



OTIMIZAÇÃO DE ANÁLISE DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA UTILIZANDO FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2025.6045

Autores: MICAEL FERREIRA MOURA, MARCELO ESCOBAR DE OLIVEIRA

Resumo: A evolução do ensino de engenharia demanda, cada vez mais, a integração de ferramentas computacionais que possibilitem análises interativas, detalhadas e escaláveis. Este estudo apresenta um ecossistema digital que combina o OpenDSS, Python, a biblioteca py-dss-interface, o Jupyter Notebook e o Visual Studio Code para otimizar a análise de redes de distribuição de energia elétrica. As simulações foram realizadas no sistema de teste IEEE de 13 barras para avaliar os impactos da Geração Distribuída (GD) em duas estratégias de alocação: Geração Distribuída Concentrada (GDC) e Geração Distribuída Pulverizada (GDP). Os resultados demonstraram que a configuração pulverizada favorece a melhoria da regulação de tensão e a redução das perdas técnicas em comparação ao modelo concentrado. Ao automatizar simulações e o processamento de dados, os estudantes podem focar na interpretação crítica dos resultados em vez de tarefas repetitivas, aprimorando suas habilidades analíticas e a compreensão dos

Palavras-chave: Distribuição de Energia Elétrica, Ferramentas Computacionais, Educação em Engenharia

OTIMIZAÇÃO DE ANÁLISE DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA UTILIZANDO FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS

1 INTRODUÇÃO

A educação ao longo do tempo tem passado por evoluções significativas, destacando-se a implementação de ferramentas visuais alinhadas ao ensino, visando uma melhor compreensão dos conceitos. Essa revolução digital nas salas de aulas tem redefinido paradigmas educacionais e profissionais em diversas áreas do conhecimento, e a engenharia não é exceção. Por ser uma área das ciências exatas, a engenharia tem incorporado ferramentas emergentes, como simulações, otimização e análise crítica, que se tornaram o novo padrão. Esse avanço superou o antigo conceito de que produtividade e eficiência se medem pelo número de horas dedicadas a um projeto de forma manual e repetitiva. Atualmente, reconhece-se que a verdadeira produtividade e eficiência está na capacidade de implementar ferramentas computacionais para concluir o mesmo projeto com maior eficácia e precisão.

No contexto da engenharia elétrica, o uso de softwares auxilia na compreensão de conceitos teóricos e abstratos, como análise de perdas e tensões, essenciais para o bom desempenho dos sistemas elétricos de potência (SEP). No contexto da engenharia elétrica, a utilização de ferramentas computacionais é fundamental para a análise desses sistemas, permitindo uma compreensão mais aprofundada e preparando os futuros engenheiros para os desafios do setor (Radatz *et al.*, 2023). A alocação e dimensionamento adequados de Geração Distribuída (GD) são imprescindíveis para otimizar o desempenho do sistema de distribuição de energia elétrica, minimizando perdas técnicas e mantendo a tensão em níveis permitidos ao longo dos alimentadores. Como destacado por Mendes *et al.* (2021), a otimização da alocação e dimensionamento de GD em diferentes modos de operação é crucial para minimizar as perdas elétricas em sistemas de distribuição, permitindo uma operação mais eficiente.

O setor elétrico brasileiro tem experimentado um crescimento significativo nos últimos anos, especialmente na área de geração distribuída, impulsionada por políticas de incentivo e pela busca por diversificação da matriz energética. Segundo estimativas da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2025), a previsão de expansão da oferta para 2025 é de 9.950 megawatts (MW) de potência instalada. Corroborando essa expectativa, a Associação Brasileira de Geração Distribuída projeta que, em 2025, a GD terá uma expansão de 20% a 25% (ABGD, 2025). Esse crescimento também apresentará a demanda de operação, análise mais detalhada e precisa para garantir a estabilidade e eficiência dos sistemas.

Contudo, a integração dessas fontes de energia renovável nos sistemas de distribuição apresenta desafios técnicos, como o impacto nas perdas técnicas e a necessidade de avaliar a estabilidade da rede diante das suas características de intermitência (Moreira; Barros, 2024). O conceito de GD pode ser subdividido em dois arranjos espaciais principais: Geração Distribuída Concentrada (GDC) e Geração Distribuída Pulverizada (GDP). Na GDC, unidades geradoras de grande porte são instaladas em pontos estratégicos do alimentador, normalmente próximos ao maior centro de carga. Esse modelo explora economias de escala no investimento e operação, podendo reduzir o custo médio unitário de geração e simplificar a gestão administrativa e de manutenção. Na GDP, diversas unidades de menor porte são dispersas ao longo das barras do alimentador, podendo, ou não, promover a redução das perdas técnicas e melhoria nas tensões da rede.

Neste contexto, a utilização de ferramentas de simulação e automação se apresenta como necessária. Softwares como o *Open Distribution System Simulator* (OpenDSS), *Python*, Biblioteca *Python* (py-dss-Interface) e *Jupyter Notebook* podem ser aplicados para simulação, otimização e processamento de resultados.

Portanto, o presente artigo apresentará a otimização e análise de uma rede de distribuição por meio de ferramentas computacionais, utilizando o sistema de distribuição IEEE 13 barras (IEEE, 1991). Através da simulação de cenários com diferentes níveis de penetração da GD, é possível demonstrar como essa combinação de simulação, otimização e visualização interativa redefine o ensino, tornando-o mais alinhado às inovações tecnológicas que moldam o setor elétrico atual.

2 FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS PARA SEP

As ferramentas computacionais têm transformado o ensino de Engenharia Elétrica, especialmente na área de Distribuição de Energia Elétrica. Ambientes computacionais interativos permitem que estudantes simulem, visualizem e analisem redes elétricas de maneira prática e segura, preparando-os para desafios reais como a integração de GD. Assim, nos seguintes itens são apresentadas algumas das ferramentas que tem sido utilizada em análises de redes de distribuição de energia elétrica e em diversos outros setores.

