XVIII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

XVIII ENCONTRO DE RECURSOS HÍDRICOS EM SERGIPE

INFLUENCIA DAS FUNÇÕES OBJETIVOS E DO PERÍODO DE CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO NO DESEMPENHO DO MODELO SMAP EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA NO SEMIÁRIDO NORDESTINO

Valterlin da Silva Santos[1]; Marcos Reges Campos de Sousa Júnior[2]; Roneide Martins de Andrade[3]; Ricardo de Aragão[4] & Francisco de Assis da Costa Neto[5]

RESUMO – Os modelos hidrológicos são importantes ferramentas para a gestão de bacias hidrográficas, permitindo prever o comportamento hidrológico em diferentes cenários e auxiliando no planejamento e uso sustentável da água. O modelo SMAP, amplamente utilizado na literatura e pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), simula a transformação de chuva em vazão por meio de reservatórios conceituais. Neste trabalho, avaliou-se a influência de 11 funções objetivo e diferentes períodos de calibração e validação no desempenho do modelo SMAP em uma bacia hidrográfica do semiárido paraibano. Os resultados mostraram que a escolha da função objetivo e do período de calibração e validação influenciam nos parâmetros e no desempenho do modelo no processo de geração de vazão. Observou-se que, apesar de algumas funções objetivo apresentarem desempenho muito bom no processo de calibração dos parâmetros do modelo, nenhuma função objetivo apresentou desempenho, no mínimo, satisfatório no processo de validação em todos os coeficientes de desempenho analisados.

ABSTRACT– Hydrological models are important for watershed management, as they enable the prediction of hydrological behavior under different scenarios and assist in water planning and sustainable use. The SMAP model, widely used in the literature and by the National Electric System Operator (ONS), simulates the conversion of rainfall into runoff through conceptual reservoirs. In this study, we evaluated the influence of 11 objective functions and different calibration and validation periods on the performance of the SMAP model in a hydrographic basin in the Paraiba semi-arid region. The results showed that the choice of objective function and the periods analyzed influence the model's parameters and performance, although no single function performed satisfactorily across all coefficients during validation. Although some objective functions perform very good performance in the model parameter calibration process, no objective function has performed at least satisfactory in the validation process in all analyzed performance coefficients.

Palavras-Chave – Modelos hidrológicos; Semiárido Nordestino.

[1]) Professor, UAEC/PPGECA/CTRN/UFCG-PB, R. Aprígio Veloso, 882, 58.100-970, C. Grande – PB. Fone (83) 3310-1157. e-mail: valterlin@yahoo.com.br
[2]) Engenheiro Civil pela UAEC/CTRN/UFCG, R. Aprígio Veloso, 882, 58.100-970, C. Grande – PB. Fone (83) 3310-1157. e-mail: marcos.reges@estudante.ufcg.edu.br
[3]) Aluna doutorado, PPGECA/CTRN/UFCG, R. Aprígio Veloso, 882, 58.100-970, C. Grande – PB. Fone (83) 3310-1157. e-mail: roneide.martins@estudante.ufcg.edu.br
[4]) Professor, UAEC/PPGECA/CTRN/UFCG-PB, R. Aprígio Veloso, 882, 58.100-970, C. Grande – PB. Fone (83) 3310-1157. e-mail: ricardoaragao@yahoo.com
[5]) Aluno doutorado, PPGEGRN/CTRN/UFCG, R. Aprígio Veloso, 882, 58.100-970, C. Grande – PB. Fone (83) 3310-1157. e-mail: francisco.costa@estudante.ufcg.edu.br

1 - INTRODUÇÃO

Regiões semiáridas são caracterizadas por elevadas taxas de evaporação, baixa pluviometria e chuvas distribuídas de forma irregular tanto no tempo quanto no espaço (Souza *et al.*, 2020*)*. Além disso, conforme destacado por Silva e Andrade (2019), essas áreas apresentam limitações no acesso a recursos hídricos subterrâneos, já que seus subsolos, em geral, são constituídos por formações cristalinas, que dificultam a infiltração e armazenamento de água.

