



# I CONGRESSO PERNAMBUCANO DE RECURSOS HÍDRICOS

Água para o Desenvolvimento  
Recife, 24, 25 e 26 de Março de 2026

## APLICAÇÃO DO MODELO HIDROLÓGICO CONCENTRADO CAWM EM BACIAS HIDROGRÁFICAS PERNAMBUCANAS

*Sabrina da Silva Corrêa Raimundo*<sup>1</sup>; *Maria Eduarda Valentim Cavalcanti*<sup>2</sup>; *José Almir Cirilo*<sup>3</sup>; *Gladistony Silva Lins*<sup>4</sup> & *Saulo de Tarso Marques Bezerra*<sup>5</sup>

**Palavras-chave:** Recursos Hídricos, QGIS; *Particle Swarm Optimization*, Pernambuco Tridimensional.

### INTRODUÇÃO

A gestão dos recursos hídricos em regiões semiáridas apresenta desafios complexos, especialmente devido à variabilidade espacial e temporal da precipitação, altas taxas de evapotranspiração e solos de baixa capacidade de armazenamento hídrico. Nessa realidade, modelos hidrológicos tornam-se ferramentas indispensáveis para a simulação dos processos chuva-vazão, possibilitando o planejamento eficiente e a gestão sustentável dos recursos hídricos. Entre os modelos existentes, destaca-se o *Campus Agreste Watershed Model* (CAWM), desenvolvido na Universidade Federal de Pernambuco, que foi projetado inicialmente para bacias de pequeno e médio porte em regiões semiáridas, e posteriormente englobou as regiões áridas, incorporando características físicas das bacias e reduzindo o número de parâmetros a serem calibrados (Cirilo *et al.*, 2020).

Um aspecto crítico na modelagem hidrológica é a calibração de parâmetros, que pode ser um processo demorado e impreciso quando realizado por tentativa e erro. Nesse contexto, o uso do algoritmo metaheurístico PSO (*particle swarm optimization*) apresenta vantagens significativas em relação ao método de otimização Gradiente Reduzido Generalizado (GRG2), utilizado antes da integração do PSO ao CAWM, como rápida convergência e baixa exigência de parâmetros iniciais. Estudos como os de Jahandideh-Tehrani (2020) e Corrêa (2023) demonstram que o PSO é altamente eficiente em problemas de otimização na área hidrológica, sendo uma alternativa promissora para calibrar modelos como o CAWM.

Este estudo propõe a aplicação do CAWM, em sua versão concentrada, em bacias hidrográficas pernambucanas, utilizando o método PSO para aprimorar a calibração de parâmetros. Além de explorar as especificidades hidrológicas dessas bacias, o estudo contribui para avaliação do desempenho do modelo em cenários com diferentes níveis de regularização de vazão.

---

<sup>1</sup>) Professora Assistente da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE. [Sabrina.correa@ufrpe.br](mailto:Sabrina.correa@ufrpe.br)

<sup>2</sup>) Graduanda em Engenharia Civil na Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFPE. [Eduarda.valentim@ufpe.br](mailto:Eduarda.valentim@ufpe.br).

<sup>3</sup>) Professor Titular da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFPE. [Jose.cirilo@ufpe.br](mailto:Jose.cirilo@ufpe.br)

<sup>4</sup>) Graduando em Engenharia da Computação na Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE. [gladistony.silva@ufrpe.br](mailto:gladistony.silva@ufrpe.br).

<sup>5</sup>) Professor Adjunto da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFPE. [Saulo.tarso@ufpe.br](mailto:Saulo.tarso@ufpe.br)

## METODOLOGIA

Neste trabalho o CAWM foi desenvolvido em uma nova versão na linguagem *Python*. A calibração dos parâmetros do modelo foi realizada com o método probabilístico *Particle Swarm Optimization* (PSO), por ser de fácil implementação, possuir convergência rápida e possuir poucos parâmetros a serem ajustados (Kar *et al.*, 2012).