2.1 OpenDSS

OpenDSS é um simulador elétrico desenvolvido pelo EPRI, projetado especificamente para o estudo de redes de distribuição. Ele permite a modelagem detalhada de sistemas complexos, com capacidade para simulações de fluxo de carga, curto-circuito, estudos de harmônicas e inserção de geração distribuída, o software recebe dados da rede elétrica e os armazena por meio de arquivos .CSV, ele os armazena (EPRI, 2023). Por se tratar de um software *open source*, é amplamente utilizado em projetos de pesquisa e desenvolvimento no Brasil e no exterior. O modelo de entrada do OpenDSS baseia-se em arquivos de *script*, o que torna seu uso altamente flexível, porém pouco amigável para execução de tarefas repetitivas ou variações paramétricas.

2.2 Python e Bibliotecas

O Python é amplamente utilizado na engenharia devido à sua clareza, simplicidade e ao rico ecossistema de bibliotecas como NumPy, Pandas, Matplotlib e SciPy, que facilitam a análise científica. A biblioteca py-dss-interface, desenvolvida por Paulo Radatz (2025), possibilita a comunicação direta entre Python e OpenDSS por meio de uma interface orientada a objetos, permitindo o controle completo das simulações. Essa ferramenta facilita a criação de rotinas para análises de fluxo de potência, variações de geração e simulação de cenários, otimizando a visualização dos impactos técnicos na rede elétrica.

2.3 Jupyter

O Jupyter Notebook é uma ferramenta interativa que combina código executável, visualizações e texto explicativo em um único ambiente. É amplamente utilizado em engenharia e ciência de dados para experimentação e documentação de análises e simulação simultânea de gráficos. No Visual Studio Code (VS Code), é possível criar, editar e executar notebooks Jupyter nativamente, aproveitando recursos como depuração, visualização de variáveis e integração com ambientes Python.

2.4 Visual Studio Code

O VS Code é um editor de código-fonte leve e multiplataforma que, com a extensão Python da Microsoft, oferece suporte completo ao desenvolvimento em Python. Isso inclui recursos como IntelliSense, linting, depuração, testes unitários e gerenciamento de ambientes virtuais. Sua integração com o Jupyter permite uma transição fluida entre scripts e notebooks, tornando-o uma ferramenta versátil para projetos em engenharia elétrica.

3 USO DAS FERRAMENTAS PARA ANÁLISE DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO

Análise de Impactos de GD em Redes de Distribuição

Os sistemas de distribuição elétrica consistem em subestações e alimentadores radiais que transportam energia desde os transformadores de distribuição até o consumidor final, apresentando perdas técnicas que representam a energia dissipada no sistema. Essas perdas podem atingir cerca de 22,5 % da energia entregue, conforme o Electrical Engineering Portal (EEP, 2025).

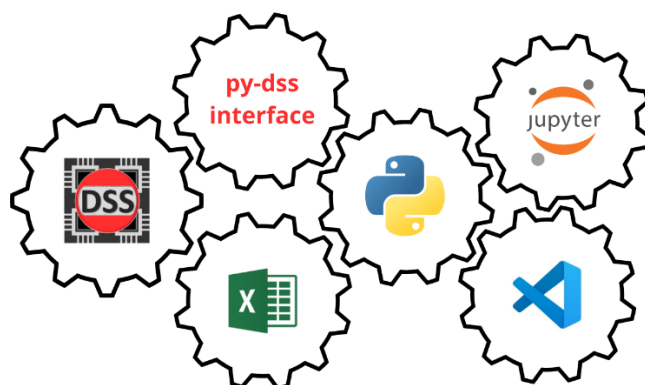
Para analisar o comportamento dessas redes, o OpenDSS fornece um ambiente de modelagem detalhado, permitindo executar estudos de fluxo de potência em diferentes modos de simulação, incluindo o modo “Snapshot”, que captura estados instantâneos de operação e fornece a tensão mínima para cada barra do circuito e as perdas totais nas linhas.

Ao inserir GD em pontos diversos da rede, é preciso realizar múltiplas execuções paramétricas do OpenDSS, já que cada cenário de posição e capacidade de geração exige uma nova simulação *Snapshot* para avaliar as perdas técnicas e a tensão mínima nas barras, considerando a natureza pontual dessa análise. Essas simulações repetitivas podem implicar dezenas ou centenas de execuções, o que torna o processo manual demorado, suscetível a erros de configuração e difícil de reproduzir, consumindo tempo que poderia ser dedicado à interpretação crítica dos resultados

3.2 Integração das ferramentas

O software OpenDSS realiza simulações detalhadas e gera dados em formato .csv. Esses dados são processados no VS Code, que, por meio do Jupyter Notebook, executa scripts em Python para automatizar tarefas, analisar resultados e gerar gráficos, o processo acontece de forma cíclica. Na figura 1 é apresentada a integração destas ferramentas.

Figura 1 – Integração de ferramentas computacionais



Fonte: Autor

A análise avançada de redes de distribuição, a integração de diferentes ferramentas computacionais demonstra-se uma estratégia frequentemente vantajosa. Nesse contexto, e como será ilustrado na Figura 2, a combinação da linguagem de programação Python com o

OpenDSS, um software de referência em simulação de sistemas de energia elétrica, configura uma solução poderosa. A biblioteca *py-dss-interface* estabelece a conexão essencial entre esses dois ambientes, possibilitando uma interação eficiente e flexível com as funcionalidades do OpenDSS a partir do Python.

