

ANÁLISE DOS IMPACTOS DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA NA QUALIDADE DA TENSÃO ELÉTRICA DO IFTM *CAMPUS* PARACATU

**Emanuel Lucas dos Reis Alves¹; Leandro Cândido Brasão²; Felipe Laure
Miranda³.**

¹Estudante de Engenharia Elétrica, IFTM, *Campus* Paracatu, emanuel.alves@estudante.iftm.edu.br

² Professor do IFTM, *Campus* Paracatu, MG, leandrobrasao@iftm.edu.br

³ Professor do IFTM, *Campus* Paracatu, MG, felipelaure@iftm.edu.br

Resumo: O texto apresentado propõe uma pesquisa sobre os impactos da geração distribuída fotovoltaica na qualidade da tensão elétrica, especificamente no *campus* Paracatu do Instituto Federal do Triângulo Mineiro. A crescente implantação de sistemas fotovoltaicos, embora benéfica para a sustentabilidade, pode trazer desafios para as redes elétricas, como oscilações na magnitude da tensão e inversão de fluxo. O estudo visa investigar a hipótese de que a injeção de energia proveniente de sistemas fotovoltaicos possa causar flutuações na tensão que excedam os limites estabelecidos pelas normas técnicas. Para tanto, é realizada uma análise experimental por meio da instalação de um analisador de qualidade de energia, e análise de dados na rede elétrica do IFTM *campus* Paracatu. Os dados coletados estão comparados com os padrões de qualidade da energia, permitindo identificar os impactos da geração fotovoltaica e quantificar as variações de tensão. A relevância desta pesquisa decorre da necessidade de compreensão dos efeitos da geração distribuída na qualidade da energia elétrica, visando garantir a integração eficiente das fontes renováveis no sistema elétrico e subsidiar a tomada de decisões relacionadas à expansão da geração distribuída. A fase L3 apresentou a maior desvio padrão, ocorrendo assim maiores índices de instabilidade de tensão. A análise temporal mostrou que a carga conectada à rede influencia significativamente a qualidade da tensão, com maior variabilidade nos dias úteis devido ao pico de demanda.

Palavras-chave: geração distribuída fotovoltaica; tensão elétrica; qualidade de energia elétrica; prodist, inversão de fluxo.

ANALYSIS OF THE IMPACTS OF PHOTOVOLTAIC DISTRIBUTED GENERATION ON THE ELECTRICAL VOLTAGE QUALITY OF THE IFTM PARACATU *CAMPUS*.

Abstract: The presented text proposes a research on the impacts of distributed photovoltaic generation on the quality of electrical voltage, specifically at the Paracatu *campus* of the Federal Institute of Triângulo Mineiro. The growing implementation of photovoltaic systems, although beneficial for sustainability, can bring challenges to electrical grids, such as voltage magnitude oscillations and reverse flow. The study aims to investigate the hypothesis that the injection of energy from photovoltaic systems can cause voltage fluctuations that exceed the limits established by technical standards. To this end, an experimental analysis is carried out through the installation of a power quality analyzer, and data analysis on the electrical network of the IFTM Paracatu *campus*. The collected data is compared with the energy quality standards, allowing the identification of the impacts of photovoltaic generation and the quantification of voltage variations. The relevance of this research stems from the need to understand the effects of distributed generation on the quality of electrical energy, aiming to ensure the efficient integration of renewable sources into the electrical system and support decision-making related to the expansion of distributed generation. Phase L3 presented the highest standard deviation, thus occurring higher indices of voltage instability. The time analysis showed that the load

connected to the network significantly influences the quality of the voltage, with greater variability on weekdays due to the peak demand.

Keywords: distributed photovoltaic generation; electrical voltage; power quality; prodist, power flow reversal.

1 INTRODUÇÃO

A eletricidade, elemento fundamental da sociedade moderna, tem registrado um crescimento exponencial da sua demanda. Consequentemente, a busca por fontes de energia mais sustentáveis e eficientes tem impulsionado o desenvolvimento de novas tecnologias, entre elas a geração distribuída (GD). Como resultado, a GD caracterizada pela produção de energia elétrica próxima aos pontos de consumo, oferece uma série de vantagens, como a redução de perdas na transmissão, o aumento da confiabilidade do sistema elétrico e a possibilidade de utilizar fontes renováveis como a energia solar fotovoltaica.

