



CÁLCULO DA CAPACIDADE DE HOSPEDAGEM DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA UTILIZANDO ALGORITMO GENÉTICO.

Bruno Chaves Gonçalves ¹; Brunelle de Sousa Costa ²; Pedro Oliveira Andrade ³; Professor Dr. Renan Souza Moura ⁴; Cristian Alvez ⁵, Professor Dr. Cristian Adolfo Alvez

1 Bruno Chaves Gonçalves, Bolsista IFMG, Bacharel em Engenharia Elétrica, IFMG Campus Formiga, Formiga - MG; chaves.bruno142@gmail.com

2 Brunelle de Sousa Costa, Bacharel em Engenharia Elétrica, IFMG Campus Formiga, Formiga - MG; brunellescosta@gmail.com

3 Pedro Oliveira Andrade, Bacharel em Engenharia Elétrica, IFMG Campus Formiga, Formiga - MG; pedroandrade1706@gmail.com

4 Professor Dr. Renan Souza Moura Pesquisador do IFMG, Campus Formiga; renan.moura@ifmg.edu.br

5 Professor Dr. Cristian Adolfo Alvez, coorientador externo ao IFMG, Campus Formiga; cristian.ad.alvez@gmail.com

RESUMO

Este projeto de pesquisa ainda está em desenvolvimento, pretende calcular a capacidade de hospedagem de geração distribuída fotovoltaica utilizando a técnica de busca baseada no algoritmo genético. Nos últimos anos, ocorreram diversas negativas de concessionárias ao acesso de novos empreendimentos de usinas fotovoltaicas à rede elétrica, devido à necessidade de adaptação no sistema elétrico de potência, pois, se o limite de capacidade é excedido, surgem problemas operacionais, como aumento dos níveis de tensão e baixo fator de potência em barramentos de subestações. O software Open Distribution System Simulator (OPENDSS) é uma referência para estudos na área de distribuição, sendo utilizado como base de cálculos em estudos pela ANEEL. Serão simuladas redes de distribuição completas considerando os limites operacionais. Para a confecção do algoritmo genético será utilizado o Matlab e Python, que vão ser integrados com o OpenDSS. Como resultados, além de indicar a capacidade de hospedagem e o correspondente fator de potência dos sistemas fotovoltaicos, será declarado o limitante de cada sistema, ou seja, se ocorreu sobretensão nos barramentos ou excesso de corrente elétrica nos alimentadores.

PALAVRAS CHAVES: Distribuição de energia, Capacidade de hospedagem, Sistema elétrico de potência, Algoritmo genético, OpenDSS, Matlab, Python.

INTRODUÇÃO:

Os sistemas de distribuição de energia elétrica são a etapa final no processo de fornecimento de eletricidade, pois são responsáveis por transportar a energia das subestações até os consumidores finais.

Hodiernamente, tem se popularizado cada vez mais a aquisição de painéis fotovoltaicos por parte de consumidores de energia como um todo. Sua implementação permite a conversão de energia solar em elétrica através do efeito fotovoltaico. A expansão da geração distribuída (GD), em particular da energia fotovoltaica, tem criado desafios de integração nas redes de distribuição, que não foram originalmente projetadas para suportar fluxos bidirecionais de energia e variações de tensão causadas pela intermitência das fontes renováveis [1]. A capacidade de hospedagem de geração distribuída da rede emerge como uma métrica crucial, definindo o montante máximo de