Figura 2 – Importação de Bibliotecas e compilação do arquivo OpenDSS (.dss)

```
import py_dss_interface
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

from pprint import pprint

✓ 8.8s

dss = py_dss_interface.DSSDLL()
dss_file = r"C:\13Bus\IEEE13Nodeckt.dss"
dss.text("compile [{}]" .format(dss_file))

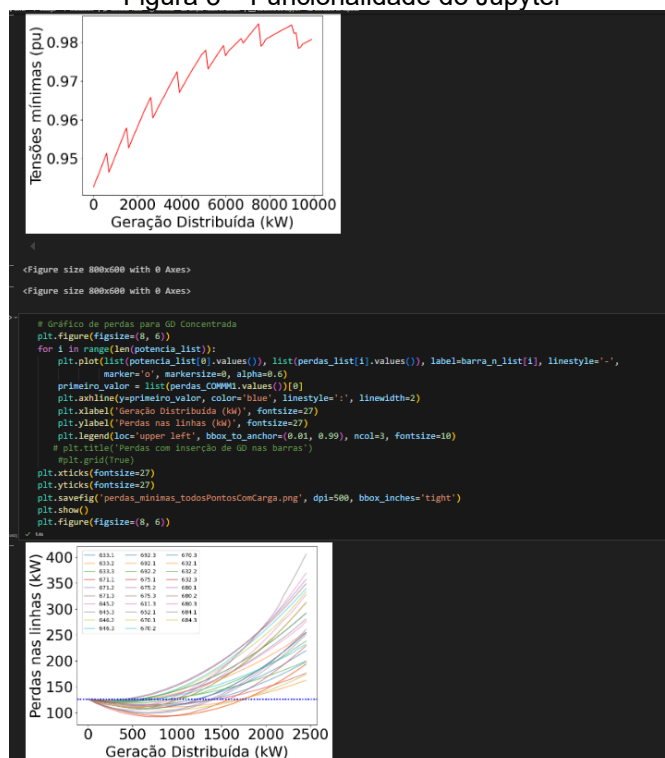
✓ 0.3s
```

Fonte: Autor

O código mostra a etapa inicial de integração entre Python e OpenDSS, utilizando a biblioteca *py_dss_interface*. Inicialmente, são importados as Bibliotecas *py-dss-interface* para comunicação com o OpenDSS, “matplotlib.pyplot” para geração de gráficos, “numpy” para operações numéricas e “pprint” para visualização de dados. Em seguida, a interface com o OpenDSS é estabelecida pela instanciação de “DSSDLL”. O caminho para o arquivo “.dss” do modelo da rede IEEE de 13 barras é definido na variável “dss_file”. Finalmente, o modelo é carregado no simulador OpenDSS através da execução do comando “dss.text(“compile [{}].format(dss_file))”, preparando o ambiente para as análises subsequentes.

No contexto da análise de redes de distribuição, a utilização de ferramentas como o *Jupyter Notebook* se mostra particularmente vantajosa. Na Figura 3 é ilustrada a integração do software em um fluxo de trabalho de análise.

Figura 3 – Funcionalidade do Jupyter



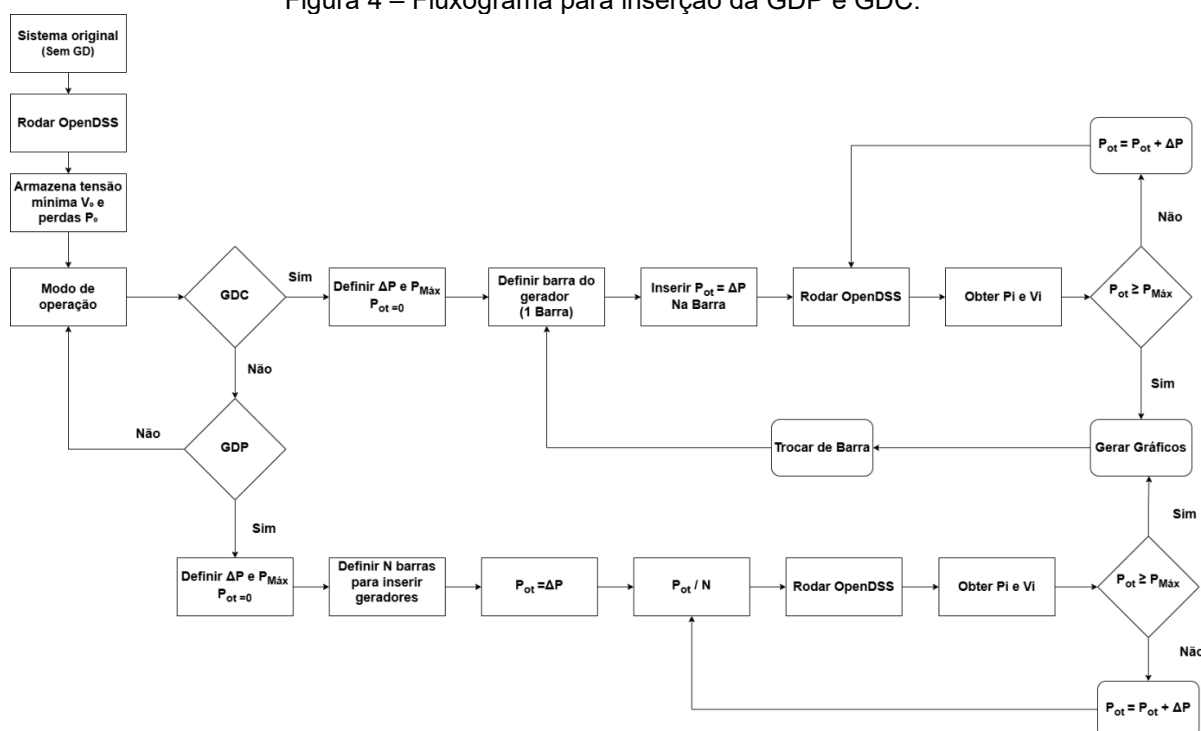
Fonte: Autor

O Jupyter Notebook é essencial em simulações complexas, pois permite a execução isolada de trechos de código, facilitando análises incrementais e a visualização de resultados parciais sem necessidade de rodar todo o script. Isso otimiza o tempo computacional, acelera a identificação de problemas e ajustes de parâmetros, e possibilita que os engenheiros foquem na interpretação crítica dos resultados e na obtenção de insights sobre o comportamento da rede de distribuição.

4 PROCEDIMENTOS DE SIMULAÇÃO

No desenvolvimento da ferramenta computacional, foram estabelecidas rotinas de simulação detalhadas para sistematizar os procedimentos de alocação da GD nas barras do sistema de distribuição. A metodologia implementada considerou a natureza desbalanceada dos sistemas de distribuição e as características dos perfis de carga. Na Figura 4 é apresentado o fluxograma que sintetiza a lógica geral dessa metodologia.