Diante desse cenário, o manejo adequado da vazão na bacia hidrográfica torna-se imprescindível. Ferramentas modernas, como os processos de modelagem hidrológica, têm sido amplamente empregadas para auxiliar na gestão e preservação dos recursos hídricos. (Tucci *et al.*, 2001). O modelo SMAP (Soil Moisture Accounting Procedure) é amplamente utilizado para prever o comportamento das bacias hidrográficas por meio da relação entre precipitação e vazão. Essa ferramenta tem demonstrado grande eficiência em aplicações como a gestão de recursos hídricos, o planejamento de obras hidráulicas e a análise de eventos extremos, incluindo inundações e secas (Ferreira *et al*., 2021).

No presente estudo, será aplicado o modelo SMAP em uma bacia hidrográfica do interior da Paraíba, mais precisamente na região do Cariri paraibano. Serão avaliadas como diferentes funções objetivo e períodos de calibração e validação influenciam no desempenho do modelo.

2 - METODOLOGIA

2.1 - Área de Estudo

A área de estudo compreende a bacia de contribuição do posto fluviométrico Caraúbas (Código da Estação ANA: 38830000) situado no cariri do Estado da Paraíba (Figura 1).

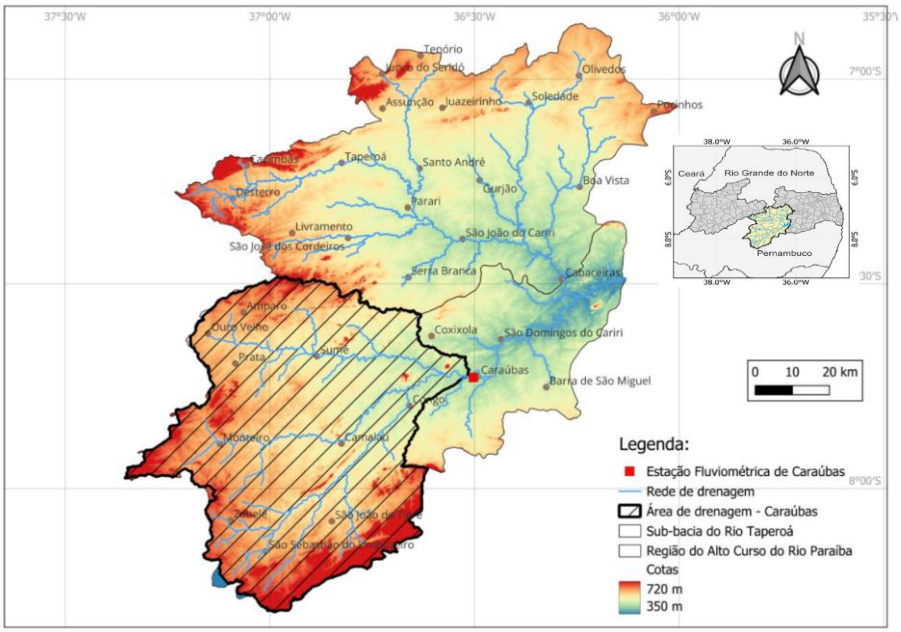


Figura 1 – Bacia de contribuição do posto fluviométrico Caraúbas.

O clima da região é do tipo semiárido BSh, segundo a classificação de Köppen, ou seja, semiárido quente, com estação seca atingindo um período que compreende de 9 a 10 meses com chuvas ocorrendo com maior intensidade nos meses de fevereiro a maio (SANTANA e SANTOS, 2020). Segundo dados da Estação Climatológica de Monteiro (Código da Estação INMET: 82792) as variações de temperatura atingem mínimas mensais de 22ºC entre os meses de junho e agosto, e máximas mensais de 26ºC entre os meses de dezembro e janeiro. A umidade relativa do ar alcança valores de 58%, no mês de novembro e, 75%, nos meses de maio a julho. A evapotranspiração potencial anual é de cerca de 1600 mm (INMET, 2025).

A vegetação predominante é a caatinga com os subtipos hiperxerófila, hipoxerófila, floresta caducifólia e subcaducifólia. Os solos da bacia integram uma região localizada geologicamente no complexo cristalino pré-cambriano, sendo o seu subsolo impermeável, de forma que não existe aquífero generalizado sob a bacia. A área de drenagem é de cerca de 5170 km². O principal curso d'água é o rio Paraíba, tendo como principais tributários o rio Sucuru e o rio Umbuzeiro.

