ETP H&S	Ganho (%)
Barra Grande	0.3068	0.2710	12%
Manso	0.2366	0.1763	25%
Príncipe da Beira	0.5420	0.1370	75%
Pedra do Cavalo	0.8802	0.5740	35%
Sa Carvalho	0.1771	0.1673	6%
Santa Clara MG	0.5270	0.3819	28%
Capivari Cachoeira Gov Parigot	0.3255	0.3063	6%
Lajeado	0.2722	0.2341	14%
Campos Novos	0.2022	0.1799	11%
Serra da Mesa	0.2392	0.2092	13%
nova avanhandava	0.4450	0.4295	3%
Itá	0.3526	0.3465	2%
Irapé	0.3985	0.3595	10%
Dona Francisca	0.5379	0.4850	10%
Colíder	0.1404	0.1280	9%
capivara	0.2456	0.2181	11%
Candonga	0.1803	0.1530	15%
Água Vermelha	0.2071	0.1948	6%
São Simão	0.1968	0.1555	21%
Santo Antonio Jari	0.3552	0.2392	33%
Boa Esperança	0.1855	0.1529	18%
médio			17%

Avaliação da etapa de simulação das previsões

A Figura 5 apresenta a comparação das DM's obtidas na etapa de simulação das previsões do modelo SMAP/ONS vigente com o modelo aprimorado nos três aspectos apresentados (ETP | Pmur | Ai). Todas as rodadas incluem a etapa intermediária de assimilação. Na parte esquerda da figura, são apresentados em barras os resultados do desempenho do modelo para os horizontes de previsão do Dia 1 ao Dia 6, enquanto à direita são exibidos os resultados agregados das previsões semanais, da Semana 1 até a Semana 6. Os resultados do modelo aprimorado estão representados em vermelho, enquanto os resultados do modelo vigente estão em azul. Nos reservatórios em que as barras não são visíveis, se deve ao fato da DM ter ultrapassado o valor de 1, ficando fora da escala do gráfico.

Pode-se observar nos resultados que o modelo aprimorado apresenta uma menor DM (previsão com erro menor). Para os horizontes diários, o modelo aprimorado apresenta um melhor desempenho para os primeiros dias da previsão, com tendência de redução até o Dia 6. Nos horizontes semanais, o ganho nas DM's do modelo aprimorado continua evidente nas previsões de longo prazo, indicando maior estabilidade e desempenho.

A Tabela 2 apresenta um resumo dos resultados, onde círculos verdes representam uma menor DM (previsão com erro menor) por parte do modelo aprimorado, e círculos vermelhos uma maior DM (previsão com erro maior).

Figura 5 – Comparativo das DM na etapa de simulação da previsão: modelo vigente X modelo aprimorado

