IDENTIFICAÇÃO DAS TRANSIÇÕES SAZONAIS NA BACIA DO RIO XINGU

Hugo. B. Torraca [1]; Hadassiana C. Creton [2]; Carlo L. C. U. Rossi [3]; Jessica G. Cordeiro[4]; Viviane B. Coelho [5]; Cindy C. V. Latorre[6] & Maria J. D. Rocha[7]

Palavras-Chave – Operação, Usina Hidrelétrica, Modelagem.

INTRODUÇÃO

O Complexo Hidrelétrico Belo Monte, localizado no Rio Xingu, Estado do Pará, começou a operar plenamente ao final de 2019 (Brasil, 2019), sendo composto pelas Usinas Hidrelétricas (UHEs) de Belo Monte e Pimental. A operação dessas usinas possui uma alta complexidade, considerando os condicionantes operativos estabelecidos e o arranjo estrutural do complexo. O planejamento e a programação da operação dessas usinas, junto às demais, dentro do Sistema Interligado Nacional (SIN), dá-se por meio da da cadeia de modelos eletroenergéticos utilizada pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), a saber: NEWAVE, DECOMP e DESSEM. Considerando a complexidade de representação deste complexo, foi desenvolvido um critério de identificação da transição sazonal entre períodos úmido-seco e seco-úmido como ferramenta para melhor representação da operação dessas usinas no modelo energético DESSEM (ONS; CCEE, 2025).

METODOLOGIA

O regime hidrológico na bacia do rio Xingu é marcado pela alternância entre períodos úmidos e secos, os quais condicionam diretamente a magnitude e a variabilidade das vazões (Franco et al., 2021). Tradicionalmente, a definição da transição entre os períodos úmidos e secos é feita por inspeção visual das séries de vazão, buscando-se inferir o ponto onde ocorre essa mudança de padrão. Contudo, esse processo é inerentemente subjetivo e dependente da interpretação do hidrólogo, o que pode comprometer sua reprodutibilidade e robustez.

Dessa forma, visando a melhoria deste processo, adotou-se um método objetivo baseado na Transformada Discreta de Fourier (DFT), técnica amplamente utilizada em análises hidrológicas estatísticas (Anderson et al., 2007) para avaliação da transição do período úmido para o período seco. A decomposição permite filtrar o sinal na série de vazão, retendo apenas as frequências iguais ou inferiores a 180 dias para reconstrução de modo a preservar a variabilidade sazonal e eliminar oscilações de curto prazo.

1) Operador Nacional do Sistema Elétrico, hugotorraca@ons.org.br
2) Operador Nacional do Sistema Elétrico, Hadassiana@ons.org.br
3) Operador Nacional do Sistema Elétrico, carlo.rossi@ons.org.br
4) Operador Nacional do Sistema Elétrico, jessica.gantes@ons.org.br
5) Operador Nacional do Sistema Elétrico, viviane.bc@ons.org.br
6) Operador Nacional do Sistema Elétrico, cindy.latorre@ons.org.br
7) Operador Nacional do Sistema Elétrico, maria.delmiro@ons.org.br
ISSN: 2764-9040

RESULTADOS

Na Figura 1 é apresentada a série reconstruída da vazão natural após aplicação da DFT. Na sequência, com o sinal suavizado foi calculada a segunda derivada do sinal reconstruído, a qual representa a variação da taxa de mudança da vazão no tempo, conforme apresentado na Figura 2. Em termos hidrológicos, essa medida evidencia a intensidade com que a recessão se altera ao longo do ano. Durante o período úmido, observa-se uma redução mais acentuada das vazões, reflexo da rápida resposta superficial do volume de precipitação. À medida que a série evolui para o período seco, essa taxa de queda se torna mais suave e gradual, característica do escoamento de base da série hidrológica.

