

MODELAGEM, SIMULAÇÃO E ANÁLISE DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DO MUNICÍPIO DE CONCHAL-SP UTILIZANDO O SOFTWARE OPENDSS

Ana Clara Garcia Machado (IC)¹, Tiago Rodarte Ricciardi (PQ)², Ph.D. Benedito Donizeti Bonatto (PQ)¹

¹Universidade Federal de Itajubá, ²Universidade Estadual de Campinas.

Palavras-chave: Base de Dados Geográficos da Distribuidora (BDGD), OpenDSS. Python, Sustentabilidade, Transição Energética.

Introdução

Com o objetivo de contribuir para os avanços na integração de novas tecnologias, em especial as fontes renováveis, e otimização da rede de distribuição, foi desenvolvido um projeto focado na transição energética e suas oportunidades. Este projeto visa explorar de forma prática a utilização de ferramentas avançadas, como o software OpenDSS, aliado à automação de estudos por meio da interface Python-DSS, proporcionando uma gestão mais eficiente da rede elétrica.

O artigo detalha as atividades realizadas durante um ano de Iniciação Científica, concentrando-se na modelagem, simulação e análise do sistema de distribuição de energia elétrica do município de Conchal-SP.

O principal objetivo foi aprimorar os processos de modelagem e simulação do sistema utilizando a base de dados geográficos (BDGD) da concessionária Neoenergia Elektro, disponibilizada no site da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). A integração entre Python e OpenDSS possibilitou simulações mais detalhadas e análises avançadas do desempenho da rede elétrica.

Metodologia**1 Modelagem, Simulação e Análise do Sistema Elétrico de Distribuição do Município de Conchal-SP****1.1 Informações sobre a Rede Elétrica de Conchal-SP**

A rede elétrica do município de Conchal-SP, operada pela Neoenergia Elektro, é uma infraestrutura que abrange tanto a área urbana quanto a zona rural.

A Tabela 01 apresenta os dados da estrutura da rede primária. Essa rede é composta por circuitos de média e baixa tensão, sendo que a maioria dos consumidores urbanos é atendida por uma rede de média tensão de 13,8 kV.

Por outro lado, a baixa tensão, que opera em 220/127 V, é responsável por fornecer energia diretamente às residências e estabelecimentos comerciais.

Tabela 01 – Estrutura da Rede Elétrica de Conchal-SP

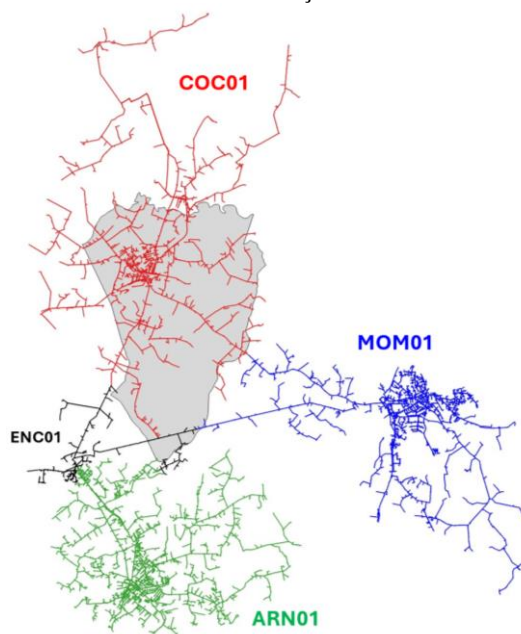
Componente	Código	Quantidade
Área de Regulação de Atuação	ARAT	1
Subestação	SUB	1
Unidades de Transformação	UNTRAT	2
Alimentadores de Média Tensão	CTMT	6
Segmentos do Sistema de Distribuição	SSDMT	9.056
Arranjos de Condutores	SEGCON	47
Unidades de Transformação em Média Tensão	UNTRMT	1.023
Unidades Seccionadoras de Média Tensão	UNSEMT	961
Unidades Compensadoras de Reativos	UNCRMT	8
Reguladores de Tensão	UNREMT	2
Unidades Consumidoras de Baixa Tensão	UCBT	15.095
Unidades Consumidoras de Média Tensão	UCMT	113
Curvas de Carga	CRVCRG	120

Fonte: Autoria própria.