Figura 4 – Fluxograma para inserção da GDP e GDC.



Fonte: Autor

O procedimento inicia com a simulação do sistema de distribuição sem a inserção de GD. Nessa etapa inicial, são obtidos os valores de referência (sistema sem GD) para perdas de energia e de tensão mínima (V_0 e P_0), que servirão como base de comparação para os cenários com GD.

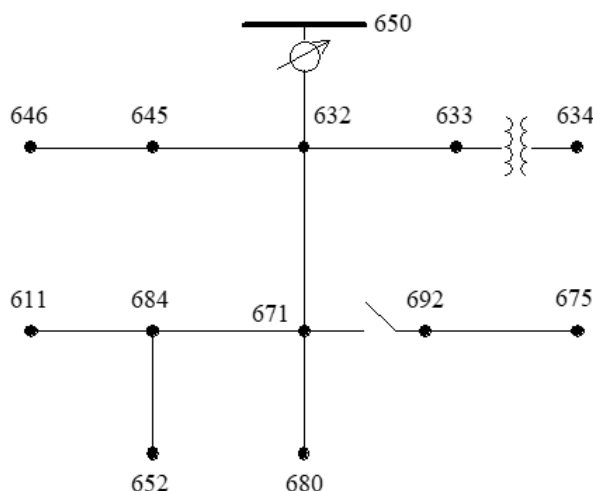
Em seguida, o fluxo de simulação se ramifica para tratar os dois cenários de operação da GD: GDC e GDP. Para o cenário GDC, define-se inicialmente o incremento de potência (ΔP) e a potência máxima de geração ($P_{\text{máx}}$) a ser alocada. A barra onde o gerador será inserido é então especificada. A potência de GD é inserida incrementalmente ($P_{\text{ot}} = \Delta P$), e o fluxo de potência é resolvido para obter as perdas totais nas linhas (P_i) e as tensões mínimas de cada cenário (V_i). Um processo iterativo ajusta a potência inserida ($P_{\text{ot}} = P_{\text{ot}} + \Delta P$) até que o limite $P_{\text{máx}}$ seja atingido. Em seguida, troca-se a barra onde está alocado o gerador e inicia-se novamente o processo.

No cenário GDP, define-se também inicialmente o incremento de potência (ΔP) e a potência máxima de geração ($P_{\text{máx}}$) a ser alocada, ambas considerando a soma total de todos os gerados alocados no sistema. Na primeira iteração, considera-se $P_{\text{ot}} = \Delta P$ e, define-se as N barras que receberão os geradores e injeta-se P_{ot}/N de potência gerada em cada barra. Em seguida roda-se o OpenDSS (fluxo de potência) e armazena-se as perdas totais as linhas (P_i) e as tensões mínimas do cenário atual (V_i). Um processo iterativo ajusta a potência inserida ($P_{\text{ot}} = P_{\text{ot}} + \Delta P$), incrementa-se a potência gerada em cada barra proporcionalmente (P_{ot}/N) e um novo fluxo de potência é realizado. Esse processo finaliza até P_{ot} atingir a $P_{\text{máx}}$ pré-estabelecida. Ao final os gráficos são plotados para as análises.

5 SISTEMA ANALISADO

O sistema de distribuição IEEE 13 barras foi utilizado para teste pois é uma rede amplamente adotada em estudos acadêmicos e técnicos devido à sua complexidade moderada e capacidade de representar com fidelidade características típicas de redes reais de distribuição. Este sistema possui topologia radial, diferentes tipos de cargas e níveis de tensão, permitindo a análise de desequilíbrios de tensão, perdas elétricas e impactos da geração distribuída. Na Figura 5 é apresentado o diagrama unifilar do sistema, enquanto na Tabela 1 são detalhados os dados de carga e impedância de Thevenin.

Figura 5 – Diagrama unifilar do alimentador de barramento IEEE13



Fonte: IEEE (1991)

Tabela 1 – Dados de Carga e Impedância de Thevenin pelas barras.

Barras	Carga	Ph-1	Ph-1	Ph-2	Ph-2	Ph-3	Ph-3	Z-Th
	Modelo	kW	kVAr	kW	kVAr	kW	kVAr	(Ω)
634	Y-PQ	160	110	120	90	120	90	1,0816
645	Y-PQ	0	0	170	125	0	0	0,3695
646	D-Z	0	0	230	132	0	0	0,4449
652	Y-Z	128	86	0	0	0	0	1,0206
671	D-PQ	385	220	385	220	385	220	0,454
675	Y-PQ	485	190	68	60	290	212	0,3695
692	D-I	0	0	0	0	170	151	0,454
611	Y-I	0	0	0	0	170	80	0,9774
TOTAL		1158	606	973	627	1135	753	-

Fonte: IEEE (1991)

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

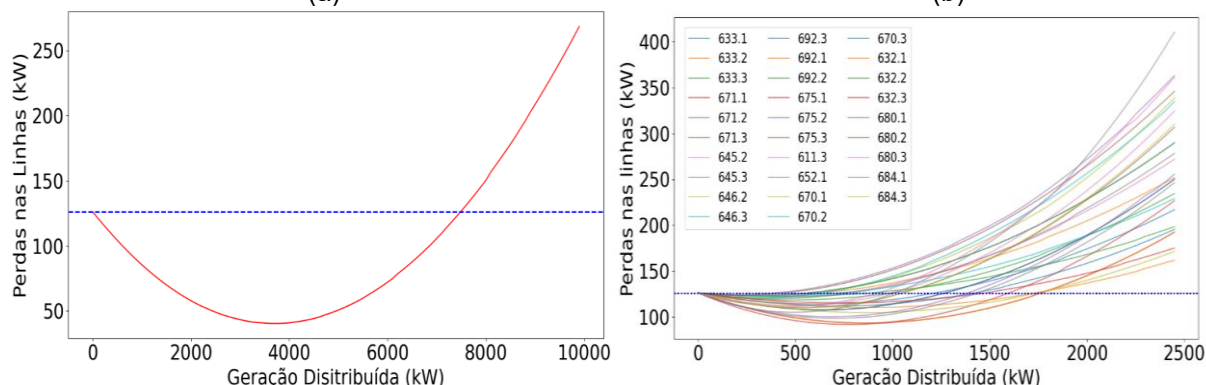
A modelagem do sistema IEEE de 13 barras foi implementada em todos os elementos da rede. Para esta análise específica, os bancos de capacitores, presentes na configuração padrão do sistema, foram desativados. Os resultados das simulações incluem as tensões mínimas e as perdas de energia em cada segmento. As ferramentas utilizadas e o procedimento adotado possibilitaram a simulação de diferentes cenários de inserção de GD e a avaliação do impacto nos principais indicadores técnicos do sistema, como a tensão mínima nas barras e as perdas técnicas totais nas linhas.