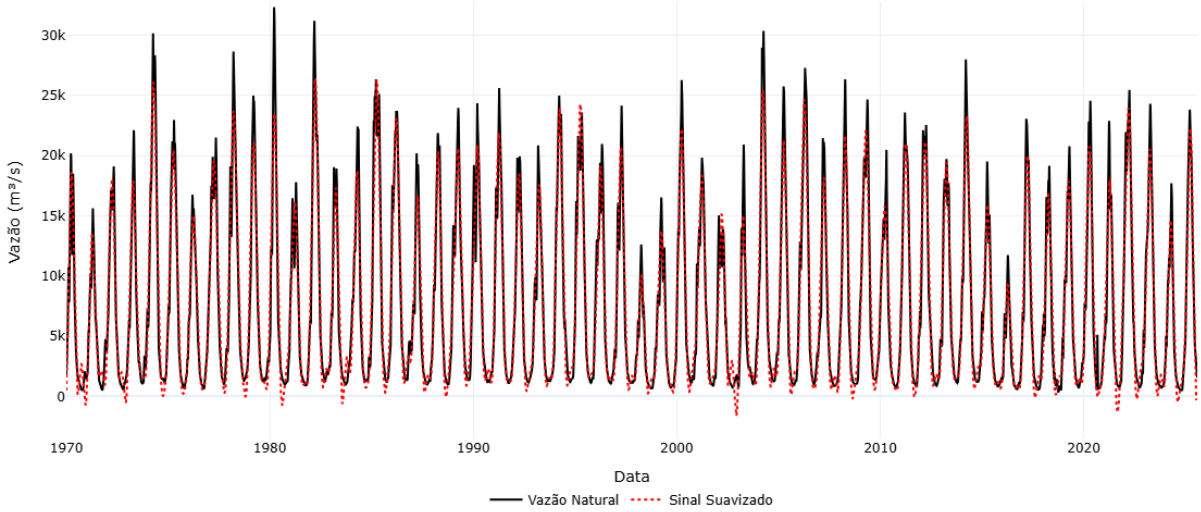


Figura 1 - Sinal reconstruído da vazão natural

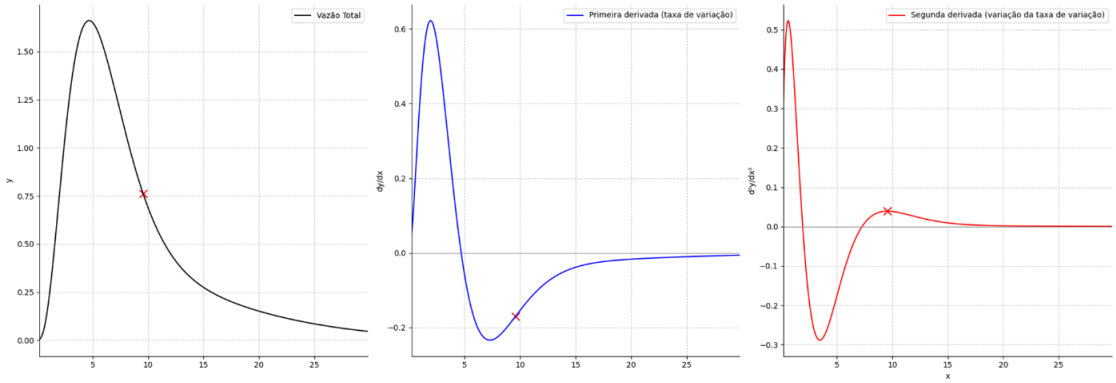


Figura 2 – Exemplo de função e suas derivadas

Na Figura 3 são apresentados os pontos de inflexão identificados pela segunda derivada, os quais marcam a transição entre os regimes úmido e seco. Esses pontos permitem determinar, de forma objetiva, as datas de início e término de cada período, complementando a interpretação fornecida pelo sinal suavizado.

ISSN: 2764-9040

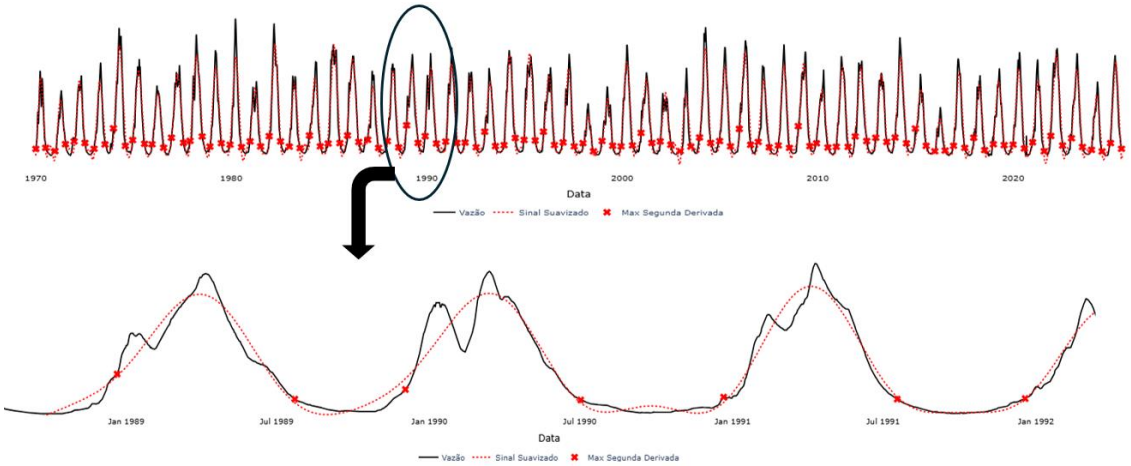


Figura 3 - Sinal reconstruído da vazão natural e pontos de inflexão

Entretanto, o método de decomposição espectral apresenta limitações quando aplicado ao ano em curso, uma vez que as transições ocorrem justamente nas extremidades da série temporal. Nessas regiões de borda, o processo de reconstrução espectral tende a distorcer o sinal, comprometendo a identificação precisa dos pontos de inflexão e, consequentemente, as datas de início e término dos períodos úmido e seco. Diante dessa restrição, desenvolveu-se uma regra operacional alternativa baseada em limiares de vazão observada. Foram utilizados valores de referência que funcionassem como sinalizadores das transições sazonais, de modo a manter a objetividade do método, mas sem depender de informações futuras da série. Os valores dessas vazões limites foram calibrados de forma a minimizar a diferença entre as datas estimadas pela regra prática e aquelas obtidas pela decomposição espectral. A regra foi estruturada da seguinte forma:

