

## **PROJEÇÃO A MÉDIO PRAZO DE ENERGIA NATURAL AFLUENTE (ENA) USANDO O MODELO WAVELETS AUTO REGRESSIVO (WAR)**

**Francisco Wellington Martins da Silva<sup>1</sup>, Cleiton da Silva Silveira<sup>2</sup>, Cícero Saraiva  
Sobrinho<sup>3</sup>, Antônio Duarte Marcos Júnior<sup>4</sup>**

**Resumo:** O objetivo do trabalho é mostrar uma projeção à médio prazo de Energia Natural Afluyente (ENA) para os anos de 2014 a 2024. Para isso utilizou-se dados das séries históricas de ENA disponibilizado no Operador Nacional do Sistema (ONS) para os anos de 1931 a 2014 das bacias hidrográficas do Sistema Interligado Nacional (SIN). Para isso dividiu-se a série nos períodos de 1931 a 2004 para verificação e de 2005 a 2014 para a calibração e aplicou-se o modelo *Wavelets Auto Regressivo* a partir das bandas de média e baixa frequência. Analisou-se o sinal das bandas e projetou-se a ENA para os anos de 2015 a 2024. Observou-se uma relação direta da variabilidade de ENA com os fenômenos de El Niño e La Niña e fenômenos de baixa frequência como a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) e a Oscilação Multidecadal do Atlântico (OMA). Em períodos em que a ENA era positiva a ODP apresentou a sua fase mais energética, para a maioria das bacias. A bacia do Paraguai apresentou tendências de crescimento na série. É muito importante analisar o passado, projetar o futuro tentando corrigir, com ações mitigadoras, o presente para que evite surpresas desagradáveis. Um planejamento eficiente, e ações que mitiguem os riscos relacionado ao uso crescente da energia hidroelétrica torna-se o sistema mais promissor.

**Palavras-chave:** *Wavelets*. Energia Natural Afluyente. Projeção à médio prazo.

### **INTRODUÇÃO**

Atualmente o Brasil dispõe de uma matriz energética, no que se refere a produção de hidroeletricidade, predominantemente renovável. As hidrelétricas correspondem cerca de 64% do percentual total de energia elétrica gerada no Brasil, segundo o Balanço Energético Nacional de 2016.

O avanço da tecnologia e o aumento exacerbado da população tecnologicamente ativa, tornou-se o uso da energia cada vez mais requisitada. O consumo de energia é um

---

<sup>1</sup> Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Instituto de Engenharia e Desenvolvimento Sustentável, e-mail: martinswellington29@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Instituto de Engenharia e Desenvolvimento Sustentável, e-mail: cleitonsilveira@unilab.edu.br

<sup>3</sup> Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Instituto de Engenharia e Desenvolvimento Sustentável, e-mail: cicerosaraivas@unilab.edu.br

<sup>4</sup> Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Instituto de Engenharia e Desenvolvimento Sustentável, e-mail: duarte.jr105@gmail.com

dos principais indicadores do desenvolvimento econômico e do nível de qualidade de vida de qualquer sociedade (ENEL, 2017).

Além de fatores sociais como o uso indiscriminado da energia, o aumento da população e o consumo de bens e serviços, algumas forçantes climáticas contribuem para a disponibilidade de vazões nos reservatórios. Então conhecer o comportamento desses fenômenos pode representar muito em um planejamento eficiente e mitigador.

Carvalho et al (2002); Kodama (1982); Lazaro (2015) relacionam a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) com mudanças na pluviosidade nas bacias do SIN e modificando diretamente o regime de vazões. Há uma relação direta de fenômenos interanuais como o El Niño, La Niña modelados por fenômenos climáticos de baixa frequência, ou seja, em escala de tempo maior, como a Oscilação Década do Pacífico (ODP) e a Oscilação Multidecadal do Atlântico (OMA) que exercem um papel importante na variabilidade de precipitação no Brasil (SILVA, 2012; MANTUA et al., 1997; SILVA E GALVÍNIO, 2011; NETO E JUNIOR, 2016); DANTAS, 2012)

As vazões dos reservatórios têm uma relação com produtividade de Energia Natural afluente, pois essa variável é calculada a partir do produto entre as vazões naturalizadas de um rio e a produtividade das usinas e isso está relacionado com a eficiência da turbina-gerador, da altura líquida do reservatório, que deve ter no mínimo 65% do seu volume útil operativo. Entender o comportamento da Energia Natural Afluente implicar em conhecer a situação energética do país e consequentemente a criar medidas para mitigar riscos e incertezas no setor elétrico e com isso evitar crises energéticas graves.

O objetivo desse trabalho é mostrar uma projeção de médio prazo para as bacias do Setor Elétrico Brasileiro a partir da série histórica de vazão natural afluente.