6.1 Perdas Técnicas Totais nas Linhas

As perdas técnicas referem-se à energia dissipada nos componentes do sistema elétrico durante o processo de transporte e distribuição da energia elétrica. Essas perdas ocorrem principalmente devido à resistência ôhmica dos condutores e equipamentos, manifestando-se na forma de calor. Em sistemas de distribuição, as perdas técnicas são inevitáveis, mas podem ser minimizadas por meio de estratégias de planejamento, controle e alocação eficiente de recursos, como a inserção de GD.

Na Figura 6 são apresentadas as perdas técnicas totais nas linhas para os cenários com GD Pulverizada (a) e GD Concentrada (b). Em ambos os casos, os geradores foram inseridos apenas nas barras que possuem carga do sistema (29 pontos).

Figura 6 – Perdas técnicas totais nas linhas (a) GD Pulverizada e (b) GD Concentrada



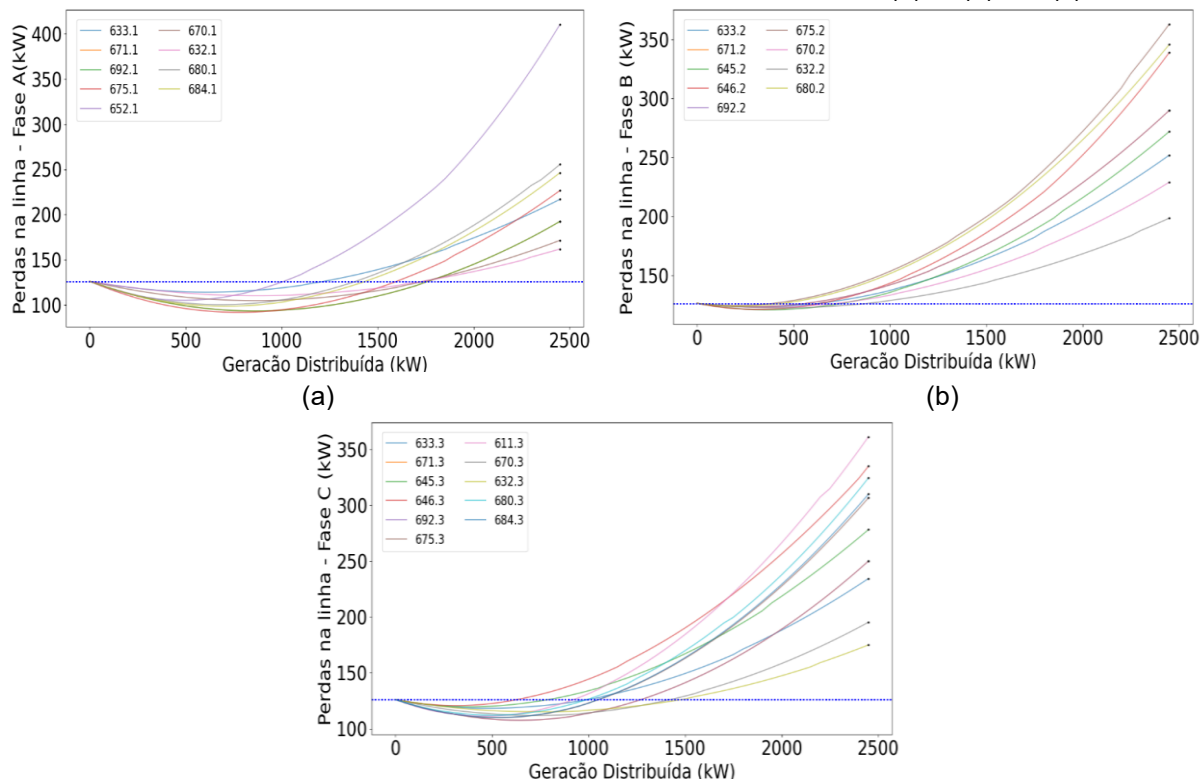
Fonte: Autor

Observa-se que a distribuição das unidades geradoras ao longo da rede (cenário GDP) contribui para a redução das perdas, mesmo com elevados níveis de penetração de potência dos geradores, chegando a ser prejudicial ao sistema apenas quando a somatória das gerações pulverizadas atinge aproximadamente 8 GW. Já no cenário GDC, a concentração da geração em um único ponto resulta em cenários onde a redução das perdas é pequena, ou até mesmo não há redução, e valores entre 500 e 1500 kW de geração, os valores das perdas já ultrapassam o valor das perdas sem a GD.

Para uma melhor ilustração destes impactos da GD Concentrada em pontos específicos separadamente, na figura 7 são apresentadas as perdas técnicas nas linhas separadas nas fases, A (a), B (b) e C (c). Nota-se que o pior dos casos é quando a GD é inserida na fase B, pois pequenos valores de injeção de potência pela GD já impactam em um aumento das perdas. Além das distâncias onde essas barras estão em relação a subestações, a carga também é um fator decisivo neste impacto, conforme pode ser visto nos valores de impedância de Thevenin e carregamento na Tabela 1. Quanto maior a impedância de Thevenin da barra

maiores são as perdas e a fase B se diferencia das demais fases (A e C), por possuir um menor carregamento e uma localização diferenciada do grupo de cargas.