1.1.1 Subestação

A principal fonte de alimentação de Conchal é a Subestação SE Conchal 1 (COC01), que conecta a rede de distribuição local à rede de alta tensão de 69 kV. A Figura 01 ilustra a disposição geográfica das quatro subestações de distribuição que atendem o município de Conchal-SP, bem como a interligação entre as redes de distribuição primárias

Figura 01 - Representação das Subestações e Redes de Distribuição



Fonte: Autoria própria.

Esta subestação também intercepta redes de distribuição primárias atendidas por subestações de distribuição distintas: COC01 (Subestação Conchal), ENC01 (Subestação Engenheiro Coelho), MOM01 (Subestação Mogi Mirim I), ARN01 (Subestação Artur Nogueira).

1.2 Modelagem e Simulação

1.2.1 Preparação da BDGD

I) Coleta de dados

Os dados iniciais foram obtidos a partir de um portal de dados abertos da ANEEL, disponível para consulta pública. A base de dados utilizada contém informações sobre a infraestrutura de distribuição de energia elétrica e está disponível em um formato utilizado para armazenamento de dados geográficos. O arquivo específico utilizado é um arquivo em formato .gdb.

II) Uso de Geociências do IBGE:

Para delimitar os dados geográficos ao município de Conchal-SP, foram usadas as malhas territoriais municipais do IBGE, facilitando a extração dos limites do município e a aplicação no corte dos dados.

III) Processamento dos Dados:

1) Carregamento dos Arquivos: O arquivo que contém dados geoespaciais dos municípios e o que apresenta as informações da Neoenergia Elektro foram carregados usando uma função da biblioteca GeoPandas.

2) Manipulação dos Dados: Em seguida, o script *settings.py* realizou uma junção espacial entre os dados do IBGE e os dados da Neoenergia Elektro. Esse processo combinou as informações de ambos os arquivos, relacionando as infraestruturas da Neoenergia com os limites do município de Conchal – SP.

3) Exportação dos Dados: Após o processamento, o script salvou o resultado no arquivo de saída no formato GeoPackage.

IV) Script de preparação da BDGD:

1) Leitura de Camadas Geográficas: O script *1_preparacao_bdgd.py* realizou a leitura das tabelas geográficas contidas na BDGD, que são utilizadas como base para os estudos do sistema elétrico.

2) Filtragem de Dados: Após a leitura, os dados foram filtrados com base na subestação de Conchal – SP, selecionando apenas os registros pertinentes a essa área.

3) Escrita dos Dados Filtrados: Os dados filtrados foram salvos em um arquivo de saída, localizado no diretório definido, e armazenados no formato GeoPackage (GPKG). As tabelas resultantes da filtragem foram gravadas como camadas distintas dentro desse arquivo.

V) Conversão dos Dados para o Formato .DSS

1) Leitura e Preparação do Arquivo GeoPackage: A base de dados gerada, foi lida usando o GeoPandas. Esse arquivo contém informações como linhas de distribuição, transformadores, cargas e outros elementos essenciais para o sistema elétrico de Conchal-SP.

2) Conversão para o Formato OpenDSS: A conversão dos dados geoespaciais para o formato .dss foi realizada por meio do script *2_conversao_bdgd_preparada.py*. Este script realizou a conversão dos elementos geográficos para arquivos de texto legíveis pelo OpenDSS, cada um contendo diferentes partes do sistema. A seguir apresenta-se os arquivos .dss que foram gerados:

Capacitor: Modela os bancos de capacitores usados para compensação de potência reativa.

Circuit: Define as características gerais do circuito principal ou subsistema da rede.

Line: Representa as linhas de distribuição com suas propriedades elétricas e espaciais.

LineCode: Especifica os parâmetros elétricos de tipos padrão de linhas e condutores.