2.2 – Dados utilizados

Os dados de vazão mensal do posto fluviométrico Caraúbas foram obtidos pelo Portal HidroWeb (https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas) para o período de janeiro de 1994 a dezembro de 2021. No entanto, como em março de 2017, chegaram as águas do Projeto de Integração do rio São Francisco (PISF) chegaram à cidade de Monteiro, tem-se que os valores registrados após essa data contabilizam tanto as vazões naturais (geradas pela precipitação) como a vazão exógena do PISF. Desse modo, para o uso no modelo SMAP, decidiu-se utilizar apenas as vazões médias mensais do período de janeiro de 1994 a dezembro de 2016.

Para a determinação da precipitação média na bacia de contribuição utilizou-se o método de Thiessen. Os dados de precipitação mensal dos postos pluviométricos foram fornecidos pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA). Os dados de evapotranspiração potencial foram obtidos do banco de dados do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) da Estação Climatológica de Monteiro (INMET, 2025).

2.3 - O Modelo SMAP

O modelo SMAP, desenvolvido por Lopes *et al*. (1982), é um modelo de simulação hidrológica do tipo transformação chuva-vazão. A versão utilizada possui discretização temporal mensal. Nessa versão, o modelo é constituído de dois reservatórios matemáticos, o reservatório de água no solo (RSolo) e o reservatório subterrâneo (RSub) conforme apresentado na Figura 2. Os parâmetros calibrados são: capacidade de saturação do solo (Sat), parâmetro de escoamento superficial (Pes), coeficiente de recarga do reservatório subterrâneo (Crec) e a constante de recessão (k).

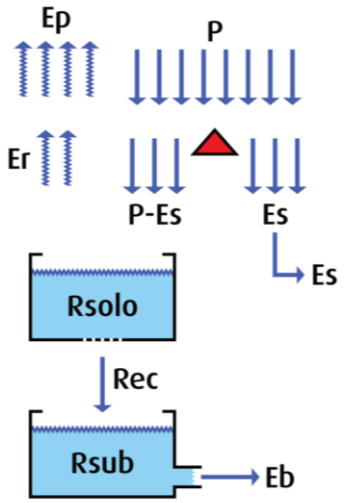


Figura 2 – Estrutura do modelo SMAP. Fonte: Lopes *et al*. (1982)

2.4 - Funções Objetivo

Para avaliar como diferentes funções objetivo influenciam no desempenho do modelo SMAP foram empregadas 11 (onze) funções objetivo como apresentado no Quadro 1. Suas principais características podem ser observadas no Quadro 2.

Quadro 1 – Funções objetivo utilizadas na calibração do SMAP.

Função objetivo	**Equação**[6]
Média dos quadrados dos resíduos	$FO1 = \frac{1}{N}\sum_{t=1}^{N}\left[(Qobs(t) - Qcal(t))^2\right]$
Média dos erros absolutos	$FO2 = \frac{1}{N}\sum_{t=1}^{N}\left\|Qobs(t) - Qcal(t)\right\|$
Desvio do volume escoado	$FO3 = \left\|\frac{\sum_{t=1}^{N} Qobs(t) - \sum_{t=1}^{N} Qcal(t)}{\sum_{t=1}^{N} Qobs(t)}\right\|$
Desvio da vazão de pico	$FO4 = \left\|\frac{Qobs(pico) - Qcal(pico)}{Qobs(pico)}\right\|$
Média dos erros quadráticos médios ponderada pela média	$FO5 = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{t=1}^{N}\left[((Qobs(t) - Qcal(t))^2) \cdot \frac{Qobs(t) + \underline{Qobs}}{2\underline{Qobs}}\right]}$
Coeficiente de determinação (R^2)	$FO6 = \left[\frac{\sum_{t=1}^{N}\left(Qcal(t) - \underline{Qcal}\right)\cdot\left(Qobs(t) - \underline{Qobs}\right)}{\sqrt{\sum_{t=1}^{N}\left(Qobs(t) - \underline{Qobs}\right)^2}\cdot\sqrt{\sum_{t=1}^{N}\left(Qcal(t) - \underline{Qcal}\right)^2}}\right]^2$
Coeficiente de eficiência de Nash Sutcliffe	$FO7 = 1 - \frac{\sum_{t=1}^{N}(Qobs(t) - Qcal(t))^2}{\sum_{t=1}^{N}\left(Qobs(t) - \underline{Qobs}\right)^2}$
Razão entre a Raiz Quadrada do Erro Médio e o Desvio Padrão	$FO8 = \frac{\sqrt{\sum_{t=1}^{N}\left(Qobs(t) - Qcal(t)\right)^2}}{\sqrt{\sum_{t=1}^{N}\left(Qobs(t) - \underline{Qobs}\right)^2}}$