Figura 7 – Perdas técnicas totais nas linhas versus Potência Gerada pelo GD
Perdas técnicas totais nas linhas - GD Concentrada nas fases A (a), B (b) e C (c).

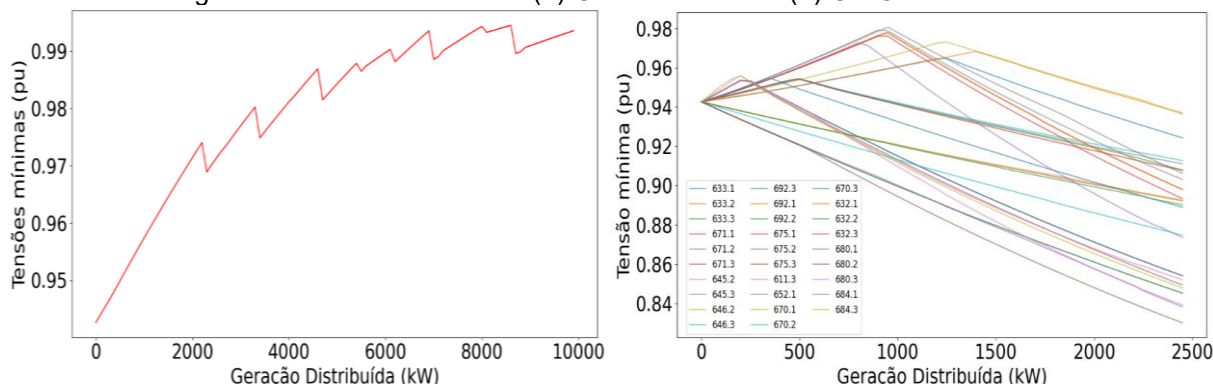


Fonte: Autor

6.2 Tensão Mínima nas Barras

A tensão mínima é um dos principais parâmetros técnicos monitorados em sistemas de distribuição, uma vez que está diretamente relacionada à qualidade do fornecimento de energia elétrica. Manter a tensão dentro dos limites adequados é essencial para garantir o funcionamento correto dos equipamentos dos consumidores e a estabilidade da rede. A presença de GD, seja pulverizada ou concentrada, altera a tensão mínima ao longo do sistema. Na figura 11 são apresentados os valores de tensão mínima para os cenários de GDP (a) e GDC (b).

Figura 11 – Tensões Mínimas (a) GD Pulverizada e (b) GD Concentradas.

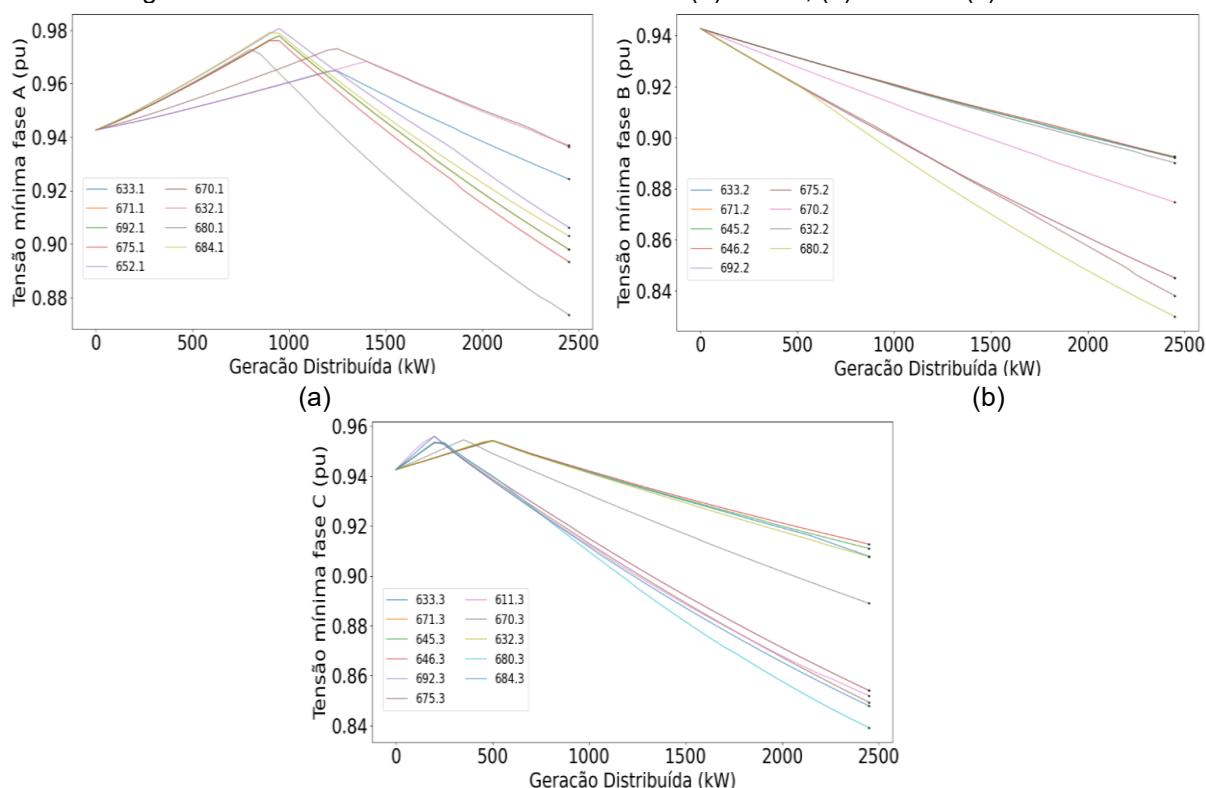


Fonte: Autor

Observa-se que, no cenário de GDP, devido à dispersão das unidades geradoras ao longo do sistema, a tensão mínima se mantém mais próxima dos limites nominais, mesmo com elevados níveis de penetração de geração na rede, favorecendo a qualidade da tensão ao longo de toda a rede. Essa configuração permite que as unidades de geração estejam espacialmente mais próximas das cargas, reduzindo o percurso da potência ativa e mitigando as quedas de tensão associadas ao fluxo de corrente nos alimentadores. Além disso, a distribuição equilibrada da geração contribui para a homogeneização dos perfis de tensão entre as fases, promovendo uma operação mais estável e reduzindo a necessidade de intervenções de controle, como a utilização de reguladores de tensão e bancos de capacitores. Como resultado, a estratégia de geração pulverizada não apenas melhora os índices de qualidade de energia, mas também amplia a capacidade de hospedagem de GD no sistema sem comprometer os padrões de operação e atendimento estabelecidos pelas normas técnicas.