## **METODOLOGIA**

A região de estudo corresponde as bacias hidroelétricas brasileira. Utilizou-se as séries de Energia Natural Afluente disponibilizado no Operador Nacional do Sistema Elétrico para os anos de 1931 a 2014.

Fez-se a padronização das séries aplicando a Equação (1):

$$Z = \frac{X^j - \bar{X}}{\sigma} \quad (1)$$

Onde  $Z$  é a variável padronizada;  $X^j$  é a variável anual de ENA para um ano  $j$ ;  $\bar{X}$  é a ENA anual média da série histórica de 1931 a 2014 e  $\sigma$  é o desvio padrão da séries anuais.

Verificou-se a serie para os anos de 1931 a 2004. E, para os anos de 2005 a 2015 fez-se a calibração.

Foi considerado para este estudo das séries de ENA a função *wavelet de Morlet*, dada pela Equação (2).

$$\Psi_0(\eta) = \pi^{-1/4} e^{i\omega_0\eta} e^{-\eta^2/2} \quad (2)$$

com  $\omega_0 = 6$  e  $\eta = t/s$ , onde  $t$  é o tempo;  $s$  é a escala da *wavelet*;  $\omega_0$  é uma frequência não dimensional que representa uma onda modulada por um envelope Gaussiano.

Foram utilizadas três bandas: uma de alta frequência, de 1 a 10 anos; uma de média frequência, de 11 a 33 anos; e uma de baixa frequência, de mais de 33 anos, considerando que as mesmas são ortogonais como descrito por Silveira, (2014). Com a decomposição das bandas a partir das transformadas em ondeletas, fez-se a reconstrução do sinal aplicando um modelo Auto Regressivo (AR). Dado pela Equação (3):

$$z_i^p = \sum_{i=1}^b ARS_b(i) + ARS_{R(i)}(i) \quad (3)$$

Onde ARsb representa o modelo auto regressivo de cada banda de alta e média frequência; ARsR representa o modelo auto regressivo da banda de baixa frequência (resíduo). Em seguida foi realizada uma regressão linear nos valores das bandas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figuras 1 mostra as projeções de ENA pelo modelo WAR para o período de 2015 a 2024 para as bacias do Paraguai e São Francisco com base na banda de média e baixa frequência.

A bacia do Paraguai apresentou, segundo o modelo, ENA abaixo da média histórica a partir do ano de 2018 para a banda de média frequência. A bacia do São Francisco apresentou, na maior parte dos anos, ENA abaixo da média histórica, em meados de 2020 a ENA apresentou inversão da fase. A série de ENA cresceu gradativamente, mas ainda apresentou uma produção abaixo da média histórica no período estudado.

As bacias do Paraguai e São Francisco apresentaram aumento da ENA, para as projeções da banda de baixa frequência, associada a Oscilação Decadal do Pacífico, que influenciará diretamente na produção ENA devido, provavelmente, a inversão da fase fria para a fase quente. Tendo, assim, a possibilidade de eventos de El Nino mais frequentes e isso, por sua vez, afetará o sistema hidrológico das bacias, principalmente, do Sudeste/Centro-Oeste.