Em particular, a geração fotovoltaica, tem se destacado por sua capacidade de converter a radiação solar em energia elétrica de forma limpa e sustentável. A evolução tecnológica e a redução dos custos dos sistemas fotovoltaicos têm impulsionado sua expansão em diversos países. No entanto, a integração em larga escala de sistemas fotovoltaicos na rede elétrica também apresenta desafios, como a gestão da variabilidade da geração solar, ou seja, as oscilações na curva de geração decorrentes da intermitência da radiação solar, a necessidade de armazenamento de energia e os impactos na qualidade da energia elétrica.

Por outro lado, o Brasil tem vivenciado um crescimento da energia solar fotovoltaica na última década, impulsionado por uma série de fatores convergentes que transformaram essa fonte de energia renovável em uma opção cada vez mais viável e atraente para o país. De fato, a geração de energia solar no Brasil vivenciou um crescimento exponencial nos últimos cinco anos. Em 2023 contabilizou-se 3,2 milhões de unidades consumidoras de energia elétrica beneficiadas pela geração solar distribuída em um total de 89,9 milhões de unidades. A fonte solar representou 36 GW de geração de energia, o que corresponde a 16% da matriz elétrica, com projeções de 45,5 GW para 2024. (Absolar, 2023).

Acompanhando essa crescente e visando economia com sustentabilidade, em 2021 o IFTM *Campus* Paracatu implementou um sistema fotovoltaico composto por 192 módulos de 385 Wp, totalizando 73,92 kWp de potência de entrada e dois

inversores CC/CA de 30 kW cada, ofertando uma geração média mensal de 9.663,32 kWh (Nunes, 2022, p. 17).

De acordo com Seguin (2016) elevadas penetrações de gerações distribuídas (GD) fotovoltaicas impactam de várias maneiras as redes elétricas, e dois impactos são mais proeminentes: elevação de tensão e variações de tensão provenientes da flutuação na geração solar. Efeitos intensificados quando há grandes quantidades de sistemas conectados próximo ao final de longos alimentadores com pouca carga. A geração de potência ativa e reativa pelos sistemas fotovoltaicos pode afetar a tensão em estado estacionário no circuito. As variações na produção de energia solar, com aumentos e quedas em curtos intervalos de tempo, podem causar flutuações de tensão no circuito. Isso, por sua vez, influencia a qualidade da energia e o funcionamento dos dispositivos de controle de tensão.

Esta pesquisa, com foco no IFTM *Campus* Paracatu, tem por objetivo avaliar os impactos da geração solar fotovoltaica na qualidade da tensão da rede local. Por meio de amostragem de dados, oriundos de um analisador de qualidade de energia instalado no ponto de conexão. Foram obtidas mais de 300.000 amostras válidas de tensão média (V_{AVG}) por fase. Após a coleta e validação de todos os indicadores, foi realizada uma análise por métodos estatísticos e comparação dos registros com o Módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição (PRODIST).

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Qualidade de Energia

A qualidade da energia elétrica (QEE) é um fator crucial para o bom funcionamento dos sistemas elétricos e para a segurança dos consumidores. No Brasil, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) define a QEE como a "conformidade da forma de onda da tensão e da corrente com os parâmetros estabelecidos nas normas técnicas" (PRODIST, 2021). Entre esses parâmetros, a tensão se destaca como um dos mais importantes, pois afeta diretamente o desempenho e a vida útil dos equipamentos elétricos e eletrônicos (IEEE, 2019).

O PRODIST, e em particular o Módulo 8, desempenha um papel fundamental na garantia da qualidade da tensão da energia elétrica fornecida aos consumidores brasileiros. Ao estabelecer limites aceitáveis para os parâmetros de tensão, o PRODIST contribui para (IEEE, 2019):

- Evitar danos aos equipamentos elétricos e eletrônicos dos consumidores causados por flutuações, afluxos e harmônicos de tensão.
- Assegurar o bom funcionamento dos sistemas elétricos, reduzindo perdas de energia e otimizando o desempenho dos equipamentos.
- Promover a segurança dos consumidores, minimizando o risco de acidentes causados por falhas nos equipamentos elétricos.

A crescente integração de sistemas de geração distribuída (SGD) nas redes elétricas brasileiras, tem proporcionado um fenômeno cada vez mais comum: a inversão do fluxo de potência. De acordo com Origgi (2024), essa condição ocorre quando a geração local, proveniente de fontes renováveis como a solar fotovoltaica, supera a demanda da região, invertendo o sentido do fluxo de energia na rede. Essa situação impõe desafios significativos às distribuidoras, exigindo ajustes nas redes e novas regulamentações para garantir a estabilidade e a segurança do sistema elétrico. A inversão de fluxo pode acarretar diversos problemas, como sobrecarga de equipamentos, instabilidade de tensão e até mesmo a formação de ilhas na rede.

