



Evento: XXX Seminário de Iniciação Científica.

SIMULAÇÃO E MODELAGEM DE TRECHO DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA COM RADIAL SELETIVO DE PORTO ALEGRE-RS¹

SIMULATION AND MODELING OF ENERGY DISTRIBUTION SECTION WITH SELECTIVE RADIAL IN PORTO ALEGRE-RS

**Nathaly Priscila Müller², Cristina Schoefer Dessbesell³, Lorenzo Ratzlaff Hermann⁴,
Gustavo Eckhardt⁵ Abilio Da Silva Lima⁶, Maurício de Campos⁷**

¹ Projeto de Pesquisa desenvolvido na Unijui, pertencente ao Grupo de Pesquisa GAIC;

² Bolsista de iniciação científica/CNPQ; Estudante do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, nathaly.muller@sou.unijui.edu.br;

³ Estudante do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, cristina.dessbesell@sou.unijui.edu.br;

⁴ Estudante do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, lorenzo.hermann@sou.unijui.edu.br;

⁵ Estudante do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, gustavo.eckhardt@sou.unijui.edu.br;

⁶ Estudante do Curso de Pós-Graduação em Modelagem Matemática e Computacional, abilio.lima@sou.unijui.edu.br;

⁷ Professor Orientador da Engenharia Elétrica/PPGMMC/GAIC, campos@unijui.edu.br;

INTRODUÇÃO

Sistemas elétricos de potência (SEP) são compostos por quatro áreas principais, a geração, a transmissão, a distribuição e o consumo de energia. No entanto, o SEP não é perfeito e pode apresentar falhas, entre as quais pode-se citar o rompimento de cabos aéreos, a quebra de isoladores, os atos de vandalismo, os fenômenos da natureza (como raios, ventos e queda de árvores ou galhos), por acidentes com viaturas, entre outros. Uma das formas de mitigar essas falhas é utilizando-se das redes subterrâneas, uma vez que o sistema, neste caso, está protegido de acidentes com viaturas, dos atos de vandalismo e sofreria menos os com fenômenos da natureza, ainda assim, o sistema está suscetível a outros tipos de falhas. Outra forma de aumentar a segurança nos sistemas de distribuição de energia elétrica é através do sistema radial seletivo (duplo radial), utilizado pela empresa CEEE Equatorial no centro de Porto Alegre/RS. Desta forma, o presente trabalho objetiva a simulação de trechos de um sistema real.

METODOLOGIA

A ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) elaborou os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, conjunto de documentos que padroniza as atividades e desempenhos do sistema de distribuição de energia elétrica. Essa documentação é composta por 11 módulos que abrangem toda a distribuição de energia elétrica, desde o projeto do sistema até o faturamento. O módulo 8, trata



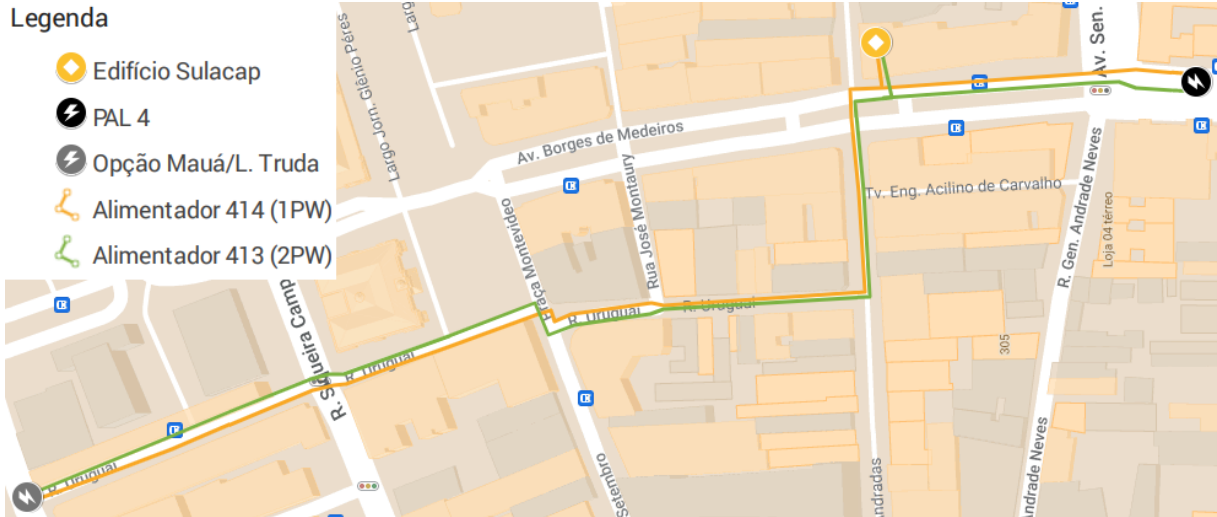
especificamente da qualidade de energia, abordando o produto, a qualidade do serviço e a qualidade no tratamento de informações. É possível avaliar a qualidade de serviço através de indicadores, como o de continuidade do serviço de distribuição de energia elétrica, definindo que “por meio do controle das interrupções e da apuração dos indicadores de continuidade de serviço, as distribuidoras, os consumidores, as centrais geradoras e a ANEEL podem avaliar a qualidade do serviço prestado e o desempenho do sistema elétrico.” Entre os indicadores de continuidade coletivos do sistema pode-se destacar a Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC) e a Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (FEC). É importante ressaltar que o cálculo de ambos deve ser realizado mensalmente, utilizando os dados individuais de cada unidade consumidora ou ponto de conexão para interrupções de longa duração, ou seja, interrupções no fornecimento maiores do que 3 minutos (indicadores obtidos são expressos em horas e centésimos de horas). Caso os indicadores individuais apresentem valores maiores do que os permitidos pelo documento, a distribuidora de energia deverá compensar os consumidores ou centrais geradoras acessantes do sistema através de crédito na fatura em até dois meses após a apuração dos dados. Desta forma, as empresas de distribuição de energia elétrica buscam eliminar quaisquer faltas do sistema.