O PSO utiliza dois importantes princípios sociométricos, Gbest e Pbest, que representam a melhor posição no espaço de busca percorrido por qualquer uma das partículas e a melhor posição individual da partícula, respectivamente. O impacto exercido pelas métricas Gbest e Pbest depende do fator cognitivo (c1) e do fator social (c2). Além disso, a capacidade de exploração do espaço de busca é controlada pelo fator de inércia ( $\omega$ ), que equilibra a exploração global e local, resultando em menos iterações para encontrar a solução ótima.

Assim, uma partícula se moverá em uma determinada direção que é função de alguns parâmetros: a posição atual  $x_i(t)$ , a velocidade atual  $v_i(t)$ , a inércia, a melhor posição já ocupada Pbest, e a melhor posição já encontrada pelo enxame Gbest. A velocidade das partículas é ajustada de acordo com a Equação 1:

$$v_{i(t+1)} = \omega v_{i(t)} + randc_1(P_{best} - x_{i(t)}) + randc_2(G_{best} - x_{i(t)}) \quad (1)$$

c1 e c2 são constantes limitadas a um intervalo finito, i é a partícula analisada, t é a iteração atual e *rand* gera valores aleatórios entre 0 e 1, que ajudam a partícula a não se perder nos mínimos locais.

Após calcular a velocidade da partícula, a posição da partícula na próxima iteração é estabelecida como a soma da posição antiga e da velocidade calculada, expressa pela Equação 2:

$$x_{i(t+1)} = x_{i(t)} + v_{i(t+1)} \quad (2)$$

Para cada iteração foi necessária a realização de uma simulação hidrológica da bacia de estudo, caracterizada pelos novos valores dos parâmetros calibráveis, e o novo desempenho é investigado através do cálculo da função objetivo. Portanto, a implementação de cálculos de balanço hídrico a partir do modelo CAWM dentro da classe PSO tornou-se essencial.

O modelo utiliza uma função objetivo para maximizar o indicador de desempenho NSE: coeficiente de eficiência *Nash-Sutcliffe*, minimizando a soma dos erros absolutos entre a vazão calculada e a vazão observada, conforme Equação 3:

$$FO = \frac{NSE \cdot 10^6}{\sum |Q_{obs} - Q_{calc}|} \quad (3)$$

O algoritmo desenvolvido para o CAWM consiste atualmente em dois módulos com formulações matemáticas distintas. Neste estudo, aplicou-se o módulo para regiões semiáridas, que simula o escoamento sobre solos rasos e com baixa capacidade de acumulação, comum no semiárido nordestino brasileiro, onde estão localizadas em maior parcela as bacias do rio Capibaribe e Pajeú, e o módulo para regiões úmidas, destinado a regiões úmidas com recarga dinâmica de aquíferos e fluxo subterrâneo, relacionado a bacias hidrográficas perenes, como é o caso da bacia do rio Sirinhaém.

## RESULTADOS

De um total de 22 eventos simulados, sendo 8 cenários sem a influência de barragens, os ajustes foram classificados de acordo com os critérios de Moriasi *et al.* (2007). Como apresentado nas Tabelas 1 e 2, as barragens têm grande influência nos ajustes de calibração, dado que a porcentagem dos resultados pelo menos satisfatórios passa a ser 100% nas simulações reduzidas. Nos cenários de validação, similarmente, o aumento ocorre, não sendo satisfatório apenas para a simulação de Salgadinho (r.).

Tabela 1 – Desempenho do CAWM no total de eventos simulados

| Desempenho              | NSE  |      | NSE <sub>sqrQ</sub> |      | NSE <sub>logQ</sub> |      | Pbias |      |
|-------------------------|------|------|---------------------|------|---------------------|------|-------|------|
|                         | Cal. | Val. | Cal.                | Val. | Cal.                | Val. | Cal.  | Val. |
| Muito bom               | 18%  | 5%   | 50%                 | 27%  | 18%                 | 5%   | 86%   | 36%  |
| Bom                     | 18%  | 18%  | 5%                  | 23%  | 32%                 | 14%  | 9%    | 9%   |
| Satisfatório            | 41%  | 27%  | 32%                 | 18%  | 27%                 | 41%  | 5%    | 18%  |
| Pelo menos satisfatório | 77%  | 50%  | 87%                 | 68%  | 77%                 | 60%  | 100%  | 63%  |