A região de Paracatu traz concentração de diversos parques de geração solar em razão do alto índice de radiação solar. Em virtude desta concentração, existe dificuldade de inserção de novos sistemas GD devido a possibilidade de inversão de fluxo local.

2.2 Variações de Tensão

Paludo (2014) destaca que as flutuações de tensão são inerentes aos sistemas de distribuição elétrica e, quando excessivas, comprometem a QEE entregue aos consumidores. A inserção de geradores distribuídos pode agravar essa problemática, uma vez que introduz novas fontes de variação na tensão. Além de prejudicar a QEE, essas flutuações podem levar à atuação frequente de dispositivos de regulação de tensão, como bancos de capacitores e reguladores automáticos de tensão, reduzindo, assim, a vida útil desses equipamentos.

Segundo Rocha (2016), a vida útil dos equipamentos elétricos é diretamente influenciada pelas condições de tensão nas quais operam. A exposição prolongada a níveis de tensão fora dos limites estabelecidos pelas normas pode comprometer o funcionamento adequado dos equipamentos e, conseqüentemente, reduzir sua vida útil.

O PRODIST desempenha um papel crucial na regulação da tensão em pontos de conexão, garantindo a qualidade da energia elétrica fornecida aos consumidores. Ao estabelecer normas e procedimentos claros, o PRODIST assegura que as distribuidoras mantenham a tensão dentro dos limites estabelecidos pela ANEEL. Os níveis críticos, precários e adequados de tensão de atendimento, conforme a Tabela 1, são fundamentais para o funcionamento adequado de equipamentos elétricos, evitando danos e garantindo a eficiência energética.

Tabela 1 - Faixa de Variação da Tensão.

TENSÃO DE ATENDIMENTO	FAIXA DE VARIAÇÃO DA TENSÃO (VOLTS)
Adequada	$117 \leq \text{TENSÃO DE LEITURA} \leq 133$
Precária	$110 \leq \text{TENSÃO DE LEITURA} \leq 117$ $133 \leq \text{TENSÃO DE LEITURA} \leq 135$
Crítica	$\text{TENSÃO DE LEITURA} < 110$ OU $\text{TENSÃO DE LEITURA} > 135$

Fonte: Elaborado pelo Autor com base no PRODIST, 2024.

2.3 Desbalanço de Tensão

De acordo com Negreiros (2022), a integração de sistemas fotovoltaicos (SFV) em grande escala nas redes de distribuição pode provocar instabilidades na tensão, excedendo os limites estabelecidos pelas normas técnicas e comprometendo a qualidade da energia elétrica.

Paludo (2014) ressalta que a conexão de geradores distribuídos monofásicos e bifásicos em sistemas de distribuição trifásicos pode gerar desequilíbrios de tensão significativos. Essa condição, resultante da distribuição desigual de carga entre as fases, pode levar a consequências adversas, como sobrecarga no neutro, aumento das tensões e deterioração do desempenho de equipamentos como motores de indução e dispositivos eletrônicos. Além disso, o desbalanceamento pode induzir a geração de harmônicas, impactando ainda mais a qualidade da energia.

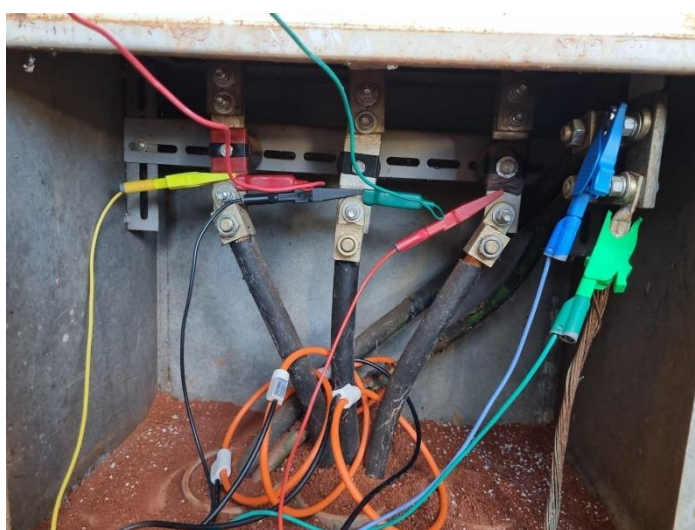
2.2 Material e Métodos

Realizou-se uma revisão bibliográfica, coleta de dados em campo e sua análise. A revisão bibliográfica permitiu identificar os principais parâmetros de qualidade da energia elétrica e as normas técnicas aplicáveis. As medições de campo,

por sua vez, forneceram dados reais do comportamento da tensão elétrica no sistema. A análise dos dados coletados, realizada por meio de técnicas estatísticas, permitiu identificar se a inserção da GD fotovoltaica está causando desvios em relação aos limites estabelecidos pelas normas técnicas e, conseqüentemente, comprometendo a qualidade da energia elétrica fornecida ao *campus*.