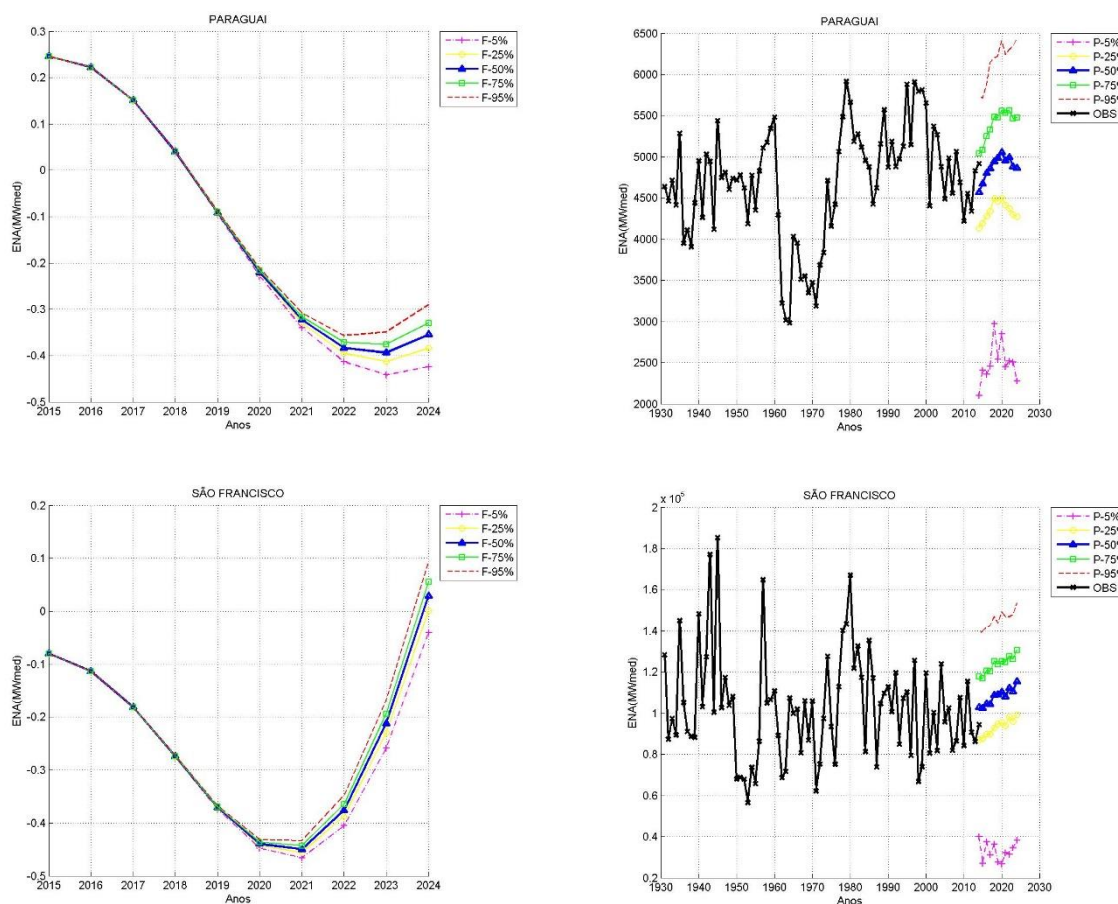


Figura 1: Projeções de ENA pelo modelo WAR para o período de 2015 a 2024 com base na Banda de Média e baixa Frequência

FONTE: Elaborado pelo Autor

## CONCLUSÕES

Pode-se fazer uma análise da variabilidade de ENA e assim compreender comportamento da série. Os padrões de variações identificados de ENA, para a maioria das bacias estudadas, sugerem uma relação com a Oscilação Decadal do Pacífico, coincidindo-se os índices positivos (períodos quentes) com períodos de ENAs menos favoráveis e os índices negativos (períodos frios) com períodos de ENAs mais favoráveis.

Percebe-se, através desse estudo, que medidas devem ser consideradas quando se fala no uso da água para a produção de eletricidade, a partir do conhecimento da série, como a combinação de tecnologias inovadoras e uma gestão efetiva. A sociedade, em geral, precisa de se adaptar e reavaliar suas abordagens quanto ao uso da água, tendo como critério a adaptação da variabilidade climática.

## AGRADECIMENTOS

Aos professores Dr. Cleiton e Dr. Cícero. Ao grupo de pesquisa Clima e Planejamento Energético da Unilab - CLIPE. À Unilab, À Funceme.

## REFERÊNCIAS

- CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. **The South Atlantic Convergence Zone: persistence, intensity, form, extreme precipitation and relationships with intraseasonal activity.** J. Climate, 17, p. 88-108, 2004.
- DANTAS, L. G. et al. **Oscilação Decadal do Pacífico e Multidecadal do Atlântico no Clima da Amazônia Ocidental.** Revista Brasileira de Geografia Física, vol. 03, p.600-611, 2012.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA-EPE. **Balanco Energético Nacional.** Disponível em: [https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2014.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2014.pdf). Acesso em: 22 ago. 2017.
- JÚNIOR, L.N; NETO, J. L. S. **Contribuição aos Estudos da Precipitação no Estado do Paraná: A Oscilação Decadal do Pacífico – ODP.** Programa de Pós Graduação em Geografia da Universidade Estadual Paulista-São Paulo- SP, 2016.
- KODAMA, Y., 1982: **Large-scale common features of subtropical precipitation zones (the Baiu Frontal Zone, the SPCZ, and the SACZ).** Part II: Conditions for generating the STCZs. J. Meteor. Soc. Japan, 71, 581-610.
- LÁZARO, Y. M. C. **Mudança climática no nordeste do Brasil, Amazônia e Bacia do Prata: avaliação dos modelos do IPCC e cenários para o século XXI.** 2011. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Recursos Hídricos) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.
- MANTUA, N.J., et al. **A Pacific Interdecadal Climate Oscillation with Impacts on Salmon Production.** Bull. Amer. Meteor. Soc., 78, 1069-1079, 1997.
- MORETTIN, P. A. **Econometria financeira.** Edgard Blücher, 2008.
- SILVA, D. F. **Influência Interdecadal (ODP e OMA) nas Cotas do Rio São Francisco.** Revista Brasileira de Geografia Física, v.06, n.06, p. 1529-1538, 2013.
- SILVEIRA, C. S. **Modelagem integrada de meteorologia e recursos hídricos em múltiplas escalas temporais e espaciais: aplicação no Ceará e no setor hidroelétrico brasileiro.** Fortaleza, 2014.