Transição do período úmido para o período seco: A partir de 1º de junho, realiza-se a inspeção diária da série de vazões. Caso a vazão permaneça três dias consecutivos abaixo da vazão limite de 3.090 m³/s, considera-se caracterizada a transição para o período seco.
Transição do período seco para o período úmido: A partir de 1º de novembro, a transição para o período úmido é identificada quando a vazão diária ultrapassa por dois dias consecutivos a vazão limite de 3.760 m³/s. Os resultados da aplicação da regra de limiares apresentaram boa aderência às datas de transição estimadas pela decomposição espectral.

Na Figura 4 é ilustrada a comparação entre os dois métodos, evidenciando a proximidade entre as datas identificadas e reforçando a consistência da abordagem final proposta.

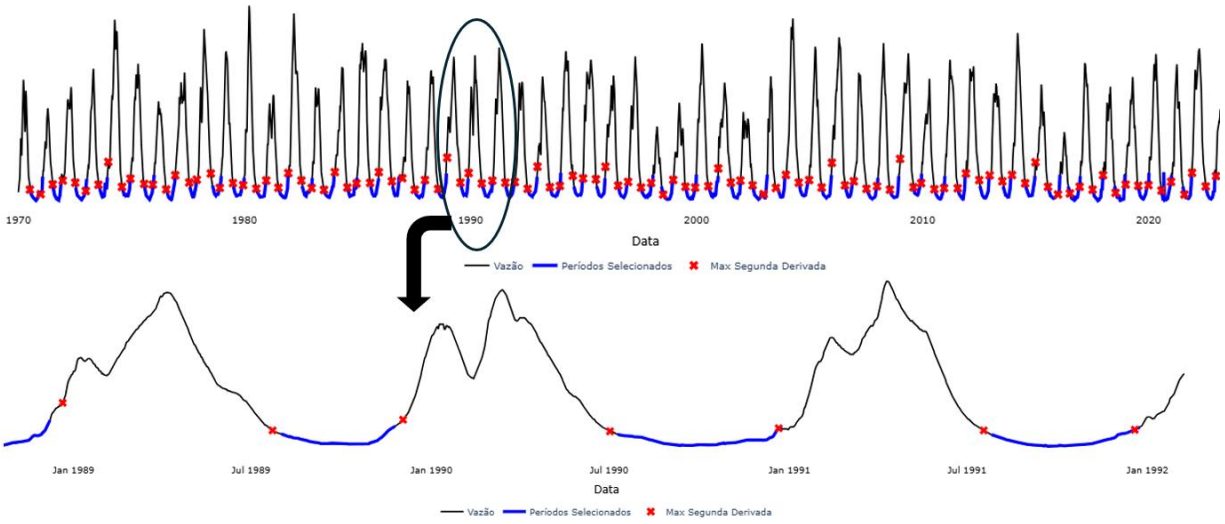


Figura 4 - Sinal reconstruído da vazão natural e pontos de inflexão

CONCLUSÕES

Considerando que a entrada no período seco ocorre de forma mais gradual do que a saída, e a fim de evitar que a transição seja considerada antecipadamente no modelo, foram definidos critérios de confirmação para caracterizar essas transições dentro do modelo. Estabeleceu-se que a entrada do período seco no rio Xingu será reconhecida quando forem observados três dias consecutivos com vazão natural abaixo de 3.090 m³/s, enquanto a saída será considerada após dois dias consecutivos com vazão natural superior a 3.760 m³/s.

REFERÊNCIAS

Anderson, P. L.; Tesfaye, Y. G.; Meerschaert, M. M. Fourier-PARMA models and their application to river flows. Journal of Hydrologic Engineering, v. 12, n. 5, p. 462-472, 2007.

Brasil. Ministério de Minas e Energia. (2019, 19 de novembro). ANEEL assina liberação para operação da última turbina de Belo Monte. Governo Federal. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/aneel-assina-liberacao-para-operacao-da-ultima-turbina-de-belo-mon-2

Franco, V. dos S., Souza, E. B., Lima, A. M. M. de, Souza, A. L. de, Pinheiro, A. N., Dias, T. S., & Azevedo, F. M. de. (2021). *Previsão hidrológica de cheia sazonal do rio Xingu, Altamira-PA*. Revista Brasileira de Climatologia, 22. https://doi.org/10.5380/abclima.v22i0.46393

Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS); Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) (2025) Aprimoramento da representação do Complexo de Belo Monte no modelo DESSEM. Disponível em: https://sintegre.ons.org.br/sites/9/51/Documents/Notas%20T%C3%A9cnicas%20e%20Relat%C3%B3rios%20de%20Aprimoramentos/Aprimoramento%20da%20Representa%C3%A7%C3%A3o%20do%20Complexo%20de%20Belo%20Monte%20no%20modelo%20DESSEM.pdf.