Para a coleta dos dados necessários, foi instalado o analisador de qualidade de energia ET-5062 do fabricante MINIPA, conforme Figura 1, junto ao ramal de entrada do *campus*.

Figura 1 - Equipamento instalado no ponto de aquisição de dados.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024.

O equipamento de análise da qualidade de energia foi instalado entre 14 e 22 de julho de 2024, com frequência de aquisição de dados a cada 2 segundos, descartando o primeiro e último dia por não possuir as 24 horas de amostragem.

Foram obtidas mais de 300.000 leituras válidas de diversos parâmetros da rede. Para a análise e interpretação desses dados, utilizou-se o software Microsoft Excel®, separando os sinais de tensão média das três fases a cada 2 segundos. A distribuição normal foi adotada como modelo estatístico, por ser amplamente utilizada para descrever a variabilidade de fenômenos naturais e facilitar a compreensão dos resultados quando se possui uma grande quantidade de dados.

A distribuição normal, também conhecida como curva em forma de sino ou curva de Gauss, se caracteriza por uma curva simétrica em torno da média, onde a maioria dos dados se concentra próximo ao valor central, e a frequência dos dados diminui à medida que se afastam da média. Os parâmetros estatísticos calculados

foram: média, desvio padrão e limites de controle (média \pm 4 desvios padrão), os quais englobam praticamente 100% dos dados.

Ao aplicar a distribuição normal à análise da qualidade de tensão em um sistema com geração distribuída fotovoltaica, assume-se que a tensão elétrica, em determinado ponto do sistema, se distribui de forma aproximadamente normal ao longo do tempo. Isso significa que a maioria das medições de tensão estará próxima do valor médio, e valores muito altos ou muito baixos ocorrerão com menor frequência.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos dados coletados permitiu uma caracterização detalhada do comportamento da tensão elétrica no sistema em estudo, sob a influência da geração fotovoltaica. A seguir, serão apresentados e discutidos os principais resultados da pesquisa, com ênfase na avaliação das variações de tensão ao longo do tempo, em diferentes horários e dias da semana, bem como na comparação dos resultados com os limites estabelecidos pela norma técnica.