Uma das formas de garantir a robustez do mesmo é a partir da utilização das redes de alimentação radiais seletivas. Como exemplo desse sistema pode-se citar o centro de Porto Alegre-RS, atendido pela empresa CEEE Equatorial, que apresenta a sua distribuição primária com um sistema duplo radial subterrâneo. Segundo Dos Santos (2010), o duplo radial é caracterizado por ser constituído de dois alimentadores radiais, que podem ser ou não alimentados por uma mesma subestação, operando com 50% de sua capacidade podendo, em caso de falha de um dos alimentadores, transferir totalidade da carga para o outro a fim suprir toda a demanda sem causar interrupções no fornecimento de energia aos consumidores.

A figura 1 apresenta a localização de um trecho da distribuição duplo radial de Porto Alegre, fornecido pela CEEE Equatorial, o qual foi simulado através da plataforma *MATLAB Simulink* desenvolvida pela companhia *MathWorks*, que permite simular o comportamento das redes de distribuição.



Figura 1: Mapa do trecho de distribuição duplo radial de POA



Fonte: Autores, 2022.

As redes elétricas subterrâneas, apesar de serem mais complexas e caras do que as redes aéreas, apresentam uma série de vantagens segundo Boccuzzi et al. (1997), entre as quais se destacam o aumento da segurança para a população por contato acidental, a melhora da qualidade visual do sistema e diminuição das interrupções já que o sistema está protegido de fatores externos como as adversidades climáticas, contribuindo para a redução com a manutenção da rede.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

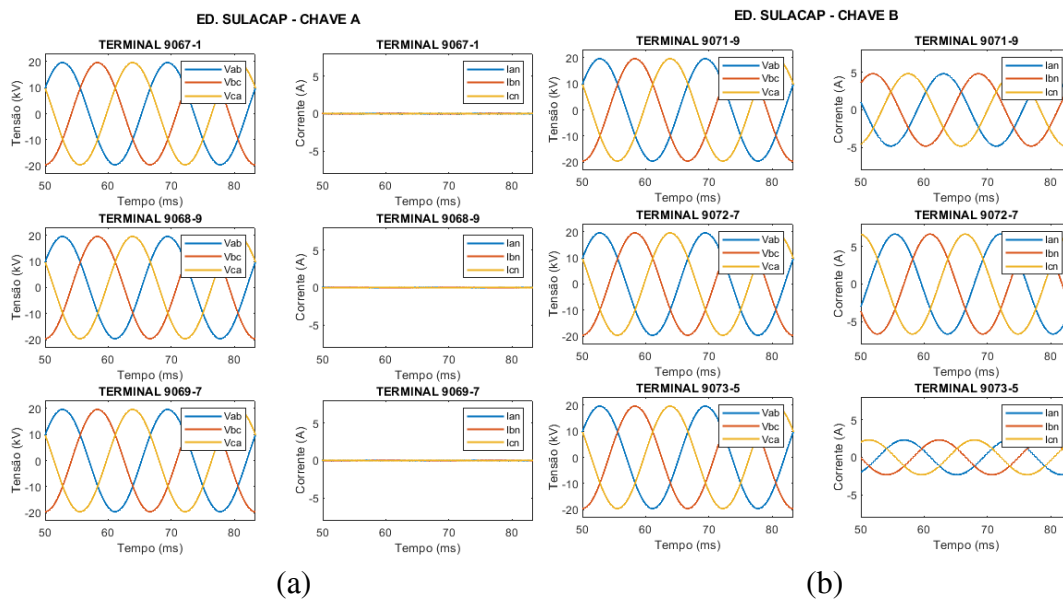
A partir das informações fornecidas pela empresa CEEE Equatorial pode-se realizar a simulação de trechos da distribuição primária do centro de Porto Alegre-RS, retratado na figura 1. A simulação realizada compreende o trecho entre a PAL 4 (Subestação Porto Alegre 4) e a Opção Mauá/L. Truda, passando pelo conjunto de duas chaves de 4 vias na câmara 50020/8, localizada no Edifício Sulacap dos alimentadores 413 (2PW), representado pela cor verde e conectado a chave A, e 414 (1PW), representado pela cor laranja e conectado a chave B.