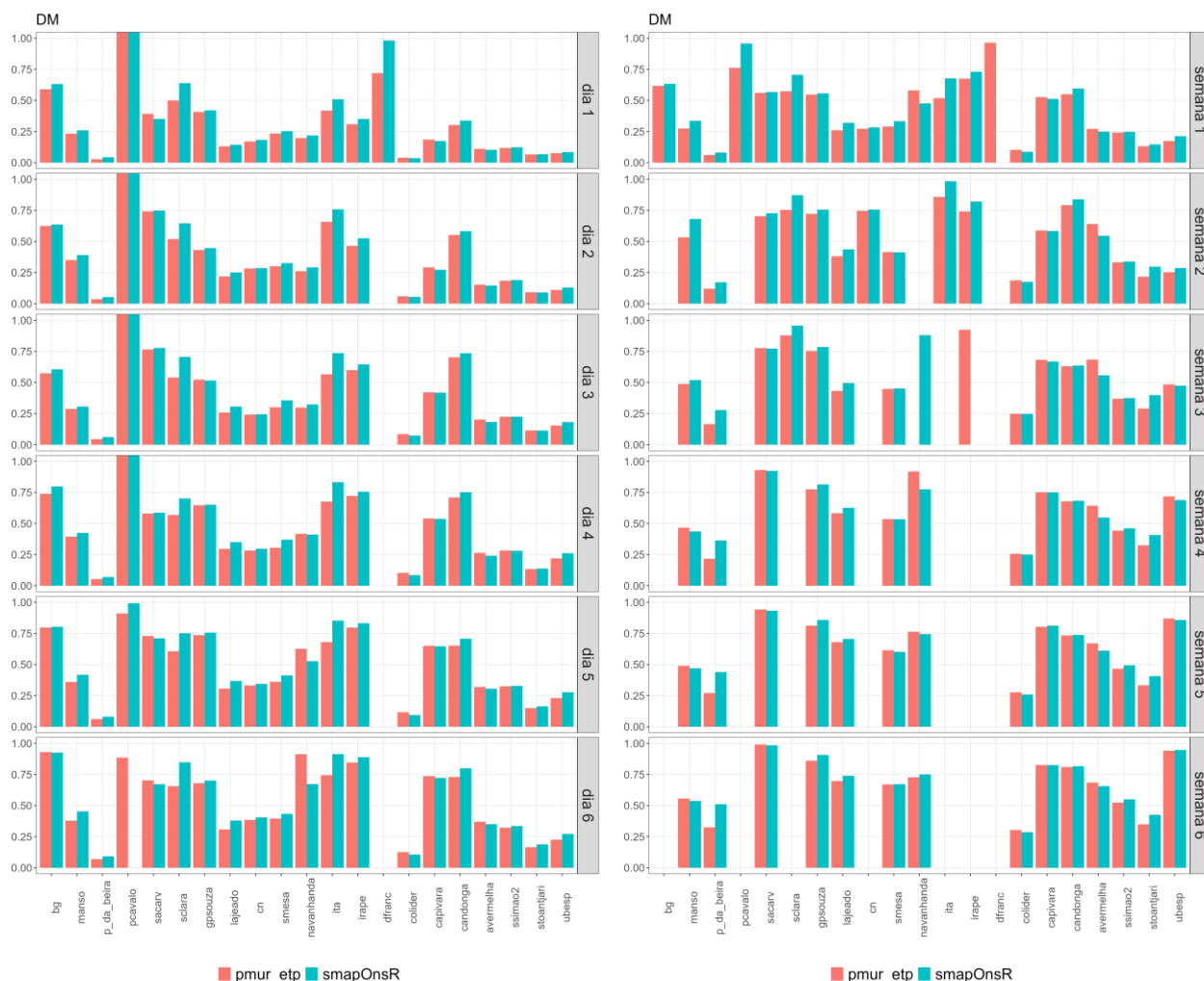


Tabela 2 – Resumo dos resultados da avaliação das previsões pela DM

nome	semana_1	semana_2	semana_3	semana_4	semana_5	semana_6
avermelha	●	●	●	●	●	●
bg	●	●	●	●	●	●
candonga	●	●	●	●	●	●
capivara	●	●	●	●	●	●
cn	●	●	●	●	●	●
colider	●	●	●	●	●	●
dfranc	●	●	●	●	●	●
gpsouza	●	●	●	●	●	●
irape	●	●	●	●	●	●
ita	●	●	●	●	●	●
lajeado	●	●	●	●	●	●
manso	●	●	●	●	●	●
navanhanda	●	●	●	●	●	●
p_da_beira	●	●	●	●	●	●
pcavalo	●	●	●	●	●	●
sacarv	●	●	●	●	●	●
sclara	●	●	●	●	●	●
smesa	●	●	●	●	●	●
ssimao2	●	●	●	●	●	●
stoantjari	●	●	●	●	●	●
ubesp	●	●	●	●	●	●

CONCLUSÕES

Os aprimoramentos metodológicos implementados no modelo SMAP/ONS trouxeram ganhos expressivos, conferindo não apenas maior robustez ao modelo, mas também impactos operacionais quantificáveis como redução de erro e aumento da acurácia das previsões, que beneficiam diretamente a atuação do modelo em hidrologia, modelagem ambiental e gestão hídrica. A implementação conjunta dos aprimoramentos propostos evidencia a importância da representatividade dos processos-chave do ciclo hidrológico trazendo melhorias significativas na previsão para a maioria das bacias e horizontes analisados. Embora algumas bacias-piloto tenham apresentado piora no desempenho, verificou-se que essa situação estava relacionada a questões externas ao aprimoramento em si, especificamente às séries de precipitação das calibrações vigentes, inalteradas neste estudo. Esse fator não compromete a validação dos aprimoramentos, que se mostraram eficazes e representam um avanço relevante na qualidade das previsões.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.G. et al. (1998). *Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements*. Rome: FAO, 1998. FAO Irrigation and Drainage Paper, 56.
- HARGREAVES, G. H., ALLEN, R.G. History and Evaluation of Hargreaves Evapotranspiration Equation. J. Irrig. Drain Eng., 2003, 129(1): 53-63.
- LING, L.; YUSOP Z. - A micro focus with macro impact: Exploration of initial abstraction coefficient ratio (λ) in Soil Conservation Curve Number (CN) methodology, 2014.
- LOPES, J. E. G., BRAGA, B. P. F. e CONEJO, J. G. L. (1982). *SMAP: A simplified hydrologic model*. In: Applied Modeling in Catchment Hydrology Water Resources Publications, Littleton, Co. p. 167–176.
- MUÑOZ-SABATER, J. et al. (2021). *ERA5-Land: A state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications*. Earth Syst. Sci. Data, 13, 4349–4383. <https://doi.org/10.5194/essd-13-4349-2021>.
- NASH, J.E., SUTCLIFFE, J.V. (1970) *River Flow Forecasting through Conceptual Model. Part 1—A Discussion of Principles*. Journal of Hydrology, 10, 282-290. [http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90255-6](http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6)
- ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico. (2024). Manual de Metodologia - Modelo SMAP/ONS.
- PEREIRA, R. J. C., TREISTMAN, F., DE FARIAS, W. C. M. (2023) “Avaliação da representatividade da evapotranspiração potencial empregada na previsão de vazões do modelo de simulação hidrológica SMAP/ONS” in Anais XXV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Aracaju, Nov. 2023.
- TREISTMAN, F., BRAGA, R. G. S., BARROS, A. M. DE L., TORRACA, H. B. B., CAMARGO, H. J., MOTA, T. U. (2021) “Análise do desempenho do modelo SMAP/ONS para previsão de vazões no 1º mês operativo do programa mensal da operação energética” in Anais XXIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Belo Horizonte, Nov. 2021.