



APLICAÇÃO DO ALGORITMO PRIM PARA A RECONFIGURAÇÃO DAS REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Jordana Luíza de Souza ¹
Helton Fernando Scherer ²

INTRODUÇÃO

O rápido desenvolvimento tecnológico e econômico/social, em geral, trouxe como consequência um grande crescimento no consumo de energia elétrica. Um dos exemplos é que a população passou a ter mais facilidade no acesso a aparelhos eletroeletrônicos, os quais são utilizados com cada vez mais frequência em residências, indústrias, escolas, entre outros. Quando esse crescimento desenfreado do consumo é desproporcional ao da geração de energia elétrica, pode ocorrer a diminuição da confiabilidade do sistema de distribuição de energia elétrica, resultando em perdas elétricas e na queda da qualidade da energia fornecida, o que prejudica tanto as empresas do setor elétrico, quanto os consumidores.

Em uma pesquisa realizada pela EPE (2020), Empresa de Pesquisa Energética, constatou-se que, no Brasil, em um período de 10 anos, houve um crescimento no consumo de energia elétrica de aproximadamente de 25,4%, passando de 384,306GWh em 2009, para 482,043GWh em 2019. Na mesma pesquisa foi observado que apenas entre o ano de 2018 e o ano de 2019, o consumo de energia elétrica no país aumentou 1,4%. Esse crescimento também é notado em um aspecto mundial. Segundo dados disponibilizados pela IEA (2019), Agência Internacional de Energia, o consumo mundial de energia elétrica cresceu 4% em 2018 em relação ao ano de 2017.

Dessa forma, o Sistema de Distribuição de Energia Elétrica (SDEE) deve estar sempre em busca de melhorias, para estar apto para lidar com todo o aumento de demanda energética. Uma das opções de melhoria é utilizando reconfiguração das redes do sistema de distribuição de energia elétrica (RRSDEE), que se trata de alterações realizadas através dos dispositivos de chaveamento, assim, resultando na mudança da topologia do sistema. Uma boa reconfiguração pode trazer uma maior eficiência da rede elétrica, gerando consequências positivas não só para o consumidor, que terá uma energia de melhor qualidade e sem interrupções, mas também para

¹ Graduanda do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, jordana.lsouza7@gmail.com;

² Doutor em Engenharia de Automação e Sistemas, pela Universidade Federal de Santa Catarina - UF, hfscherer@gmail.com;



as concessionárias de energia, pois os gastos relacionados com a operação do sistema irão diminuir.

Há diversos trabalhos nessa temática, os quais visam uma melhoria no desempenho do sistema de distribuição de energia elétrica. Tratando como um problema de otimização matemática, as pesquisas podem buscar uma minimização de algum parâmetro, imposição de restrições físicas ou de custos, ou mesmo desenvolver algoritmos que consigam fornecer soluções de maneira mais eficiente (Vahidinasab, 2020). ZANCHETTA (2014), utiliza uma metodologia baseada na troca de ramos (“Branch Exchange”), a qual é capaz de controlar e planejar as configurações das redes de distribuição em tempo real. Já OLIVEIRA et. al (2009), utiliza o método Primal-Dual de Pontos Interiores em um algoritmo passo a passo para encontrar uma reconfiguração ótima para o SDEE. No trabalho realizado por RUPOLO (2013), é utilizado um algoritmo de busca dispersa o qual, através de 5 etapas, consegue encontrar soluções de boa qualidade para o problema da reconfiguração.

Uma dificuldade comum na maioria das pesquisas sobre o tema RRSDEE é o fato do problema se tornar não linear inteiro misto, o qual é de alta complexidade de resolução, pois pode resultar em uma explosão combinatória, inviabilizando muitas vezes a busca pela solução ótima. Com isso, o objetivo desse trabalho é o desenvolvimento de ferramentas utilizando técnicas heurísticas e metaheurísticas em conjunto com a implementação de algoritmos gulosos, de tal maneira que consigam resolver o problema de reconfiguração de maneira eficiente, gerando um balanço entre a qualidade da solução e o tempo gasto na busca dessa solução.