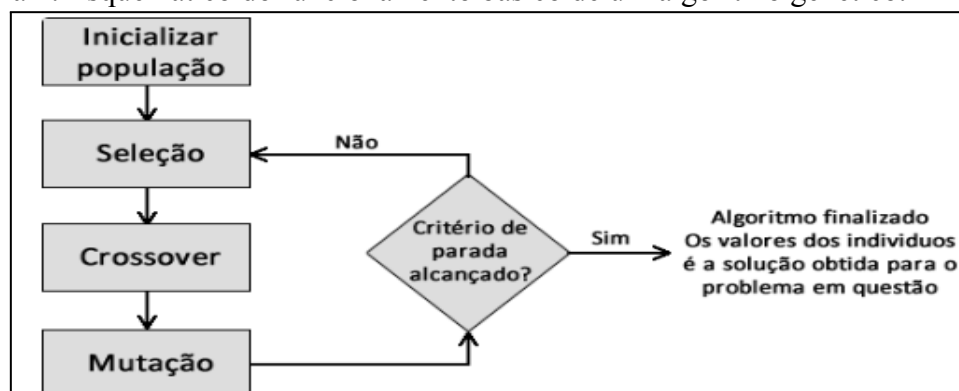
geração que pode ser adicionado sem violar as restrições operacionais da rede, como limites de tensão e corrente, garantindo operação segura e eficiente [5].

Do ponto de vista da concessionária, a inserção de geração distribuída fotovoltaica em pequenas quantidades é benéfica, visto que parte da potência que é demandada pelos consumidores será alimentada pela injeção de potência das GDs da região. Com a crescente geração distribuída fotovoltaica, se percebeu que o excesso de injeção na rede pode causar instabilidades, como o aumento da tensão e baixo fp nas imediações das GDs [3]. Esses distúrbios inviabilizam a injeção de potência em certos momentos, a depender da capacidade do sistema hospedar essa energia. [5].

A fim de se realizar o cálculo de capacidade de hospedagem de um sistema de distribuição com maior eficiência, os algoritmos genéticos têm se destacado. Estudos apontam que eles oferecem maior eficiência na busca de soluções próximas ao ótimo global, frequentemente com um tempo de simulação reduzido em comparação a métodos tradicionais [6, 9].

O algoritmo genético descreve métodos de otimização inspirados pela teoria da evolução de Darwin, baseando-se em processos de seleção natural e evolução genética. Os AG aplicam operadores genéticos, como seleção, cruzamento e mutação, para explorar soluções potenciais em um espaço de busca amplo[6, 9] (conforme ilustrado na Figura 1).

Figura 1: Esquemático do funcionamento básico de um algoritmo genético.



Com a utilização de cromossomos para representar as potências injetadas nos barramentos e a implementação de funções de avaliação que consideram restrições de tensão e corrente tornam o algoritmo genético uma abordagem ideal para problemas como o de cálculo de hospedagem.

A integração do Python e MATLAB com o OpenDSS cria uma plataforma robusta para simulações e análise de redes de distribuição. O Python, usando a biblioteca “py dss interface”, e o MATLAB usando a interface “COM”, permitem controlar as simulações diretamente pelo código, facilitando a automação do processo, manipulação dos dados e geração de relatórios e gráficos. Juntas, essas ferramentas oferecem uma abordagem eficiente e flexível para avaliar o impacto da GD no sistema elétrico, otimizando o processo e proporcionando análises detalhadas.

A motivação desta pesquisa está na crescente necessidade de integrar geração distribuída renovável, como a solar fotovoltaica, em redes de distribuição. Essa integração exige um controle eficiente para garantir a estabilidade e a qualidade do fornecimento. A aplicação de algoritmos genéticos e o uso do OpenDSS contribuem para otimizar a operação da rede, oferecendo soluções práticas para desafios atuais e promovendo uma infraestrutura elétrica mais segura e sustentável.



METODOLOGIA:

A metodologia deste estudo se baseia em simulações computacionais com o objetivo de avaliar a capacidade de hospedagem de geração distribuída em sistemas de distribuição de energia elétrica. O desenvolvimento será realizado de forma gradual e interligada, proporcionando uma abordagem progressiva para os membros, que incluirá desde a compreensão dos conceitos fundamentais até a implementação de soluções avançadas.