[6] Sendo: Qobs(t) a vazão observada no mês t; Qcal(t) vazão calculada no mês t; N o número de meses; Qobs(pico) e Qcal(pico) a vazão observada e calculada no instante maior pico; a vazão média observada; r o coeficiente de correlação de Pearson entre a vazão observada e a vazão calculada; α a razão entre o desvio padrão da vazão calculada e da vazão observada; β a razão entre a vazão média calculada e a vazão média observada.

Função objetivo	Equação[6]
Coeficiente de eficiência de Nash Sutcliffe Modificado	$FO9 = 1 - \frac{\sum_{t=1}^{N} \lvert Qobs(t) - Qcal(t) \rvert}{\sum_{t=1}^{N} \lvert Qobs(t) - \underline{Qobs} \rvert}$
Tendência relativa média	$F10 = \frac{\sum_{t=1}^{N} [(Qobs(t) - Qcal(t))]}{\sum_{t=1}^{N} Qobs(t)}$
Coeficiente de eficiência de Kling–Gupta (KGE)	$F11 = 1 - \sqrt{(r-1)^2 + (\alpha - 1)^2 + (\beta - 1)^2}$

Quadro 2 – Características das funções objetivo utilizadas na calibração do SMAP.

Função objetivo	Característica
FO1	Amplamente utilizada na calibração de diversos modelos de chuva-vazão. Entretanto, o fato de elevar os resíduos ao quadrado faz com que a função seja particularmente sensível a grandes erros, destacando o desempenho do modelo na presença de valores discrepantes. Valor ótimo é 0 (zero).
FO2	Trata todos os resíduos com o mesmo peso, independentemente de sua magnitude, o tornando menos sensível na presença de valores discrepantes. Valor ótimo é 0 (zero).
FO3	Quantifica a diferença entre os volumes de escoamento observados e calculados pelos modelos hidrológicos. Entretanto, não considera a magnitude e o tempo da vazão de pico. Valor ótimo é 0 (zero).
FO4	avalia a diferença entre os picos de vazão observadas e calculadas pelo modelo. Entretanto, não considera o volume escoado ou tempo da vazão de pico. Valor ótimo é 0 (zero).
FO5	Pondera o valor do quadrado dos resíduos de modo que, quanto maior for a vazão observada em relação a vazão média observada maior será seu peso. Assim, vazões observadas maiores que a vazão média observada recebem um peso maior que 1,0, e vazões observadas menores que a média, um peso menor que 1,0. Valor ótimo é 0 (zero).
FO6	Medida da proporção da variância dos dados observados que foi explicada pelos dados calculados pelo modelo. Um valor de 0 implica que os dados calculados pelo modelo não conseguem explicar qualquer variabilidade dos dados observados, enquanto um valor de 1 indica que os dados calculados explicam perfeitamente toda a variabilidade. Portanto, valores mais elevados de R^2 significam um melhor ajuste dos dados calculados
FO7	Estatística normalizada que compara a variância residual do modelo com a variância dos dados medidos. Os valores variam de infinito negativo a 1. Um modelo perfeito ajustado aos dados observados produz um valor de 1 (um), indicando uma correspondência completa entre valores simulados e observados. Um valor de 0 (zero) sugere que as previsões do modelo são tão precisas quanto simplesmente usar a média dos dados observados, enquanto os valores negativos indicam que a média dos dados observados fornece melhores previsões do que o modelo.
FO8	Padroniza o quadrado dos resíduos usando o desvio padrão das observações. Tem como valor ótimo o 0 (zero).
FO9	Buscam superar as limitações da função objetivo FO7, como a sensibilidade excessiva a picos de vazão e a negligência dos valores menores, levando a uma avaliação distorcida durante picos de vazão e condições de baixo fluxo. Ao não elevar os resíduos ao quadrado torna-a menos sensível na presença de valores discrepantes. Tem como valor ótimo o 1 (um).
FO10	Avalia a tendência que a média dos valores calculados tem em relação aos observados. O valor ótimo é 0 (zero), valores positivos indicam uma subestimação do modelo, e valores negativos de superestimação. Uma das principais vantagens é a sua simplicidade e universalidade, fornecendo uma medida concisa e confiável da precisão do modelo, tendo a capacidade de identificar o baixo desempenho do modelo
FO11	foi proposto para superar as limitações de outras medidas, como Coeficiente de Eficiência de Nash-Sutcliffe e o Coeficiente de determinação (R^2) que se concentram apenas na média e variância dos dados observados. O KGE mede não apenas a precisão das previsões do modelo, mas também sua capacidade de reproduzir a variabilidade e o tempo dos dados observados. Tem como valor ótimo o 1 (um).