METODOLOGIA

Primeiramente, o SDEE é modelado em forma de grafo, estrutura a qual contém um número finito de vértices e um número finito de arestas, as quais são as ligações existentes entre dois vértices. No caso do SDEE, os vértices representarão as barras das redes de distribuição. Já as arestas, representarão as linhas de transmissão, ou chamadas também de ramos. Vale ressaltar que entre dois nós podem existir caminhos diferentes, que seriam os caminhos físicos possíveis para chegar eletricidade.

Utilizar este tipo de representação permite atribuir pesos distintos aos ramos, baseados em seus dados de potência aparente, em que quanto maior for a potência aparente, maior será o peso. Assim, forma-se um sistema malhado, o qual a energia elétrica pode fluir em mais de um sentido, pois há vários caminhos.



Entretanto, na operação real da distribuição do sistema elétrico, é necessário que exista uma formação dita radial, de tal forma que cada barra receba a alimentação de energia elétrica somente por uma via. Este tipo de operação evita maiores complicações com elementos de segurança, por exemplo.

O algoritmo desenvolvido, tem como base no método PRIM (1957). Esse método é empregado para encontrar, a partir de um grafo original, um subgrafo, o qual terá apenas as arestas selecionadas conectadas interligando todas as vértices, resultando em um sistema com apenas um caminho.

Sendo assim, o algoritmo analisa todas as possibilidades de conexão entre duas barras e, seleciona apenas os ramos (conexões) de maior peso até que todas as barras estejam interligadas. Dessa forma obtém-se, de um sistema malhado inicial, um sistema radial apenas com os ramos mais benéficos conectados, permitindo apenas um sentido de fluxo para a energia elétrica.

Por ser um tipo de algoritmo guloso, sua decisão não leva em consideração todo o sistema, mas sim o ponto onde está no momento e seu entorno. Com isso, um algoritmo simples deste tipo não conseguirá bons resultados todas as vezes que for executado. É necessário adicionar elementos para que sejam geradas soluções distintas, para que depois seja possível avaliar qual a solução mais adequada. Para isso, podem ser utilizadas heurísticas e metaheurísticas, tais como algoritmos genéticos (Goldberg et al., 1988), busca tabu (Glover, 1989), GRASP (Feo, 1989) e algoritmos Metropolis (Metropolis, 1953).

A próxima etapa do trabalho será a implementação de algumas destas técnicas em conjunto com o algoritmo prim, de tal maneira que atribuam novos pesos aleatoriamente aos ramos, para que seja possível gerar soluções distintas. Com um grande conjunto de soluções factíveis (bons sistemas radiais), será possível realizar comparações afim de que apenas a melhor das opções prevaleça.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Afim de que o programa ficasse mais eficiente, o algoritmo desenvolvido em linguagem C, faz o uso da alocação dinâmica. Na alocação dinâmica, o espaço de memória necessário



para armazenar os dados declarados pode ser definido durante a execução do programa, conforme a necessidade do mesmo, portanto, é possível alocar memória enquanto o programa roda, poupando memória do mesmo e o tornando mais eficaz.

O método foi testado em dois sistemas diferentes, conhecidos na literatura como sistema de 23 barras (Nahmed et al., 2008) e sistema de 33 barras (Baran et al., 1989).

O algoritmo foi implementado em um formato de lista duplamente encadeada, de tal maneira que em cada elemento analisado, fosse possível checar quem são os outros elementos conectados. Então as buscas dos melhores caminhos para a interligação das barras foram realizadas entre estas listas duplamente encadeadas, as quais contém os dados das barras e dos ramos e são interligadas, formando uma estrutura semelhante a uma teia de aranha.

Após a aplicação do algoritmo, o resultado obtido no sistema de 23 barras foi de um sistema que iniciou com 35 ramos, mas apenas 22 foram conectados para formar o sistema radial. Já no sistema de 33 barras, de uma quantidade de 37 possíveis ramos, 32 foram selecionados para formar um sistema radial. Até o presente momento, é possível verificar que o algoritmo PRIM funciona adequadamente, ou seja, consegue localizar uma estrutura radial partindo de dados de um sistema malhado.