Inicialmente, os integrantes entenderam características e o funcionamento dos sistemas de distribuição elétrica por meio de estudos teóricos, baseados em obras especializadas[3]. Além disso, serão introduzidos às linguagens de programação Matlab e/ou Python, desenvolvendo códigos que resolvam exercícios de linhas de distribuição. Essa etapa visa criar familiaridade com as estruturas básicas de programação e com o funcionamento das ferramentas utilizadas nas simulações.

Em seguida, os integrantes realizarão o estudo teórico e desenvolvimento de um algoritmo genético, abordando suas etapas fundamentais, como a definição de indivíduos, roleta viciada, cruzamento, mutação e elitismo [6]. Após a implementação inicial do algoritmo, será feita a adaptação para otimizar a alocação de geração distribuída (GD) em um sistema de distribuição. Neste contexto, o algoritmo genético será usado para alocar de forma eficiente as potências ativa e reativa nos barramentos de um sistema modelado no OpenDSS.

O software OpenDSS será introduzido para a modelagem e simulação de sistemas de distribuição de energia elétrica e integração de sistemas fotovoltaicos e armazenadores de energia [4,7,8]. Os alunos aprenderão a controlar as simulações por meio do Matlab e/ou Python, buscando integrar as ferramentas de maneira eficiente. A interface entre Python, Matlab e OpenDSS será essencial para essa adaptação, permitindo a execução das simulações e o controle do processo de otimização da geração distribuída[8]. Durante essa fase, também será realizada a análise das variações de tensão e corrente, com e sem a presença de GD, para avaliar o impacto da inserção da geração distribuída no sistema.

Finalmente, os membros do projeto irão analisar e comparar diferentes cenários de geração distribuída, documentando os procedimentos adotados, as conclusões obtidas e apresentando os resultados de forma clara e objetiva. Essa metodologia visa integrar teoria e prática, utilizando ferramentas avançadas para otimizar a integração da geração distribuída nas redes de distribuição elétrica, promovendo uma compreensão profunda e aplicada dos conceitos estudados.

RESULTADOS E DISCUSSÕES:

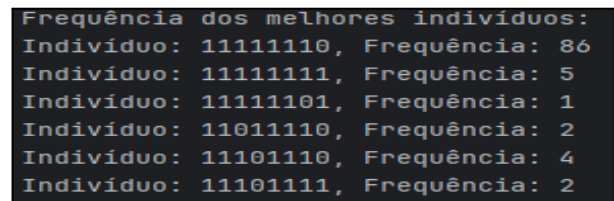
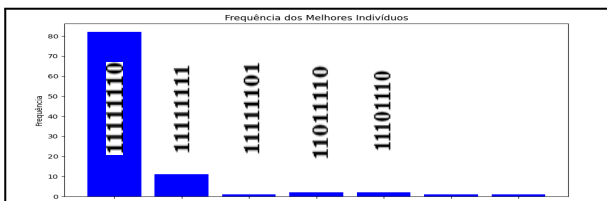
Por ser um projeto que ainda está em desenvolvimento, apresenta apenas resultados parciais. Até o momento foram estudados conceitos fundamentais de sistemas elétricos de potência, programação em python, matlab e OpenDSS. Esse primeiro passo foi crucial para familiarizar-se com os softwares e com algumas técnicas práticas de implementação.

Com a maior familiaridade com Matlab e Python, o segundo passo envolveu o início do desenvolvimento do algoritmo genético básico. Este utilizado para otimizar a função objetivo : $[f(x, y) = |x \cdot y \cdot \text{sen}(y \cdot \frac{\pi}{4})|]$. Para isso, o AG foi estruturado com a população inicial aleatória,

operadores de seleção, crossover e mutação, buscando encontrar soluções ótimas ao longo das gerações, até atender o critério de parada [9].