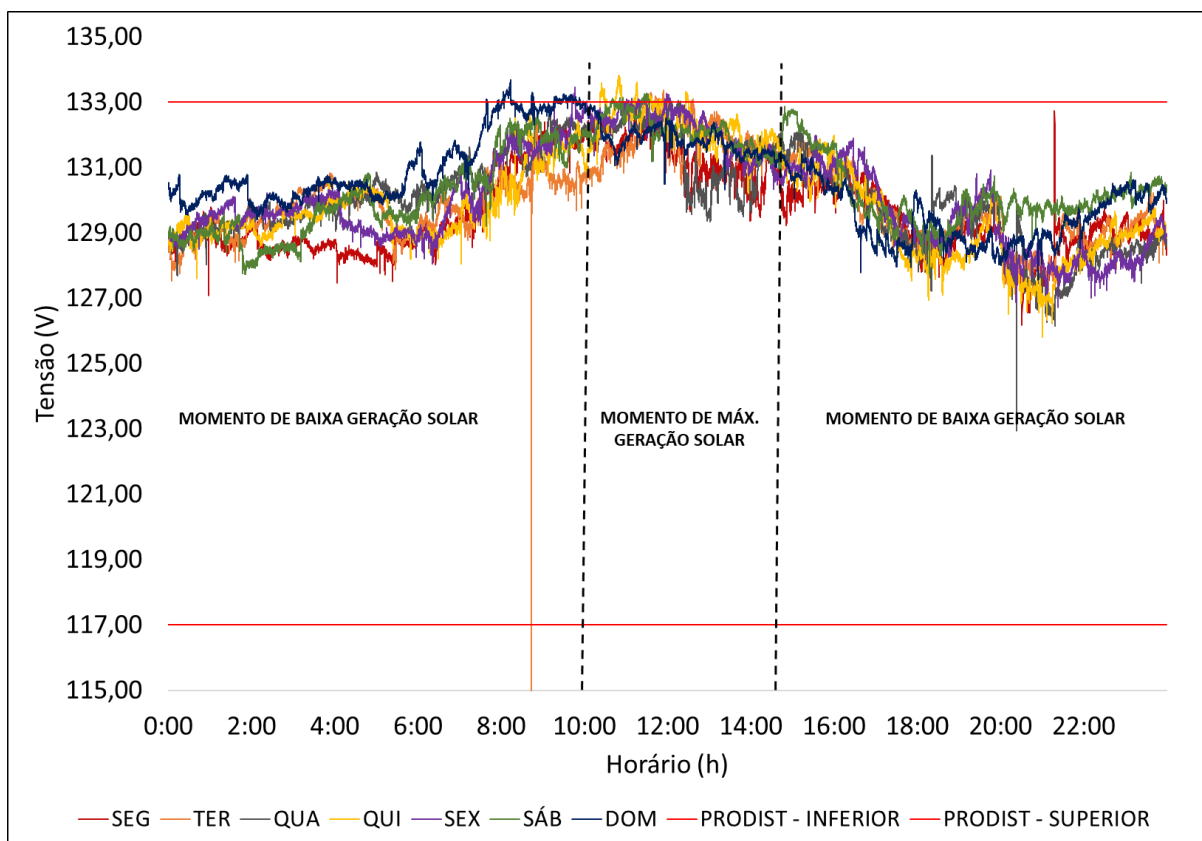
3.1 Variações de Tensão ao longo dos dias

Os indicadores individuais de tensão, calculados a partir das medições do analisador, devem estar dentro dos intervalos de tolerância definidos pelo PRODIST. Em seguida, o estudo dos dados coletados, permite verificar o comportamento ao longo dos dias e se as tensões medidas se encontram dentro das faixas críticas, precárias ou adequadas dos padrões de qualidade estabelecidos.

Posteriormente, a análise temporal dos dados de tensão, apresentada na Figura 2, permite identificar padrões consistentes ao longo dos dias de monitoramento, em cada horário do dia ao longo dos 7 dias analisados.

Ademais, a segmentação dos dados em períodos de máxima e baixa geração solar sugere um comportamento característico da tensão, com um aumento gradual durante o período de maior insolação, atingindo um pico entre 11h e 15h, seguido de uma redução gradual. Dessa forma, essa tendência indica uma correlação entre a geração fotovoltaica e os níveis de tensão no sistema. Finalmente, os valores de tensão em cada instante podem ser classificados como adequados, precários ou críticos de acordo com os padrões de qualidade estabelecidos.

Figura 2 - Perfil de Tensão Semanal na Fase L3.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024.

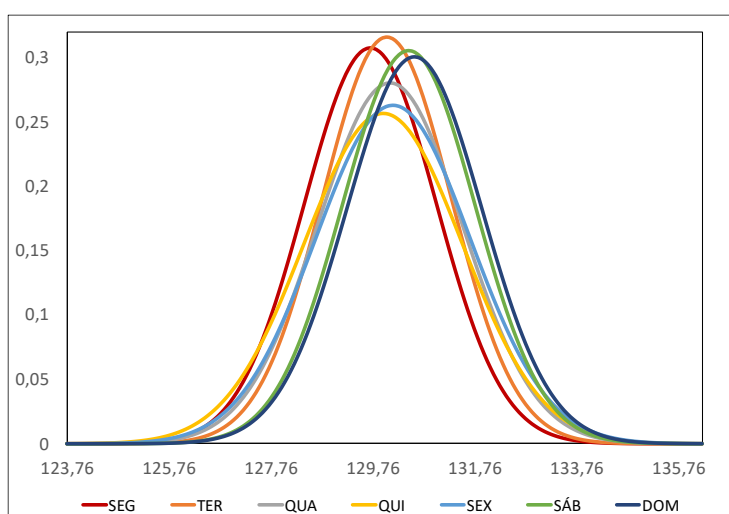
Dentre as três fases analisadas, a fase L3 apresentou a menor tensão, com valor médio de 129,88V e o maior desvio padrão, com valor médio de 1,38V. O desvio padrão é uma medida estatística que quantifica a dispersão dos dados em relação à média, indicando assim o grau de variabilidade da tensão nessa fase. Devido a essa maior variabilidade, a fase L3 foi priorizada nas análises, a fim de identificar possíveis causas para as variações de tensão.