Load: Define as cargas conectadas ao sistema com suas características de potência e tensão.

Master: Arquivo principal que organiza e executa a simulação, chamando os outros componentes.

Reactor: Modela reatores usados para controle de potência reativa.

Transformer: Representa transformadores com seus parâmetros de tensão, potência e impedância.

1.2.2 Simulação de Fluxo de Carga

O script *3_calculo_fluxo_carga.py* utilizou a ferramenta DSS-Python para executar a simulação de fluxo de carga no sistema elétrico modelado. Ele carrega as configurações e os arquivos '.dss', calcula o fluxo de potência com o OpenDSS e gera dados para análise.

Resultados e discussão

2 Análise das Curvas de Carga dos Alimentadores e Subestação

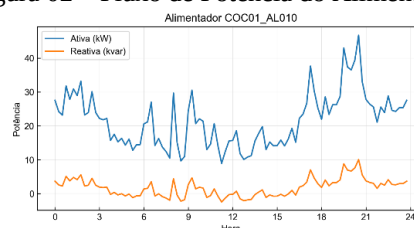
Nas simulações realizadas para este estudo, foi utilizado o modo "daily" do OpenDSS. Ao longo de um dia típico, foi utilizado o comando "solve" para calcular o fluxo de potência em intervalos de tempo.

2.1 Alimentador COC01_AL010

As Figuras 02 e 03 mostram o comportamento da potência ativa (kW), reativa (kVAr) e do fator de potência ao longo de um dia no alimentador COC01_AL010.

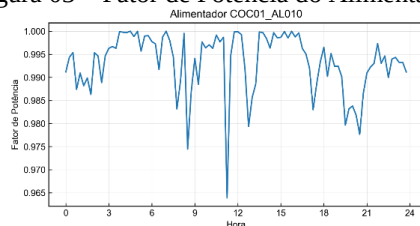
Observa-se que a potência ativa apresenta picos entre 18h e 21h, enquanto a potência reativa, embora menor, também segue esse padrão.

Figura 02 – Fluxo de Potência do Alimentador



Fonte: Autoria Própria

Figura 03 – Fator de Potência do Alimentador



Fonte: Autoria própria.

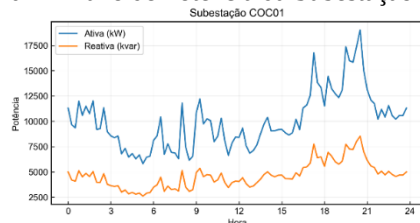
O FP se mantém elevado, próximo a 1 na maior parte do tempo, indicando eficiência na operação. No entanto, há quedas significativas, especialmente entre 9h e 21h, sinalizando uma maior demanda de potência reativa

2.2 Subestação COC01

Com base nos dados de potência ativa, que variam entre 10.000 kW e picos superiores a 17.500 kW apresentados na Figura 04 e o fator de potência na Figura 5, é possível observar que a subestação opera com carga elevada, especialmente durante os horários de pico no período da tarde e início da noite.

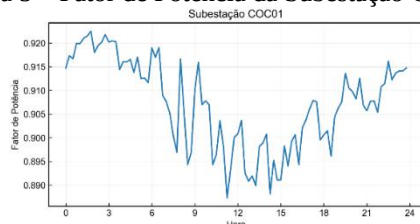
Além disso, a potência reativa, que oscila entre 3.000 e 6.000 kVAr, segue um padrão semelhante, indicando a necessidade de controle adequado de reativos para manter a qualidade da energia entregue aos consumidores e evitar perdas excessivas no sistema.

Figura 04 – Fluxo de Potência da Subestação COC01



Fonte: Autoria própria

Figura 5 – Fator de Potência da Subestação COC01



Fonte: Autoria própria

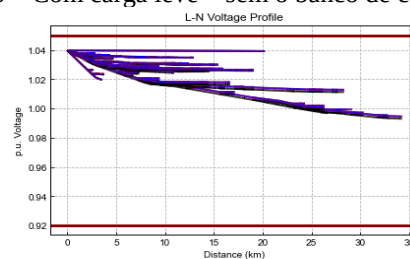
2.3 Perfis de Tensão e compensação de reativos

Nesta seção são apresentados os perfis de tensão ao longo dos alimentadores para estas duas condições, carga leve e carga pesada, e para duas configurações de compensações reativas.