Ao final da execução, os resultados obtidos evidenciam a convergência para a solução ótima. Para a função do estudo [9], ao passar das gerações o melhor dos melhores indivíduos foi o cromossomo 11111110, que representa um $x=15$ e $y=14$ em valores decimais (Conforme a figura 2). Esse processo demonstrou a capacidade do AG de buscar soluções eficientes para o problema proposto, ainda que ajustes nos parâmetros do algoritmo, como a taxa de mutação e o tamanho da população, influenciam diretamente a qualidade e a velocidade da convergência.

Figura 2: Convergência para melhor solução possível para função avaliação.



Em seguida, foi realizado o estudo e implementação do software OpenDSS, integrando o modelo PVSystem para simular sistemas de geração distribuída com painéis fotovoltaicos.

Figura 3: Modelagem PVsystem no OpenDSS.

```

New XYCurve.MYPvsT npts=4 xarray=[0 25 75 100] yarray=[1.2 1.0 0.8 0.6]
New XYCurve.MyEff npts=4 xarray=[0.1 0.2 0.4 1.0] yarray=[.86 .9 .93 .97]
New Loadshape.MyIrrrad npts=24 interval=1 mult=[0 0 0 0 0 0 .1 .2 .3 .5 .8 .9 1.0 1.0 .99 .9 .7 .4 .1 0 0 0 0 0]
New Tshape.MyTemp npts=24 interval=1 temp=[25, 25, 25, 25, 25, 25, 25, 25, 25, 25, 35, 40, 45, 50, 60, 60, 55, 40, 35, 30, 25,
New PVSystem.PV phases=3 bus1=trafo_pv KV=0.48 kVA=600 irrads=.98 Pmpp=500 temperature=25 PF=0.9 %cutin=0.1 %cutout=0.1
~ effcurve=MyEff P-TCurve=MYPvsT Daily=MyIrrrad TDaily=MyTemp
    
```

Durante essa fase, foi possível compreender simulações ao longo do dia (modo daily), parâmetros como curva de irradiância, temperatura (PvsT), eficiência do inversor, potência saída do sistema fotovoltaico, dentre outras características. Os resultados obtidos evidenciam a influência do PVSystem nos níveis de tensão e no fluxo de potência reativa do sistema, permitindo avaliar a estabilidade da rede em diferentes condições operacionais. A figura 4 e 5 ilustram o comportamento das tensões e da demanda de potência com e sem a presença da geração distribuída fotovoltaica durante 24 horas. Observa-se uma elevação nos níveis de tensão ao longo do dia, uma redução significativa na demanda de potência ativa, resultado da injeção de energia pelo PVSystem [3].

Figura 4: Perfis de tensão no barramento próximo a GD durante.

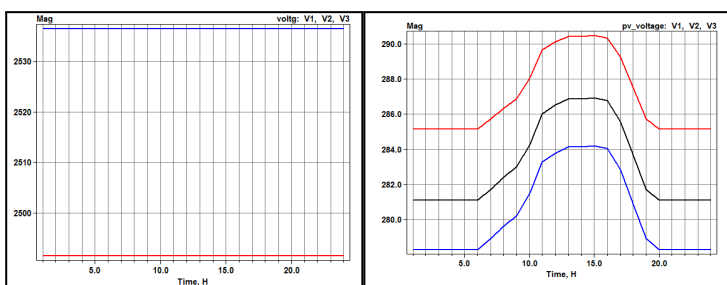
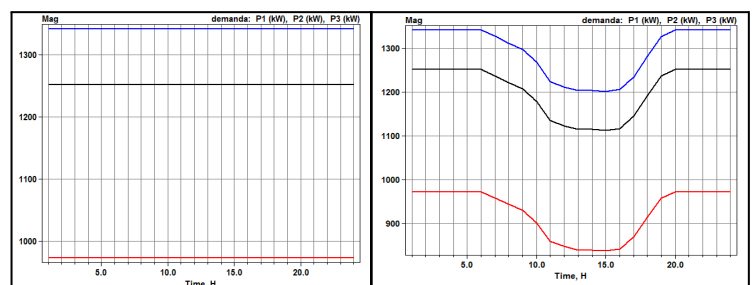


Figura 5: Perfis de demanda no barramento próximo a GD





A próxima etapa envolve ajustar o AG desenvolvido, adequando-o às necessidades específicas do projeto, de forma a solucionar o problema de capacidade de hospedagem do sistema com diferentes fatores de potência.