Na figura 12 são apresentados as curvas das tensões mínimas para os cenários de GDC, separadas por fase: A (a), B (b) e C (c). Conforme discussões apresentadas no item anterior, quando se tem geração na fase B, o comportamento de valores de tensões é diferente das demais fases (A e C). Nestes cenários de tensões mínimas, quando se compara as fases A e C é possível notar uma diferença em relação ao intervalo de aumento desta tensão mínima. Na fase A este intervalo de aumento de tensão mínima em relação ao aumento da geração é maior que na fase C. Este fato ocorre, pois há uma diferença de localização do carregamento da fase A em relação a C, enquanto grande parte das cargas da fase estão mais próximas da subestação, as cargas da fase C estão mais distantes.

Figura 12 – GD Concentrada tensão mínima na (a) fase A, (b) fase B e (c) fase C.



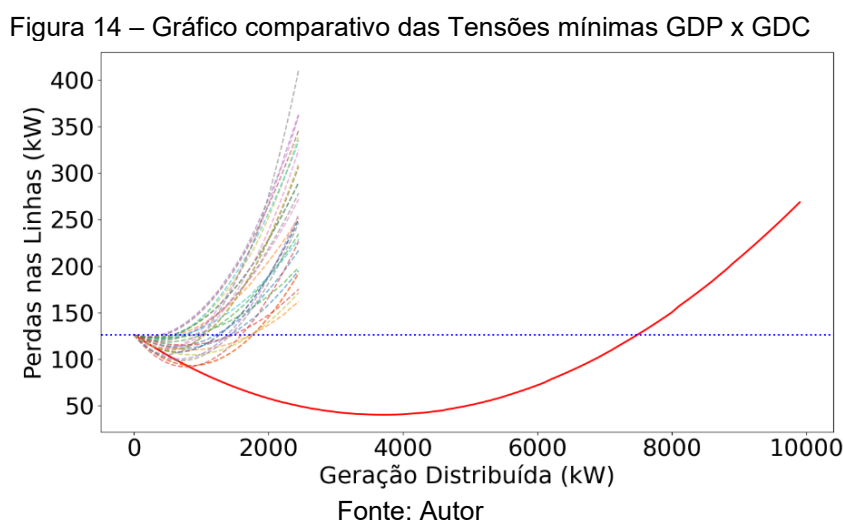
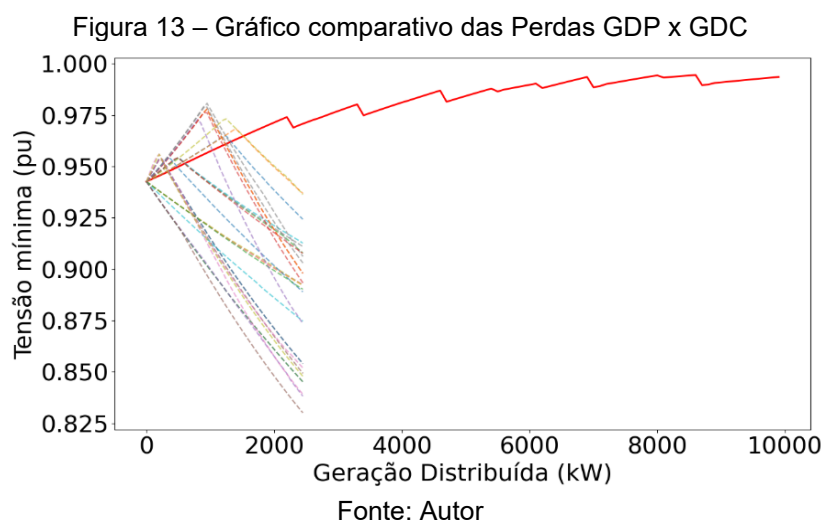
Fonte: Autor

6.3 Análise comparativa dos impactos da GD Pulverizada e Concentrada

Para avaliar de forma mais direta os impactos das diferentes estratégias de alocação da geração distribuída, foram reunidos os dados das análises anteriores em gráficos

comparativos. Na Figura 13 é apresentada a comparação da tensão mínima entre os dois modos de operação: GDP e GDC. Observa-se que a configuração pulverizada tende a promover maior uniformidade e equilíbrio entre as fases, contribuindo para a manutenção das tensões dentro dos limites desejáveis em mais pontos da rede, além de permitir uma capacidade de hospedagem consideravelmente maior. Na Figura 14 exhibe o comparativo das perdas técnicas totais nos dois cenários.

É possível verificar que o cenário com geração pulverizada apresenta perdas significativamente menores até determinado ponto, resultado da redução dos fluxos de potência ao longo de grandes trechos da rede, favorecida pela proximidade das unidades geradoras em relação aos centros de carga.



Esses resultados reforçam a relevância da análise criteriosa na definição da topologia de implantação da geração distribuída, indicando que a estratégia pulverizada, quando bem dimensionada, pode trazer benefícios operacionais mais consistentes ao sistema elétrico de distribuição.