Os valores máximos de tensão registrados em diversos horários ultrapassaram ligeiramente o limite superior adequado estabelecido pela PRODIST (133V), com variações de até 0,05% acima do limite. No entanto, esses valores permaneceram abaixo do limite precário de 135V, indicando que a qualidade da tensão, sob esse aspecto, encontra-se dentro dos padrões aceitáveis. Apenas um único evento de subtensão foi detectado, na terça-feira às 8h43min, quando a tensão atingiu 112,76V, ultrapassando o limite inferior adequado estabelecido pela norma.

A análise da distribuição normal da tensão ao longo da semana revelou uma leve tendência de aumento nos valores médios, oscilando entre 129,72 V (segunda-feira) e 130,58 V (domingo). O desvio padrão, que mede a dispersão dos dados em

relação à média, apresentou variações entre 1,26 V (terça-feira) e 1,55 V (quinta-feira), indicando maior variação em alguns dias da semana. Os valores específicos para cada dia da semana foram: segunda-feira ($129,72 \text{ V} \pm 1,3 \text{ V}$), terça-feira ($130,04 \text{ V} \pm 1,26 \text{ V}$), quarta-feira ($130,1 \text{ V} \pm 1,42 \text{ V}$), quinta-feira ($129,97 \text{ V} \pm 1,55 \text{ V}$), sexta-feira ($130,16 \text{ V} \pm 1,52 \text{ V}$), sábado ($130,47 \text{ V} \pm 1,3 \text{ V}$) e domingo ($130,58 \text{ V} \pm 1,33 \text{ V}$). Os limites de controle, estabelecidos em 123,76 V e 136,23 V, conforme a Figura 3.

Figura 3 - Curva Gaussiana da Fase L3 – Ao Longo dos Dias.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024.

A variação percentual da tensão, resultando em um valor de 0,18%, indica uma baixa dispersão dos dados em torno da média, sugerindo elevada estabilidade no sistema elétrico ao longo da semana avaliada. A proximidade dos desvios padrão entre os diferentes dias, evidenciada pela similaridade das curvas gaussianas ajustadas, corrobora essa constatação, indicando um comportamento homogêneo do sistema nas condições analisadas.

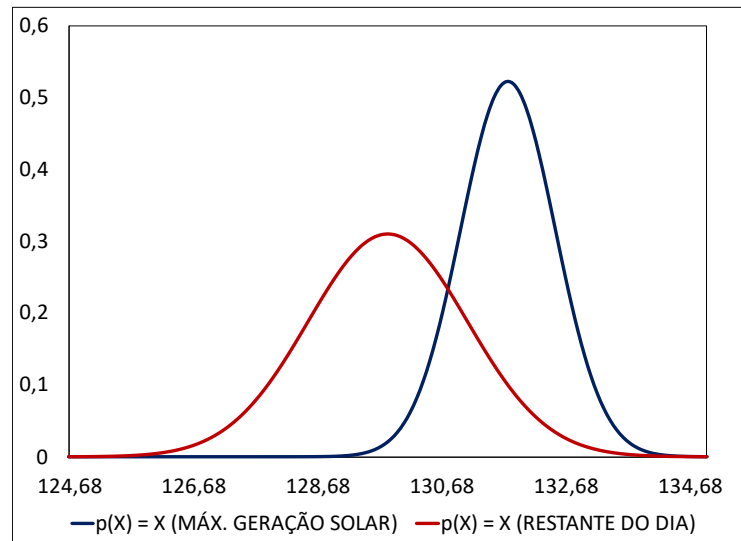
3.2 Variações de Tensão em diferentes horários

Inicialmente, realizou-se uma análise individual da distribuição normal da tensão para cada dia no horário de máxima geração solar (11h-15h), a fim de verificar a homogeneidade dos dados e a possibilidade de agrupá-los em um único conjunto. Os resultados indicaram uma variação média percentual de 0,23% comparado a média geral entre os diferentes dias, evidenciando um comportamento similar.

Os dados foram então segmentados em dois grupos: período de máxima geração solar (11h-15h) e restante do dia. Para o período de máxima geração solar,

na fase L3, foram obtidos os seguintes valores: média de tensão de 131,77 V, desvio padrão de 0,76 V e limites de controle em 128,71 V e 134,82 V. No restante do dia, a média foi de 129,83 V, o desvio padrão de 1,29 V, e os limites de controle em 124,68 V e 134,97 V, apresentados na Figura 4, que permite visualizar a distribuição de probabilidade da tensão em cada grupo.