2.3.1 Carga leve

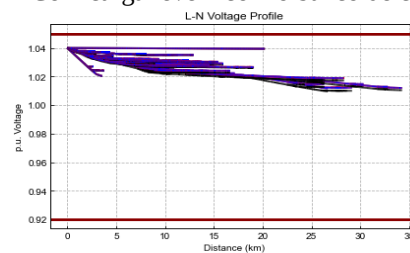
A carga leve corresponde ao perfil de tensão às 5h15 da manhã. Nas Figuras 6 e 7 são apresentados os perfis de tensão ao longo dos alimentadores, com todos os bancos de capacitores desenergizados e com todos os bancos de capacitores energizados, respectivamente.

Figura 6 – Com carga leve – sem o banco de capacitores



Fonte: Autoria própria.

Figura 7 – Com carga leve – com o banco de capacitores



Fonte: Autoria própria.

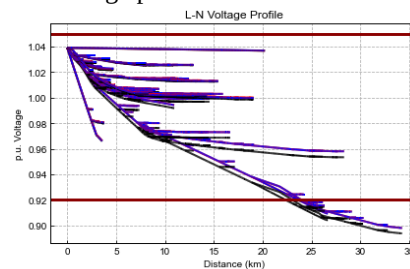
Observa-se que com a energização dos bancos de capacitores o perfil de tensão se eleva. Sem os bancos de capacitores há maior queda de tensão ao longo dos alimentadores, porém os valores de tensão ainda estão dentro dos patamares adequados (0,92 e 1,05 pu), pois neste instante o sistema opera com sua menor demanda. Com isso, conclui-se que na condição de carga leve a energização dos bancos de capacitores não é fundamental para que o sistema de distribuição opere com tensões adequadas.

2.3.2 Carga pesada

A carga pesada corresponde ao perfil de tensão às 20h30 da noite. Os resultados do perfil de tensão em carga pesada são apresentados nas Figuras 08 e 09, para as condições sem compensação reativa e com compensação reativa, respectivamente.

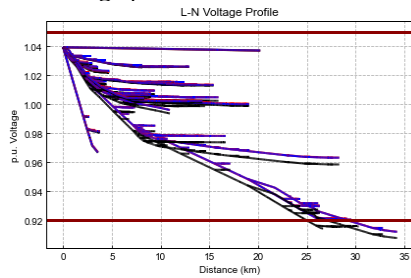
Sem os bancos de capacitores o sistema opera com tensões abaixo de 0,92 pu, chegando a valores de 0,89 pu em regiões mais distantes (acima de 30 km da subestação), o que compromete a estabilidade e a qualidade da energia fornecida.

Figura 08 – Com carga pesada – sem os bancos de capacitores



Fonte: Autoria própria.

Figura 09 – Com carga pesada – com os bancos de capacitores

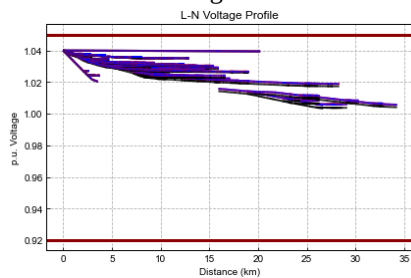


Fonte: Autoria própria

2.4 Ajuste do Regulador de Tensão de Distribuição

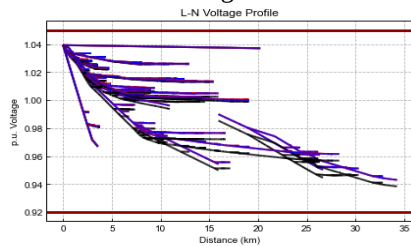
Nas Figuras 10 e 11 são apresentados os perfis de tensão ao longo dos alimentadores com os bancos de capacitores energizados e com o regulador de tensão nas condições de carga leve e carga pesada, respectivamente.

