AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DE TENSÃO COM A PRESENÇA DA GERAÇÃO EÓLICA

EVALUATION OF VOLTAGE STABILITY WITH THE PRESENCE OF WIND GENERATION

Cristian Kelvin Arruda de Macena[1]
João Pedro Lima Dantas[2]
Ariel Souza Medeiros 3[3]
Marley Fagundes Tavares[4]

RESUMO
A crescente participação da energia eólica na matriz energética brasileira traz desafios para a estabilidade do sistema elétrico. Este trabalho analisa o impacto da integração de energia eólica na estabilidade de tensão e na margem de segurança de tensão, utilizando um sistema elétrico de 30 barras como modelo. Os resultados mostram que a energia eólica aumenta a margem de estabilidade de tensão em 14,73%, mas não eleva a tensão da barra crítica para dentro dos limites operacionais. O estudo evidencia a necessidade de análises de estabilidade de tensão em sistemas com alta penetração eólica para garantir a confiabilidade e sustentabilidade do sistema.
PALAVRAS-CHAVE: estabilidade de tensão; geração eólica; curva PV; Anarede.

ABSTRACT
The increasing share of wind power in the Brazilian energy matrix poses challenges to the stability of the electrical system. This article analyzes the impact of wind power integration on voltage stability, using a 30-bus electrical system as a model. The results show that wind power increases the voltage stability margin by 14.73%, but does not raise the voltage of the critical bus within operational limits. The study highlights the need for voltage stability analysis in systems with high wind penetration to ensure system reliability and sustainability.
KEYWORDS: voltage stability; wind generation; PV curve; voltage stability; Anarede.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a energia eólica representa 15,14% da matriz de energia elétrica (ANEEL, 2024). A integração dessa energia enfrenta desafios como a instabilidade na tensão devido à limitada capacidade de transmissão do sistema brasileiro (Malik, 2024), necessitando medidas para garantir a estabilidade da rede, especialmente em alta

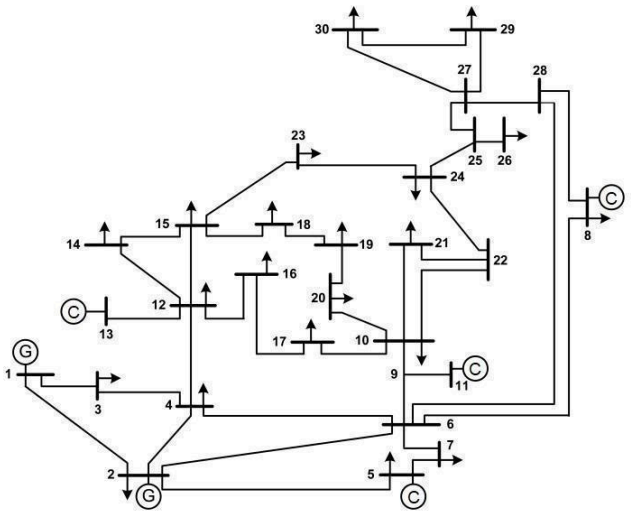
[1] Discente IFBA. E-mail. 201820010006@ifba.edu.br
[2] Discente IFBA. E-mail. joaodantas.researcher@gmail.com
[3] Discente IFBA. E-mail. ariel.souza0798@gmail.com
[4] Docente do IFBA. E-mail. marley.tavares@ifba.edu.br

demanda. Segundo Malik, dentre as soluções para contornar a instabilidade de tensão está a análise das curvas PVs, ela é obtida por meio de consecutivas soluções para as equações de fluxo de carga, processo conhecido como Fluxo de Potência Continuado (FPC) (Kundur,1994), a partir dela é possível obter a Margem de Estabilidade de Tensão (MET), que é descrita como o intervalo entre o ponto de operação do sistema e o ponto de máximo carregamento. Portanto, neste trabalho, será realizada a análise do impacto da inserção eólica na estabilidade de tensão em regime permanente por meio do software Anarede em um sistema elétrico de potência.

3. METODOLOGIA

O sistema teste utilizado nas análises foi o IEEE 30 barras. O sistema possui tensões base de 132kV, 33kV, 11kV e 1kV. Possui 1 barra de referência, uma barra de geração, 5 compensadores síncronos, 24 barras de cargas totalizando de 283,4MW e 41 linhas de transmissão, como mostra a Figura 1.

Figura 1 - Sistema IEEE 30 barras



Fonte: Rosas, Lourenço e Fernandes (2012)

Com o uso do Anarede, foram empregados limites de reativos e controles de tap dos transformadores. Já para a direção de incremento de carga, foi adotado o valor de 0.2% para todas as barras do sistema. Portanto foram escolhidas duas barras críticas presentes nos níveis de transmissão (132kV). Ademais, foram utilizados transformadores de 34,5kV/132kV para conexão das barras eólicas no sistema, essa última foi modelada como barra do tipo PQ com fator de potência unitário segundo (Silva, 2019). Além disso, o potencial de geração injetado nessas barras teve valor total de 135,41 MW, representando