CONCLUSÕES:

A implementação do algoritmo genético para otimizar a injeção de potência destaca-se por encontrar soluções eficientes para a capacidade de hospedagem de geração distribuída (GD), considerando restrições de corrente e tensão. Analisar sua convergência, otimização e tempo de execução é fundamental para avaliar a viabilidade em sistemas reais. O objetivo principal é maximizar a capacidade de hospedagem de GD, mostrando até que ponto a rede suporta a geração fotovoltaica sem comprometer a operação segura. As simulações avaliam os impactos de diferentes níveis de penetração de GD e fator de potência, oferecendo insights sobre sobrecargas e estabilização de tensão, mas há necessidade de incluir mais variáveis, como clima e outras fontes de GD, para ampliar o estudo.

REFERÊNCIAS:

- [1] Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Resolução Normativa ANEEL N°1000, de 7 de dezembro de 2021. Disponível em <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.pdf>, acessado em 15/011/2024.
- [2] Carlos César Barioni de Oliveira, Hernán Prieto Schmidt, Nelson Kagan, Ernesto João Robba, **Introdução a Sistemas Elétricos de Potência-componentes simétricas**. Editora Blucher, ISBN 978-85, 2ª edição, São Paulo, 2000.
- [3] Ciceli Martins Luiz, Alecio Melo Oliveira, Paulo Sérgio S. Mendes, Danilo Derick S.Alves, Bruno H. Andrade Catão, Jorge Luiz Teixeira, **Avaliação do Impacto da Inserção da Geração Distribuída no Sistema Elétrica da Cemig Distribuição**. XXV Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica (XXV SNPTEE), número 3559, Grupo de Estudo de Distribuição, Belo Horizonte, Brasil, 10 a 13 de novembro de 2019.
- [4] Chanasith Jan-ngurn, Krischonme Bhumkittipich, **Analysis of Power Grid System with Solar Power Sources and Energy Storage System Integrations using OPENDSS**. 2020 59th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE), Chiang Mai, Tailândia, 23 a 26 de setembro de 2020.
- [5] Cristian A. Alvez, Renan S. Moura, Vanessa G. da Silva, Gustavo O. A. Avila, Gabriel N. Leal, **Metodologia para Gerenciamento de Risco Econômico em Sistemas de Potência que Integram Geração Renovável**. IX Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, Santa Maria-RS, 10 a 13 de julho de 2022.
- [6] Nelson Kagan, Hernán Prieto Schmidt, Carlos César Barioni de Oliveira, Henrique Kagan, **Métodos de Otimização Aplicados a Sistemas Elétricos de Potência**. Editora Blucher, ISBN 978-85-212-0472-5, 1ª edição, São Paulo, 2009
- [7] Paulo Radatz, Nelson Kagan, Celso Rocha, Jeff Smith, Roger C. Dugan, **Assessing maximum DG penetration levels in a real distribution feeder by using OPENDSS**. 2016 17th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP), DOI: 10.1109/ICHQP.2016.7783416, Belo Horizonte, Brasil, 16 a 19 de outubro de 2016.
- [8] Renan S. Moura, Éverton G. dos Santos, Jonattan E. Sarmiento, Cristian A. Alvez, **Determinação da Capacidade de Hospedagem de Geração Distribuída Renovável em Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica**. IX Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, Santa Maria-RS, 10 a 13 de julho de 2022.
- [9]. Ricardo Linden, **Algoritmos Genéticos**. Editora Ciência Moderna, ISBN 978-8539,3ª edição, Rio de Janeiro, 2012.
XII Seminário de Iniciação Científica do IFMG – 02 a 04 de dezembro de 2024, Planeta IFMG 2024.