2.5 - Calibração e Validação

Para cada função objetivo analisada foram calibrados, por meio de planilhas eletrônicas, os parâmetros do modelo SMAP. Posteriormente, tais parâmetros calibrados foram utilizados para a geração de séries de vazões para o período de validação. Os períodos definidos para calibração estão dispostos no Quadro 3.

Quadro 3 – Períodos de calibração e validação utilizados.

CENÁRIO	CALIBRAÇÃO	VALIDAÇÃO
C1	janeiro de 1994 a dezembro de 2005	janeiro de 2006 a dezembro de 2016
C2	janeiro de 2006 a dezembro de 2016	janeiro de 1994 a dezembro de 2005

2.6 - Coeficiente de Eficiência

A performance de cada função objetivo foi avaliada através dos coeficientes de desempenho dispostos no Quadro 4. A Tabela 1 apresenta a classificação desses coeficientes de desempenho.

Quadro 4 – Coeficientes de desempenho utilizadas para avaliação da calibração e validação do modelo SMAP. Fonte: Adaptado de Moriasi *et al.* (2007).

Coeficientes	Equação
Coeficiente de determinação	$R^2 = \left[\frac{\sum_{t=1}^{N}\left(Qcal(t)-\underline{Qcal}\right)\cdot\left(Qobs(t)-\underline{Qobs}\right)}{\sqrt{\sum_{t=1}^{N}\left(Qobs(t)-\underline{Qobs}\right)^2}\cdot\sqrt{\sum_{t=1}^{N}\left(Qcal(t)-\underline{Qcal}\right)^2}}\right]^2$
Coeficiente de eficiência de Nash Sutcliffe	$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^{N}\left(Qobs(t)-Qcal(t)\right)^2}{\sum_{t=1}^{N}\left(Qobs(t)-\underline{Qobs}\right)^2}$
Percentual de Tendência média	$PBIAS = \frac{\sum_{t=1}^{N}\left(Qobs(t)-Qcal(t)\right)}{\sum_{t=1}^{N}Qobs(t)}$
Razão entre a Raiz Quadrada do Erro Médio e o Desvio Padrão	$RSR = \frac{\sqrt{\sum_{t=1}^{N}\left(Qobs(t)-Qcal(t)\right)^2}}{\sqrt{\sum_{t=1}^{N}\left(Qobs(t)-\underline{Qobs}\right)^2}}$

Tabela 1 – Classificação dos coeficientes de desempenho. Fonte: Adaptado de Moriasi *et al.* (2007).