Figura 4 - Curva Gaussiana da Fase L3 - Máx. Geração Solar e Restante do Dia.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024.

A fim de verificar a homogeneidade dos dados e a possibilidade de agrupá-los em um único conjunto, adotou-se uma abordagem individual para a análise da distribuição normal da tensão em cada dia no horário de máxima geração solar. Os resultados indicaram uma variação máxima de apenas 0,07% na média da tensão entre os diferentes dias, evidenciando um comportamento similar.

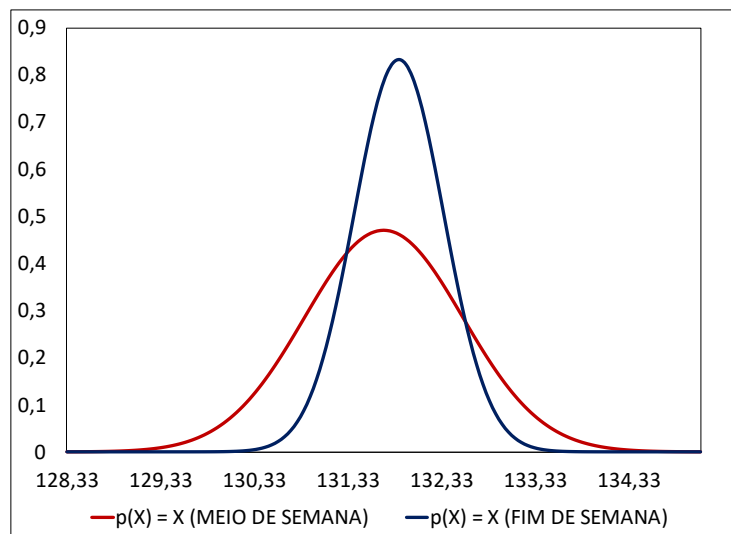
A distribuição normal dos dados de tensão, visualizada na curva em forma de sino, conforme a Figura 4, evidencia uma concentração dos valores em torno da média. Ao comparar os dois grupos analisados, observa-se uma maior dispersão dos dados no período complementar à geração solar, evidenciada pelo aumento de aproximadamente 69,7% no desvio padrão em relação ao período de máxima geração. Esse acréscimo indica uma maior variabilidade da tensão nos horários fora do pico de geração, com os valores individuais apresentando um afastamento mais pronunciado em relação à média, sugerindo a influência de fatores adicionais que não estão presentes durante o período de máxima geração. Esta dispersão pode ser atribuída ao maior período de amostras e o intenso uso cargas em horários fora do horário de geração solar.

3.3 Variações de Tensão durante o horário de máxima geração

Com o objetivo de avaliar a influência da GD no comportamento da tensão durante o período de máxima geração solar (11h-15h), os dados deste período foram novamente segmentados em dois grupos: dias úteis e final de semana. A escolha desses grupos se justifica pela significativa diferença no perfil de consumo entre os dias letivos e os não letivos, caracterizados por um maior nível de injeção de energia nos finais de semana em razão do baixo consumo local. A comparação entre os dois grupos está apresentada na Figura 5.

Para os dias úteis, a média da tensão foi de 131,72 V, com um desvio padrão de 0,85 V e limites de controle entre 128,33 V e 135,11 V. Já no final de semana, a média foi ligeiramente superior, em 131,88 V, com um desvio padrão significativamente menor, de 0,48 V, e limites de controle entre 129,97 V e 133,8 V.

Figura 5 - Curva Gaussiana da Fase L3 - Máx. Geração Solar Meio de Semana e Fim de Semana.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024.

A representação gráfica dessa curva de Gauss, indica que a variabilidade da tensão é ligeiramente menor nos fins de semana. A diferença no desvio padrão entre os dois grupos, com um aumento de aproximadamente 77% nos dias úteis, corrobora os resultados observados na análise gráfica. Esta diferença pode ser causada pelo menor consumo de energia durante o final de semana, ou pelo limite de amostragem devido à utilização de dados de apenas um final de semana.

4 CONCLUSÃO

O incremento de investimentos em novas tecnologias, especialmente relacionadas à geração distribuída solar fotovoltaica, está intrinsecamente ligado à compreensão aprofundada de seus impactos na rede elétrica. A análise da qualidade da tensão em um sistema elétrico com geração distribuída fotovoltaica realizada neste estudo, permitiu identificar padrões e tendências relevantes para a compreensão do comportamento da rede sob a influência da geração solar.