Diante dos resultados obtidos, conclui-se que a GD pulverizada apresenta vantagens técnicas significativas, especialmente na redução de perdas em todas as fases do sistema. Essa configuração permite maior proximidade entre geração e carga, otimizando o fluxo de potência e elevando a eficiência operacional da rede. Já a geração concentrada, embora simplifique o controle e a operação, mostrou-se menos eficaz no contexto analisado, elevando

as perdas e gerando maiores variações de tensão. Esses resultados reforçam a importância de estratégias inteligentes de alocação da GD como forma de promover um sistema elétrico mais eficiente.

7 CONCLUSÃO

O objetivo principal deste trabalho foi contribuir para o aprimoramento do ensino de Engenharia utilizando-se da integração de ferramentas computacionais robustas, com aplicação para redes de distribuição de energia elétrica. Para isso, foi desenvolvido e apresentado um ecossistema digital que combina o simulador OpenDSS com ambientes de programação como Visual Studio Code, Jupyter Notebook e a linguagem Python. Essa integração permite a simulação, análise e otimização de redes elétricas de forma interativa e automatizada.

A utilização dessas ferramentas proporciona aos estudantes uma compreensão mais profunda dos sistemas de distribuição, preparando-os para enfrentar desafios contemporâneos, como a integração de GD e a modernização das redes elétricas. Além disso, o uso de linguagens de programação como o Python facilita a automação de processos e a análise de grandes volumes de dados, habilidades essenciais no mercado de trabalho atual.

A adoção dessas ferramentas no ambiente educacional não apenas complementa o conhecimento teórico, mas também promove uma aprendizagem ativa, alinhada às demandas do setor elétrico moderno. Portanto, incentivar o uso de ferramentas computacionais no ensino de Engenharia Elétrica é fundamental para a formação de profissionais capacitados e adaptados às inovações atuais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro concedido pelo CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e também ao NuPSE – Núcleo de Pesquisa em Sistemas de Energia.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Oferta de geração de energia elétrica deve crescer 9,95 GW em 2025**. Brasília, 07 fev. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2025/oferta-de-geracao-de-energia-eletrica-deve-crescer-9-95-gw-em-2025>. Acesso em: 11 abr. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA – ABGD. **Geração distribuída terá crescimento acima de 20% em 2025, aponta ABGD**. Revista Mundo Elétrico, 10 jan. 2025. Disponível em: <https://www.revistamundoeletrico.com.br/geracao/solar/geracao-distribuida-tera-crescimento-acima-de-20-em-2025-aponta-abgd/>. Acesso em: 11 abr. 2025

ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE – EPRI. **OpenDSS – Open Distribution System Simulator**: User's manual. Palo Alto, CA: EPRI, 2023. Disponível em: <https://www.epri.com/research/products/000000003002015128>. Acesso em: 15 abr. 2025.

ELECTRICAL ENGINEERING PORTAL – EEP. **Total losses in power distribution and transmission lines**, 28 mar. 2025. Disponível em: <https://electrical-engineering-portal.com/total-losses-in-power-distribution-and-transmission-lines-1>. Acesso em: 15 abr. 2025.

IEEE POWER ENGINEERING SOCIETY – IEEE. **IEEE 13 Node Test Feeder**. IEEE Distribution System Analysis Subcommittee, 1991. Disponível em: <https://site.ieee.org/pes-testfeeders/resources/>. Acesso em: 12 jan. 2025.

MENDES, et al. Impacto do dimensionamento da geração distribuída nas perdas elétricas dos sistemas de distribuição usando OpenDSS. In: XIV Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica, 2021. **Anais eletrônicos**. Disponível em: <https://proceedings.science/cbqee-2021/trabalhos/impacto-do-dimensionamento-da-geracao-distribuida-nas-perdas-eletricas-dos-siste?lang=pt-br>. Acesso em: 02 jan. 2025

MOREIRA, J.V.; BARROS, R.M.R. Análise de impacto de fontes de energia renovável nas perdas técnicas de sistemas de distribuição. In: IX Congresso Brasileiro de Geração Distribuída – CBGD, 2024. **Anais eletrônicos**. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/33401/An%C3%A1lise%20de%20Impacto%20de%20Fontes%20de%20Energia%20Renov%C3%A1vel%20nas%20Perdas%20T%C3%A9cnicas%20de%20Sistemas%20de%20Distribui%C3%A7%C3%A3o%20-%20Jason%20Valentim%20moreira.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 02 abr. 2025.

RADATZ, et al. Simulações computacionais e aprendizagem por projeto no ensino de engenharia elétrica: utilizando OpenDSS e Python como ferramentas de análise de sistemas elétricos de potência. In: XV Brazilian Conference on Quality of Power (CBQEE), 15., 2023, São Luís. p. 1–6. **Anais eletrônicos**. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10503796/authors#authors>. Acesso em: 02 abr. 2025.

RADATZ, P. **py-dss-interface**: a Python package that interfaces with OpenDSS powered by EPRI (Version 2.1.0) [software]. GitHub, 2025. Disponível em: https://github.com/PauloRadatz/py_dss_interface. Acesso em: 01 abr. 2025.

OPTIMIZATION OF ELECTRIC POWER DISTRIBUTION NETWORK ANALYSIS USING COMPUTATIONAL TOOLS

Abstract: *The evolution of engineering education increasingly demands the integration of computational tools that enable interactive, detailed, and scalable analyses. This study presents a digital ecosystem that combines OpenDSS, Python, the py-dss-interface library, Jupyter Notebook, and Visual Studio Code to optimize the analysis of electric power distribution networks. Simulations were conducted on the IEEE 13-bus test system to evaluate the impacts of Distributed Generation (DG) in two deployment strategies: Concentrated Distributed Generation (CDG) and Scattered Distributed Generation (SDG). Results showed that the scattered arrangement promotes better voltage regulation and reduces technical losses compared to the concentrated model. By automating simulations and data processing, students can focus on critical interpretation rather than repetitive tasks, enhancing their analytical skills and understanding of distribution systems. The integration of these tools not only streamlines technical analysis but also modernizes engineering education by promoting active and practice-based learning. This work highlights the strategic role of computational ecosystems in the professional training of future electrical engineers.*

Keywords: *Distribution Systems, Computational Tools, Engineering Education.*