Classificação	NSE	PBIAS (%)	R^2	RSR
Muito boa	0,75 < NSE ≤ 1,00	PBIAS<±10	0,80 < R^2 ≤ 1,00	0.00≤ RSR≤0.50
Boa	0,65 < NSE ≤ 0,75	±10≤PBIAS<±15	0,70 < R^2 ≤ 0,80	0.50<RSR≤0.60
Satisfatória	0,50 < NSE ≤ 0,65	±15≤PBIAS<±25	0,60 < R^2≤ 0,70	0.60<RSR≤0.70
Insatisfatória	NSE ≤ 0,50	PBIAS≥±25	R^2 ≤ 0,60	RSR>0.70

3 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 2 apresenta os valores dos parâmetros calibrados para cada função objetivo para o Cenário C1 (período de janeiro de 1994 a dezembro de 2005). Observou-se que as funções objetivo FO1, FO7 e FO8 apresentaram os mesmos valores de parâmetros, assim como FO2 e FO9, e FO3 e FO10, indicando equivalência no processo de otimização. Tal fato deve-se que as funções FO1, FO7

e FO8 utilizam a diferença quadrática entre vazões observadas e calculadas; as funções FO2 e FO9 utilizam o valor absoluto dessa diferença; enquanto que as funções FO3 e FO10 consideram a diferença entre volumes observados e calculados.

Tabela 2 – Parâmetros do modelo SMAP calibrados para cada função objetivo no cenário C1.

FUNÇÕES OBJETIVO	PARÂMETROS			
	Sat	Pes	Crec	k
FO1, FO7 e FO8	400,00	3,92	0,00	6,00
FO2 e FO9	400,00	5,01	0,00	1,00
FO3 e FO10	400,00	4,04	0,00	6,00
FO4	400,00	3,57	0,00	1,00
FO5	400,00	2,16	0,00	1,00
FO6	5000,00	3,30	0,00	3,94
FO11	400,00	3,81	0,00	6,00

Tem-se que nesse cenário que o valor do parâmetro Crec é igual a zero para todas as funções objetivo corroborando com os resultados de Diniz (2001) e Alexandre et al. (2005), que ao aplicar o modelo SMAP em bacias do semiárido paraibano e cearense, respectivamente, encontraram a quase inexistência de recargas para os reservatórios subterrâneos, devido característica da região com solos, predominantemente, rasos e assente sobre rochas impermeáveis. Outro destaque é o parâmetro Sat que foi igual a 400 exceto para a função objetivo FO6. Já o parâmetro Pes apresentou uma maior variabilidade com valores entre 2,16 a 5,01.

O Quadro 5 apresenta a classificação dos coeficientes de desempenho para cada função objetivo no processo de calibração no cenário C1.

Quadro 5 – Classificação dos coeficientes de desempenho de cada função objetivo para calibração no cenário C1.

FUNÇÕES OBJETIVO	COEFICIENTES			
	R^2	RSR	NSE	PBIAS
FO1, FO7 e FO8	Boa	Boa	Boa	Muito boa
FO2 e FO9	Satisfatória	Satisfatória	Satisfatória	Insatisfatória
FO3 e FO10	Boa	Boa	Boa	Muito boa
FO4	Boa	Boa	Boa	Insatisfatória
FO5	Satisfatória	Satisfatória	Satisfatória	Satisfatória
FO6	Boa	Satisfatória	Satisfatória	Insatisfatória
FO11	Boa	Boa	Boa	Satisfatória

Apenas as funções objetivo FO1 (e consequentemente FO7 e FO8), FO3 (e consequentemente FO10), FO5 e FO11 tiveram desempenho, no mínimo, satisfatório no processo de calibração.

O Quadro 6 apresenta a classificação dos coeficientes de desempenho para cada função objetivo no processo de validação no cenário C1 (período de janeiro de 2006 a dezembro de 2016). Tem-se que nenhuma função objetivo apresentou, no mínimo, desempenho satisfatório em todos os

coeficientes analisados. Evidenciando que apesar das calibrações se apresentaram boas ou muito boas não significa que no processo de validação teremos desempenho similar.

Quadro 6 – Classificação dos coeficientes de desempenho de cada função objetivo para validação no cenário C2.