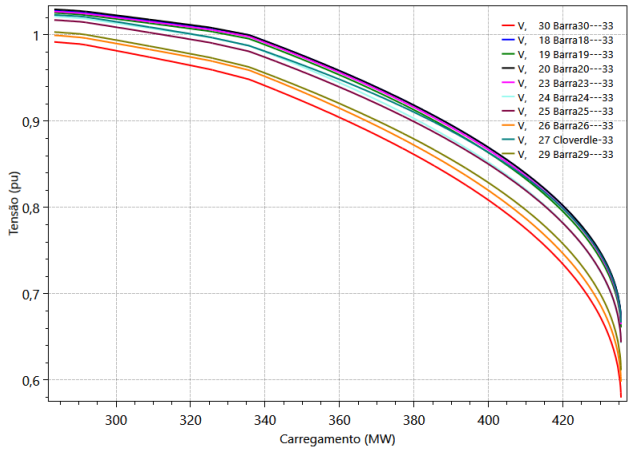
47,78% da geração do sistema. Essa porcentagem reflete a potência instalada no Nordeste brasileiro.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Estudo Base

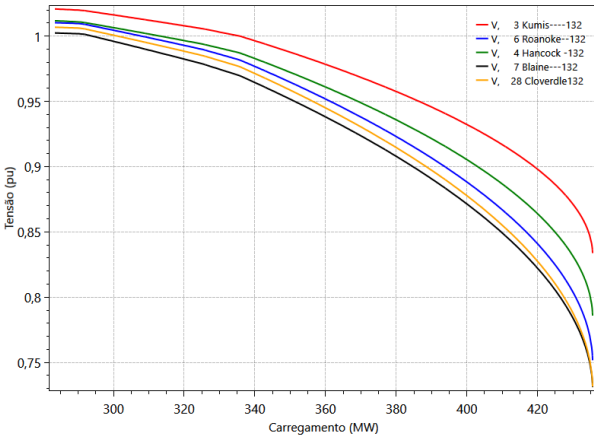
Para o caso base, a Figura 2 apresenta as curvas dos 10 barramentos com maiores variações de tensão devido ao aumento de carga. O valor inicial do carregamento é de 283,4 MW/126,2 MVAr, após incrementos sucessivos de carga o valor final é de 435,5548 MW/193,9556 MVAr. A partir desse valor, percebe-se que a MET para esse caso é de 53,6891%, na qual encontra-se dentro dos limites estabelecidos pelo ONS, que define como requisito para um sistema estável uma MET mínima de 7%. Já a Figura 3 mostra os barramentos que mais decrescem para o sistema de transmissão (132kV), com as barras 28 e 7 sendo consideradas críticas para essa análise. Logo, essas barras serão selecionadas para receber a geração eólica.

Figura 2 - Curvas PVs barras mais sensíveis.



Fonte: Autoria Própria (2024)

Figura 3 - Curvas PVs para o sistema de transmissão

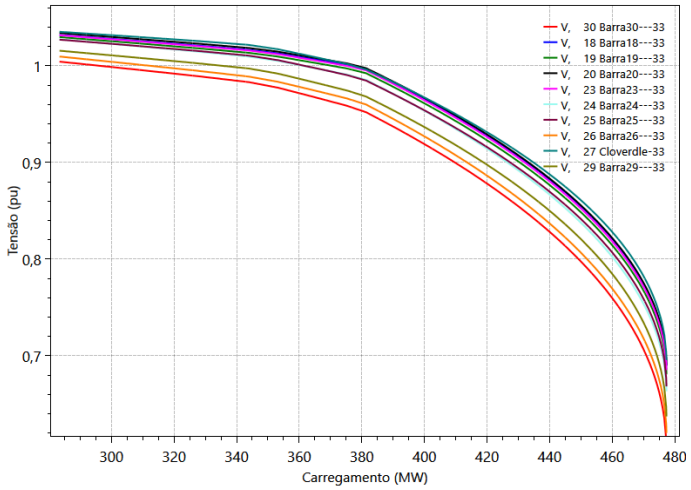


Fonte: Autoria Própria (2024)

4.2 Inserção de eólica

Com a inserção eólica no sistema, é possível perceber na Figura 4 que as mesmas 10 barras do sistema de distribuição (33kV). O valor final do carregamento foi de 477,3209MW/212,5543MVar, resultando em um aumento no MET para 68,4266%, gerando um aumento na margem estabilidade com a geração eólica, tornando a operação do sistema mais estável e segura.

Figura 4 - Curvas PVs após a inserção eólica



Fonte: Autoria Própria (2024)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo evidencia que a integração da geração eólica exige uma análise criteriosa da estabilidade de tensão do sistema elétrico. A utilização de curvas PVs demonstrou que a inserção de geração eólica em barras críticas aumenta consideravelmente a Margem de Estabilidade de Tensão, tornando o sistema mais robusto.

REFERÊNCIAS

KUNDUR, P. **Power System Stability and Control.** New York: McGraw-Hill, 1994.

SAMPAIO, Júnior de O. *et al*. Geração Eólica e a Estabilidade de Tensão em Regime Permanente. **Anais do Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos 2020**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 1-7, 15 fev. 2021.

Operador Nacional do Sistema, ONS. **Capacidade instalada no SIN.** Disponível em: http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-emnumeros. Acesso em: 20 jan. 2024.

SILVA, Victor Raul Neumann. **Ajuste de fator de potência da geração eólica como controle preventivo no contexto de estabilidade de tensão de sistemas elétricos de potência.** 2019. 153 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Fontes de Energia. Sistema de Informações de Geração da ANEEL (SIGA). Disponível em: https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/siga-sistema-de-informacoes-de-geracao-da-aneel. Acesso em: 14/06/24

MALIK, Farhan Hameed et al. A Comprehensive Review on Voltage Stability in Wind-Integrated Power Systems. Energies, v. 17, n. 3, p. 644, 2024.