Figura 10 – Com carga leve – com os bancos de capacitores e sem os reguladores



Fonte: Autoria própria.

Figura 11 – Com carga pesada – com os bancos de capacitores e com os reguladores



Para a condição de carga pesada, a atuação do regulador de tensão foi capaz de solucionar os problemas de nível de tensão inadequado, melhorando o desempenho da rede.

2.4 Cálculos de Perdas Elétricas

Outro estudo muito importante realizado é o de cálculo de perdas elétricas. A análise técnica da rede elétrica de Conchal-SP, com base nos dados fornecidos na Tabela 02, evidencia o comportamento das perdas energéticas sob diferentes condições operacionais, considerando capacitores, reguladores de tensão e perdas intrínsecas nos transformadores de distribuição.

Tabela 02 – Dados dos medidores

Item	Sem Capacitores, Transformadores Ideais	Sem Capacitores, Transformadores Com Perdas no Ferro	Sem Capacitores, Transformadores Com Perdas no Ferro e no Cobre	Com Capacitores, Transformadores com Perdas no Ferro e no Cobre	Com Regulador
kWh	241.071,57	245.536,68	245.593,65	245.780,02	245.892,38
Max kVA	20.813,34	20.979,46	20.957,68	20.119,99	
Zone kWh	234.521,04	234.444,64	234.021,39	234.600,56	234.693,95
Zone Losses kWh	6.550,66	11.092,13	11.572,17	11.179,35	11.198,36
Load Losses kWh	6.550,66	6.695,45	7.182,06	6.765,64	
No Load Losses kWh	0,00	4.396,69	4.390,11	4.413,71	
Line Losses	6.053,80	6.191,91	6.183,10	5.763,05	
Transformer Losses	496,86	4.900,23	5.389,06	5.416,30	
3-phase Line Losses	6.053,80	6.191,91	6.183,10	5.763,05	
Perdas Percentuais	2,72%	4,52%	4,71%	4,55%	4,55%

Fonte: Autoria própria

Conclusões

A rede de distribuição de energia elétrica do município de Conchal-SP enfrenta desafios significativos devido ao aumento da demanda e à variação nos perfis de consumo, o que impacta diretamente na qualidade e confiabilidade do fornecimento.

As análises realizadas identificaram a necessidade de intervenções estratégicas, como a instalação de bancos de capacitores para corrigir o fator de potência, e reguladores de tensão para estabilizar os níveis de tensão em áreas mais distantes da subestação, bem como um monitoramento contínuo do sistema para otimizar o desempenho e mitigar as sobrecargas.

Além disso, o estudo destacou a importância de preparar a rede para a futura integração de microgeração distribuída (sistemas fotovoltaicos), visando aumentar a sustentabilidade energética e garantir que a rede possa absorver essa geração sem comprometer sua estabilidade. A Iniciação Científica proporcionou um aprendizado significativo, desenvolvendo habilidades analíticas e práticas essenciais na Engenharia Elétrica.

Agradecimentos

Agradeço ao meu orientador, Ph.D. Benedito Donizeti Bonatto, e ao Prof. Tiago Rodarte Ricciardi pelas orientações ao longo deste projeto e ao apoio financeiro em parte de CAPES, CNPq, FAPEMIG, INERGE, FAPESP, CPTen, CEPIL, UNICAMP e UNIFEI.

Referências

ALCÂNTARA, M. V. P. Microrredes inteligentes. *Smart grids - Redes inteligentes*, n. Dc, p. 36–45, 2011.
 DUNGAN, R. C.; MONTENEGRO, D. Reference Guide The Open Distribution System Simulator (OpenDSS). 2020.
 ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE. OpenDSS Documentation. Palo Alto: EPRI. Disponível em: https://opendss.epri.com/opendss_documentation.html.