Como próximos passos, será necessário implementar técnicas para variar os pesos dos ramos, de tal maneira que seja possível obter novas soluções ao utilizar o algoritmo guloso. Além disso, é necessário adicionar uma etapa de comparação posterior com as soluções geradas, comparando os valores obtidos de perdas e número de ramos utilizados, para que se tenham critérios de escolha das melhores opções.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

É possível verificar com o levantamento da literatura que o problema de reconfiguração de sistemas elétricos é algo de grande interesse e de muita pesquisa atual, principalmente pela tendência de novas tecnologias de geração distribuída e armazenamento de energia que estão sendo criadas.

Este trabalho caminha na direção da construção de ferramentas para resolver problemas de reconfiguração, visando obter resultados de um problema que é extremamente difícil de se obter a solução ótima.



A primeira fase do trabalho está concluída, com um algoritmo que já recebe dados de redes e constrói uma possível solução. Como trabalho futuro, serão estudadas heurísticas possíveis para gerar novas soluções de uma maneira eficiente, sem que seja uma busca exaustiva, tornando o algoritmo capaz de fornecer soluções adequadas em tempo hábil.

Palavras-chave: Sistema de Distribuição; Reconfiguração, Otimização, Algoritmo, PRIM.

REFERÊNCIAS

Baran, M. E. *et al.* (Janeiro de 1989). Optimal capacitor placement on radial distribution systems. *IEEE Transactions on Power Delivery*, v. 4, n. 2, pp. 725–734.

Dhein, G. *et al.* (Dezembro de 2019). Modelagem de Rede de Distribuição de Energia Elétrica na Forma de Grafo e Implementação das Rotinas Necessárias para Avaliar Manobras de Reconfiguração.

EPE (2020). *Consumo Anual de Energia Elétrica Por Classe (Nacional)*. Acessado em 17 de novembro de 2020. Fonte: [https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/consumo-de-energia-eletrica/consumo-anual-de-energia-eletrica-por-classe-\(nacional\)](https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/consumo-de-energia-eletrica/consumo-anual-de-energia-eletrica-por-classe-(nacional)).

Feo, T.A. *et al.* (1989). A probabilistic heuristic for a computationally difficult set covering problem. *Operations Research Letters*, n. 8 pp.67–71.

Glover, F. (1989) . Tabu Search, Part I. *ORSA Journal on Computing*, v. 1, n. 3, 190-206.

Holland, J. H. (1992) Genetic Algorithms. *Scientific American*, v. 267, n. 1, pp. 66–73. Acessado em 21 de novembro de 2020. Fonte: <https://www.jstor.org/stable/24939139>.



IEA (Março de 2019). *Global Energy Demand Rose By 2,3% in 2018, Its Fastest Pace in the Last Decade*. Acessado em 16 de novembro de 2020. Fonte: <https://www.iea.org/news/global-energy-demand-rose-by-23-in-2018-its-fastest-pace-in-the-last-decade>.

Metropolis, N. (1953). Equação de Cálculos Estatais por Máquinas de Computação Rápida.

Nahman, J. M. *et al.* (Maio de 2008). Optimal planning of radial distribution networks by simulated annealing technique. *IEEE Trans. Power Syst.*, v. 23, n. 2, pp. 790–795.

Prim. R. C. (Maio de 1957). Shortest Connection Networks and Some Generalizations, *The Bell System Technical Journal*, pp. 1389–1401.

Rupolo. D. (Setembro de 2013). Reconfiguração de Redes de Distribuição de Energia Elétrica Através de um Algoritmo de Busca Dispersa.

Vahidinasab, V. *et al.* (2020). Overview of Electric Energy Distribution Networks Expansion Planning. *IEEE Access*, v. 8, pp. 34750-34769.

Zanchetta, L. P. (Dezembro de 2014). Reconfiguração de Redes de Distribuição de Energia com Geração Distribuída Empregando Conceitos de Redes Elétricas.