O diagrama do sistema duplo radial real fornecido pela CEEE Equatorial apresenta setas que representam os fluxos de carga nas extremidades do sistema, portanto, definiu-se que as extremidades das redes PAL 4 e Opção Mauá/L. Truda atuam como fontes geradoras do sistema e a única carga conectada ao mesmo é a Câmara localizada após a chave reversora entre os terminais 9068-9 do alimentador 413(1PW) e 9072-7 do alimentador 414(2PW).

Observando o diagrama fornecido optou-se por alocar a carga para o alimentador 414(1PW), já que a ligação entre a chave reversora e a câmara apresenta coloração laranja, que é a cor característica deste alimentador.

Desta forma, como não há nenhuma carga conectada ao alimentador 413(2PW), o mesmo não apresenta valores de corrente em nenhum ponto medido. Já o alimentador 414(1PW) terá sua corrente dividida entre dois pontos distintos, no entanto, em função da distância entre as mesmas e a chave, a extremidade PAL 4 apresenta um valor maior de corrente do que a Opção Mauá/L. Truda. Vale-se ressaltar que o valor da carga, definido com uma potência ativa de 100 kW e potência reativa indutiva de 50 kVAr, não corresponde com o valor real. Logo, para melhorar a veracidade da simulação realizada é necessário ajustar o valor de carga conectada e a impedância dos cabos. Os resultados obtidos são apresentados na figura 2.

Figura 2: Resultados obtidos na chave A após a simulação (a), resultados obtidos na chave B após a simulação (b).



Fonte: Autores, 2022.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a montagem das simulações dos trechos, foram realizados testes para verificar o funcionamento de ambas, que apresentaram resultados de acordo com o esperado. A partir dos testes realizados foi possível compreender a segurança que o sistema com primário seletivo ou duplo radial provê as redes de distribuição, fazendo com que em caso de falha de



um dos alimentadores os consumidores sejam realocados para o outro o mais rápido possível.

Também foi possível compreender a influência de cada um dos componentes no sistema, demonstrando a importância de dados corretos nas simulações. Desta forma, é necessário ressaltar que os resultados das simulações apresentados anteriormente foram diretamente afetados pela falta de informações sobre as características corretas dos cabos e os valores corretos das cargas. Outro dado necessário para melhorar a precisão da simulação é o valor da carga da câmara, que foi definida com uma potência ativa de 100 kW e potência reativa indutiva de 50 kVAr. Por fim, as simulações apresentam comportamento muito similar com o sistema real, validando assim o esquema montado na plataforma *MATLAB Simulink*.

Palavras-chave: Simulação, Radial seletivo, Fluxo de carga.

AGRADECIMENTOS

Os pesquisadores agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro e a UNIJUÍ pela infraestrutura disponibilizada para realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL nº 956, de 7 de dezembro de 2021. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST: Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica**, [S. l.], 7 dez. 2021. Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2021956_2_7.pdf. Acesso em: 10 jun. 2022.

BOCCUZZI, C. V. et al. **Implantação de redes subterrâneas em condomínios residenciais**. *Eletricidade Moderna*, v. 25, n. 275, p. 90 -100, 1997.

CAMPOS, Luiz Cláudio Rego; MACEDO, Alessandra de Souza de; LOPES, Diego Meireles. **SISTEMAS DE REDES SUBTERRÂNEAS DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL**. *Brazilian Journal of Production Engineering*, [S. l.], p. 150-169, 24 abr. 2019. Disponível em: <http://periodicos.ufes.br/BJPE/index>. Acesso em: 18 jun. 2022.

DOS SANTOS, Janaína da Silva. **Adequação do sistema de distribuição subterrâneo de Porto Alegre: Transferência dos consumidores da rede velha de BT para o sistema de Network de distribuição subterrâneo de Porto Alegre**. Orientador: Prof. Dr. Luiz Tiarajú dos Reis Loureiro. 2010. Projeto de diplomação (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/33044/000788206.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 18 jun. 2022.