Os resultados obtidos demonstram que a tensão no ponto de medição apresentou um comportamento consistente com a variação da geração solar, com um aumento gradual durante o período de maior insolação e uma redução nos demais horários. A fase L3 apresentou a maior variabilidade de desvio padrão com valor médio de 1,38V, embora os valores de tensão tenham permanecido dentro dos limites adequados e precários estabelecidos pelo módulo 8 do PRODIST.

A análise comparativa entre os diferentes horários e dias da semana evidenciou a influência do perfil de consumo na qualidade da tensão. A maior variabilidade nos dias úteis, em comparação com os fins de semana, sugere que a carga conectada à rede exerce um papel importante na regulação da tensão, especialmente durante os períodos de pico de demanda.

Para aprofundar as investigações sobre os impactos da geração distribuída fotovoltaica na qualidade da energia elétrica, propõem-se estudos futuros que contemplem a ampliação do período de coleta de dados, a análise detalhada da inversão de fluxo de potência, sua correlação com variações de tensão, e a avaliação da variação do fator de potência. A coleta de dados por um período mais extenso, incluindo diferentes estações do ano e um maior número de finais de semana, permitiria uma análise mais completa da influência do perfil de carga sazonal na qualidade da tensão. A análise da inversão de fluxo e do fator de potência contribuiria para uma melhor compreensão dos desafios e oportunidades associados à integração de fontes renováveis em sistemas elétricos, permitindo a identificação de pontos críticos e a proposição de medidas de controle mais eficientes. A utilização de modelos de simulação também se mostra como uma ferramenta valiosa para a realização de estudos mais detalhados e a avaliação de diferentes cenários de operação.

Os resultados deste estudo contribuem para o conhecimento sobre o impacto da geração distribuída na qualidade da energia elétrica, fornecendo subsídios para a

tomada de decisões relacionadas ao planejamento e operação de sistemas elétricos com alta penetração de fontes renováveis.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Regras e Procedimentos de Distribuição (PRODIST)**. 2022. Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2021956_2_7.pdf. Acesso em 21 ago. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA - ABSOLAR. **O ano da energia solar no Brasil**. Moda em Foco, São Paulo, 2024. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/2022-o-melhor-ano-da-energia-solar-no-brasil/>. Acesso em: 18 ago. 2024.

IEEE. "IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality," in IEEE Std 1159-2019 (Revision of IEEE Std 1159-2009), vol., no., pp.1-98, 13 Aug. 2019, doi: 10.1109/IEEESTD.2019.8796486. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8796486/>. Acesso em: 18 ago. 2024.

NEGREIROS, G. F. de; LOBO, F. X.; TORRES, I. C.; TIBA, C. **IMPACTOS NA REGULAÇÃO DE TENSÃO DECORRENTES DE GERADORES FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A REDE ELÉTRICA DE MÉDIA TENSÃO E BAIXA TENSÃO**. Anais Congresso Brasileiro de Energia Solar - CBENS, [S. l.], p. 1–10, 2022. DOI: 10.59627/cbens.2022.1065. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/1065/>. Acesso em: 20 ago. 2024.

NUNES, M. P. **Análise de viabilidade técnica do sistema de microgeração implantada no Instituto Federal do campus Paracatu**. 2022.

ORIGGI, L. **Avaliação dos impactos da elevada penetração de geração distribuída nas redes de distribuição**. 2024. 85 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) - Instituto Federal do Espírito Santo, São Mateus, 2024. Disponível em <https://repositorio.ifes.edu.br/handle/123456789/4776?show=full>. Acesso em: 8 set. 2024.

PALUDO, A. J. **Avaliação de Impactos Elevados Níveis de Penetração da Geração Fotovoltaica no Desempenho de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica em Regime Permanente**. Dissertação (Mestrado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014. Acesso em: 20 ago. 2024.

ROCHA, J. E. **Qualidade de Energia**. 2016. Monografia (Especialização) – Curso de Engenharia Elétrica, Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/9977/>. Acesso em: 20 ago. 2024.

SEGUIN, RICH, WOYAK, JEREMY, COSTYK, DAVID, HAMBRICK, JOSH, and MATHER, BARRY. **High-Penetration PV Integration Handbook for Distribution Engineers**. United States: N. p., 2016. Web. doi:10.2172/1235905. Disponível em: <https://www.osti.gov/biblio/1235905/>. Acesso em: 18 ago. 2024.