É possível observar uma tendência do modelo hidrológico a representar melhor as vazões médias, representadas pelo  $NSE_{sqrQ}$ , seguidas das vazões baixas, representadas pelo  $NSE_{logQ}$ , que obteve a maior parte dos seus resultados classificados em “Bom”. O índice Pbias, por sua vez, demonstra a capacidade do modelo em minimizar a diferença entre vazões simuladas e observadas por meio da função objetivo, obtendo resultados pelo menos satisfatórios em 100% dos cenários calibrados e 64% dos validados, ocorrendo uma melhoria de 14% em relação aos cenários validados quando observa-se isoladamente os cenários sem influência de barragens.

Tabela 2 – Desempenho do CAWM nos eventos simulados sem influência de barragens

| Desempenho              | NSE  |      | NSE <sub>sqrQ</sub> |      | NSE <sub>logQ</sub> |      | Pbias |      |
|-------------------------|------|------|---------------------|------|---------------------|------|-------|------|
|                         | Cal. | Val. | Cal.                | Val. | Cal.                | Val. | Cal.  | Val. |
| Muito bom               | 25%  | 13%  | 75%                 | 63%  | 25%                 | 13%  | 88%   | 50%  |
| Bom                     | 25%  | 38%  | -                   | 25%  | 50%                 | 38%  | 13%   | 13%  |
| Satisfatório            | 50%  | 50%  | 25%                 | 13%  | 25%                 | 50%  | -     | 25%  |
| Pelo menos satisfatório | 100% | 100% | 100%                | 100% | 100%                | 100% | 100%  | 88%  |

## CONCLUSÕES

Em consonância com o exposto, destaca-se que a abordagem adotada se mostrou eficaz na simulação do comportamento hidrológico de sub-bacias localizadas tanto em regiões semiáridas quanto úmidas, com destaque para as regiões úmidas, o que reforça a dificuldade dos modelos em simular bacias no semiárido. Houve destaque também para os resultados satisfatórios obtidos nos cenários sem a influência de barragens.

Além disso, a aplicação do modelo confirmou seu potencial como uma ferramenta eficaz para apoio à gestão e ao planejamento dos recursos hídricos em regiões semiáridas, caracterizadas por elevada variabilidade pluviométrica e escassez de dados. O estudo reforça a viabilidade do CAWM como alternativa acessível e robusta para a modelagem hidrológica em contextos complexos, apontando para a importância de ampliar sua aplicação em outras bacias e de fomentar melhorias na automatização e na calibração de modelos voltados à realidade do semiárido brasileiro.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à agência de fomento FACEPE pela bolsa de doutorado concedida, proporcionando dessa forma suporte para o desenvolvimento do avanço científico tecnológico na área do presente estudo.

## REFERÊNCIAS

CIRILO, J. A.; VERÇOSA, L. F. de M.; GOMES, M. M. de A.; FEITOZA, M. A. B.; FERRAZ, G. de F.; SILVA, B. de M. Development and application of a rainfall-runoff model for semi-arid regions. *Brazilian Journal of Water Resources*, v. 25, n. 15, p. 1–19, 2020.

CORRÊA, S. S.; VASCONCELOS, H. X. T.; CIRILO, J. A.; FERREIRA, T. S. G.; OLIVEIRA, A. A. A.; BEZERRA, S. T. M. Aplicação de um modelo conceitual de chuva-vazão na Bacia Hidrográfica do Pajeú. Em: *Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste*, 17. Aracaju: ABRHidro, 2023

JAHANDIDEH-TEHRANI, M.; BOZORG-HADDAD, O.; LOÁICIGA, H. A. Application of particle swarm optimization to water management: an introduction and overview. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 192, n. 281, 2020.

KAR, R.; MANDAL, D.; MONDAL, S.; GHOSHAL, S. P. Crazy based Particle Swarm Optimization algorithm for FIR band stop filter design. *Swarm and Evolutionary Computation*, v. 7, p. 58-64, 2012.

MORIASI, D. N.; ARNOLD, J.G.; VAN LIEW, M.W.; BINGNER, R.L.; HARMEL, R.D.; VEITH, T.L. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, v. 50, n. 3, p. 885-900, 2007.