FUNÇÕES OBJETIVO	COEFICIENTES			
	R^2	RSR	NSE	PBIAS
FO1, FO7 e FO8	Muito boa	Insatisfatória	Insatisfatória	Insatisfatória
FO2 e FO9	Boa	Insatisfatória	Insatisfatória	Muito boa
FO3 e FO10	Muito boa	Insatisfatória	Insatisfatória	Insatisfatória
FO4	Muito boa	Insatisfatória	Insatisfatória	Insatisfatória
FO5	Insatisfatória	Insatisfatória	Insatisfatória	Boa
FO6	Muito boa	Insatisfatória	Insatisfatória	Insatisfatória
FO11	Muito boa	Insatisfatória	Insatisfatória	Insatisfatória

Tais resultados podem ser decorrentes de mudanças no uso do solo na bacia, como descrito em Aragão et. al. (2025), que observou, no período de 1994 e 2020, uma considerável queda nas áreas agriculturas e um aumento das áreas de pastagem, que para a região, significa, caatinga rasteira. Desse modo, fica evidente que o período de calibração e validação podem influenciar no desempenho do modelo SMAP, devendo o hidrológico observar as possíveis mudanças ocorridas no uso do solo da região no período analisado.

A Tabela 3 apresenta os valores dos parâmetros calibrados para cada função objetivo para o Cenário C2 (período de janeiro de 2006 a dezembro de 2016).

Tabela 3 – Parâmetros do modelo SMAP calibrados para cada função objetivo no cenário C2.

FUNÇÕES OBJETIVO	PARÂMETROS			
	Sat	Pes	Crec	k
FO1, FO7 e FO8	781,23	3,34	0,00	6,00
FO2 e FO9	633,96	3,81	0,00	1,00
FO3 e FO10	781,23	3,29	0,00	6,00
FO4	431,97	7,14	70,00	6,00
FO5	741,54	3,59	5,12	1,00
FO6	543,67	3,07	0,00	6,00
FO11	694,29	3,47	0,00	6,00

De maneira análoga ao cenário C1, as funções objetivo FO1, FO7 e FO8 apresentaram os mesmos valores dos parâmetros, bem como as funções objetivo FO2 e FO9 e FO3 e FO10. Apenas as funções objetivo FO4 e FO5 apresentam valores do parâmetro Crec diferente de zero o que caracteriza recarga para o reservatório subterrâneo e, consequentemente, escoamento subterrâneo.

Diferente do ocorrido no cenário C1 tem-se uma variabilidade nos valores dos parâmetros Sat e Pes, evidenciando, nesse cenário, que a escolha da função objetivo influência nos valores dos parâmetros calibrados. Tais discrepâncias entre os valores calibrados do cenário C1 e C2 podem ser

decorrentes de mudanças no uso do solo na bacia, demonstrando, novamente que o período de calibração influência nos valores dos parâmetros calibrados.

O Quadro 7 apresenta a classificação dos coeficientes de desempenho para cada função objetivo no processo de calibração no cenário C2. Apenas as funções objetivo FO4 e FO6 apresentaram resultado insatisfatório em algum coeficiente. Nota-se que o desempenho das funções objetivo foi melhor quando comparado ao cenário C1 evidenciando que o período de calibração influencia no desempenho do modelo.

Quadro 7 – Classificação dos coeficientes de desempenho de cada função objetivo para calibração no cenário C2.

FUNÇÕES OBJETIVO	COEFICIENTES			
	R^2	RSR	NSE	PBIAS
FO1, FO7 e FO8	Muito boa	Muito boa	Muito boa	Muito boa
FO2 e FO9	Muito boa	Muito boa	Muito boa	Muito boa
FO3 e FO10	Muito boa	Muito boa	Muito boa	Muito boa
FO4	Insatisfatória	Insatisfatória	Insatisfatória	Insatisfatória
FO5	Muito boa	Muito boa	Muito boa	Muito boa
FO6	Muito boa	Satisfatória	Satisfatória	Insatisfatória
FO11	Muito boa	Muito boa	Muito boa	Muito boa

O Quadro 8 apresenta a classificação dos coeficientes de desempenho para cada função objetivo no processo de validação no cenário C2 (período de janeiro de 1994 a dezembro de 2005).

Quadro 8 – Classificação dos coeficientes de desempenho de cada função objetivo para validação no cenário C3.

FUNÇÕES OBJETIVO	COEFICIENTES			
	R^2	RSR	NSE	PBIAS
FO1, FO7 e FO8	Insatisfatória	Satisfatória	Satisfatória	Boa
FO2 e FO9	Insatisfatória	Insatisfatória	Insatisfatória	Insatisfatória
FO3 e FO10	Insatisfatória	Satisfatória	Satisfatória	Muito boa
FO4	Insatisfatória	Insatisfatória	Insatisfatória	Insatisfatória
FO5	Insatisfatória	Insatisfatória	Insatisfatória	Satisfatória
FO6	Satisfatória	Satisfatória	Satisfatória	Insatisfatória
FO11	Insatisfatória	Satisfatória	Satisfatória	Muito boa

De maneira análoga ao cenário C1, nenhuma função objetivo apresentou, no mínimo, desempenho satisfatório em todos os coeficientes. Evidenciando, novamente, que apesar das calibrações se apresentaram boas ou muito boas não significa que no processo de validação teremos desempenho similar.

4 - CONCLUSÃO

Conclui-se que a escolha da função objetivo e dos períodos de calibração e validação influencia diretamente os parâmetros e o desempenho do modelo SMAP na geração de vazão.

Embora algumas funções objetivo tenham apresentado bom desempenho no processo de calibração, nenhuma alcançou resultados satisfatórios em todos os coeficientes avaliados durante o

processo de validação. Tal fato deve-se a mudanças ocorridas no uso do solo da bacia no qual os parâmetros determinados no período de calibração apresentam valores insatisfatórios no período de validação.

REFERÊNCIAS

ALEXANDRE, A. M. B.; MARTINS, E. S.; CLARKE, R. T.; REIS, D. S. JR (2005). "*Regionalização de Parâmetros de Modelos Hidrológicos*". In: Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH, João Pessoa – PB.

ARAGÃO, R.; MIRANDA, J. M. S.; ANDRADE, R. M.; RUFINO, I. A. A.; SILVA, V. S.; SANTOS, L. L.; ALVES, L, M.; SRINIVASAN, v. s. (2025). "*avaliação da influência do uso e ocupação do solo sobre a produção de água e sedimentos numa sub-bacia do rio paraíba na região do cariri paraibano*". In: Anais do XXVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH, Vitoria – ES.

DINIZ, L. S. & CLARKE, R. T. (2001). "*Regionalização de parâmetros de modelo chuva vazão usando redes neurais*" In: Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos e V Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Portuguesa, Aracajú: Associação Brasileira de Recursos Hídricos. CD-ROM.

FERREIRA, M. C.; OLIVEIRA, J. P. (2021). "*Aplicação do modelo SMAP em bacias semiáridas: estudo de caso na Paraíba"*. Revista de Engenharia Ambiental, v. 18, n. 3, p. 112-126.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. *Planilhas de dados de estações convencionais e automáticas do Estado da Paraíba*. (2024). Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/#>. Acesso em: 15 mar. 2025.

LOPES, J. E. G.; BRAGA, B. P. F.; CONEJO, J. G. L. (1982). SMAP: "*A simplified hydrologic model"*. In: Applied Modeling in Catchment Hydrology Water Resources Publications, Littleton, Co. p. 167–176.

MORIASI, D. N. *et al*. (2007) "*Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations*". Transactions of the ASABE, v. 50, n. 3, p. 885–900.

SANTANA, A. S; SANTOS, G. R. (2020). "*Impactos da Seca de 2012-2017 na Região Semiárida do Nordeste: Notas Sobre a Abordagem de Dados Quantitativos e Conclusões Qualitativas*". Boletim regional, urbano e ambiental, v.22, Ipea jan.-jun. 2020.

SILVA, G. H.; ANDRADE, J. F. (2019). "*Análise da variabilidade espacial das chuvas em bacias hidrográficas do semiárido"*. Revista Geociências Nordeste, v. 5, p. 55–70.

SOUZA, B. I. *et al*. (2020). "*Convivência com o semiárido: estratégias de desenvolvimento rural no Cariri da Paraíba"*. Revista de Geografia, v. 36, n. 1, p. 112-130.

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; CORDEIRO NETTO, O. M. (2001). *Gestão da Água no Brasil*. UNESCO Brasília – DF, 156p.